

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ
МАТЕРИАЛОВ В ГРАВИТАЦИОННО – ПНЕВМАТИЧЕСКОМ
СМЕСИТЕЛЕ**

И.И. Багринцев, А.И. Барвин, Ю.Н. Штонда, В.Я. Стороженко*

*Технологический институт Восточнoукраинского национального
университета имени В. Даля, г. Луганск;*

**Сумский государственный университет, г. Сумы*

Рассмотрены вопросы создания гравитационно – пневматического смесителя для различных гранулированных и зернистых материалов. В результате исследований, проведенных на модели смесителя такого типа, установлена принципиальная возможность качественных смесей сыпучих материалов за счёт одновременного гравитационного и пневматического смешивания в одном смесителе.

Приготовление однородных по составу композиций из твёрдых материалов, находящихся в гранулированном (зернистом) состоянии, является одним из широко используемых процессов в различных отраслях химической промышленности. Во время смешивания частицы сыпучих материалов должны подвергаться воздействию различно направленных сил. Поэтому механизм смешивания зависит от устройства смесителя и способа проведения процесса. В связи с этим необходимо учитывать то, что с увеличением требования к качеству смеси резко увеличивается стоимость операции смешивания (как эксплуатационные, так и капитальные расходы, связанные с необходимостью приобретения дорогого аппарата).

Как показывает опыт эксплуатации многих смесителей, большинство из них потребляет много энергии на получение качественной смеси за исключением гравитационных и ряда пневматических смесителей. Поэтому заслуживают интерес различные конструкции гравитационных [1-3] и пневматических смесителей [3-5]. Первые в основном являются смесителями непрерывного действия, а вторые – периодического действия, что позволяет получать в них смеси высокого качества. В целом же такие смесители можно отнести к энергосберегающему оборудованию. В связи с этим следует проанализировать работу данных типов смесителей и с учётом их достоинств сделать, по возможности, комбинированный смеситель, который должен обладать положительными качествами этих типов смесителей.

Для получения необходимых данных по конструктивному оформлению и возможных режимах работы создаваемого смесителя необходимо провести исследования на модели такого смесителя, целью которых является: определение рационального конструктивного оформления такого смесителя; выявление геометрических соотношений основных рабочих элементов смесителя; определение параметров работы циркуляционной системы смесителя (давления подводимого к соплу газа, и его расход); определение качества смешения в зависимости от параметров работы смесителя.

Для выполнения этих запланированных работ был разработан и изготовлен гравитационный смеситель номинальным объёмом 35 литров. Общий вид смесителя показан на рисунке 1.

Гравитационно – пневматический смеситель состоит из вертикального цилиндрического корпуса 2, установленного на станине. По центру корпуса 2 смесителя размещена вертикальная труба 6, по высоте которой сделаны шесть отверстий диаметром 60 мм для забора смешиваемых

материалов с разных мест камеры для перемещения его в приёмную камеру смесителя 4, имеющую коническое днище.

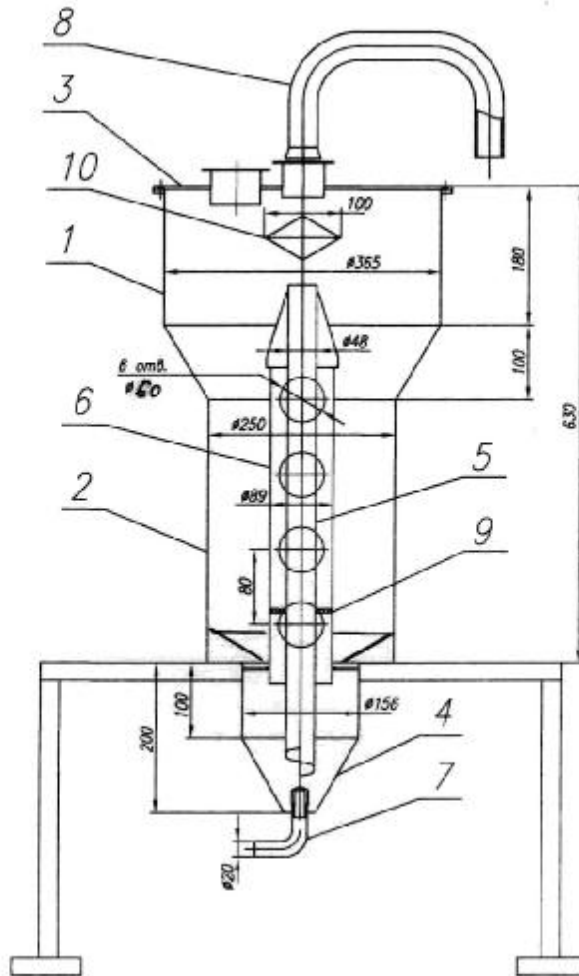


Рисунок 1 – Гравитационно – пневматический смеситель

Благодаря наличию этих отверстий в вертикальной трубе осуществляется предварительное гравитационное усреднение материалов в смесителе.

Для дополнительного смешивания материалов в данной модели смесителя внутри трубы с отверстиями 6 по её оси размещена труба 5 для циркуляции смешиваемого материала, что достигается за счёт его эжекции, которая осуществляется при подаче в сопло 7 сжатого воздуха.

Выходящий из циркуляционной трубы 5 смешиваемый материал отражается о конус 10 и разбрасывается по всему сечению аппарата.

Корпус имеет плоскую крышку 3, на которой размещены штуцера для загрузки смешиваемых материалов и для сброса со смесителя отработанного газа.

Выгрузка со смесителя осуществляется за счёт пневмотранспорта при смене отражательного конуса 10 на выгрузочную трубу 8. Выгрузка производится при подаче в сопло 7 сжатого воздуха до полного опорожнения смесительной камеры.

Смеситель работает следующим образом. После загрузки в смесительную камеру в нужном количестве смешиваемых материалов, которые через отверстия в трубе 6 с разных высот поступают в приёмную камеру 4. При этом за счёт гравитации происходит его предварительное смешивание. Для получения более качественной смеси при работе сопла 7 происходит эжекция смешиваемых материалов. В это время материал по циркуляционной трубе поднимается вверх и отражается о конус 10 и разбрасывается по всему сечению аппарата, дополнительно при этом смешиваясь. Дальнейшее улучшение качества смеси будет происходить при неоднократном перемещении материала через циркуляционную трубу (примерно 2 – 4 раза).

Для обеспечения перемещения смешиваемого материала в циркуляционной трубе 5 в сопло 4 должен поступать сжатый до определенного давления газ в количестве, достаточном для подъёма смешиваемого материала в верхнюю часть смесительной камеры.

Проведенные предварительные эксперименты позволили установить, что для работы модели смесителя необходим газ давлением $p = 1600$ Па при расходе $Q = 0,0034$ м³/с.

Для повышения эффективности смешивания нижнюю кромку циркуляционной трубы 5 следует выполнять по винтовой линии с заданным шагом [3], а так же необходимо выполнить определённые соотношения геометрических размеров транспортного узла: шаг винтовой линии выреза циркуляционной трубы h должен составлять (0,7 - 1,2) от диаметра трубы d_{mp} ; минимальное расстояние от выходного отверстия соплового устройства L_{min} до нижней кромки циркуляционной трубы $d_{тр}$ следует выполнять равным (0,5 – 1,3) диаметра трубы $d_{тр}$; диаметры циркуляционной трубы $d_{тр}$ и выходного отверстия соплового устройства d_c должны находиться в пределах от 3 до 5. В данной модели смесителя были приняты следующие соотношения: $h/d_{mp}=1$; $L_{min}/d_{mp} =1$; $d_{mp}/d_c =5$.

Проведенные опыты подтвердили целесообразность и эффективность применения этого изобретения.

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны следующие материалы : гранулированный полиэтилен низкого давления синего цвета, селикогель, полипропилен гранулированный белого цвета, карбамид. Более подробная информация об использованных материалах приведена в таблице 1.

Таблица 1- Сведения о материалах для исследования

Материал	Форма и размеры частиц	Насыпная плотность, кг/м ³
Полиэтилен (синий)	Эллиптические частицы размером $a=6$ мм; $b=4$ мм; $l=2$ мм	500
Селикогель	Сферические частицы размером от 1 до 5 мм	470,6
Полипропилен	Цилиндрические частицы размером $a=4$ мм; $d=3,4$ мм	588,8
Карбамин	Сферические частицы размером от 1 до 4 мм	735,3

Оценку качества приготавливаемых смесей в модели смесителя в данной работе осуществляли по наиболее распространённой среди исследователей формуле

$$V_c = \frac{100}{\bar{C}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2},$$

где V_c – коэффициент неоднородности смеси, %;

$\bar{C} = \frac{\sum C_i}{n}$ – среднее арифметическое значение концентрации ключевого компонента в пробах смеси;

C_i – значение концентрации ключевого компонента в i – пробе;

n – число анализируемых проб в каждом отборе их из приготавливаемой смеси.

В этой работе для оценки качества той или иной смеси отбиралось по 10 проб.

Ключевой компонент в приготавливаемых смесях – это тот компонент, содержание которого в смеси минимальное.

В ходе проведения исследований характера перемешивания материалов в модели смесителя на первом этапе изучался характер перемещений перемешиваемого материала в смесительной камере как за счёт гравитационного перемещения, так и за счёт эжекции материала с помощью сопла и циркуляционной трубы.

Гравитационное перемещение материала в смесительной камере оценивалось путем определения по приведенной ниже формуле [6] пропускной способности отверстий круглой формы диаметром 60 мм в трубе 6 смесителя.

$$Q = 0,95 F^{1,72} \cdot n^{0,89} \cdot Z, \text{ з/с},$$

где $F = 0,785 D^2 = 0,785 \cdot 6^2 = 28,26 \text{ см}^2$ – площадь одного отверстия в трубе;

$D = 6 \text{ см}$ – диаметр отверстий в трубе;

$n = 6$ – количество отверстий в трубе смесителя;

$Z = 1$ – количество труб с отверстиями в смесителе.

$$Q = 0,95 \cdot 28,26^{1,72} \cdot 6^{0,89} \cdot 1 = 1470 \text{ з/с}.$$

Далее были проведены исследования фактического перемещения материала в смесительной камере как за счёт гравитационного перемешивания, так и за счёт использования сопла и циркуляционной трубы.

Изучался характер перемещений материала в смесительной камере при работе соплового устройства как с использованием циркуляционной трубы с плоским срезом её низа и сопла с диаметром 20 мм, так с использованием циркуляционной трубы с винтовым срезом её низа и конического сопла диаметром 10 мм.

Кроме этого, оценивалась продолжительность разгрузки материала со смесительной камеры с использованием разгрузочной трубы 8 за счёт пневмотранспорта.

Данные экспериментов по изучению характера перемещений материала в смесительной камере и продолжительности разгрузки смешиваемого материала из смесительной камеры приведены в таблице 2.

Анализируя полученные данные, можно отметить, что использование в смесителе циркуляционной трубы с винтовым срезом её низа и конического сопла $\varnothing 10$ мм при прочих равных условиях позволило резко

увеличить скорость перемещений материала в корпусе смесителя в 1,5 – 2 раза (таблица 2), что должно отразиться на качестве готовой смеси.

На втором этапе исследований проводились работы по приготовлению в смесителе смесей гранулированных материалов разного состава. В этом случае приготавливались смеси, состоящие из гранул полипропилена (белого цвета) и гранул полиэтилена (синего цвета), причём последние служили ключевым компонентом в приготавливаемых смесях.

Приготавливали смеси в смесителе с содержанием ключевого компонента 3,6 и 10%.

Таблица 2 – Сведения о характере перемещений материала в смесительной камере

Устройство циркуляционной трубы и сопла смесителя	Материал в смесительной камере	Скорость перемещения материала в смесительной камере, мм/с	Продолжительность разгрузки смеси пневмотранспортом, мин
Плоский торец низа циркуляционной трубы, сопло Ø20мм	Полиэтилен	1,42	10,3
	Полипропилен	1,54	10,4
	Карбамид	0,41	14,2
	Селикогель	1,28	11,2
Винтовой срез низа циркуляционной трубы, сопло коническое Ø10 мм	Полиэтилен	2,13	3,58
	Полипропилен	2,28	4,05
	Карбамид	1,05	5,05
	Селикогель	2,05	3,10

Данные проведенных экспериментов по смешиванию этих материалов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Сведения о качестве приготовленных смесей

Состав смесей	Количество оборотов материала в смесительной камере	Коэффициент неоднородности V_c , %
1 Полипропилен белый (97%) 2 Полиэтилен синий (3%)	1	16,7
	2	15,3
1 Полипропилен белый (94%) 2 Полиэтилен синий (6%)	3	11,8
	1	6,97
	2	6,63
1 Полипропилен белый (90%) 2 Полиэтилен синий (10%)	3	7,0
	1	7,91
	2	4,73
	3	3,25

Количество загружаемого в смеситель материалов составило 11 кг.

Из данной таблицы следует, что получить качественную смесь, у которой количество ключевого компонента в смеси больше 5%, возможно уже через два оборота смешиваемого материала в смесительной камере. При содержании в смеси ключевого компонента меньше 5% в этом случае при приготовлении качественной смеси потребуется большее число оборотов материала в смесителе (4 – 5).

Оценивая полученные результаты проведенных экспериментов на модели нового гравитационно-пневматического смесителя, можно отметить, что предложенная конструкция такого смесителя показала хорошие результаты по смешиванию гранулированных материалов. Уже после трёх циклов оборота материала в смесительной камере можно получить смесь хорошего качества с $V_c = 5-6 \%$.

Для обеспечения надёжной работы промышленного образца гравитационно-пневматического смесителя он должен иметь ряд вертикальных труб, размещённых в смесительной камере равномерно по диаметру, равному 0,4 – 0,5 диаметра камеры с отверстиями круглой формы с определенным шагом по высоте труб. Сопловое устройство в промышленном образце смесителя такого типа следует делать подвижным, а низ циркуляционной трубы выполнить по винтовой линии с шагом, равным диаметру трубы. Для обеспечения хорошей эжекции материала в нижней части приёмной камеры следует размещать коническое сопло с соблюдением соотношения диаметра циркуляционной трубы к диаметру выходного отверстия сопла, равного трём, а расстояние между нижней кромкой циркуляционной трубы и соплом должно соответствовать значению 0,5 – 1,3 диаметра трубы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров Ю.И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов. - М.: Машиностроение, 1973.
2. Орлов Г.И., Куприянов Н.А., Растегаев П.С., Багринцев И.И. Новые смесители для химической промышленности // Оборудование для механических процессов химических производств. - М.: НИИХИММАШ, 1976. - Вып. 73.
3. Бирюков Ю.А., Богданов Л.Н. Исследование эффективности смешения сыпучих материалов в пневматическом циркуляционном аппарате / В кн. Вопросы прикладной аэромеханики и тепломассообмена. - Томск: Изд. ТГУ, 1983.
4. А.С. №770520 Пневматический смеситель. Л.Н. Богданов, Ю.А. Бирюков. Оpubл. в Б.И., 1980, №38.
5. А.С. №897271 Пневматический смеситель. Л.Н. Богданов, Ю.А. Бирюков. Оpubл. в Б.И., 1982, № 2
6. Багринцев И.И., Барвин А.И., Стороженко В.Я. Исследование истечения гранул через отверстия различной формы в вертикальных трубах гравитационных смесителей // Вісник Сум ДУ. - 2004. - №23 (72).
7. Багринцев И.И., Барвин А.И., Штонда Ю.Н. Энергосберегающее смешивание сыпучих материалов // Вісник СХУ ім. В.Даля . - 2007. - №11 (117), Ч. 2.

Багринцев И.И., кандидат техн. наук;
Барвин А.И., кандидат техн. наук,;
Штонда Ю.Н., доцент;
Стороженко В.Я., кандидат техн. наук,
профессор

Поступила в редакцию 28 октября 2008 г.