



УДК 66.047:536.24

М.Г. Зиганшин – кандидат технических наук, доцент

А.М. Зиганшин – кандидат технических наук, доцент

Тел.: 89274268348, e-mail: mjihan@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

А.В. Дмитриев – кандидат технических наук, доцент

Нижекамский химико-технологический институт (НХТИ)

РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АППАРАТОВ С ФОНТАНИРУЮЩИМ СЛОЕМ ПОЛИДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА. ЧАСТЬ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФОНТАНИРОВАНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты опытного исследования аппарата с фонтанирующим слоем полидисперсного материала. Скорректированные на их основе теоретические соотношения позволили получить расчетные зависимости для нахождения режимных параметров подобных устройств. Результаты исследований обеспечивают возможность оптимизации их конструкций и режимных параметров при проектировании и эксплуатации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: опытное исследование, зависимости, режимные параметры, проектирование, эксплуатация, фонтанирующий слой.

M.G. Ziganshin – candidate of technical sciences, associate professor

A.M. Ziganshin – candidate of technical sciences, associate professor

Tel.: 89274268348, e-mail: mjihan@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

A.V. Dmitriev – candidate of the technical sciences, associate professor

Nizhnekamsk institute of chemical technology (NICT)

THE REGIME PARAMETERS OF WITH THE POLYDISPERSE MATERIAL SPOUTED BED DEVICES. PART 2. OF THE POLYDISPERSE MATERIAL SPOUTING PARAMETERS DEFINITION

ABSTRACT

The experimented researches of the with a polydisperse material spouting bed device are resulted. The on their basis corrected theoretical parities the dependences for a finding of similar devices regime parameters receiving have allowed. Results of researches provide an opportunity of their designs and regime parameters optimization at designing and operation.

KEYWORDS: experimented research, dependences, regime parameters, designing, operation, spouting bed.

С целью уточнения теоретических разработок, представленных в части 1 настоящего исследования, проведено экспериментальное изучение процесса фонтанирования в контактном аппарате, предназначенном для обработки вентиляционных выбросов и сушки диспергированного материала. Эксперименты проводились с двумя типами засыпок: материала, близкого к монофракционному (узкая фракция порошка γ -оксида железа Fe_3O_4 с отношением размеров частиц соседних фракций менее 1,1), и полидисперсного (шамотная крошка размером от 63 до 710 мкм).

Схема установки приведена на рис. 1. Воздух подавался вентилятором 1 через сопло 2 в коническую часть контактного аппарата 3, где располагался слой сыпучего материала. Расход

выбросов определялся при помощи диафрагмы 4 и микроманометра 5, а перепад давления фонтанирующего слоя – при помощи U-образного манометра 6. Через штуцер 7 по необходимости производилась добавка материала.

Несмотря на цилиндроконическую геометрию аппарата, он испытывался как конический. Цилиндрическая часть аппарата не заполнялась. В основном ее предназначение заключалось в обеспечении ряда технических условий, таких как: увеличение времени контакта потока и частиц, уменьшение их уноса, возможность установки фильтра для мелких фракций. Одновременно обеспечивалось и свободное развитие фонтанирующего слоя. После контактного аппарата выбросы подавались на дальнейшую ступень обработки или удалялись.

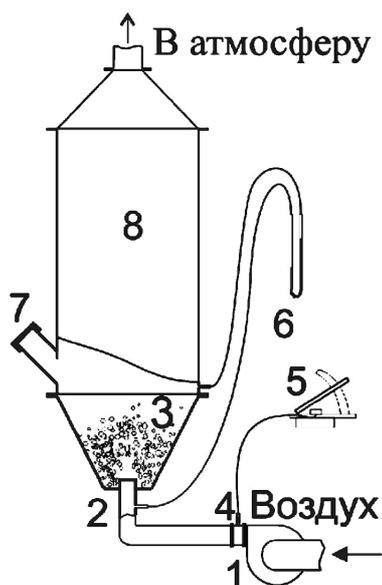


Рис. 1. Схема контактного аппарата с фонтанирующим полидисперсным материалом:

- 1 – вентилятор, 2 – сопло, 3 – коническая часть с фонтанирующим слоем, 4 – диафрагма, 5 – микроманометр, 6 – U-образный манометр, 7 – патрубок для подачи материала, 8 – цилиндрическая часть

С целью энергосбережения при подаче газового потока входная часть аппарата выполнена с двумя конструктивными отличиями от традиционных устройств. Для создания эффекта инжекции сопло, формирующее поток газа, установлено на 5 мм выше основания конуса. Входная часть отличается также тем, что поток подается под слой не по всему сечению нижнего основания диаметром $d_1 = 38$ мм, а через сопло диаметром $d_0 = 25$ мм. Поэтому первичные процессы – фильтрация и увеличение порозности слоя – распространяются только на часть неподвижного слоя.

Основными параметрами, характеризующими энергозатраты в начале режима фонтанирования, являются критическая скорость w_{cr} , соответствующая пику давления, и скорость начала фонтанирования w_b . Они зависят от физических характеристик твердой фазы, конструктивных параметров аппарата (геометрических характеристик слоя) и др.

В представленном аппарате проведено исследование режимов фонтанирования двух типов засыпок – с монофракционным и полидисперсным материалами. Испытания монофракционного материала – порошка γ -оксида железа Fe_3O_4 , состоящего из игольчатых частиц средним размером 0,1 мм, – проводились как тестовые с целью эмпирического учета особенностей исследуемого аппарата и слоя, отличающих их от условий классических испытаний. Результаты испытаний приведены на рис. 2 (кривая *a*). Началу

фонтанирования соответствует точка *A* при скорости потока $w_b = 0,7$ м/с и сопротивлении слоя 235 Па. При этом пика давления не обнаружено. Увеличение скорости газа до 1,2 м/с привело к росту давления до 243 Па (точка *B*). При дальнейшем увеличении скорости газа сопротивление фонтанирующего слоя оставалось практически постоянным (точки *C*, *D*, *E*).

Качественные и количественные отличия опытного графика по сопротивлению фонтанирующего слоя от описанных в литературе вызваны отмеченными конструктивными особенностями контактного аппарата. Инжектирующий эффект в области выхода газового потока из сопла обеспечил частицы начальной кинетической энергией, в связи с чем происходила более плавная перестройка структуры слоя и с меньшими энергозатратами.

Сравним результаты экспериментов с расчетными данными по соотношениям (10, 11, ч. 1), включающим в себя величину начальной скорости частицы в виде $\sqrt{2gH_0}$. В соответствии с (11, ч. 1) при насыпной плотности частиц $\rho_a = 2810$ кг/м³ и $H_0 = 0,05$ м получим: $\Delta P_f = (882-1033)$ Па (рис. 2, кривая *б*). По экспериментальным данным (рис. 2, кривая *a*) в режиме развитого фонтанирования максимальная величина давления $\Delta P_f = 250$ Па (точки *C* и *D*), т.е. расчетная величина давления в 3,5-4 раза выше экспериментальных данных. Коэффициенты рекомендуемого для расчетов выражения (11, ч. 1) устанавливались по результатам испытаний аппаратов традиционных конструкций. Поэтому для рассматриваемой конструкции необходима опытная корректировка коэффициентов.

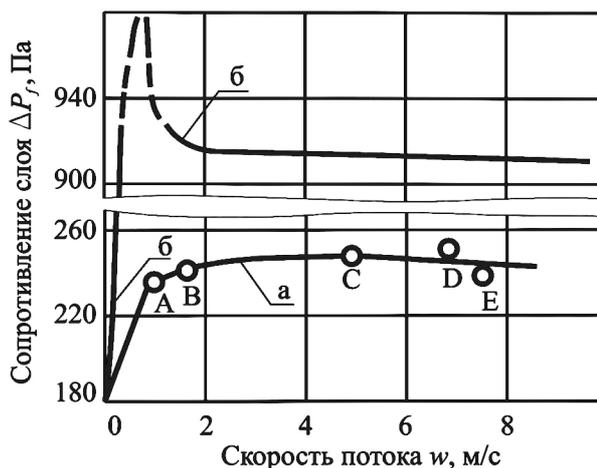


Рис. 2. Параметры режима фонтанирования порошка γ -оксида железа Fe_3O_4 :

a – экспериментальные, *б* – рассчитанные по формуле (11, ч. 1).

Высота слоя 60 мм. Точки на экспериментальной кривой: *A* – начало фонтанирования при скорости потока $w = 0,7$ м/с и сопротивлении слоя $\Delta P_f = 235$ Па; *B*, *C*, *D*, *E* – промежуточные контрольные точки в режиме устойчивого фонтанирования с параметрами: 1,2 м/с, 243 Па; 4,9 м/с, 247 Па; 6,8 м/с, 250 Па; 7,5 м/с, 238 Па



По (10, ч. 1) скорость начала фонтанирования при медианном диаметре частиц $D_m = 0,1$ мм, $D = 70$ мм, $d_0 = 25$ мм, плотности материала частиц $\rho_p = 7301,2$ кг/м³ составляет $w_b = 0,078$ м/с, что на порядок ниже экспериментальных данных.

Определим также скорости критическую и начала фонтанирования по обобщенной на основе закономерности движения частиц в восходящем потоке воздуха эмпирической зависимости (12, ч. 1), представив ее в виде:

$$w_{cr} = 0,364w_t \left(\frac{D}{d_0} - 1 \right)^{0,82} \left(\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \right)^{0,1};$$

$$w_b = 0,706w_t \left(\frac{D}{d_0} - 1 \right)^{0,82} \left(\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \right)^{0,1}, \quad (1)$$

где w_t – скорость витания частиц, м/с; $\theta = 30^\circ$ – угол раскрытия конуса испытанного контактного аппарата.

В воздухе при нормальных условиях скорость витания w_t частиц с размером 0,1 мм и плотностью $\rho_p = 7300$ кг/м³ равна 2,1 м/с. Тогда, в соответствии с (1), $w_{cr} = 1,09$ м/с, и $w_b = 2,1$ м/с. Следовательно, по соотношениям (12, ч. 1, 1), в которых отсутствует учет инжекции частиц потоком, скорости завышены по сравнению с экспериментом более чем на 250 %.

По сравнению с экспериментальными данными результаты расчета w_b для слоя порошка оксида железа по выражению (10, ч. 1) занижены на порядок. Это объясняется тем, что оно основано на данных экспериментов с монофракциями частиц сферической формы и размером в несколько миллиметров. Для вычисления по (10, ч. 1) параметров фонтанирования фракций частиц меньшего размера необходима поправка на размер $\Delta = [(\delta - D_p) / (D_p)]^2$, а частиц некомпактной формы – и на форму Φ . Для частиц, форма которых сильно отличается от компактной, потребуется эмпирический подбор поправки Φ . При этом целесообразно принять ее в виде обычно используемого в таких случаях коэффициента формы, определенного, например, в [1] как «площадь поверхности сферы, объем которой равен объему частицы, отнесенная к площади поверхности частицы», с эмпирическим корректирующим коэффициентом k .

Необходимо также учесть еще одну отмеченную выше конструктивную особенность исследуемого аппарата. Выражение (10, ч. 1) составлено для устройств, в которых поток подается через все нижнее основание конуса. Если в нем установлено приподнятое сопло равного диаметра, то за счет инжекции будут приобретать начальную скорость $w_0 = \sqrt{2gH_0}$ и придать в движение все частицы неподвижного слоя по периметру сопла. Диаметр сопла d_0 в исследованном аппарате меньше диаметра нижнего основания конуса $d_1 = 38$ мм. Поэтому на частицы,

расположенные в кольце площадью $Q = 0,785(d_1^2 - d_0^2)$ на уровне сопла и выше у конусных стенок, инжектирующий эффект в начальный момент не распространится, что может послужить причиной возрастания значения начальной скорости.

Для учета этой особенности в величину $\sqrt{2gH_0}$ необходимо внести поправку в виде безразмерного конструктивного симплекса $\Xi = (1 - Q_r)$, в котором

$Q_r = (d_1^2 - d_0^2) / d_0^2$ – относительная площадь.

Очевидно, при равенстве диаметров сопла и нижнего основания конуса $\Phi = 1$. Преобразуем (10, ч. 1) с учетом вышесказанного:

$$w_b = \Delta \cdot k \Phi \frac{D_p}{D} \left(\frac{d_0}{D} \right)^{0,33} \sqrt{2gH_0 \Xi \frac{\rho_p - \rho_G}{\rho_G}} =$$

$$= \frac{\Delta \cdot k \Phi D_p d_1}{D^{1,33} d_0^{0,67}} \sqrt{2gH_0 \frac{\rho_p - \rho_G}{\rho_G}}. \quad (2)$$

Для исследованного случая $\Phi \approx 0,5$, а $\Delta \cdot k$ изменяется в пределах от 12 до 20; здесь средние размеры частиц по литературным данным $\delta \approx 2,1$ мм, по опытным данным $D_p = 0,1$ мм, опытное значение $k = (0,03-0,05)$. В соответствии с (2), при опытных значениях $D = 70$ мм, $H_0 = 55$ мм значение $w_b = (0,72-1,2)$ м/с. Таким образом, тестовые испытания на монофракционном материале позволили подобрать эмпирические соотношения параметров, учитывающих отличия проводимого эксперимента от классического, типичные и для реальных процессов.

Для экспериментального исследования параметров фонтанирования полидисперсного материала была использована шамотная крошка. Измельченный шамот классифицировали на ситах по размерам фракций от 0,063 до 0,71 мм, из сочетаний которых составляли различные варианты засыпок. Насыпная плотность слоя $\rho_a \approx 1500$ кг/м³, плотность шамота $\rho_p = 2800$ кг/м³. На рис. 3 приведены результаты испытаний режимов фонтанирования композиции из равных массовых долей фракций с размерами частиц 0,4-0,5, 0,5-0,63 и 0,63-0,71 мм (медианный диаметр $D_m = 0,55$ мм, среднее значение $\varphi = 1,22$).

В исследованных режимах (на рис. 3 им соответствуют линии и индексы 1, 2, 3) количество материала в засыпках соотносилось как 1:2:4. При этом конусная часть аппарата заполнялась на высоту 40, 60 и 80 мм. Параметры точек a_i, b_i соответствуют началу фильтрации и максимальному сопротивлению слоя, c_i, d_i – началу и концу устойчивого фонтанирования. Кривые $a_i f_i, f_i b_i$ соответствуют фильтрации через неподвижный слой с начальной структурой и возросшей порозностью, кривая 4 – сопротивлению ΔP_a конусной части пустого аппарата.

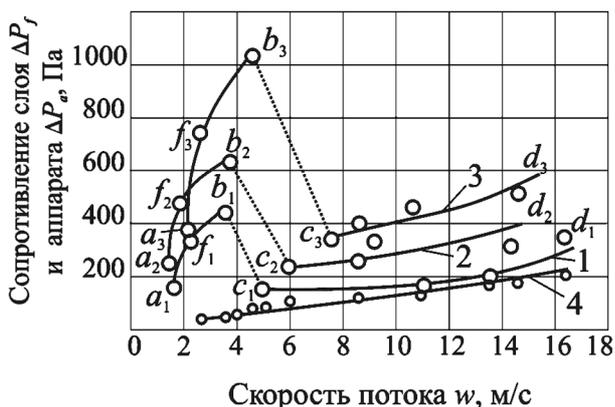


Рис. 3. Зависимость аэродинамического сопротивления от скорости потока

Определим размер частиц, лимитирующих потерю устойчивости слоя, по (8, ч. 1) для осушенного воздуха, считая существенным только вандерваальсово взаимодействие. Зависимость постоянной Липшица – Ван дер Ваальса от лимитирующего радиуса частиц $h\omega_R = f(R_{lim})$ в интервале размеров полидисперсной смеси испытанного состава $2R_{lim} = 710 \cdot 10^{-6} - 400 \cdot 10^{-6}$ м получим, используя найденные в части 1 значения $h\omega = 3,36 \cdot 10^{-2} - 24$ Дж/кмоль для интервала размеров $2R_{lim} = 710 \cdot 10^{-6} - 60 \cdot 10^{-6}$ м. Интерполированием в указанных пределах получим: $h\omega_R = 26,179 - 36871,385 \cdot 2R_{lim}$ Дж/кмоль. Для количества вещества M_p кмоль в частице искомого размера R_{lim} :

$$h\omega_p = h\omega_R M_p = 4\pi h\omega_R R_{lim}^3 \rho_p / 3M = (109,65 - 154446,35 \cdot 2R_{lim}) R_{lim}^3 \rho_p / M, \quad (3)$$

где $M = 102$ кг/кмоль – молекулярная масса вещества частицы, принятая по шамоту (Al_2O_3).

Используем (3) в (8, ч. 1):

$$R_{lim} = 0,145 \sqrt[4]{\frac{h\omega_p}{\rho_p (\varphi^3 - 1)}} = 0,145 \sqrt[4]{\frac{(109,65 - 154446,35 \cdot 2R_{lim}) R_{lim}^3}{M (\varphi^3 - 1)}}. \quad (4)$$

Из (4) получим $R_{lim} = 220,5 \cdot 10^{-6}$ м и $D_{lim} = 441 \cdot 10^{-6}$ м. Сопоставим результаты экспериментов и расчета по соотношениям (10, 11, 12, ч. 1), используя значения медианного и лимитирующего диаметров.

Расчет по (11, ч. 1) на основе D_{lim} для 1, 2 и 3 слоев (рис. 3) дает значения ΔP_f в пределах (375–440) Па, (560–660) Па и (750–880) Па соответственно. Это в 1,5–2 раза

превышает экспериментальные данные (рис. 3), что объясняется наличием инъекции частиц потоком у среза сопла. Вместе с тем влияние этого эффекта зависит от размера частиц. Поэтому в расчетах ΔP_f полидисперсного материала выражение (11, ч. 1) может использоваться при условии корректировки опытной зависимостью, учитывающей дисперсность. Ранее было показано, что при использовании в (11, ч. 1) медианного диаметра засыпки расхождение с опытом может превзойти 350 %. Более характерным показателем полидисперсности слоя в рассматриваемом случае (при поиске параметра, связанного с началом фонтанирования) может служить лимитирующий размер частиц. Приведенные экспериментальные данные позволяют составить на его основе необходимую поправочную зависимость. Для аппаратов рассматриваемого типа она аппроксимируется с достоверностью 94,5 % в виде $f(D_{lim}) = 0,25 \ln(D_{lim}) + 0,895$. Используя ее, можно представить соотношение (11, ч. 1) для расчета максимального давления полидисперсного слоя как

$$\Delta P_f = (0,64 \dots 0,75)(0,25 \ln D_{lim} + 0,895) gr_a H_0. \quad (5)$$

Характеризующий знергозатраты на потерю устойчивости слоя лимитирующий диаметр частиц полидисперсной засыпки D_{lim} подсчитывается по выражению (4).

Скорость w_b для полидисперсной засыпки вначале определена по формуле (10, ч. 1), с использованием значения медианного диаметра частиц $D_p = D_m = 0,55$ мм. Для 1, 2 и 3 слоев (рис. 3) диаметр верхнего основания D составляет 59, 70 и 80 мм, а высота слоя над срезом сопла $H_0 - 35, 55$ и 75 мм соответственно. При $d_0 = 25$ мм и $\rho_p = 2800$ кг/м³ значение w_b для 1, 2 и 3 слоев составит 0,281; 0,281 и 0,274 м/с соответственно, что более чем на порядок ниже экспериментального. Аналогичный расчет выполнен по выражению (2). Поправочный коэффициент k и коэффициент формы Φ теперь близки к 1. При $D_p = D_m = 0,55$ мм поправка $\Delta = 7,94$, и w_b для 1, 2 и 3 слоев составит 3,27; 3,26 и 3,19 м/с. Приняв за D_p лимитирующий диаметр $D_{lim} = 0,441$ мм, получим $\Delta = 14,15$, а w_b для 1, 2 и 3 слоев составит 4,67; 4,66 и 4,56 м/с. По сравнению с D_m использование D_{lim} улучшает результат на 50 %. При этом расчетные и экспериментальные данные для 1 слоя различаются лишь на 5 %. Тем самым результатами опытов подтверждается, что характеристики фонтанирования полидисперсного материала представляются значительно точнее лимитирующим диаметром частиц засыпки. Следовательно, характерным параметром полидисперсного слоя в рассматриваемом случае может служить не медианный, а лимитирующий диаметр.

В то же время для 2 и 3 слоев расчетная скорость еще остается заметно меньше экспериментальной. Причина этого заключается в некорректном учете высоты слоя засыпки как выражением (10, ч. 1), так и



полученным из него уточнением (2). С ее увеличением w_b снижается, а экспериментальные значения w_b существенно растут. Причина расхождения с опытом в том, что в формулу (10, ч. 1) высота слоя H_0 включена с показателем степени 0,5, а пропорциональный ей размер D – с показателем степени (-1,33). Итоговый показатель H_0 близок к (-0,83), что и приводит к снижению w_b при его увеличении.

Для оптимизации выражения (2) может быть использована структура формул (12, ч. 1, 1), полученных на основе обобщения результатов классических исследований фонтанирования монофракционной засыпки [1]. Вначале по (1) был проведен расчет начальной w_b и критической w_{cr} скорости фонтанирования с использованием медианного и лимитирующего диаметров частиц. Скорость витания частиц рассчитывалась по формуле

Стокса $w_t = D_p^2 (\rho_p - \rho_G) g / (18\eta)$. Полученные значения w_{cr} , w_b сопоставлены с данными эксперимента по полидисперсному слою и приведены в таблице. Результаты расчетов показывают увеличение w_b с ростом высоты слоя. Однако темп увеличения w_b по опытным данным постоянен (изменение около 3 %, что в пределах погрешности опытов), а по (1) проявляется тенденция к его снижению. Кроме того, расчеты с медианным диаметром дают более чем 4-х кратное превышение экспериментальных данных.

Расчеты с D_{lim} позволяют сократить ошибку в 1,5 раза. Это показывает, что характерным параметром на стадии фонтанирования частиц полидисперсного слоя может служить лимитирующий, а не медианный диаметр. Вместе с тем и при использовании D_{lim} расчетные результаты еще значительно выше опытных. Конструкция ввода потока в исследуемом аппарате обеспечивает меньшие энергозатраты на начальный сдвиг неподвижного конического слоя за счет инъекции потоком частиц, расположенных в его основании. Поэтому соотношения (12, ч. 1, и 1) непосредственно в представленном виде неприменимы для расчетов параметров фонтанирования

полидисперсной засыпки в аппарате с отмеченной конструктивной особенностью.

Для рассмотренного сочетания конструктивных особенностей исследованного аппарата и полидисперсного материала принципы составления соотношений (12, ч. 1) и (10, ч. 1) являются взаимодополняющими, а каждый в отдельности недостаточен. В соотношении (12, ч. 1), корректно описывающем параметры фонтанирования отдельных зерен засыпки через скорости витания, отсутствуют параметры, характеризующие инжекционное воздействие потока на зерна в слое. Выражение (10, ч. 1), учитывающее инжекционный эффект, дает адекватный результат только в диапазоне частиц выше миллиметрового, т.е. для условий, в которых были получены эти выражения. Поэтому при составлении корректного расчетного соотношения для определения w_b необходимо основываться на обоих принципах. Введем в (2) согласно с формулой (10, ч. 1) соотношение $(D/d_0)^m$ и изменим показатели степени

в выражении $(D^n d_0^l)$. Константы m, n, l скорректированы по опытным данным с учетом соблюдения условия $\partial w_b / \partial H_0 = 0$; $\partial w_b / \partial D = 0$: $m=1,1$; $n=1,63$; $l=0,37$. При этом среднеквадратичное отклонение от опытных данных находится в пределах 20 %. С учетом стохастического характера процесса можно считать эту сходимость удовлетворительной. Представим расчетное выражение для w_b в окончательном виде:

$$w_b = \frac{\Delta \cdot k \Phi D_p d_1}{D^{1,63} d_0^{0,37}} (D/d_0 - 1)^{1,1} \sqrt{2gH_0 (\rho_p - \rho_G) / \rho_G}. \quad (6)$$

В целом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы. Их результаты показали, что классические соотношения (10, 11, 12, ч. 1), составленные по данным опытных исследований фонтанирования монофракционной засыпки, могут быть использованы в качестве основы расчетных соотношений для полидисперсного материала. При этом расчеты должны проводиться по

Таблица

Рассчитанные по формулам 12, ч. 1 и 1 ([2]) и экспериментальные значения критической и начальной скорости фонтанирования

Используемый в расчетах размер частиц	Диаметр, м	Скорость витания частиц w_t , м/с	Скорость фонтанирования w_{cr}/w_b , м/с при диаметре верхнего основания слоя D , м		
			0,059	0,07	0,08
медианный диаметр D_m	$0,55 \cdot 10^{-3}$	26,1	10,7/20,8	13,5/26,2	15,9/30,8
лимитирующий диаметр	$0,441 \cdot 10^{-3}$	16,8	7,0/13,6	8,8/17,1	10,4/20,2
По опытным данным (рис. 3)			3,7/4,9	3,8/6,0	4,8/7,6



лимитирующему, а не по медианному размеру частиц размер частиц. Лимитирующий размер является характерным параметром процесса фонтанирования полидисперсной засыпки. Он соответствует диаметру частиц, с которых начинается нарушение ее устойчивости, и может быть определен из баланса сил, возникающих между соприкасающимися частицами в слое, включая силы поверхностного межмолекулярного взаимодействия. Если аппараты конструктивно отличаются от традиционных, то формулы (10, 11, 12, ч. 1) необходимо дополнить корректирующими коэффициентами и соотношениями. В данной работе такие зависимости получены для аппаратов с исследованными конструктивными особенностями и полидисперсной засыпкой (формулы 5, 6). Сравнение результатов экспериментальных исследований с величинами, рассчитанными по соотношениям для монофракционных систем, показывает также, что переход полидисперсных систем в фонтанирующий режим происходит при меньших затратах энергии газового потока. Использование этого свойства имеет очевидное прикладное значение в смысле снижения энергозатрат при работе технологических и очистных устройств с фонтанирующим адсорбентом. Контактный аппарат исследованной конструкции с полидисперсным адсорбентом использован в системе

комплексной обработки технологических и вентиляционных галогенсодержащих выбросов, обеспечивающей их радикальное обезвреживание [1]. В связи с особым значением предотвращения загрязнения атмосферы подобными веществами, обусловленным международными обязательствами России по Рамочной конвенции ООН об изменении климата (UN FCCC), разработанный способ комплексной очистки рекомендован к использованию в Государственном докладе [2] о состоянии окружающей среды по Республике Татарстан.

Литература

1. Ейтс Дж. Основы механики псевдооживления с приложениями. – М.: Мир, 1986. – 288 с.
2. Романков П.Г., Рашковская, Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. – Л.: Химия, 1979. – 272 с.
3. Зиганшин М.Г., Зиганшин А.М., Дмитриев А.В. Аппараты и режимы комплексной обработки выбросов с галогенсодержащими загрязнителями // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2009, № 4. – С. 34-37.
4. О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2007 году // Государственный доклад. – Казань, 2008. – С. 459.