

МЕХАНИКА

УДК 532.529.5

М.В. Василевский, В.И. Романдин, Е.Г. Зыков,
В.А. Полюшко, А.С. Разва

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОТОКА С ДИСПЕРСНОЙ ФАЗОЙ
В ВИХРЕВОЙ КАМЕРЕ¹

Рассмотрены вопросы структурирования дисперсной фазы в вихревых аппаратах применительно к процессам сепарации частиц. Даны оценки параметров движения дисперсной среды вблизи ограничивающей поток криволинейной поверхности в зависимости от крупности частиц и их концентрации во входном потоке. Представлены расчетные соотношения для вращательной компоненты газовой фазы. Проведен анализ факторов, влияющих на сепарационные характеристики аппарата для извлечения примеси из гранулированных полимерных материалов с устойчивым процессом сепарации при транспортных концентрациях частиц.

Ключевые слова: вихревая камера, дисперсная фаза, перепад давлений, жгут, пыль, гранулированный материал, поток момента импульса.

Вихревые камеры с твердыми частицами нашли широкое применение в различных областях техники и технологий для интенсификации физико-химических процессов. Основным параметром, определяющим интенсивность теплообменных процессов и сепарационных эффектов в вихревой камере является уровень вращательной компоненты скорости газа и скорости частиц. Вращательная компонента определяется из соотношения

$$V^2 = \frac{R}{\rho} \frac{dp}{dR},$$

где ρ – плотность газа, R – текущий радиус, V – окружная скорость газа. Одним из параметров, определяющих крутку потока, является интенсивность вращательного движения

$$\Delta p_0 = p(R_2) - p(0) = \rho \int_0^1 (V^2 / \bar{r}) d\bar{r},$$

где $\bar{r} = R/R_2$, R_2 – радиус камеры [1].

При введении дисперсного материала в камеру уровень окружных скоростей и перепад статического давления уменьшаются. В [2] приведены результаты исследования влияния стационарного вращающегося слоя частиц песка на аэродинамику осесимметричной вихревой камеры с гиперболическими торцевыми крышками. В [3] исследовалось время пребывания сыпучего материала в аппарате циклонного типа. Время пребывания частиц материала в аппарате складывается из

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ – проект №11-08-00059а.

времени сепарации и времени их движения по стенке камеры аппарата или в пристенной области до выхода из него. Как показали экспериментальные данные, время движения сыпучего материала в пристеночной области в десятки и сотни раз больше времени сепарации [3]. В [4] показано, что критическая концентрация частиц во входящем в циклон потоке, при которой происходит образование жгута, определяется выражением

$$\mu_{кр} = 12,7 Re^{-0,33} Fr^{0,6},$$

где $Re = V_{вх} D_{вх} / \nu$ – критерий Рейнольдса, $Fr = v^2 / g R_{ср}$ – критерий Фруда, $D_{вх}$ – эквивалентный диаметр входа, $R_{ср}$ – средний радиус циклона, ν – скорость материала в циклоне вблизи стенки. При $\mu > \mu_{кр}$ преобладает трение скольжения, при $\mu < \mu_{кр}$ преобладает трение качения.

В [5] полагается, что механизм образования жгутов связан с особенностями течения неоднородных по плотности смесей вблизи вогнутой криволинейной стенки. Здесь течение ламинаризируется, усиливается интенсивность вихрей Гейлора – Гёртлера, а устойчивость распределения по плотности определяется числом Ричардсона. В работе приведены данные по визуальным наблюдениям за движением жгутов, определены окружные скорости газа в разных сечениях, приведены расчеты потерь момента импульса потока. Оказалось, что величины циркуляций газовой фазы по высоте циклона различаются во много раз, особенно это относится к пылевыводному отверстию конической части циклона.

В [6] представлены сведения и исследования в области двухфазного пограничного слоя. В отличие от классических представлений о структуре погранслоя, механизме генерирования турбулентности, распределения пульсационных характеристик, пограничный слой не делится на области вязкого подслоя и область развитой турбулентности, а определяется по времени периодами медленного вязкого развития и быстрого невязкого разрушения. При этом зависимость между частотой разрушения и динамической скоростью определяется соотношением $\omega \nu / v_*^2 = 0,056$ и, кроме того, выделяются первичная турбулентность, связанная с выбросами, и вторичная – за счет неустойчивости и распада струй. Такие процессы обуславливают возникновение вторичных течений. Присутствие частиц приводит к перераспределению касательных напряжений, а переток молей газа в поперечном направлении обусловлен градиентом касательных напряжений в этом же направлении [7]. Это приводит к тому, что в местах с большими касательными напряжениями продольные скорости уменьшаются, а касательные напряжения выравниваются. По данным исследований характера формирования отложений частиц из суспензий в гидравлических лотках, на дне образуются структуры с неравномерным слоем частиц в поперечном направлении [7].

Процессы течения двухфазной среды в циклонном аппарате сложны и до сих пор нет физически обоснованной модели превращения дисперсной среды из аэрозольного состояния в насыпное в пылеприемнике. При отсутствии образования отложений пыли в области пылевыводного отверстия противоточного конического циклона концентрация частиц пыли увеличивается в сотни раз, вследствие чего возникают торможения потока из-за повышенного значения касательного напряжения на стенке.

В [8] приведены данные распределения давлений на двухфазном потоке с малой концентрацией частиц в вихревой камере, по которым можно рассчитать распределение окружных скоростей воздуха.

Для определения времени прохода материала через циклон и сопоставления его со временем пребывания газа были проведены измерения скорости воздуха на входе в аппарат при отводе всего воздуха через пылевыводное отверстие и расход сыпучего материала. Проводилось мгновенное отсоединение циклона от коллектора разрежения, определялось количество пыли, выпавшей в циклоне. Визуально было видно (рис. 1), что пыль в конусе движется в виде полосовых жгутов.

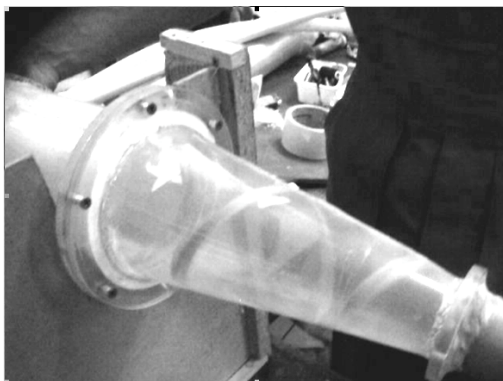


Рис. 1. Конфигурация дисперсной фазы в конусе циклона

Количество витков, их длина определялись визуально, а также рассчитывались. Скорость воздуха в витках бралась с учетом ускорения потока в конусе и усреднялась по длине витка. Время прохода воздуха через конус циклона определялось как объем конуса, деленный на расход, а также как длина витка, деленная на скорость жгута. Рассчитывалось время пребывания материала как масса, выпавшая в циклоне при отсечке потока, деленная на весовой расход. Опыты проводились на порошке М40 (корунд). Расход материала составлял 1,1 г/с, расход воздуха 9–17 г/с, скорость воздуха во входном сечении 7–13 м/с. Отношение времени прохождения материала ко времени прохода воздуха в зависимости от концентрации и скорости воздуха находилось в диапазоне $2 \div 30$ [9].

Для того чтобы определить параметры сгусткообразований (распределение пыли М40 в окружном направлении) в противоточном циклоне, с помощью поворотной секции были отобраны пробы воздуха с различной концентрацией частиц (или количеством отведенной пыли по отношению к количеству введенной пыли) по окружности циклона на фиксированной высоте равной 1,5 диаметра от ввода. Оказалось, что распределение концентраций по окружности неравномерно (имеются всплеск и провалы концентраций) (рис. 2).

Относительный выход цементной пыли представлен на рис.3.

Введем коэффициент неравномерности распределения частиц в окружном направлении $K_n = q_{\max}/q_{\min}$. При концентрации пыли 2–4 г/м³ K_n монофракционной пыли ≈ 3 , при концентрации этой же пыли 70–95 г/м³ во входном потоке $K_n \approx 5$. Для полифракционной пыли с концентрацией 11–19 г/м³ $K_n \approx 7$. При концентрациях пыли более 200 г/м³ неравномерность распределения частиц по окружности проявляется в виде жгутов, которые движутся с малой скоростью в окружном направлении и обнаруживаются визуально. Расчетная модель концентрирования частиц в противоточном цилиндрическом циклонном аппарате представлена в [10].

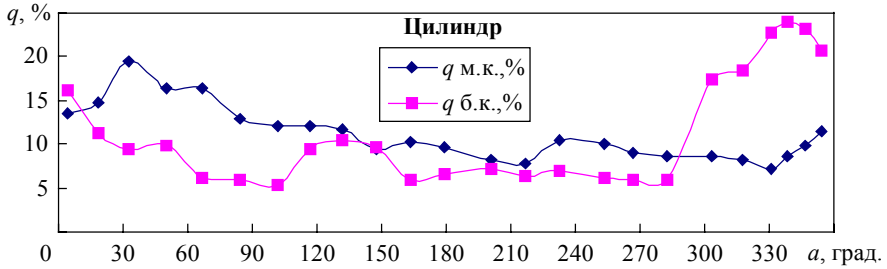


Рис. 2. Относительное количество монофракционной пыли, выводимое с периферии цилиндрической части циклона 15%-м количеством воздуха в зависимости от угловой координаты (направление отсчета по направлению вращения потока, начало отсчета – сопряжение ввода с цилиндром камеры): \blacklozenge – концентрация 2–4 г/м³, \blacksquare – концентрация 70–95 г/м³

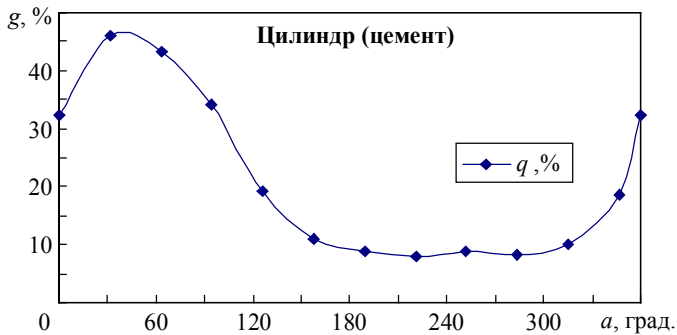


Рис. 3. Относительное количество полифракционной пыли, выводимое с периферии цилиндрической части циклона 15%-м количеством воздуха в зависимости от угловой координаты (направление отсчета по направлению вращения потока, начало отсчета – сопряжение ввода с цилиндром камеры): \blacklozenge – концентрация 11–19 г/м³

Образование жгутов играет положительную роль в процессах обеспыливания газов [11], но препятствует проведению процессов классификации [12], распределению пыли с сушильным агентом из вихревого концентратора по горелкам [13].

Рассмотрим движение гранулированных материалов в вихревой камере с целью оценки возможности проведения классификационных процессов по излечению примеси из материала.

Частицы гранулированных и зерновых материалов в вихревой камере стремятся распределиться равномерно в окружном направлении. Визуальные наблюдения за распределением частиц показали, что при транспортных концентрациях (более 2000 г/м³) гранулы имеют малые окружные скорости и их траектории отклоняются от вертикального направления на 25–35° [14].

В [14] приведены результаты исследования аппаратов для очистки гранулированных материалов от пыли, волокон, стружки. На рис. 4 представлена схема аппарата вихревого типа.

Транспортируемый материал с примесью через патрубок 1 улиточного ввода поступает в корпус 2, гранулы за счет сил инерции концентрируются на периферии и проходят в щель между корпусом и диском 3. Примесь в виде стружки пы-

ли волокон, сгустковых переплетений попадает в область интенсивных радиальных токов на поверхности с радиусом патрубка для вывода примеси 4 и выносятся из аппарата. Интенсивность радиальных токов за счет формирования вынужденного вихря у поверхности отражательного диска наибольшая. Газ распространяется в области между поверхностями наружного цилиндра и цилиндра с радиусом $R_я$ и вытекает через поверхность с радиусом $R_я$ во внутреннюю область. При этом момент крутки газа уменьшается от взаимодействия газа и частиц с наружной криволинейной поверхностью. Поверхность радиуса $R_я$ разграничивает области струйного течения в пристенной зоне и квазипотенциального течения (ядро течения). На этой поверхности аксиальные скорости газа равны нулю [15].

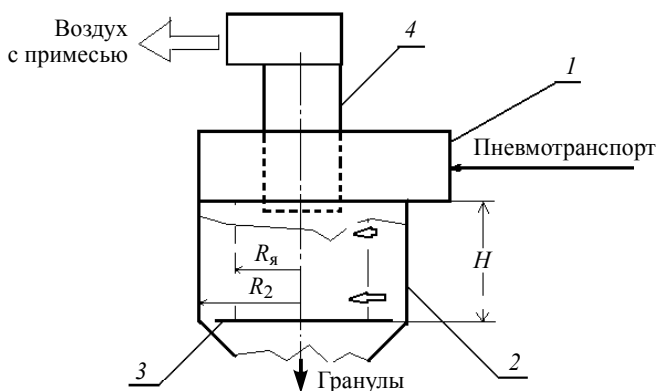


Рис. 4. Схема переноса момента количества движения в радиальном направлении

Окружная скорость гранул на порядок меньше окружной скорости воздуха, поэтому сила тяжести, действующая на слой гранул, оказывается больше центробежной, прижимающей гранулы к поверхности. Силы, действующие на элемент слоя, представлены на рис. 5. На элемент слоя действует сила тяжести δF_g , увлекающая сила потока в окружном направлении δF_s и δR_{fr} — сила трения гранул об ограждающую поток криволинейную поверхность. Слой образуется за счет сепарации частиц к ограждающей поверхности. Частицы имеют форму коротких цилиндров. Коэффициент взаимодействия слоя с поверхностью аналогичен коэффициенту кулоновского трения, однако механизм взаимодействия частиц слоя с поверхностью отличается от сухого трения: гранулы рикошетируют, вращаются, сталкиваются между собой. В системах трубопроводного транспорта полимерных гранулированных материалов взвесью при взаимодействии гранул с поверхностью образуются пыль, стружка, ленты, что свидетельствует о сильных адгезионных связях при контактах. Чем больше коэффициент внешнего трения, тем больше адгезионное взаимодействие.

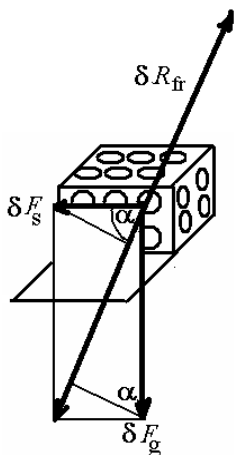


Рис. 5. Схема сил, действующих на элемент слоя

Газ обтекает слой из гранул в окружном направлении со скоростью, равной разнице скоростей потока и слоя гранул. Увлекающая сила потока определяется силой трения потока о поверхность слоя гранул

$$\frac{\tau_t}{\rho u_k^2} = \left(\frac{v_*}{u_k} \right)^2 = f \left(\frac{ku_k}{v} \right),$$

где k – величина обтекаемых бугорков, u_k – скорость обтекания бугорков, v_* – динамическая скорость трения газа о бугорки [16].

Обозначим: Ω – масса материала в слое, u_t – окружная скорость слоя, u_z – вертикальная скорость слоя, V_Δ – окружная скорость воздуха у поверхности слоя гранул, $[(\pi/2) - \alpha]$ – угол отклонения от вертикали вектора скорости частиц. Увлекающая материал сила потока в окружном направлении равна [16]

$$F_{st} = S\tau_t = \rho S [v_* \Phi(kv_*/v)]^2 = S\rho(V_\Delta - u_t)^2 / 8,5,$$

где $S = 2\pi R_2 H$. Сила трения материала о поверхность $F_{st} = (\Omega u_t^2 / R_2) \varphi_s$, Сила тяжести равна $F_{gt} = g\Omega$, $\Omega = S \cdot \Delta \cdot \rho_\delta (1 - \varepsilon) = G_m H / u_z$, где Δ – толщина слоя, ρ_δ – плотность гранулы, ε – порозность слоя, φ_s – коэффициент взаимодействия слоя гранул с поверхностью, $G_m = \rho Q \gamma$ – подача материала, ρ – плотность воздуха, Q – расход воздуха, γ – массовая расходная концентрация гранул в потоке на входе в аппарат. Запишем очевидные соотношения

$$u_z = u_t \operatorname{ctg} \alpha, \quad F_{st} = F_{gt} \operatorname{ctg} \alpha, \quad F_{st} = \Omega g \operatorname{ctg} \alpha,$$

$$u_t = \sqrt{\frac{g R_2 \operatorname{ctg} \alpha}{\varphi_s}} = V_{\text{вх}} \sqrt{\frac{\operatorname{ctg} \alpha}{\varphi_s F_{r_k}}}, \quad F_{r_k} = \frac{V_{\text{вх}}^2}{g R_2}, \quad \Omega = G_m H / u_z, \quad \Omega = \frac{G_m H \operatorname{ctg} \alpha}{u_t}.$$

Введем безразмерные параметры по соотношениям: $F_{\text{вх}} = \bar{F}_{\text{вх}} \pi R_2^2$ – входное сечение ввода потока в камеру, $V_\Delta = \bar{V}_\Delta V_{\text{вх}}$, $H = \bar{H} R_2$, $u_t = \bar{u}_t V_{\text{вх}}$.

Запишем баланс потоков моментов импульса в радиальном направлении для транспортного потока в центробежном концентраторе (концентрация примеси на два-три порядка меньше концентрации гранул и ее не учитываем).

$$M_{\text{вх}} = M_T + M_\Gamma + M_{\text{я}}, \tag{1}$$

где $M_{\text{вх}} = G_m u_{\text{вх}} R_2 + \rho Q V_{\text{вх}} R_2 = \rho R_2 Q V_{\text{вх}} (\gamma \bar{u}_{\text{вх}} + 1)$ – поток момента количества движения входного потока; $M_T = F_s R_2 = G_m H \operatorname{ctg} \alpha \varphi_s u_t = \gamma \rho Q R_2 V_{\text{вх}} \bar{H} \operatorname{ctg} \alpha \varphi_s \bar{u}_t$ – момент сил трения твердого компонента; $M_\Gamma = \tau_t S R_2 = R_2 S \rho V_{\text{вх}}^2 (\bar{V}_\Delta - \bar{u}_t)^2 / 8,5 = = 2 \bar{H} R_2 \rho Q V_{\text{вх}} (\bar{V}_\Delta - \bar{u}_t)^2 / 8,5 \bar{F}_{\text{вх}}$ – момент сил трения воздуха о поверхность движущегося слоя гранул $u_{\text{вх}}$, $V_{\text{вх}}$ – скорости входа частиц и воздуха; $V_{\text{я}}$, V_r – окружная и радиальная скорости воздуха на радиусе ядра $R_{\text{я}}$, $\bar{V}_\Delta = \frac{V_\Delta}{V_{\text{вх}}}$. $M_{\text{я}} = \rho \int_0^H 2\pi R_{\text{я}}^2 V_r V_{\text{я}} dz$ – поток момента количества движения через поверхность $2\pi R_{\text{я}} H$, z – осевая координата. Положим, что $V_{\text{я}} R_{\text{я}} \approx V_\Delta R_2$ – изменение окружной и радиальной компонент скорости по высоте малое, $\int_0^H 2\pi R_{\text{я}} V_r V_{\text{я}} dz \approx Q V_{\text{я}}$, $M_{\text{я}} \approx \rho Q R_2 \bar{V}_\Delta$; Величина $M_{\text{вх}}$ зависит от значения скорости гранул во входном сечении.

В [17] приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований пневмотранспорта крупнозернистых материалов в горизонтальных трубах. Транспортировка частиц осуществляется за счет ударных их взаимодействий с ограничивающими поток поверхностями вовлечением во вращательное движение с возникновением подъемных сил. Отношение осевой скорости гранул к скорости потока воздуха уменьшается с уменьшением числа Fr_T и увеличением массовой концентрации материала γ . $Fr_T = \frac{V_T^2}{D_T g}$ – параметр Фруда для подводящей трубы,

где V_T – скорость потока в подводящей трубе, D_T – диаметр подводящей трубы. При $\gamma = 5$ отношение $u_{вх}/V_{вх}$ находится в интервале 0,07 – 0,12 при значениях $\sqrt{Fr_T} = 27 - 40$.

Подставляя приведенные соотношения в уравнения балансов моментов сил, действующих на слой, (1) и проводя необходимые сокращения, получим

$$\gamma \bar{u}_{вх} + 1 = \bar{V}_\Delta + \gamma \bar{H} \operatorname{ctg} \alpha \bar{u}_t \varphi_s + \frac{(\bar{V}_\Delta - \bar{u}_t)^2}{8,5} 2 \frac{\bar{H}}{\bar{F}_{вх}}. \quad (2)$$

Расчетное уравнение имеет вид

$$\bar{V}_\Delta = \frac{\sqrt{1 + 4ab} - 1}{2a} + \bar{u}_t, \quad (3)$$

где $a = \frac{2\bar{H}}{8,5\bar{F}_{вх}}$; $b = \gamma(\bar{u}_{вх} - \bar{H} \operatorname{ctg} \alpha \varphi_s \bar{u}_t) - \bar{u}_t + 1$.

Простой эксперимент позволяет получить представление о коэффициенте взаимодействия φ_s (рис. 6). Гранулы подаются на наклонный лоток шириной H_n в таком количестве, чтобы на горизонтальной подложке сформировался монослой

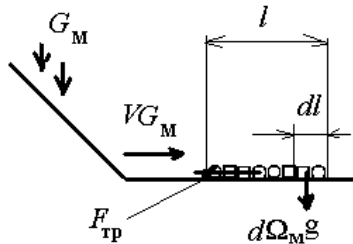


Рис. 6. Взаимодействие частиц с поверхностью

частиц с толщиной этого слоя, равной эквивалентному размеру частицы с диаметром δ . Входной импульс потока равен $G_M V$, первые частицы, взаимодействуя со стенками канала, останавливаются, последующие частицы взаимодействуют со стенками и с неподвижными частицами, которые удерживаются силами трения. Изменение импульса потока частиц обуславливается силой трения в результате формирования слоя частиц:

$$-G_M dV - d\Omega_M g \varphi_s = 0; \quad G_M V = \Omega_M g \varphi_s;$$

$$V = [G_M / (1-\varepsilon)\rho_\delta] / \delta H, \quad d\Omega_M = (1-\varepsilon)\rho_\delta H_n \delta dl, \quad (1-\varepsilon) = \Omega_M / \rho_\delta H_n \delta l, \quad \Omega_M / t = G_M.$$

Используя приведенные соотношения, получим из первого уравнения $\varphi_s = l/gt^2$. Первые оценки показывают, что для гранулированного полиэтилена значения φ_s находятся в диапазоне 0,05–0,15. Коэффициент внешнего трения для гранулированного полиэтилена по алюминию находится в диапазоне 0,28–0,36 [18].

Пусть $R_2 = 0,5$ м; $\varphi_s = 0,2$; $\alpha = 60^\circ$, $\text{ctg } \alpha = 0,577$; $V_{\text{вх}} = 20$ м/с; $u_{\text{вх}} = 2$ м/с; $\bar{F}_{\text{вх}} = 0,15$; $\bar{H} = 1,5$; $\gamma = 5$. Получим $\text{Fr}_k = 82$; $u_t = 3,78$ м/с; $\bar{u}_t = 0,189$. Из уравнения (3) получим $\bar{V}_\Delta = 0,71$. Крутка потока оказывается достаточной для отвеивания примеси.

Расчеты и эксперименты показывают, что основными параметрами, определяющими процесс отвеивания примеси из гранул, являются величины γ , \bar{H} , $\bar{F}_{\text{вх}}$ [14]. На рис. 7 представлен первый вариант аппарата для извлечения примеси – центробежный разделитель [14]. На рис. 8 сплошными линиями представлена эффективность отвеивания примеси η_c , пунктиром обозначен процент уноса гранул $(1-\eta_g)100\%$ в зависимости от производительности аппарата и концентрации гранул. Было установлено влияния электризации гранул на эффективность отвеивания примеси и уноса гранул.

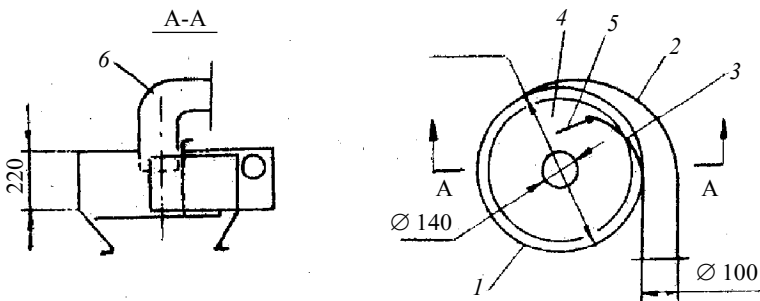


Рис. 7. Центробежный разделитель: 1 – корпус, 2 – пневмотранспортный ввод гранулята, 3 – направляющая пластина, 4 – диск формирования вынужденного вихря, 5 – регулирующая шторка, 6 – патрубок вывода воздуха с примесью

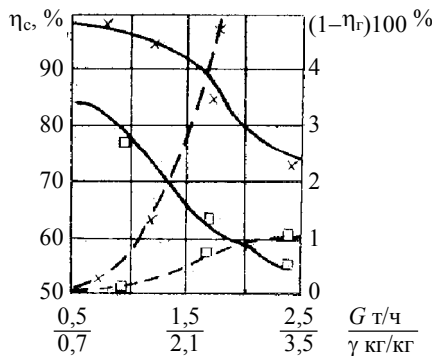


Рис. 8. Эффективность отвеивания и вынос гранулята в зависимости от производительности аппарата и концентрации: × – диаметр отражательного диска 320 мм, □ – 280 мм

Были проведены исследования влияния различных факторов на эффективность работы аппарата [18–20].

Менялись параметры γ , \bar{H} , $\bar{F}_{\text{вк}}$. Для промышленного аппарата был введен дополнительный фактор – поддув воздуха в зоне вывода гранул из сепарационного пространства [18–20].

Выводы

Дисперсный материал в вихревой камере концентрируется у ограничивающей поток криволинейной поверхности, образует структуры в зависимости от крупности частиц и их концентрации. При концентрациях пылевидных материалов менее 10 г/м^3 распределение частиц по окружности при улиточном вводе в вихревую камеру равномерно. При концентрациях частиц более 200 г/м^3 происходит жгутообразование. Частицы зерновых и гранулированных материалов распределяются в окружном направлении равномерно. При транспортных концентрациях крупнозернистых частиц крутка потока в вихревой камере значительно уменьшается, но оказывается достаточной для проведения процесса извлечения примеси из материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Смульский И.И.* Аэродинамика и процессы в вихревых камерах. Новосибирск: Наука, 1992. 301 с.
2. *Волчков Э.П., Кардаш А.П., Терехов В.И.* Гидродинамика вихревой гиперболической камеры при наличии твердой фазы // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. 1984. № 10. Вып. 2. С. 90–98.
3. *Миклин Ю.А., Романков П.Г., Фролов В.Ф.* Время пребывания сыпучего материала в аппарате циклонного типа // Журн. прикл. химии. 1969. Т. 42. Вып. 5. С. 1081–1084.
4. *Систер В.С., Муштаев В.И., Тимонин А.С.* Экология и техника сушки дисперсных материалов. Калуга: Изд-во Н. Бочаровой, 1999. 670 с.
5. *Василевский М.В., Танков Н.К., Богданов Л.Н., Романдин В.И.* Гидродинамические параметры вихревой камеры при повышенной концентрации частиц // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики: доклады Всерос. науч. конф. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. С. 219–220.
6. *Борцовский Ю.Т.* Теория одно и двухфазного потока турбулентного пограничного слоя. Киев: Вища школа, 1975. 192 с.
7. *Офицеров А.С.* Вторичные течения. М.: Госстройиздат, 1959. 163 с.
8. *Разва А.С., Некрасова К.В., Зыков Е.Г., Василевский М.В.* Распределение давлений в циклонном двухфазном потоке // Материалы четырнадцатой Всерос. науч.-технич. конф. «Энергетика: экология, надежность, безопасность». Томск: Изд-во ТПУ, 2008. С. 146–150.
9. *Разва А.С., Некрасова К.В., Зыков Е.Г., Василевский М.В.* О трансформации дисперсной фазы в циклонном пылеуловителе // Материалы тринадцатой Всерос. науч.-технич. конф. «Энергетика: экология, надежность, безопасность». Томск: Изд-во ТПУ, 2007. С. 241–244.
10. *Василевский М.В., Зыков Е.Г., Разва А.С.* Расчетная модель концентрирования частиц в противоточном цилиндрическом циклонном аппарате // Теоретич. основы хим. технологии. 2011. Т. 45. № 3. С. 321–328.
11. *Страус В.* Промышленная очистка газов: пер с англ. М.: Химия, 1981. 616 с.
12. *Росляк А.Т., Зятиков П.Н., Муштаев И.В. и др.* Применение метода воздушно-центробежной сепарации частиц в производстве поливинилхлорида. М.: Химическая промышленность. 1989. № 3. С. 209–212.

13. Лебедев В.Д., Маслов В.Е., Клюнин А.В., Лейкин В.З. Отработка и исследование конструкции делителя-концентратора пыли для блоков 500 МВт Экибастузской ГРЭС-2 // Теплоэнергетика. 1985. № 2. С. 35–37.
14. Анисимов Ж.А., Василевский М.В., Свищев Б.Г. Сравнительные характеристики аппаратов для очистки зерновых и гранулированных материалов от примесей // Вопросы аэрогидромеханики тепломассообмена. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1986. С. 24–29.
15. Штым А.Н. Аэродинамика циклонно-вихревых камер. Владивосток: Дальневосточный ун-т, 1985. 200 с.
16. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973. 848 с.
17. Шваб В.А. Аэромеханические методы в технологии производства порошковой продукции. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1984. 161 с.
18. Руководящие технические материалы. Пневмотранспорт сыпучих материалов (гранулированных и порошкообразных) взвесью, с поршневой структурой и сплошным потоком материала / МХП СССР. Томск: Из-во Том. ун-та, 1987. 188 с.
19. Василевский М.В., Анисимов Ж.А., Свищев Б.Г. Характеристики центробежного аппарата для очистки гранулированного материала от волокнистой примеси и пыли // Вопросы прикладной аэрогидромеханики и тепломассообмена. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1989. С. 194–203.
20. Василевский М.В., Анисимов Ж.А., Свищев Б.Г. Результаты исследования опытно-промышленного сепаратора очистки гранулированного полиэтилена высокого давления // Вопросы прикладной аэрогидромеханики и тепломассообмена. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1989. С. 84–91.

Статья поступила 23.08.2012 г.

Vasilevskii M.V., Romandin V.I., Zykov E.G., Polyushko V.A., Razva A.S. CHARACTERISTICS OF A FLOW WITH THE DISPERSED PHASE IN THE VORTEX CHAMBER. The paper deals with the structuring of the dispersed phase in vortex devices as applied to particle separation processes. Parameters of motion of the dispersed medium near the curved surface bounding the flow are estimated depending on the particle size and concentration in the input stream. The calculated relations for the rotational component of the gas phase are presented. Factors having an effect on separation characteristics are analyzed for the device extracting impurities from granular polymers with a stable separation process at transport concentrations of particles.

Keywords: vortex chamber, dispersed phase, pressure drop, burn, dust, granular material, angular momentum flow.

Vasilevsky Michail Victorovich (Tomsk Polytechnic University)
E-mail: vasmix40@mail.ru

Romandin Vladimir Ivanovich (Tomsk State University)
E-mail: romandin@niipmm.tsu.ru

Zikov Evgeniy Gennadievich (Tomsk OOO Tomskgazoochistka)
E-mail: zikoveg@mail.ru

Polyushko Vladimir Anatolyevich (Tomsk State University)
E-mail: polyushko@niipmm.tsu.ru

Razva Aleksandr Sergeevich (Tomsk Polytechnic University)
E-mail: razva@mail.ru