

Эффективность пылеулавливания вихревого пылегазоразделителя [1] определяется аэродинамическими закономерностями: распределениями тангенциальной V_ϕ , осевой V_x и радиальной V_r составляющими скорости в зонах центробежного пылеулавливания. При этом степень интенсификации процесса разделения газовых неоднородных систем зависит, главным образом, от абсолютного значения и характера распределения тангенциальной скорости по радиусу и высоте зон пылеулавливания. Основными последовательно расположенными зонами пылеулавливания вихревого пылегазоразделителя (ПГР), описание конструкции которого представлено в [2], являются: входная зона, основная и дополнительная зоны, организованные винтовыми закручивающими устройствами (ВЗУ). В данной работе даётся анализ, сопоставление экспериментальных данных по аэродинамическим характеристикам движения газа в пылеулавливающих и тепло-массообменных устройствах [3-7], трубах и кольцевых каналах с переменной и постоянной круткой потока [8-11], моделирующих зоны пылеулавливания вихревого ПГР. Аэродинамическая структура входной зоны пылеулавливания, представляющей собой кольцевой канал с однозаходным тангенциальным закручивающим устройством (ТЗУ), определялась геометрическими параметрами: наружным диаметром d выхлопной трубы, внутренним диаметром D аппарата, шириной a и высотой b входного патрубка ТЗУ, а также высотой зоны $h_{вх}$ и шероховатостью ϵ стенок. Относительными конструктивными параметрами входной зоны пылеулавливания служат: коэффициент крутки потока K_T , где S_1 и S_2 – площади кольцевого канала и входного патрубка, a и b – относительные ширина и высота входного патрубка, d – относительный диаметр выходного патрубка; относительный радиус входного момента количества движения $R_{вх}$, где знак “+” используется для циклонов с улиточным, а “-” – для циклонов и исследуемого аппарата с простым ТЗУ; относительная длина входной зоны пылеулавливания $L_{вх}$ и относительная шероховатость стенок $\epsilon_{отн}$. Коэффициент крутки потока для различных технических устройств – циклонов, сепараторов, тепло-массообменных контактных устройств, циклонных и циклонно-вихревых камер может принимать значения от 0,02 до 2,5 [3,4]. Для высокоэффективных циклонов и циклонных камер значение K_T лежат в пределах от 0,02 до 0,20 (0,30), а для высокопроизводительных – от 0,2 до 0,4 (0,6) [3]. Для обобщения аэродинамики и сопротивления закрученных потоков в трубах [5] и циклонах также используется относительная площадь входа $F_{отн}$, где F_1 – площадь поперечного сечения трубы, а связь этого параметра с K_T имеет вид $K_T = 0,5 F_{отн}$. Уменьшение значения коэффициента крутки потока приводит к возрастанию тангенциальной составляющей скорости [6]. При этом увеличение значения скорости V_ϕ приводит к увеличению статического давления вблизи стенок камеры и аэродинамического сопротивления камеры. За счёт увеличения крутки потока максимум тангенциальной составляющей скорости $V_{\phi m}$ располагается

несколько дальше от оси вращения. Уменьшение значений коэффициента КТ осуществляется за счёт уменьшения относительных ширины или высоты входного патрубка ТЗУ. На рис. 1 представлено распределение тангенциальной V_ϕ и осевой V_x составляющих скорости потока газа по радиусу контактной зоны трубы для различных значений КТ в контактном устройстве, организованном многозаходным ТЗУ щелевого типа [7]. Анализ зависимости показал увеличение абсолютных значений тангенциальной составляющей скорости, и смещение её максимума к периферии канала с уменьшением значений КТ. При увеличении скорости V_ϕ увеличиваются и центробежные силы, которые оттесняют поток к стенке трубы, что приводит к изменениям в распределении осевой составляющей скорости V_x по радиусу канала: в периферийной зоне эта составляющая скорости увеличивается, а в приосевой – уменьшается. Рис. 1 - Распределение тангенциальной V_ϕ и осевой V_x скоростей в трубе для различных значений коэффициентов крутки КТ: 1 – 1,25; 2 – 0,95; 3 – 0,8; 4 – 0,48. Для любых типов ЗУ по длине зоны центробежного пылеулавливания идёт трансформация профилей скорости V_ϕ и V_x . Поскольку технические устройства имеют ограниченную длину: циклонные сепараторы – 1÷3, циклоны – 3÷5 и теплообменные устройства – 5÷8, то знание закономерностей распределения V_ϕ и V_x на этой длине является необходимым условием для расчёта эффективности разделения газовых неоднородных систем. На рис. 2 показано распределение относительных скоростей и по радиусу и длине трубы с закруткой потока, организованной простым ТЗУ с коэффициентом крутки [8]. Рис. 2 - Распределение относительных тангенциальной V_ϕ и осевой V_x составляющих скорости в потоке с тангенциальным подводом при: 1 – ; 2 – ; 3 – ; 4 – . Как видно из этого графика, по длине трубы наблюдается уменьшение уровня значений скорости, смещение её максимума к оси и перераспределение скорости в сторону уменьшения обратных токов. Зону обратных токов при фиксированных значениях в трубе (контактном устройстве) можно снизить за счёт уменьшения интенсивности крутки потока (увеличения значения параметра КТ). Другим способом уменьшения этой зоны является установка в центре трубы цилиндрической вставки, которая уменьшает или даже ликвидирует обратные токи при умеренной крутке потока. Вредное влияние зоны обратных токов при сильной крутке потока заключается в перемешивании пылегазовых потоков, снижающих эффективность центробежного пылеулавливания. Интенсивность закрутки потока в контактных зонах пылеулавливания вихревого ПГР определялась по интегральному параметру закрутки [5,8]: $\dots$, где соответственно осевые составляющие потоков момента количества движения M и количества движения K ; r и r_0 – наружный радиус выхлопной трубы и внутренний радиус аппарата. Когда распределения скоростей V_ϕ и V_x в зоне центробежного пылеулавливания вихревого ПГР не известны или отсутствуют, то может быть использован подход, предложенный в работе [5], на основании которого по

конструктивным параметрам ЗУ получены интегральные параметры закрутки потока на входе в канал. Для простых и улиточных ТЗУ параметр определялся по выражению: Φ_n , где Φ_n - начальный угол отклонения потока от осевого направления (для циклонов ЦН-11 $\Phi_n = 790$, а для ЦН-15 и ЦН-24 соответственно $\Phi_n = 75$ и 660 ; для аппаратов с простым и улиточным ТЗУ $\Phi_n = 900$). Наиболее полные исследования по аэродинамической структуре потока в автомодельной по числу Рейнольдса области течения при изотермических условиях в трубах ($D = 0,203\text{ м}$) с различными типами ЗУ (простыми и улиточными тангенциальными, тангенциально- и аксиально-лопаточными) были проведены авторами работы [9]. В качестве обобщающего параметра была использована начальная интенсивность крутки потока на входе. На рис. 3 представлены распределения безразмерных осевой V_x и тангенциальной V_ϕ скоростей по радиусу для простого тангенци-ального I и аксиально-лопаточного II ЗУ при различных значениях. Анализ графика зависимости показал, что при увеличении значений как для тангенциальных, так и для аксиально-лопаточных закручивателей наблюдается увеличение значений по всему радиусу трубы. Кроме того, профиль скорости при больших значениях для простых ТЗУ соответствует профилю «квазитвёрдого вращения», что для входной зоны пылеулавливания оказывает положительное влияние с точки зрения интенсификации центробежного пылеулавливания. Однако, как это уже указывалось в работе, при высоких значениях интенсивности крутки потока, образуются обратные токи в осевом направлении, что уменьшает сепарационную способность контактных устройств круглого поперечного сечения за счёт перемешивания пылегазовой смеси в аппарате. Поэтому установка в центре трубы цилиндрической вставки или применение кольцевого канала с относительным диаметром выхлопной трубы будет снижать уровень обратных токов и способствовать повышению эффективности центробежного пылеулавливания.

Рис. 3 - Распределение безразмерной осевой и тангенциальной составляющих скорости потока в трубе при различных значениях: 1 – 8,4; 2 – 4,4; 3 – 2,75; 4 – 2,1; 5 – 3,2; 6 – 1,4; 7 – 0,75; 8 – 0,45 для простого тангенциального I и аксиально-лопаточного II ЗУ. В основной и дополнительной зонах пылеулавливания данного аппарата использованы ВЗУ [8], которые позволяют создавать постоянную по длине крутку потока и получать внутри канала и на выходе из него законы вращения твёрдого тела [11]. При начальных углах закрутки используют ленточные, а при - винтовые ЗУ. Увеличение Φ_n в ВЗУ обеспечивается за счёт уменьшения относительного шага. Исследование влияния закрутки потока с постоянным по длине шагом проводилось в трубе диаметром $D = 31,66\text{ мм}$ и длиной с закручивателем в виде ленточных и винтовых ЗУ [10]. Для закрученного потока с изменением шага не оказывает влияния на аэродинамическое сопротивление, а его уменьшение ниже вызывает существенный рост аэродинамического сопротивления трубы. Исследования проведенные в экспериментальных

(диаметры 0,12 и 0,20м) и опытно-промышленном (диаметр 0,65м) образцах вихревых ПГР с простыми ТЗУ показали подобие относительных скоростей и . Поэтому для расчета распределения скоростей можно использовать безразмерный параметр , который удовлетворительно описывает эти профили для простых ТЗУ. Значение абсолютных скоростей V_{ϕ} и V_x определяется значением средней скорости потока в зоне пылеулавливания. В рассматриваемых конструкциях относительный диаметр выходного патрубка изменяется от 0,25 до 0,40. Так же установлено, что увеличение значения способствует уменьшению зоны обратных токов и улучшает центробежную сепарацию мелкодисперсной пыли из пылегазовой смеси.