

Введение На кафедре машин и аппаратов химических производств КНИТУ ведется разработка циклонного оборудования для технологических и санитарных процессов, в которых образование жидких шламовых отходов недопустимо или когда переработка последних экономически не рентабельна. Традиционный способ пылеулавливания (см. рис. 1) состоит в том, что пылегазовая смесь вводится в закручивающее устройство 1, приобретает вращательно-поступательное движение в кольцевом канале между внутренней стенкой циклона 2 и наружной стенкой выхлопной трубы 3 по нисходящей винтовой спирали. Твердые частицы под действием центробежной силы перемещаются на периферию к стенке корпуса циклона и далее движутся по цилиндрической и конической стенке 4 вниз и выводятся из разгрузочного штуцера 5 в бункер (на схеме не показан). Внутренний восходящий вихрь формируется внутри бункера и, взаимодействуя с внешним пылегазовым неочищенным, движется к выхлопному патрубку 3. На наш взгляд, в процессе взаимодействия внешнего нисходящего вихря с внутренним восходящим при определенных расходных и конструктивных параметрах циклона происходит проникновение мелких твердых частиц из внешнего концентрированного во внутренний очищенный. Вынос твердых частиц в выходной патрубок снижает эффективность пылеуловителя. В данной работе делается попытка дать анализ влияния аэродинамической обстановки в зоне взаимодействия восходящего очищенного и нисходящего неочищенного вихрей на эффективность Рис. 1 - Схема противоточного циклона пылеулавливания на основе рассмотрения расходных и конструктивных параметров отечественных циклонов. Наибольшее применение в практике отечественного пылеулавливания находят основные типы циклонов: НИИОГАЗ (ЦН -11, ЦН - 15, ЦН - 15У, ЦН - 24, СДК - ЦН- 33, СК - ЦН - 34, СК - ЦН - 40 и СК - ЦН - 34М), СИОТ и ВЦНИИОТ [1, 3 - 5]. Закрученный поток, формируемый входным закручивающим устройством, является трехмерным и для его описания необходимо использование локальных параметров (поля скоростей V_x - осевой, V_ϕ - окружной и V_r - радиальной компонент полной скорости V , а также поле давления - P) и интегральных параметров (количества движения K и момента количества движения M). Наиболее важным из них следует считать момент количества движения относительно оси циклона, который определяет основные особенности течения закрученного потока. Действительный безразмерный параметр крутки нисходящего вихря рассчитывался по формуле [2]: где $d/2$ - наружный радиус выхлопной трубы, м; $R = D/2$ - внутренний радиус циклона, м; плотность газа, кг/м³. Расчетный безразмерный параметр крутки на входе в циклон v_x , вычисленный по средним параметрам, определялся по выражению [9]: $v_x = (F_k/F_{vх})(R_{vх}/R) = /K_t$, (2) где $F_k = (D^2-d^2)/4$ - площадь кольцевого сечения, м²; $F_{vх} = a_v$ - площадь входного патрубка, м²; $R_{vх}$ - радиус входного момента количества движения, м; $K_t = F_{vх} / F_k$ - конструктивный параметр крутки; $=R_{vх}/R$ - относительный радиус входного

момента количества движения. Основными конструктивными параметрами, влияющими на аэродинамику, гидравлическое сопротивление и эффективность пылеулавливания являются: конструктивный параметр крутки K_t ; кольцевой параметр $= d/D$, относительная высота $= v/D$ и ширина $= a/D$ тангенциального входа и относительные высоты выхлопной трубы $= l/D$, цилиндрической $\zeta = h_c/D$ и конической $\kappa = h_k/D$ частей циклона, а также относительный диаметр разгрузочного штуцера $\theta = d_0/D$. Режимными параметрами процесса в циклоне служат скорость движения пылегазовой смеси на входе, распределение скоростей в зонах кольцевого сечения, в цилиндрической и конической частях, а также в выхлопном патрубке. Анализ влияния режимных параметров на эффективность пылеулавливания. Скорость движения газа во входном патрубке ($V_{вх}$) в зависимости от конструктивных параметров противоточных циклонов различной модификации варьируется в пределах от 15 до 25 м/с [3-5]. С увеличением скорости движения газа увеличивается эффективность пылеулавливания и растет гидравлическое сопротивление процесса. Однако, начиная с некоторой скорости, дальнейшее ее увеличение приводит к снижению эффективности пылеулавливания и увеличению сопротивления, что объясняется аэродинамической структурой потока в циклоне. Распределение скоростей в зоне кольцевого течения циклона Авторы [6] исследовали аэродинамическую структуру потока в кольцевых каналах и трубах при значениях безразмерного параметра крутки на входе $v_x = 2,1 \div 8,4$ в автоточном режиме. На рис. 2 представлены графики зависимости $\varphi = V_\varphi/V_{ср}$ и $V_x = x/V_{ср}$ от безразмерного радиуса $= r/R$, где $V_{ср}$ - среднерасходная скорость движения газа в кольцевом канале или в трубе. Как видно из графика, интенсивная крутка является причиной образования обратных токов при $\leq 0,4 \div 0,5$. А при значениях безразмерного параметра крутки на входе $v_x > 8 \div 10$ обратные токи становятся более интенсивными и могут занимать большую область значений $\leq 0,6 \div 0,7$. Поэтому образование обратных восходящих токов в нисходящем вихре на выходе из кольцевого канала, по-видимому, вызывает транспорт мелких частиц из внешнего вихревого потока во внутренний восходящий и их унос в выхлопном патрубке. Чем более интенсивный сток твердых частиц, а этому подвержены более мелкие частицы диаметром $d_{ч} 5 \div 10$ мкм, тем более уменьшается как общая η , так и фракционная η_1 эффективность пылеулавливания. Поэтому при организации процесса пылеулавливания в циклонах (при оптимальных геометрических параметрах) безразмерный параметр крутки на входе v_x должен выбираться в пределах от 5 до $8 \div 10$. Сложная аэродинамическая структура потока в противоточном циклоне создается из-за конструктивных особенностей различных зон пылеулавливания: входной зоны, кольцевой, цилиндрической и конической. Пылеулавливание и пылеудержание в каждой из зон определяется не только дисперсным составом и плотностью частиц пыли, но и аэродинамическим распределением скоростей V_φ , V_x , V_r газового потока и

статическим давлением P . Во входной зоне начальное пылеулавливание определяется геометрией закручивающего устройства: конструктивным параметром крутки K_t , кольцевым параметром и относительной высотой выхлопного патрубка. В кольцевом канале с относительной высотой c идет трансформация поступательного движения во вращательно - поступательное с распределением скоростей, подобным распределению скоростей, изображенному на рис. 2. Конструктивными параметрами кольцевого канала являются кольцевой параметр и относительная высота c . Кольцевой параметр у отечественных циклонов меняется от 0,22 до 0,59 (см. табл. 1 и табл. 2). При уменьшении относительного диаметра выхлопной трубы за счет повышения скорости движения газа в ней сильно возрастает гидравлическое сопротивление в циклоне. Как правило, при уменьшении кольцевого параметра меняется и относительная высота. В цилиндрической зоне пылеулавливания статическое давление под действием тангенциальной составляющей скорости V_ϕ падает от его периферии к центру и на оси циклона создается сильное разрежение, которое благоприятствует образованию внутреннего восходящего вихря. Во внешнем нисходящем вихре, направленные во внутреннюю сторону сжимающие усилия находятся в равновесии с центробежными силами. Пограничный пылегазовый слой у стенки циклона движется вращательно-поступательно вниз с меньшей скоростью и испытывает меньшие центробежные силы. Таблица 1 - Относительные размеры высокопроизводительных циклонов типа ЦН с постоянным отношением $d/D=0,59$

Тип аппарата	α	град	a/D	b/D	l/D	h_c/D	h_k/D	l_b/D	d_0/D	H/D
ЦН-11	11	0,26	0,48	1,56	2,06	2,0	0,3	0,3÷0,4	4,36	ЦН-15
15	0,66	1,74	2,26	2,0	0,3	4,56	ЦН-15У	15	0,66	1,50
1,51	1,5	0,3	3,31	ЦН-24	24	1,11	2,11	2,11	1,75	0,4
4,26	Рис. 2 - Графики зависимости относительных ϕ и χ составляющих скорости от при значениях $\theta_{вх}$: 1 - 8,4; 2 - 4,4; 3 - 2,75; 4 - 2,1									

Таблица 2 - Относительные размеры высокоэффективных циклонов типа СК и СДК

Тип аппарата	d/D	a/D	b/D	l/D	h_c/D	h_k/D	l_b/D	d_0/D	H/D
СК-ЦН-34М	0,22	0,18	0,40	0,70	0,40	2,60	0,30	0,18	3,30
СДК-ЦН-33	0,33	0,26	0,535	$\leq 0,835$	0,535	3,0	0,2÷0,3	0,33	$\leq 3,84$
СК-ЦН-34	0,34	0,21	0,515	$\leq 0,815$	0,515	2,11	0,2÷0,3	0,23	$\leq 2,93$
СК-ЦН-40	0,40	0,15	0,38	0,70	0,535	3,0	0,3	0,20	3,835

В конической зоне пылеулавливания у стенки увеличивается перепад давления, и сжимающее газовой поток усилие становится намного больше центробежной силы, и поток в виде вторичного восходящего вихря движется внутрь, транспортируя с собой много мелких частиц пыли. Крупные частицы при своем движении отбрасываются к стенке аппарата и уносятся нисходящим вихрем вниз к пылесадительному бункеру. Конструктивными параметрами конической зоны являются относительная высота k и диаметр разгрузочного штуцера 0 . В табл. 3 представлены для различных типов циклонов значения конструктивных параметров: $F_{вх}/D^2$, F_k/D^2 , K_t , v_x , $\theta_{вх}$, рассчитанных по уравнению (2) и коэффициента гидравлического сопротивления ζ_0 для циклона диаметром $D = 500$ мм [5]. Анализ данных этой таблицы показывает,

что для высокопроизводительных циклонов возможно повышение эффективности их работы за счет изменения конструктивных параметров уменьшения площади входного патрубка $F_{вх}$ и увеличения радиуса $r_{вх}$, что позволит увеличить безразмерный входной момент количества движения $\theta_{вх}$ до $5 \div 8$. Также возможно некоторое повышение эффективности пылеулавливания высокоэффективных циклонов СДК - ЦН - 33 и СК - ЦН - 34 до значений $\theta_{вх} = 8 \div 10$. Как видно из этой таблицы, большему значению коэффициента гидравлического сопротивления ζ_0 соответствует и большее значение безразмерного параметра крутки на входе в циклон $\theta_{вх}$, что подтверждает предположение о возможности рассмотрения эффективности пылеулавливания по параметру $\theta_{вх}$ для расчета аналогичного циклонного тепло-массообменного и газо-пылеулавливающего оборудования [7,9].

Таблица 3 - Расчетные значения конструктивных параметров высокопроизводительных и высокоэффективных циклонов (для $R_{вх} = (D+a)/2$)

Тип циклона	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-24	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М	СК-ЦН-40	СК-ЦН-33	FBX/D2	FK/D2	Кт	$\theta_{вх}$	ζ_0
	0,096	0,132	0,132	0,222	0,110	0,072	0,057	0,0141	0,512	0,694	0,747	0,659	0,697
	0,188	0,258	0,258	0,433	0,158	0,096	0,086	0,202	1,214	1,18	1,15	1,264	3,936
	2,868	2,868	1,709	7,68	12,29	13,36	6,25	250	163	170	80	1150	2000

Анализ работы циклонов типа СИОТ и ВЦНИИОТ, выполненный авторами [3,4] показал, что по степени очистки они равноценны циклону ЦН - 15 и уступают циклону ЦН - 11. Выводы 1. Для совершенствования аппаратного оформления существующих отечественных противоточных циклонов и разработки новых предлагается анализ конструктивных и расходных параметров осуществлять по безразмерному параметру крутки $\theta_{вх}$. 2. Оптимальными значениями параметра крутки, при которых не образуются интенсивные обратные токи, способствующие транспорту частиц пыли в выхлопную трубу являются значения $\theta_{вх} = 5 \div 8$ (10). 3. При разработке новой конструкции циклона или вихревого пылеуловителя необходимо исследовать аэродинамическую структуру пылегазовой смеси. 4. На основе анализа работы противоточных циклонов на кафедре машин и аппаратов химических производств КНИТУ разработан вихревой пылегазоразделитель (ВПГР), обладающий повышенной эффективностью пылеулавливания.