

УДК 621.928.37+621.928.93

**Д. И. Мисюля**, аспирант (БГТУ);  
**В. В. Кузьмин**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);  
**В. А. Марков**, доктор технических наук, профессор (БГТУ)

### КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСКРУЧИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЦИКЛОНОВ

В статье представлен аналитический обзор существующих конструкций раскручивающих устройств для снижения гидравлического сопротивления циклонов, описаны их основные достоинства и недостатки. Для уменьшения энергопотребления циклонов наиболее перспективным является применение раскручивающих устройств, устанавливаемых внутри выхлопной трубы, которые, не ухудшая эффективность очистки, позволяют значительно снизить сопротивление. Установка раскручителя на входе в выхлопную трубу дает больший эффект в снижении потерь давления, однако это способствует увеличению выноса частиц из циклона.

In the article the short literary review of existing devices for decrease in hydraulic resistance of cyclones is resulted, their basic merits and demerits of various designs of deswirlers are described. The most perspective for reduction pressure drop across cyclones is application of the untwisting devices established in an exhaust pipe, which without worsening efficiency of clearing allow to lower pressure drop considerably. Installation of the deswirler on an input in an exhaust pipe gives greater effect in decrease in pressure drop, however it promotes increase in a removal of corpuscles from the cyclone.

**Введение.** Целью данной работы является обзор и анализ существующих раскручивающих устройств (регенераторов давления), позволяющих перераспределить составляющие скорости на выходе и уменьшить поперечную циркуляцию в выхлопной трубе, что является продолжением работы [1].

Первое раскручивающее устройство было запатентовано в Германии в 1897 г. [2]. Оно имело вид крестовины и устанавливалось ниже выхлопной трубы. Наблюдения в заводских условиях показали [3], что подобные устройства оказывают малое влияние на вращающийся поток, а следовательно и на уменьшение потерь

давления, что, по-видимому, объясняется недостаточной высотой крестовины.

**Основная часть.** В зависимости от конструктивных особенностей и принципа работы раскручиватели устанавливаются в нижней части циклона, на входе или внутри выхлопной трубы и на выходе из циклона.

**Раскручивающие устройства, устанавливаемые в нижней части циклона.** Для уменьшения энергии вращательного движения восходящего в циклоне вихревого потока, учеными предложены раскручивающие устройства, располагаемые в нижней части циклона (рис. 1).

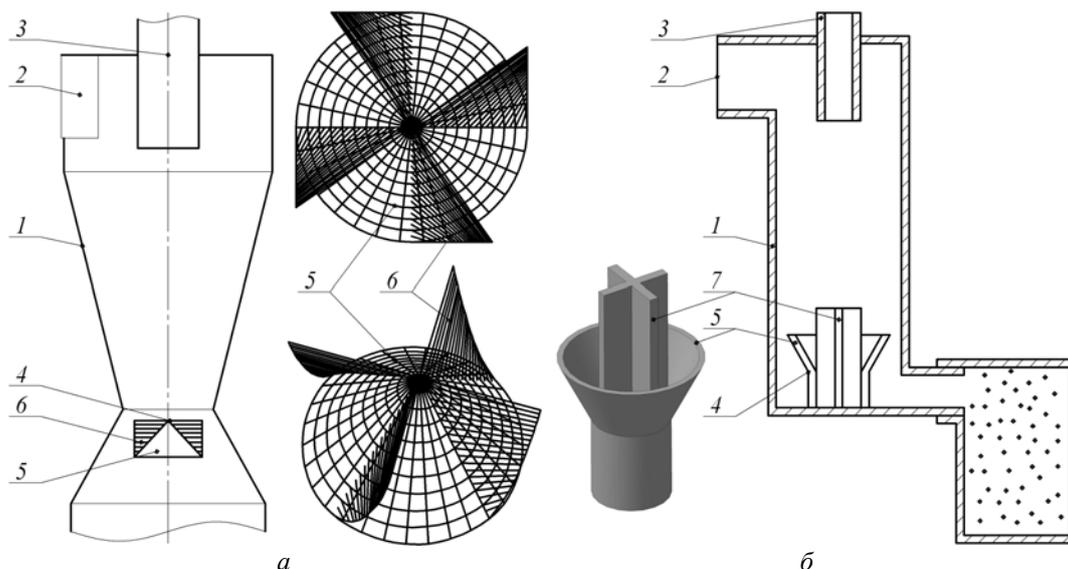


Рис. 1. Раскручиватели, устанавливаемые в нижней части циклона:  
*a* – в виде конуса с лопастями [4]; *б* – в виде конуса с крестовиной [5]:  
 1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – выхлопная труба; 4 – раскручиватель;  
 5 – конус; 6 – направляющие лопасти; 7 – крестовина

На рис. 1, *а* изображен циклон с установленным в его нижней части раскручивателем, представляющим собой изогнутые в виде параболы для плавного набегания газа лопасти, прикрепленные к конусу [4].

К раскручивателям, устанавливаемым в нижней части циклона, также относится устройство, состоящее из крестовины и конуса (рис. 1, *б*) [5].

**Раскручивающие устройства, устанавливаемые на входе выхлопной трубы.** Наиболее простыми раскручивателями, устанавливаемыми на входе выхлопной трубы, являются устройства в виде направляющих лопастей различной формы (рис. 2, *а–в*) [3, 6, 7].

С. Б. Шеферд и С. Е. Лэпл [7] отмечают, что установка выпрямляющих лопастей (рис. 2, *в*) несколько ниже выхлопной трубы приводит к снижению гидравлического сопротивления на 35–50%, причем изогнутые лопатки немного эффективнее в снижении потерь давления, чем прямые. Эффективность выпрямляющих лопаток практически не зависит от ширины входного сечения для газового потока, но снижается при уменьшении диаметра выхлопной трубы, особенно при большой ширине входного сечения циклона. Авторами [7] это явление объясняется увеличением относительной величины трения у стенок выхлопной трубы из-за ее уменьшения.

Радиально-лопастной раскручиватель (рис. 2, *з*) состоит из трех радиальных лопастей с углом входа  $30^\circ$  к горизонту и плавным переходом в вертикальное положение. Устройство устанавливается так, что его лопасти выступают из выхлопной трубы на четверть диаметра циклона. С помощью данного раскручителя достигается восстановление 30–40% затрачиваемой энергии, однако его использование приводит к ухудшению качества очистки на 1,5–2,5% из-за изменения структуры восходящего потока и появления на входе выхлопной трубы сильных радиальных стоков [8]. Подобной конструкции раскручиватель нашел применение в циклонах ЦМС-27, специально разработанных для использования в малых котельных и для установок промышленной теплотехники, работающих на естественной тяге [9].

Похожей конструкции раскручиватели (рис. 2, *д, е*), состоящие из лопастей с прикрепленным к ним центральным телом, были разработаны и другими учеными [10, 11].

Конический раскручиватель, предложенный А. Д. Мальгиным [12], имеет вид усеченного конуса и является продолжением выхлопной трубы на протяжении всей сужающейся части циклона (рис. 2, *ж*). Он состоит из лопастей, каждая из которых представляет в поперечном

сечении логарифмическую спираль. Наличие лопастей позволяет разделить газовый поток, изменить его направление и снизить тангенциальные скорости. Благодаря большой длине лопастей этот процесс осуществляется плавно на всем протяжении конуса. Исследования, проведенные в Семибратовском филиале НИИОГАЗа, показали [8], что влияние данного раскручителя на аэродинамику циклона зависит от конструкции аппарата. В циклонах серии «ЦН» по мере снижения их сепарационных качеств положительное влияние конического раскручителя на технико-экономические показатели циклона растет. Например, применение его в циклонах ЦН-24 снижает потери давления на 16–18% и увеличивает степень очистки с 74 до 77% [8]. Оборудование циклона ЦН-15 данным раскручивающим устройством уменьшает гидравлическое сопротивление на 19–20% и сохраняет качество очистки. Однако в циклоне ЦН-11, наряду с уменьшением сопротивления он приводит к снижению эффективности очистки на 1–2% [8]. Причина состоит в том, что удлинение выхлопной трубы в виде конуса с продольными щелями обеспечивает равномерный расход газа по длине циклона, выравнивает радиальные токи, но несколько снижает вращательную скорость.

Конический раскручиватель стабилизирует поток, видоизменяя характер распределения окружной скорости и радиального стока, поэтому наиболее приемлем для высокопроизводительных циклонов типа ЦН-24 и ЦН-15. Аэродинамическая особенность циклонного процесса, вызванная действием конического раскручителя, характеризуется уменьшением отрицательного давления в пылесборном бункере, что является положительным качеством с точки зрения эксплуатации пылевыгрузных устройств. Применение данного устройства в батарейных циклонах снижает сопротивление на 15–18% без ухудшения качества очистки [13].

Аналогичный раскручиватель изображен на рис. 2, *з* [14]. Выхлопная труба циклона снабжена профилированными лопатками, опущенными в корпус циклона. Чтобы газовый поток поступал на лопатки сбоку, основание под ними закрыто листом.

К раскручивателям, устанавливаемым на входе в выхлопную трубу, также относятся устройства, имеющие спиральную форму. А. Дж. Тер Линден уменьшил потерю давления на 20–25% путем помещения спирали на входе в выхлопную трубу [15]. Другие авторы [16] предложили для снижения аэродинамического сопротивления циклона оснащать его на входе выхлопной трубы по наружной поверхности ленточной спиралью с направлением навивки, противоположном направлению движения газового вихря.

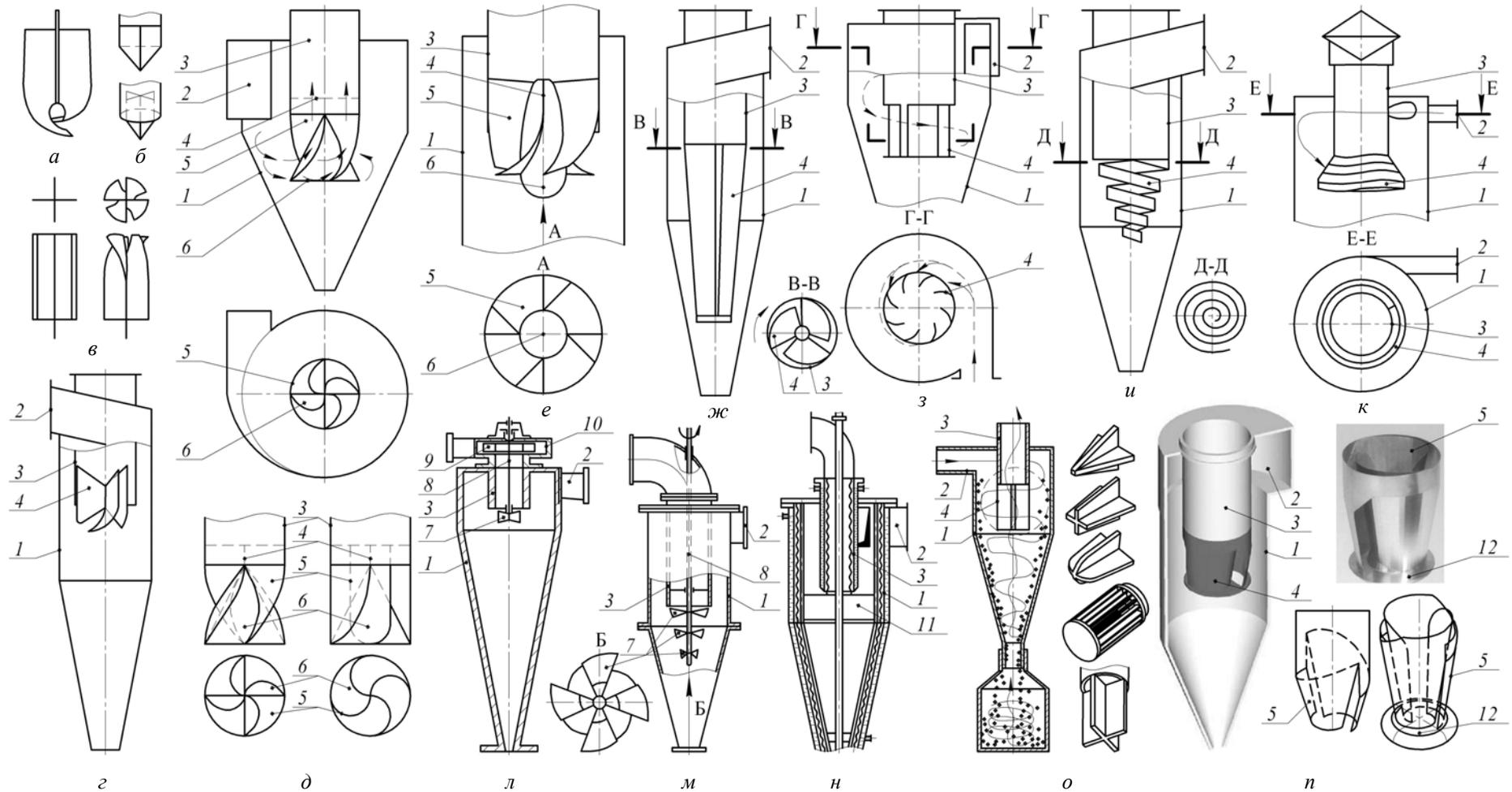


Рис. 2. Раскручиватели, устанавливаемые на входе выхлопной трубы:  
*a* – двухлопастной [3]; *б* – четырехлопастной [6]; *в* – четырехлопастной с прямыми и изогнутыми лопатками [7];  
*г* – радиально-лопастной [8]; *д* – авторов [10]; *е* – авторов [11]; *ж* – конический лопастной [12];  
*з* – в виде профилированных лопаток [14]; *и* – спиральный пылеотбойник [17];  
*к* – спиральные ребра [18]; *л* – в виде крыльчатки [19]; *м* – в виде крыльчаток [21];  
*н* – зачистное устройство [22]; *о* – фирмы LG Electronics Inc. [5]; *п* – HURRIVANE [23];  
 1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – выхлопная труба; 4 – раскручиватель;  
 5 – лопасти; 6 – центральное тело; 7, 9 – крыльчатки; 8 – вал; 10 – улитка;  
 11 – зачистное устройство; 12 – запорная пластина

В Семибратовском филиале НИИОГАЗа проведены также испытания циклона ЦН-15 диаметром 300 мм, оборудованного раскручивающим устройством – спиральным пылеотбойником (рис. 2, и), выполненным из металлической ленты в виде параболоидной пружины, свернутой по спирали Архимеда, уравнение которой  $r = 26 \cdot \varphi / (2 \cdot \pi)$ . Широким основанием спираль крепится к выхлопной трубе, а своей вершиной опускается в корпус циклона на полтора диаметра выхлопной трубы. Применение данного раскручивающего устройства снизило гидравлическое сопротивление циклона с 500 до 460 Па, т.е. на 8%, одновременно при этом уменьшилась эффективность с 87 до 86%. Унос пыли увеличился на 8%. Это свидетельствует о том, что уменьшение сопротивления циклона при установке раскручивателя на входе в выхлопную трубу достигается не только за счет перераспределения скоростей в выходном канале, но и вследствие общего падения «крутки» потока [17].

Для выпрямления воздушного потока входное отверстие выхлопной трубы циклона предложено оборудовать спиральными ребрами (рис. 2, к) [18].

Н. А. Козулин и А. И. Ершов [19] предложили устройство в виде крыльчатки (рис. 2, л) для преодоления сопротивления в циклонном аппарате. Под действием восходящего вихря расположенная в корпусе 1 крыльчатка 7 приводит во вращение сидящую с ней на одном валу 8 крыльчатку 9, находящуюся в улитке 10. Передав часть энергии на вращение крыльчатки 7 и потеряв крутку, поток очищенного газа направляется в улитку 10. За счет вращения крыльчатки 9 поток получает энергию в виде гидродинамического напора, расходуемого на преодоление сопротивления последующего газохода. Использование энергии вращения внутреннего отходящего потока с помощью данного раскручивателя позволяет снизить мощность, расходуемую на преодоление сопротивления циклонов, в среднем на 18–20% [20].

Похожее решение с целью снижения сопротивления циклонных пылеуловителей за счет создания вентиляторного эффекта в центральной их зоне позже было предложено Н. И. Стояновым с соавторами [21]. Циклонный пылеуловитель (рис. 2, м) содержит цилиндрикоконический корпус 1, тангенциальный входной патрубок 2, осевую выхлопную трубу 3 с закрепленным на ее входе на валу 8 лопастным ротором, представляющим собой ряд крыльчаток 7, размещенных вертикально с уменьшающимся сверху вниз диаметром и лопастями, максимально перекрывающимися межлопастные промежутки соседней крыльчатки. Крыльчатки 7 ротора, плавно ввинчиваясь в восходящий

вихрь, раскручивают последний, в результате чего снижают энергию его крутки и сопротивление циклона в целом.

Поскольку в обычных циклонах энергия вращательного движения газа на выходе из аппарата безвозвратно теряется, авторами [22] предложена конструкция циклонного теплообменника (рис. 2, н), в котором эта энергия используется для зачистки стенок, являющихся теплопередающими поверхностями, от налипающих на них частиц пыли. Зачистное устройство 11 состоит из вала, закрепленного в подшипниках, и насаженных на него крыльчатки и специальной рамы. Крыльчатка, установленная на валу у нижнего среза выхлопной трубы, под действием восходящего вихревого потока приводится во вращательное движение и передает его валу и раме, стальной трос которой защищает поверхность стенок от липких осадков. Благодаря частичному спрямлению потока в выхлопной трубе, потери напора на гидравлическое сопротивление в данном аппарате ниже на 10–15%, чем в обычном циклоне ЦН-15У [22].

На рис. 2, о представлен циклон с раскручивающими устройствами, предложенными фирмой LG Electronics Inc. (Ю. Корея). Применение крестообразного раскручивателя снижает сопротивление циклона с 4000–4500 до 2800–3100 Па [5].

Весьма широкое применение за пределами постсоветского пространства получило раскручивающее устройство HURRIVANE (рис. 2, п). Раскручиватель состоит из симметрично расположенных лопастей 5 (обычно двух), имеющих форму боковой поверхности усеченного конуса, и присоединяется к нижнему краю выхлопной трубы, являясь ее продолжением. К лопастям 5 снизу может быть прикреплен запорная пластина 12 с изогнутым в сторону от выхлопной трубы краем, предотвращающая перемещение в выхлопную трубу из камеры циклона зоны пониженного давления [23]. Благодаря направляющим лопастям 5 газовый поток получает как радиальное, так и аксиальное ускорение. В результате газ входит в выхлопную трубу с меньшими потерями. При движении газового потока в устройстве HURRIVANE происходит преобразование энергии вращательного движения в статическое давление, что также снижает общие потери давления. Данное направляющее устройство позволяет снизить гидравлическое сопротивление циклона на 30% при сохранении степени очистки [24].

**Раскручивающие устройства, устанавливаемые внутри выхлопной трубы.** Сочетанием различного рода центральных вставок и направляющих лопастей учеными была разработана серия раскручивателей, представленных на рис. 3.

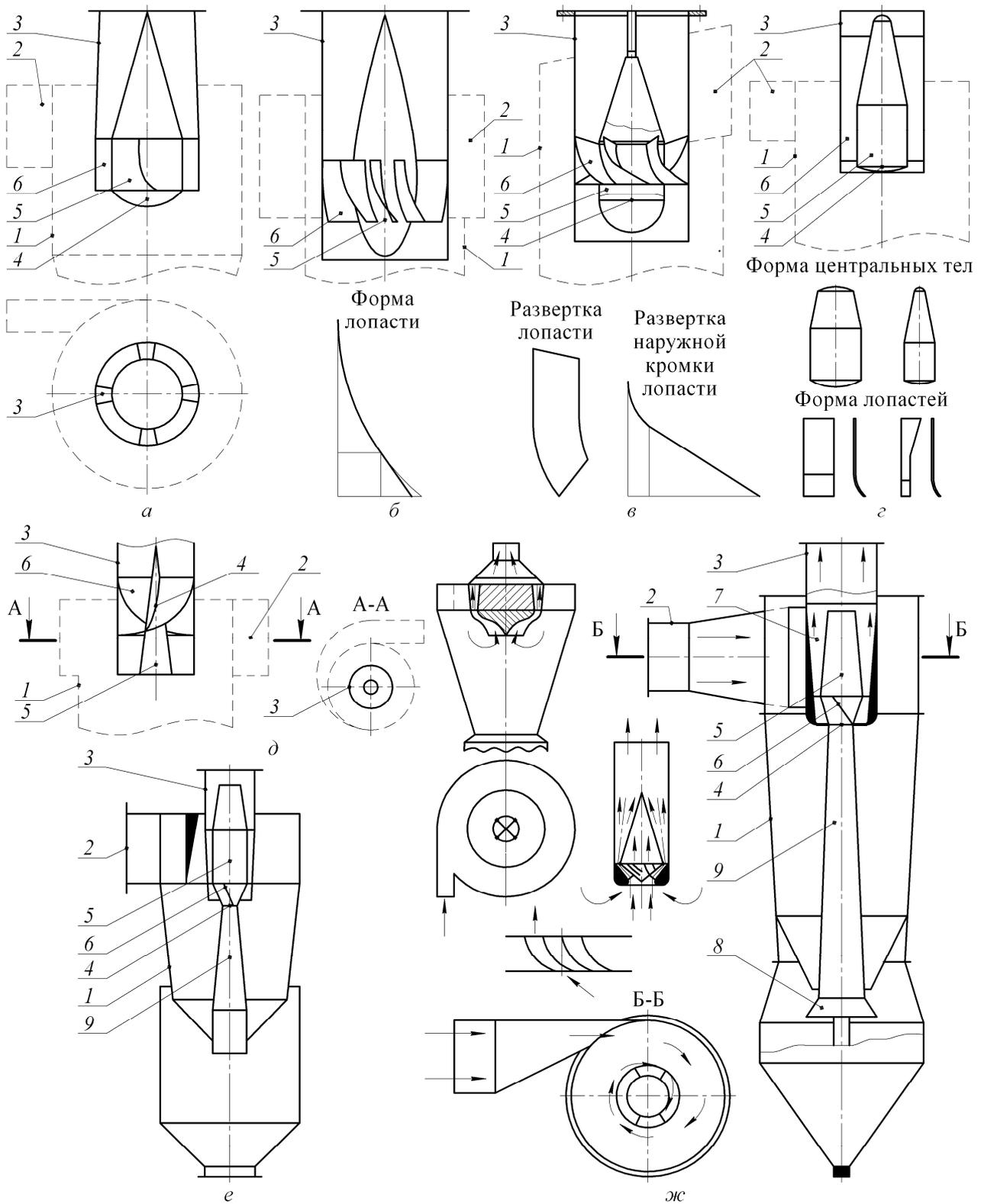


Рис. 3. Лопастные раскручиватели, устанавливаемые внутри выхлопной трубы:  
 а – фирмы Kastrup KG [25]; б – винто-лопастной [7];  
 в – Брауна и Страуса [26]; г – авторов [27];  
 д – авторов [28]; е – Шиле [15]; ж – Барта [29];  
 1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – выхлопная труба;  
 4 – раскручиватель; 5 – центральное тело; 6 – лопасти;  
 7 – диффузор; 8 – конусообразная вставка; 9 – конус

Фирмой Kastrup KG было запатентовано раскручивающее устройство (рис. 3, а), состоящее из закрытой с обоих концов вставки с прикрепленными к ней направляющими лопастями [25].

Аналогичной конструкции так называемый винто-лопастной раскручиватель (рис. 3, б) был исследован в Семибратовском филиале НИИО-ГАЗа [7]. Применение данного раскручивателя с шестью направляющими лопастями приводит к снижению потерь давления в циклонах ЦН-11 и ЦН-15 соответственно на 22–24% и 20% без ухудшения степени очистки. Также установлено, что абсолютные значения отрицательных давлений в пылесборнике – в центре и на боковой стенке – при наличии в выхлопной трубе раскручивающего устройства указанного типа снижаются на 10–15% [7].

В циклонах СДК-ЦН-33, имеющих малую площадь поперечного сечения выхлопной трубы, применение раскручивателя практически не снижает гидравлическое сопротивление, которое обусловлено, главным образом, интенсивной циркуляцией в камере завихрения и наличием больших осевых скоростей на выходе.

Дж. М. Браун и В. Страус [26] для снижения потерь давления в циклоне предложили раскручиватель, состоящий из центрального тела с эллиптической передней частью, вокруг которой расположен ряд лопастей, и конической задней частью (рис. 3, в). При установке в выхлопную трубу центрального тела без лопастей коэффициент сопротивления циклона увеличился на 1,5%, а центрального тела с 2, 4, 8 и 16 лопастями – уменьшился. При использовании стандартного циклона С. Дж. Стейрманда диаметром 0,2 м, наибольшее снижение гидравлического сопротивления (на 22,2%) было достигнуто с помощью раскручивателя с восемью лопастями. Эффективность очистки при этом практически не изменилась.

Влияние центрального тела с направляющими лопастями (рис. 3, г, д) на сопротивление циклонных аппаратов исследовано и другими учеными [27, 28]. Было установлено, что значительную роль играет число направляющих лопастей. Авторами [27] положительный результат в снижении потерь давления был достигнут только с помощью однолопастного раскручивающего устройства. Применение раскручивателя с двумя и более лопастями наоборот увеличило сопротивление циклона.

О. Шиле, применив твердый центральный стержень, выполненный в виде трубки Вентури с лопатками на входе выхлопной трубы (рис. 3, е), уменьшил коэффициент потерь на трение с 17,4 до 10, т.е. достиг эффективного снижения сопротивления на 42% [15].

В. Барт [29] приводит описание циклона диаметром 4 м, в котором потери давления, связанные с вращением потока, восстанавливаются в двух осевых вставках (рис. 3, ж). Направляющие лопатки б преобразуют тангенциальную составляющую скорости в осевую, а в диффузоре 7 происходит нарастание статического давления. Конусообразная вставка 8 уменьшает перепад давления и устраняет повторный унос пыли из бункера. Конус 9, препятствуя образованию вторичных вихрей, уменьшает гидравлические потери. Гидравлическое сопротивление пылеуловителя составляет 300 Па при производительности 80 000 м<sup>3</sup>/ч.

Пластинчатый раскручиватель типа «звездочка» (рис. 4, а) был установлен в циклоне диаметром 3 м ( $D_n/D = 0,58$ ,  $H_{ц}/D = 2,2$ ) для улавливания фрезерного торфа на Шатурской ГРЭС [3]. Раскручиватель состоял из 16 пластин высотой 2 м, что примерно соответствовало диаметру выхлопной трубы. По данным испытаний [3] коэффициент сопротивления при установке раскручивателя снизился с 3,9 до 1,63, а степень очистки воздуха несколько повысилась. Применение подобного же устройства в циклонах ЛИОТ не дало положительных результатов. При незначительном снижении коэффициента сопротивления эффективность разделения при улавливании угольной пыли уменьшилась с 88,1 до 85,3% [30]. Расхождение приведенных экспериментальных данных свидетельствует о том, что действие раскручивателя зависит также от конструкции циклона.

Специалисты машиностроительного завода Аугсбурга и машиностроительного общества Нюрнберга (ФРГ) разработали для снижения энергозатрат при очистке газа конструкцию циклона с перегородками в выхлопной трубе, представленную на рис. 4, б [31]. Запыленный газ через спиралеобразный входной патрубок 2 поступает в цилиндрическую часть корпуса 1 циклона, движется по спирали вниз и очищается от пыли, которая отбрасывается к стенке корпуса 1 аппарата и падает вниз. Очищенный воздух входит в расположенные в нижней части выхлопной трубы 3, подобные турбине направляющие перегородки 5 и разделяется на отдельные потоки, перемещающиеся вверх параллельно друг другу и плавно изменяющие направление движения. Далее в постепенно расширяющемся канале 6 происходит преобразование части кинетической энергии газа в статическое давление.

П. Шмидт [32] предложил конструкцию циклона с двумя зонами разделения, в котором для ликвидации вращательного движения в выхлопной трубе установлено направляющее устройство – «винтовой диффузор» (рис. 4, в).

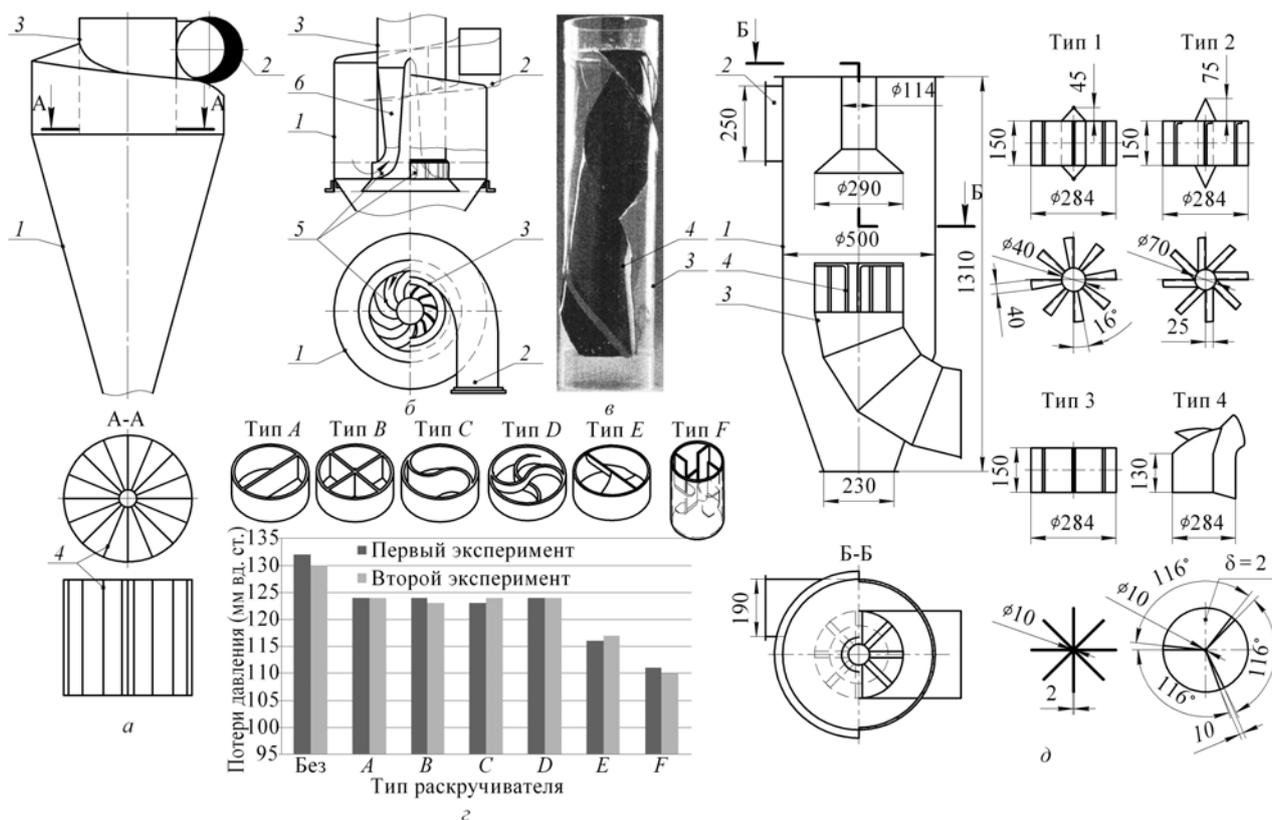


Рис. 4. Раскручивающие устройства, устанавливаемые внутри выхлопной трубы:  
 а – пластинчатый раскручиватель – звездочка [30];  
 б – устройство в виде турбины [31]; в – винтовой диффузор [32];  
 г – фирмы Samsung Gwangju Electronics Co [33]; д – розетки [34]:  
 1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – выхлопная труба;  
 4 – раскручиватель; 5 – направляющие перегородки;  
 б – расширяющийся канал

На рис. 4, г представлены специальные устройства для выпрямления потока в выхлопной трубе циклона, предложенные южнокорейской фирмой Samsung Gwangju Electronics Co [33]. Наиболее существенно (примерно на 16%) гидравлическое сопротивление циклона снижается с помощью выпрямляющего устройства типа F.

Варианты раскручивающих устройств исследованы и в ЦКТИ Е. Ф. Кирпичевым [34]. В выхлопных трубах прямооточного циклона устанавливались следующие типы раскручивающих розеток (рис. 4, д):

1) из восьми радиальных лопаток с углом входа  $\sim 30^\circ$  (к горизонту) и плавным переходом в вертикальное направление; плавные переходы лопаток (в плане) имеют форму секторов, расположенных *с интервалами*;

2) из восьми радиальных лопаток с углом входа  $\sim 30^\circ$  (к горизонту) и плавным переходом в вертикальное направление; плавные переходы лопаток (в плане) имеют форму секторов, расположенных *без интервалов*;

3) из восьми радиальных листов типа «звездочки» (в плане) без участка плавного перехода в вертикальное направление;

4) из трех радиальных лопаток с углом входа  $\sim 30^\circ$  (к горизонту) и плавным переходом в вертикальное направление; плавные переходы лопаток (в плане) имеют форму секторов, расположенных почти без интервалов.

Раскручивающие розетки типов 1, 2 и 4, лопатки которых имели на начальном участке плавные переходы, устанавливались так, что направление входа потока в них совпадало с тангенциальным подводом циклона. Все раскручивающие розетки устанавливались на одинаковых расстояниях от конца выхлопной трубы. Результаты исследований, приведенные в таблице, показали, что наибольшее снижение сопротивления циклона (на 42%) при практически одной и той же эффективности очистки достигается с помощью трехлопчаточного раскручивателя (тип 4), устанавливаемого в выхлопной трубе на начальном ее участке [34].

### Влияние раскручивающей розетки на характеристики циклона [34]

Тип раскручивающей розетки	Коэффициент сопротивления циклона	Степень очистки газов, %
Тип 1	55	~83
Тип 2	51	~83
Тип 3	85	~83
Тип 4	49	~83
Без розетки	85	~83

**Раскручивающие устройства, устанавливаемые на выходе из циклона.** По мнению некоторых исследователей (А. Дж. Тер Линдена, М. М. Зайцева, А. М. Гервасьева и др.) применение улиточного выхода газа позволяет снизить потери напора без ухудшения качества очистки [3]. По данным И. Е. Идельчика и М. Е. Штейнберга [35] улитка (рис. 5, а), установленная на выходе из выхлопной трубы, снижает потери давления в циклонах НИИОГАЗ в среднем на 3–5%.

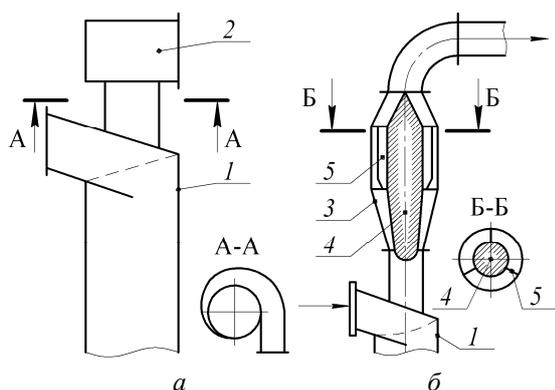


Рис. 5. Раскручиватели, устанавливаемые на выходе: а – улитка; б – кольцевой диффузор с пластинами; 1 – циклон; 2 – улитка; 3 – кольцевой диффузор; 4 – сердечник; 5 – пластина

Однако существуют противоположные мнения о ценности данного раскручивателя в качестве регенератора давления. Результаты проведенных Е. Ф. Кирпичевым испытаний показали, что улиточный отвод повышает потери напора [34].

Тем не менее улиточный выход газа нашел широкое применение. Он значительно сокращает габариты и предпочтителен в тех условиях, когда высота ограничена или отводящий газоход расположен под прямым углом к оси циклона.

К раскручивающим устройствам, устанавливаемым на выходе из циклона, можно отнести кольцевой диффузор с пластинами (рис. 5, б), позволяющий снизить коэффициент сопротивления циклона ЦН-15 при работе в сети с 137 до 115 (на 16%). [35]. Однако существенно большие габариты и металлоемкость ограничили его применение.

**Заключение.** Проанализировав существующие конструкции раскручивающих устройств для снижения гидравлического сопротивления циклонов, можно сделать следующие выводы:

1. Влияние раскручивающего устройства на характеристики циклона определяется не только конструкцией самого раскручивателя, но и конструкцией циклонного аппарата и расположением в нем раскручивающего устройства.

2. Раскручивающие устройства, устанавливаемые в нижней части циклона и на входе в выхлопную трубу, существенно снижают гидравлическое сопротивление, однако при этом уменьшается интенсивность вращения потока в сепарационной зоне циклона, что способствует увеличению выноса частиц в выхлопную трубу.

3. Устройства, устанавливаемые на выходе из циклона, не влияют на степень очистки, но в меньшей степени снижают потери давления.

4. Наиболее перспективным является применение раскручивающих устройств, устанавливаемых внутри выхлопной трубы, которые, не ухудшая эффективность очистки, позволяют значительно снизить энергопотребление циклонов.

### Литература

1. Мисюля, Д. И. Снижение потерь энергии в циклонах / Д. И. Мисюля // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганич. в-в. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 223–228.
2. Durch Fliehkraft wirkender Staubabscheider: pat. 99163 DE, kl. 50: Müllerei / Danneberg & Quandt in Berlin; patentirt 24.02.1897; ausgegeben 03.09.1898.
3. Первов, А. А. Экспериментальное исследование аэродинамики циклонов и разработка устройств для снижения их гидравлического сопротивления: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.01 / А. А. Первов. – М., 1973. – 175 с.
4. Zyklonabscheider: pat. 3624086 DE, IPC<sup>4</sup> B 04 C 5/103 / H. D. Maury, W. Buslowski, O. Kleffmann, B. Kraft; anmelder Orenstein & Koppel AG. – P 3624086.9; anmeldetag 17.07.1986; offenlegungstag 21.01.1988.
5. Device for reducing pressure loss of cyclone dust collector: pat. 6679930 US, IPC<sup>7</sup> B 01 D 45/12 / H. S. An, K. S. Lim, D. J. Kwak, B. S. You, S. H. Lee; assignee LG Electronic Inc. – 10/048125; filed 15.03.2000; pub. 20.01.2004.
6. Centrifugal separator: pat. 2010128 US, cl. 209–144 / G.D. Arnold; applicant – № 53341; filed 17.09.1931; pub. 06.08.1935.
7. Shepherd, C. B. Flow Pattern and Pressure Drop in Cyclone Dust Collectors / C. B. Shepherd, C. E. Lapple // Ind. Eng. Chem. – 1939. – Vol. 31, No. 8. – P. 972–984.
8. Первов, А. А. Аэродинамические исследования циклонов НИИОГАЗа с устройствами для

снижения гидравлического сопротивления / А. А. Первов // Механическая очистка промышленных газов / НИИОГАЗ; под ред. Б. Ф. Подошевного. – М.: Машиностроение, 1974. – С. 160–170.

9. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М. И. Биргер [и др.]; под общ. ред. А. А. Русанова. – М.: Энергия, 1975. – 296 с.

10. Straightening instrument and cyclone: pat. 5180257 US, IPC<sup>5</sup> B 65 G 53/60 / R. Narishima, T. Ogiri, Y. Kawamura, H. Iwakawa; applicant Onoda Cement Co, Ltd. – № 627462; filed 14.12.1990; pub. 19.01.1993.

11. Fluid stream directing means: pat. 2506298 US, cl. 183–80 / R. Griffen; applicant American Blower Corp. – № 767777; filed 09.08.1947; pub. 05.02.1950.

12. Циклон для сепарации газовых смесей: а. с. 224296 СССР, МПК В 01 d, кл. 50 е, 3/10 / А. Д. Мальгин. – № 1074878/23-26; заявл. 28.04.1966, опублик. 06.08.1968.

13. Мальгин, А. Д. Очистка дымовых газов в батарейных циклонах с рециркуляцией потока / А. Д. Мальгин, А. А. Первов, Д. М. Трофимов // Пром. энергетика. – 1972. – № 2. – С. 27–28.

14. Fliehkraftabscheider: pat. 49384 DDR, IPK B 02 h, kl. 50 e, 3/10 / W. Kutter; patentinhaber W. Kutter. – WP 50 e / 105737; anmeldetag 27.07.1964; ausgabetag 05.08.1966.

15. Страус, В. Промышленная очистка газов / В. Страус; пер. с англ. Ю. Я. Косого. – М.: Химия, 1981. – 616 с.

16. Пылеуловитель: пат. 2050981 РФ, МПК<sup>6</sup> В 04 С 5/12 / А. В. Друцкий, В. А. Смольский, А. Н. Фомкин; заявитель А. В. Друцкий, В. А. Смольский, А. Н. Фомкин. – № 93042188/26; заявл. 31.08.1993; опублик. 27.12.1995.

17. Первов, А. А. Исследование устройств для снижения сопротивления циклонов / А. А. Первов // Обеспыливающие устройства промышленной вентиляции: материалы семинара, Москва, 14–15 сентября 1970 г. / МДНТП. – М., 1970. – С. 101–105.

18. Первов, А. А. Конструктивные особенности устройств для снижения гидравлического сопротивления циклонов / А. А. Первов // Очистка дымовых газов: сборник. – М.: НИИИнформтяжмаш, 1971. – Вып. 3–71–5. – С. 17–24.

19. Устройство для преодоления сопротивлений в циклонном аппарате: а. с. 147444 СССР, кл. 50 е, 3 / Н. А. Козулин, А. И. Ершов. – № 722456/25-8; заявл. 20.03.1961; опублик. 21.05.1962.

20. Ершов, А. И. Исследование характеристик циклонного утилизатора тепла для запыленных газов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. И. Ершов; Ленингр. Ордена Трудового Красного Знамени технол. ин-т. – Л., 1961. – 12 с.

21. Циклонный пылеуловитель: а. с. 718133 СССР, МПК<sup>2</sup> В 01 D 45/14 / Н. И. Стоянов, А. Г. Большаков, Г. М. Долгих, Ю. В. Кванин. –

№ 2504794/23-26; заявл. 08.07.1977; опублик. 28.02.1980.

22. Усовершенствование аппаратурно-технологической схемы производства окиси цинка / А. И. Ершов [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1965. – № 6. – С. 54–57.

23. Dip pipe for facilities for the separation of substance mixtures: pat. 5275730 US, IPC<sup>5</sup> B 65 G 53/60 / J. Keuschnigg; patentinhaber Voest-Alpine Krems Finaltechnik GmbH, J. Keuschnigg. – № 838798; filed 18.03.1992; pub. 04.01.1994.

24. Schwaiger, G. Reducing pressure loss / G. Schwaiger // International Cement Review. – 1998. – March. – P. 59–63.

25. Fliehkraftstaubscheider: pat. 1507817 DE, IPC B 04 c, kl. 50 e, 3/10 / H. Weinberg; anmelder Kastrup KG. – P 1507817.8 (K 58957); anmeldetag 07.04.1966; offenlegungstag 02.01.1970.

26. Browne, J. M. Pressure drop reduction in cyclones / J. M. Browne, W. Strauss // Atmospheric Environment. – 1978. – Vol. 12, No. 5. – P. 1213–1221.

27. Griffiths, A. J. The use of centre bodies and de-swirl vanes in the exhaust of cyclone dust separators / A. J. Griffiths, P. Yazdabadi, N. Syred // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. – 1996. – Vol. 210, No. E3. – P. 193–203.

28. Improvements in or relating to dust separators: pat. 646087 GB, cl. 23, A1a / A. J. ter Linden; applicant Corinth Ltd. – № 7696/48; filed 13.03.1948; pub. 15.11.1950.

29. Barth, W. Entstaubung / W. Barth // Brennstoff-Wärme-Kraft. – 1955. – Bd. 7, No. 4. – S. 159–160.

30. Бутаков, С. Е. Аэродинамика систем промышленной вентиляции / С. Е. Бутаков. – М.: Профиздат, 1949. – 271 с.

31. Durch Fliehkraft wirkender Luftreiniger mit im Luft-Abzugrohr angeordneten festen Scheidewänden: pat. 134360 DE, kl. 50 e / Vereinigte Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbaugesellschaft Nürnberg. – Anmeldetag 03.10.1901; ausgegeben 02.09.1902.

32. Schmidt, P. Zyklonabscheider mit Schraubenspalt-Diffusor / P. Schmidt // Staub. Reinhaltung der Luft. – 1985. – Bd. 45, No. 4. – S. 163–165.

33. Air guide for cyclone discharge pipe: pat. 2418877 GB, IPC<sup>7</sup> B 04 C 5/12, B 04 C 5/26, B 04 C 5/28 / Jang-keun Oh, Sung-cheol Lee; applicant Samsung Gwangju Electronics Co, Ltd. – 0506920.8; filed 05.04.2005; pub. 12.04.2006.

34. Кирпичев, Е. Ф. Усовершенствование одиночных и батарейных циклонов и создание золоуловителей с прямоточными циклонными элементами / Е. Ф. Кирпичев // Очистка дымовых газов электростанций от золы: сборник / под ред. С. М. Шухера. – М.: БТИ ОРГРЭС, 1962. – С. 100–111.

35. Идельчик, И. Е. Некоторые результаты исследования циклонов ЦН-15, работающих в сети / И. Е. Идельчик, М. Е. Штейнберг // Хим. пром-сть. – 1970. – № 2. – С. 154–155.

Поступила 28.02.2011

УДК 621.928.37+621.928.93

**Д. И. Мисюля**, аспирант (БГТУ);  
**В. В. Кузьмин**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);  
**В. А. Марков**, доктор технических наук, профессор (БГТУ)

### ПРИМЕНЕНИЕ ЛОПАСТНОГО РАСКРУЧИВАТЕЛЯ В ЦИКЛОННЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯХ

В статье представлена оригинальная конструкция раскручивателя, располагаемого в выхлопной трубе циклона и состоящего из цилиндрической части с радиальными, изогнутыми по направлению вращения газового потока лопастями и конуса. Профиль лопастей соответствует дуге окружности с углом входа, определяемым аэродинамикой газового потока в выхлопной трубе, и углом выхода, соответствующим осевому движению газа. Приведены графические зависимости, показывающие влияние геометрических параметров и высоты установки раскручивателя на сопротивление и эффективность циклонов, и определены его оптимальные параметры. Применение данного раскручивающего устройства позволяет снизить гидравлические потери в циклонных пылеуловителях ЦН-11 и ЦН-15 соответственно на 28–30% и 26–27,5%. Степень очистки при этом остается на прежнем уровне.

In the article the original design of the untwisting device which had in the exhaust tube of the cyclone separator and consisting of a cylindrical part with the radial, bent on a direction of twirl of a gas stream blades and a cone is presented. The profile of blades matches to a circular arc with an entrance angle defined by aerodynamics of a gas stream in the exhaust tube, and an outlet angle matching to axial traffic of gas. The graphical dependences showing the influence of geometric parameters and installation altitude of the untwisting device on pressure drop and efficiency of cyclone separators are resulted and its optimum parameters are defined. Application of the given deswirling device allows to lower hydraulic losses in cyclonic dedusters CN-11 and CN-15 accordingly on 28–30% and 26–27,5%. Separation efficiency thus remains at the same level.

**Введение.** По мере развития индустрии, увеличения единичной мощности технологических агрегатов возрастает количество промышленных выбросов в атмосферу, являющихся частью исходных, промежуточных или конечных продуктов, участвующих в технологическом процессе. С одной стороны, эти вещества могут представлять собой ценные материалы и их утилизация позволит снизить расход сырья и реагентов, а также себестоимость выпускаемой продукции. С другой стороны, они загрязняют окружающую атмосферу, вызывают разрушение строительных сооружений и оборудования, негативно влияют на здоровье людей. Таким образом, очистка промышленных выбросов с отходящими газами представляет одну из самых актуальных задач как в санитарном, так и в технологическом и экономическом отношениях [1].

Для сохранения чистоты атмосферы в условиях роста промышленного производства предъявляются высокие требования ко всем газоочистным аппаратам, среди которых наиболее распространены циклоны, широко применяемые для отделения пыли от газов в самых различных отраслях промышленности [2, 3].

Наибольшее распространение получили цилиндрические циклонные пылеуловители конструкции НИИОГАЗа (ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24), среди которых в свою очередь чаще всего используются циклоны типа ЦН-15, обеспечивающие достаточно высокую степень

очистки при умеренном гидравлическом сопротивлении. Однако при одинаковой эффективности наиболее высокие технико-экономические показатели имеют аппараты ЦН-11. В связи с этим данный тип циклонов был включен Главпромстройпроектом Госстроя в унифицированный ряд пылеулавливающего оборудования как наиболее экономичный, эффективный и удобный для компоновки в группы [4].

Энергетические затраты в циклоне обусловлены различными факторами. Значительная их часть связана с вращательным движением газа и потерей кинетической энергии выходящего вихревого потока. Поэтому, если уменьшить интенсивность поперечной циркуляции потока, выходящего из аппарата, например, установкой перед выхлопным патрубком или внутри его специальных устройств, то можно существенно снизить гидравлическое сопротивление циклона. В этих целях предложена целая серия проектов различных вариантов раскручивателей [5, 6].

Учитывая вышесказанное, а также постоянно возрастающую значимость проблемы энергосбережения, совершенствование и внедрение устройств регенерации теряемой энергии является, безусловно, актуальной задачей.

**Основная часть.** На кафедре процессов и аппаратов химических производств разработана конструкция лопастного раскручивающего устройства, схематично представленная на рис. 1.