

УДК 621.928.37+621.928.93

Д. И. Мисюля, аспирант (БГТУ); В. В. Кузьмин, доцент (БГТУ); В. А. Марков, профессор (БГТУ)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАСКРУЧИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЦИКЛОНОВ

В статье представлена новая конструкция раскручивающего устройства, основным элементом которого являются изогнутые по направлению вращения газового потока полые лопасти для выпрямления отмеченного потока и, как результат, снижения гидравлического сопротивления циклонных аппаратов. Исследовано влияние числа и длины лопастей раскручивателя, а также удлинения выхлопной трубы на потери давления в циклоне. Применение раскручивающего устройства с рециркуляцией и удлинение наружной части выхлопной трубы позволяет снизить гидравлическое сопротивление циклонов ЦН-15 на 13–15%. Также приведены данные о степени снижения гидравлического сопротивления циклона при различном числе и высоте лопастей. Данное раскручивающее устройство может использоваться в гидроциклонах, батарейных циклонах, вихревых пылеуловителях и других аппаратах, в которых выходящий поток закручен.

In article the new design of the untwisting device which basic element are blades bent in a direction of the rotations of a gas stream for straightening of a stream and decrease in hydraulic resistance of cyclonic devices is presented. Influence of quantity and length of curved blades of the untwisting device, and also lengthening of an exhaust pipe on hydraulic resistance of a cyclone apparatus is investigated. Application of the given untwisting device with the extended exhaust pipe allows to lower power inputs at carrying out of processes of clearing of gases to as much as 13–15%. Data on efficiency of decrease in cyclone pressure drop with different heights and numbers of straightening vanes are also reported. It also can be used in hydrocyclones, multicyclones, vortical dedusters and other devices, in which effluent stream is twirled.

Введение. Циклонные аппараты, благодаря дешевизне, простоте устройства и обслуживания, сравнительно небольшому сопротивлению и высокой производительности, являются самым распространенным типом пылеуловителей. Наиболее широкое применение получили цилиндрические циклоны конструкции НИИОГАЗа, среди которых, в свою очередь, чаще всего используются циклоны типа ЦН-15. Гидравлическое сопротивление циклонов обычно составляет существенную часть общих потерь давления в сетях систем очистки газов [1]. Поэтому оценка сопротивления циклонных аппаратов и изыскание путей его снижения представляют большой практический интерес.

Сопротивление циклонов зависит от потерь кинетической энергии вращательного движения в выхлопной трубе. Чтобы снизить коэффициент сопротивления, применяют раскручивающие устройства, позволяющие преобразовать эту энергию в статическое давление.

В ряде исследований [2–4] показано, что гидравлические потери в циклоне можно снизить с помощью раскручивающих устройств, устанавливаемых внутри или на выходе из циклона, без изменения степени очистки.

Существуют также и другие способы снижения сопротивления циклонов [5–7].

С учетом возрастающей значимости проблемы энергосбережения и постоянного повышения стоимости энергии нами предложена новая конструкция раскручивающего устройства для снижения энергозатрат при очистке газа в циклонах.

Основная часть. Для правильного и полного учета общего сопротивления циклона потери дав-

ления определяли следующим образом [8]: циклон устанавливался на нагнетательной линии вентиляторной установки, а газовый поток из выхлопной трубы выпускался в атмосферу. При этом определялась разность между полным давлением на входе в циклон и на выходе из него (в атмосфере).

Схема экспериментальной установки для исследования влияния раскручивающего устройства на гидравлическое сопротивление циклона представлена на рис. 1.

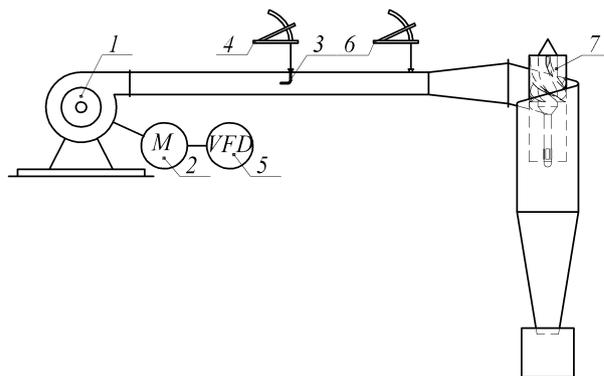


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:
1 – вентилятор; 2 – электродвигатель; 3 – трубка Пито; 4, 6 – микроманометры; 5 – регулятор частоты; 7 – раскручивающее устройство

Для транспортировки воздуха через установку использовался радиальный вентилятор 1, приводимый в движение электродвигателем 2. Расход воздуха измерялся с помощью трубки Пито 3 и соединенного с ней микроманометра 4.

Регулирование расхода воздуха осуществлялось путем изменения числа оборотов рабочего колеса вентилятора при помощи регулятора частоты 5.

Исследования гидравлического сопротивления проводили на незапыленном атмосферном воздухе на циклоне ЦН-15, изготовленном из оргстекла, с внутренним диаметром 0,24 м, с регламентированной длиной выхлопной трубы [9] и выхлопной трубой, удлинненной с наружной стороны на величину, равную диаметру циклона (0,24 м). Условная скорость газа изменялась в пределах от 2,5 до 4,0 м/с.

Объектом исследований являлось раскручивающее устройство, конструкция, место установки и 3D-модель которого представлены на рис. 2.

Раскручивающее устройство, расположенное в выхлопной трубе циклона, состоит из центральной цилиндрической части 1, лопастей 2, рециркуляционной трубы 3 и завихрителя 4. Пустотелые лопасти 2, расположенные между внутренней поверхностью выхлопной трубы и центральной частью 1, снабжены щелевыми отверстиями 5, которые сообщаются с рециркуляционной трубой 3.

Принцип работы раскручивающего устройства следующий. Запыленный газовый поток поступает через входной патрубок циклона в его корпус и закручивается. Возникающее поле центробежных сил отбрасывает частицы к стенкам корпуса, и они перемещаются в его нижнюю часть. Очищенный газ постепенно переходит во

внутренний вихревой поток и поступает в выхлопную трубу, в которой расположено раскручивающее устройство. На лопастях 2 происходит плавное равномерное выпрямление газового потока. Частицы, захваченные этим восходящим вихревым потоком и движущиеся вдоль внутренней поверхности выхлопной трубы, попадают в щелевые отверстия 5, затем в рециркуляционную трубу 3 и по ней возвращаются в основную сепарационную зону циклона на дополнительное улавливание. Для интенсификации этого процесса на выходе из рециркуляционной трубы 3 установлен завихритель 4, направление закрутки потока в котором соответствует направлению крутки в циклоне.

При установке раскручивающего устройства таким образом, что верхний край его лопастей расположен на одном уровне с верхней кромкой выхлопной трубы, как показано на рис. 2, а, ее удлинение (рис. 2, б) способствует равномерному распределению потока на все сечение выхлопной трубы.

Опыты также подтвердили наличие описанной выше циркуляции части газа с неуловленными частицами от внутренней поверхности выхлопной трубы через полости лопастей и рециркуляционную трубу обратно в центральную зону циклона.

Влияние раскручивающего устройства на сопротивление циклона оценивали с помощью параметра ϵ , %, определяемого по формуле

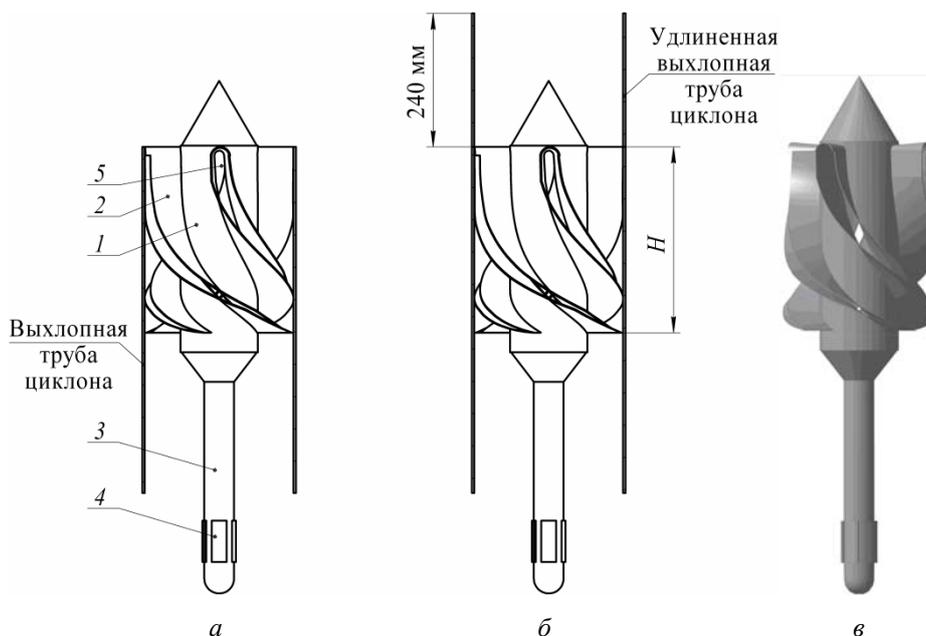


Рис. 2. Конструкция и место установки раскручивающего устройства:
 а – в регламентированной выхлопной трубе [9]; б – в удлинненной выхлопной трубе;
 в – 3D-модель раскручивающего устройства:
 1 – центральная часть; 2 – лопасти; 3 – рециркуляционная труба; 4 – завихритель;
 5 – щелевые отверстия; H – высота лопастей раскручивающего устройства, см

$$\varepsilon = 100(1 - \Delta p_p / \Delta p),$$

где Δp_p , Δp – гидравлическое сопротивление циклона с раскручивающим устройством и без него соответственно.

Зависимость параметра ε , %, от скорости газа w , м/с, в циклоне при различной высоте лопастей H показана на рис. 3, а от числа лопастей N при условной скорости газа $w = 3,5$ м/с приведена на рис. 4.

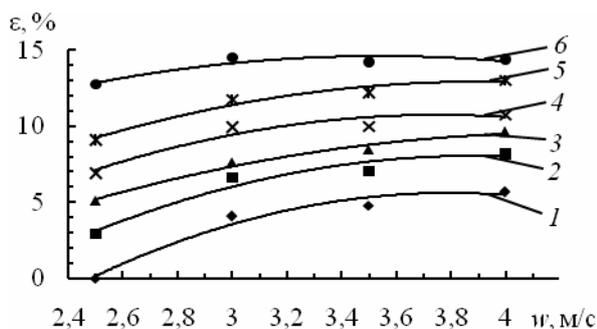


Рис. 3. Влияние четырехлопастного ($N = 4$) раскручивающего устройства с различной высотой лопастей H , см, и удлинения наружной части выхлопной трубы на ε , %:

1 – $H = 6$; 2 – 12; 3 – 6, циклон с удлиненной выхлопной трубой; 4 – 18; 5 – 12, с удлиненной выхлопной трубой; 6 – 18, с удлиненной выхлопной трубой

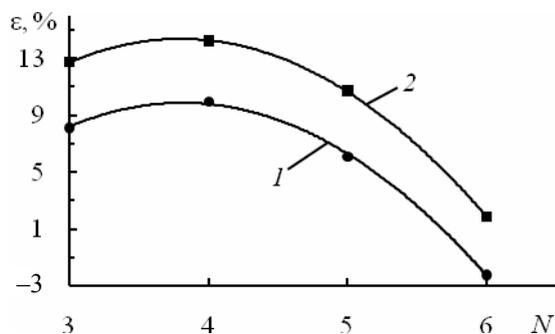


Рис. 4. Влияние числа лопастей N раскручивающего устройства на ε , %:

1 – с регламентированной выхлопной трубой [9];
2 – с удлиненной выхлопной трубой

С увеличением высоты лопастей раскручивающего устройства сопротивление циклона уменьшается, что можно объяснить более полным раскручиванием выходящего газового потока.

Полученные зависимости показывают, что наибольшее снижение сопротивления циклона достигается с помощью четырехлопастного раскручивателя, высота лопастей которого 18 см, позволяющего восстановить до 15% затрачиваемой энергии.

Применение удлиненной выхлопной трубы (стабилизационного участка) при установке раскручивающего устройства также положительно

влияет на снижение гидравлического сопротивления циклона. Газовый поток выходит из раскручивателя в виде струй, количество которых равно числу лопастей. Благодаря стабилизационному участку поток заполняет все сечение выхлопной трубы, что и снижает сопротивление циклона.

Влияние числа лопастей раскручивающего устройства на потери давления в циклоне можно охарактеризовать следующим образом. С ростом числа лопастей уменьшается проходное сечение между ними, что увеличивает гидравлическое сопротивление проходу газового потока. Однако при уменьшении числа лопастей снижается эффективность выпрямления потока вследствие менее плавного изменения направления движения газа. С практической точки зрения более предпочтительным является применение раскручивающего устройства с меньшим числом лопастей, поскольку сужение проходного сечения в данном случае будет происходить медленнее вследствие меньшей поверхности для отложения пыли.

Раскручивающее устройство с тонкими лопастями (без рециркуляции) представлено на рис. 5.

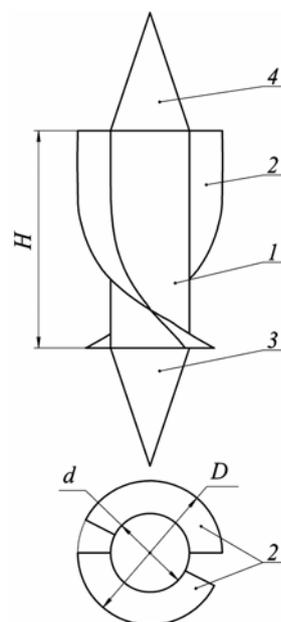


Рис. 5. Раскручивающее устройство с тонкими лопастями (без рециркуляции):

1 – центральная цилиндрическая часть (сердечник);
2 – лопасти; 3, 4 – нижний и верхний конические обтекатели соответственно; d – диаметр сердечника, см; D – внутренний диаметр выхлопной трубы, см; H – высота лопастей, см

Профиль лопастей (рис. 6), имеющих высоту H , см, соответствует дуге окружности радиусом R с углом входа 30° , определяемым аэродинамикой газового потока в выхлопной трубе циклона [10], и углом выхода 90° , соответствующим прямолинейному движению газа.

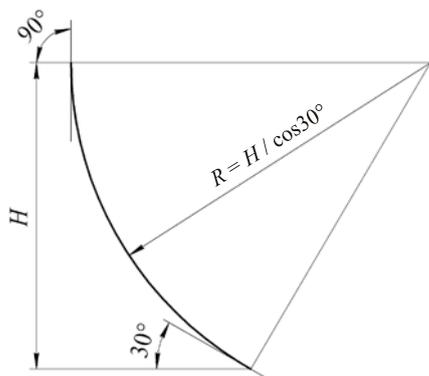


Рис. 6. Профиль лопастей раскручивающего устройства с тонкими лопастями

Наибольшее снижение сопротивления циклонов ЦН-15 достигается с помощью двух- или трехлопастного раскручивателя без рециркуляции с высотой лопастей $H = (1,27-1,48)D$. Немного меньшего эффекта можно добиться с помощью однолопастного раскручивающего устройства, однако высота лопасти при этом, как и высота цилиндрической части, увеличивается на 70%, что приводит к существенному увеличению его габаритов и затрат материала на изготовление. Поэтому, на наш взгляд, оптимальной является конструкция двухлопастного раскручивающего устройства с высотой лопастей $H = 1,27D$.

Влияние скорости газа в циклоне с раскручивающим устройством без рециркуляции на ϵ , %, представлено на рис. 7.

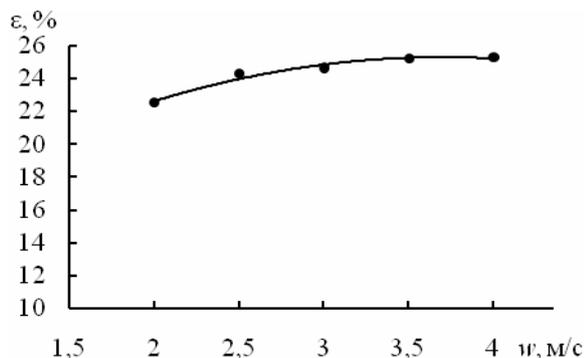


Рис. 7. Влияние скорости газа w , м/с, на ϵ , %

С увеличением скорости газа в циклоне эффективность работы устройства возрастает, т. е. чем сильнее закручен поток, тем больший эффект дает раскручиватель.

Заключение. Применение раскручивающего устройства с рециркуляцией и удлинение наружной части выхлопной трубы позволяют снизить гидравлическое сопротивление циклонов ЦН-15 на 13–15%. С помощью раскручивающего устройства с тонкими лопастями можно восстановить 22–25% теряемой энергии.

В дальнейшем предполагается определение влияния геометрических характеристик и места расположения раскручивающего устройства на эффективность работы циклона.

Литература

1. Коузов, П. А. Коэффициенты гидравлического сопротивления сухих циклонов / П. А. Коузов // Научные труды институтов охраны труда ВЦСПС: сборник. – 1969. – Вып. 58. – С. 3–12.
2. Идельчик, И. Е. Гидравлическое сопротивление циклонов НИИОГАЗ / И. Е. Идельчик, А. Д. Мальгин // Промышленная энергетика. – 1969. – № 8. – С. 45–48.
3. 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. – БТИ ОРГРЭС, 1962. – С. 100–111.
4. Циклонные сепараторы для очистки воздуха от пыли / А. А. Первов [и др.] // Сборник докладов научно-технической конференции по промышленной очистке газов / Семибратовский филиал НИИОГАЗа, Ярослав. ЦБТИ и НТО нефтегазовой промышленности. – Ярославль, 1969. – С. 44–52.
5. Ludewig, H. Modellversuche am Zyklon über den Einfluß der Tauchrohrtiefe auf Abscheidegrad und Druckverlust / H. Ludewig // Maschinenbautechnik. – 1958. – Bd. 7, № 8. – S. 416–421.
6. 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. – P. 193–203.
7. Wang, L. Z. Reducing Pressure Drop in Cyclones by a Stick / L. Z. Wang, L. Ye // Aerosol Science and Technology. – 1999. – Vol. 31, № 2–3. – P. 187–193.
8. Идельчик, И. Е. Гидравлическое сопротивление циклонов, его определение, величина и пути снижения / И. Е. Идельчик // Механическая очистка промышленных газов / НИИОГАЗ; под ред. Б. Ф. Подошевникова. – М.: Машиностроение, 1974. – С. 135–159.
9. Циклоны НИИОГАЗ. Руководящие указания по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации. – Ярославль, 1970. – 95 с.
10. 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. Подошевникова. – М.: Машиностроение, 1974. – С. 160–170.

Поступила 31.03.2010