

## **СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В ЦИКЛОНАХ С ПОМОЩЬЮ РАДИАЛЬНОГО ДИФFUЗОРА С РАСКРУЧИВАНИЕМ ГАЗОВОГО ПОТОКА**

**Кузьмин В.В., Францкевич В.С., Хусаинов Б.С.**  
**Белорусский государственный технологический университет**  
**г. Минск, Беларусь**

На выходе газового потока из циклонов часто устанавливаются улиточные раскручиватели, позволяющие снизить гидравлическое сопротивление циклона. В наиболее распространённых циклонах НИИОГАЗ серии ЦН при их использовании достигается снижение сопротивления на 3,2% в ЦН-15, на 4,1% в ЦН-11 [1, 2]. В то же время установка обычных улиточных раскручивателей в высокоэффективных конических циклонах СДК-ЦН-33 и СК-ЦН-34, напротив, увеличивает потери давления [2]. Для наиболее эффективного циклона СЦН-40 в справочной литературе данные не обнаружены, но согласно результатам CFD-моделирования установка такого раскручивателя также приводит к повышению его сопротивления (на 5,1%) [3]. Присоединение к выхлопной трубе радиального отвода на 90° увеличивает потери давления на 6,4% [3], в то время как в случае с циклонами ЦН-11 и ЦН-15 он не оказывает негативного влияния [2].

В высокоэффективных циклонах, очевидно, достигаются большие величины сепарирующей центробежной силы и, соответственно, имеет место более интенсивное вращательное движение потока, сохраняющееся и в выхлопной трубе. Отличие структуры поля скоростей на выходе из выхлопной трубы и входе в улитку означает необходимость и соответствующей модификации последней. При этом с увеличением интенсивности вращения потока, а значит тангенциальной составляющей скорости, можно ожидать, что высота улитки должна уменьшаться, а ширина увеличиваться. Подтверждением этому могут служить результаты исследования [4], согласно которым в эффективных циклонах (с конической частью корпуса в 3 раза превышающей по высоте цилиндрическую) установка обычной улитки в целом приводила к повышению гидравлического сопротивления циклона. Небольшое снижение было достигнуто лишь в улитке с уменьшенной высотой и несколько увеличенной шириной. Присоединение к выходу из улитки прямоугольных диффузоров в среднем не позволило снизить потери давления, несмотря на то, что площади выходного сечения диффузоров были примерно вдвое больше площади поперечного сечения выхлопной трубы.

Согласно [4] анализа гидродинамики потока в улиточных раскручивателях в литературе не представлено. В более поздней публикации [3] однако указывается, что установка такого раскручивателя, как и радиального отвода на 90°, значительно дестабилизирует гидравлическое сопротивление циклона, увеличивая амплитуду его мгновенных колебаний с 0,65% до 16,2% и 33,96% соответственно.

Снизить потери давления на 8,7–11,9% [4] позволило использование радиального диффузора, представляющего собой две конических пластины, расположенных друг над другом с небольшим зазором. Нижняя пластина имеет центральное отверстие, равное или большее внутреннего диаметра выхлопной трубы, и соосно присоединена к ее верхней части. При этом проходное сечение кольцевого зазора на выходе из диффузора примерно соответствовало проходному сечению выхлопной трубы. Наблюдающийся тем не менее эффект говорит о замедлении потока, что является следствием вихревого

движения его в выхлопной трубе: газ поднимается преимущественно в кольцевом пространстве вблизи ее стенки. По крайней мере, при высокой средней осевой скорости газа в выхлопной трубе площадь выхода из диффузора нужно увеличивать, что позволит получить дополнительный эффект – например в циклонах СДК-ЦН-33 в оптимальном режиме эта скорость равна порядка 20 м/с, что даже при раскрученном потоке означает потери динамического давления в сотни паскалей.

Диффузор позволяет снизить среднюю скорость газа и соответственно потери динамического давления, а также предотвратить засасывание атмосферного воздуха в центральную часть выходящего вихревого потока, но не регенерировать энергию, затраченную на приведение его во вращение (в некоторой степени вращение будет замедляться за счет сил трения о диффузор). Поэтому эффективность диффузора можно существенно повысить, дополнительно раскручивая поток и преобразуя кинетическую энергию его вращательного движения в потенциальную энергию давления. Это можно выполнить либо придав ему форму улитки, (подобной используемым в центробежных вентиляторах), либо с помощью изогнутых лопастей, расположенных между пластинами диффузора. Раскручивание потока с помощью лопастных устройств, установленных по оси выхлопной трубы, позволяет снизить потери давления в циклоне примерно на 25-30% без диффузора [5].

Для безударного плавного входа газа угол наклона внутренней кромки лопастей можно определить по величинам тангенциальной скорости газа в верхней части выхлопной трубы и средней радиальной скорости, равной отношению расхода газа на площадь входа в диффузор-раскручиватель. Высоту этого входа, т.е. зазор между пластинами диффузора, в первом приближении можно принять согласно [4] равной  $\sim 0,06$  диаметра циклона. Более точно его, очевидно, нужно определять для конкретной конструкции циклона, например путем численного моделирования. Наружная кромка лопастей – радиальная, из условия выхода раскрученного потока.

Узкое проходное сечение диффузора-раскручивателя может стать препятствием для использования при улавливании слипающейся пыли. С другой стороны при выбросе непосредственно в атмосферу концентрация частиц в очищенном потоке уже незначительна при соблюдении экологических требований, а высокая скорость газа будет способствовать и очистке каналов. При установке после циклона вентилятора или второй ступени очистки диффузор может быть совмещён с улиточным выводом. Такая своеобразная узкая и широкая улитка также будет более устойчивой к загрязнению пылевыми частицами.

#### Литература

1. Циклоны НИИОГАЗ. Руководящие указания по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации / под науч. ред. В. Н. Ужова. – Ярославль: Верх.-Волж. книж. изд-во, 1970. – 95 с.
2. Лазарев, В.А. Циклоны и вихревые пылеуловители: справочник / В.А. Лазарев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Н. Новгород: Фирма ОЗОН-НН, 2006. – 320 с.
3. Dzmityr, Misiulia. High-efficiency industrial cyclone separator: a CFD study / Dzmityr Misiulia, Sergiy Antonyuk and other // Powder Technology – 2019 – Режим доступа: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591019308873>.
4. Funk, P.A. Reducing cyclone pressure drop with evas'es / P.A. Funk // Powder Technology. – 272 (2015). – p. 276–281.
5. Мисюля, Д.И. Влияние раскручивающего устройства на эффективность очистки в циклонах / Д.И. Мисюля, В.В. Кузьмин, В.А. Марков // Промышленная энергетика. – 2011. – № 4. – С. 37–39.