

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 слипающей 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.