

2. Батыжев, Э.А. Выбор растворителей асфальтеновых комплексов при термодеструкции нефтяных остатков / Э.А. Батыжев // Технология нефти и газа. – 2005. – №4. – С. 29-32.

УДК 621.928.37

Кузьмин В.В., Францкевич В. С., Лепесбаев И. Б.
(Белорусский государственный технологический университет)

ПРИМЕНЕНИЕ РАСКРУЧИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ЦИКЛОНАХ СЦН-40

Циклон СЦН-40 является самым эффективным типом циклонов НИИОГАЗ, которые, в свою очередь, получили наибольшее распространение в качестве пылеуловителей в системах газоочистки [1]. Однако и коэффициент гидравлического сопротивления этого циклона весьма высок (1100–1300 [1]), вследствие чего потери давления в нем, определяющие энергетические затраты на очистку, при работе в рекомендуемом диапазоне скоростей газа могут превышать 2000 Па. Поэтому весьма целесообразна разработка устройств, позволяющих снизить гидравлические потери в этом перспективном типе циклона.

На сегодняшний день предложены различные устройства для снижения гидравлическое сопротивление циклонных пылеуловителей. Разработанные на кафедре процессов и аппаратов химических производств БГТУ лопастные раскручивающие устройства позволяют снизить сопротивление наиболее распространенных циклонов ЦН-15 и ЦН-11 на 27-30% при неизменной эффективности очистки [2]. Это превышает показатели разработанных ранее винтолопастного и улиточного раскручивателей, а также диффузора Идельчика, для которых приводятся данные в справочной литературе, в том числе в Руководящих указаниях к циклонам НИИОГАЗ [1, 3]. Принцип действия этих и основной массы других предложенных устройств заключается в раскручивании покидающего циклон вихревого потока при его движении между изогнутых лопастей преимущественно вдоль оси устройства, расположенного соосно выхлопной трубе. Поэтому их можно назвать устройствами осевого типа.

Работу раскручивающих устройств можно описать с помощью уравнения Бернулли, составив его для двух сечений: входа потока в

межлопастные каналы устройства (параметры с индексом 1) и выхода из них (параметры с индексом 2). Представив средние абсолютные скорости на входе в каналы и на выходе из них как геометрическую сумму окружной U и осевой W составляющих скорости, приняв геометрический напор неизменным и пренебрегая (вследствие малого изменения статического давления – несколько сотен паскалей) сжимаемостью газа, получим:

$$P_1 + \frac{U_1^2 \rho}{2} + \frac{W_1^2 \rho}{2} = P_2 + \frac{W_2^2 \rho}{2} + \frac{U_2^2 \rho}{2} - \Delta P_{\Pi}$$

где P – статическое давление, Па; ρ – плотность газа, кг/м³; ΔP_{Π} – потери давления на преодоление гидравлических сопротивлений внутри каналов раскручивающего устройства, Па.

Тогда величина получаемого при раскручивании газового потока эффекта:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \frac{(U_1^2 - U_2^2)}{2} \rho + \frac{(W_1^2 - W_2^2)}{2} \rho - \Delta P_{\Pi}$$

Величины U_1 и W_1 определяются геометрией циклона и условной скоростью в нем газа. Величины же U_2 и W_2 определяются геометрией раскручивающего устройства и для достижения максимального эффекта их нужно минимизировать. Для устранения окружной скорости выходные кромки лопастей выполняют с нулевым углом наклона по отношению к направлению движения потока.

Помимо устройств осевого типа имеются сведения и о так называемых радиальных диффузорах [4], где поток движется от выхлопной трубы в радиальном направлении между двумя пластинами. Отверстие нижней пластины совмещено с выходным отверстием выхлопной трубы, а верхняя пластина расположена над ней с небольшим зазором. Их применение позволило снизить потери давления на 8,7–11,9%, причем проходное сечение кольцевого зазора на выходе из диффузора примерно соответствовало проходному сечению выхлопной трубы [4]. Полученный тем не менее эффект говорит о замедлении потока, что, очевидно, является следствием вихревого движения его в выхлопной трубе: газ поднимается преимущественно в кольцевом пространстве вблизи ее стенки, а в центральной зоне, особенно при открытом устье выхлопной трубы, скорость близка к нулю или отрицательна (за счет засасывания газа в область пониженного давления).

Такой 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 газа во вращение (в некоторой степени вращение будет замедляться за счет трения о стенки диффузора). То есть, используя полученную формулу, эффект практически достигается лишь за счет снижения W (полагая ее в данном случае как радиальную скорость).

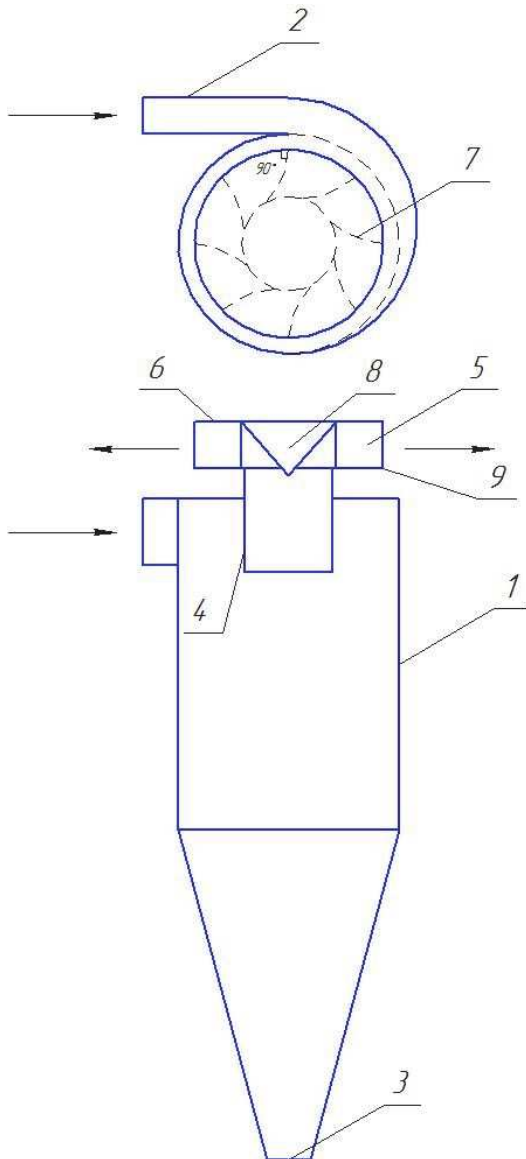


Рисунок – Циклон СЦН-40 с радиальным диффузором-раскручивателем: 1 – корпус циклона; 2 – входной патрубок; 3 – пылевывпускное отверстие; 4 – выхлопная труба; 5 – диффузор-раскручиватель; 6 – верхняя пластина; 7 – лопасти; 8 – обтекатель; 9 – нижняя пластина.

Поэтому было предложено повысить эффективность радиального диффузора, дополнительно раскручивая поток и преобразуя кинетическую энергию его вращательного движения в потенциальную энергию статического давления с помощью изогнутых лопастей, расположенных между пластинами диффузора. То есть, как при использовании упомянутых раскручивающих устройств осевого типа, уменьшать и величину U . Схема циклона с предложенным устройством показана на рисунке.

Проведенные экспериментальные исследования влияния раскручивающих устройств на гидравлическое сопротивление циклона СЦН-40 (диаметром 0,24 м), показало, что устройство осевого типа [2] позволяет добиться снижения сопро-

тивления не менее чем на 23%. В то же время установка радиального диффузора-раскручивателя не дала положительного эффекта: сопротивление увеличивалось или оставалось практически неизменным (были исследованы устройства с 8 и 16 лопастями, зазор между пластинами устройства варьировался, в том числе в указанном [4] диапазоне).

Возможно, такой результат обусловлен особенностями течения газа в циклоне СЦН-40, которое, как оказалось [5], осложнено раздвоением приосевого восходящего вихревого потока в выхлопной трубе и на выходе из нее. Присоединение же к выхлопной трубе обычного улиточного раскручивателя или радиального отвода на 90° значительно дестабилизируют гидравлическое сопротивление циклона, увеличивая амплитуду его мгновенных колебаний с 0,65% до 16,2% и 33,96% соответственно при отсутствии раздвоения вихря [5]. При этом улиточный раскручиватель и радиальный отвод приводят к повышению сопротивления СЦН-40 на 5,1% и на 6,4% соответственно. В циклонах же ЦН-15 и ЦН-11 при использовании подобного улиточного раскручивателя достигается снижение сопротивления на 3,2% (ЦН-15) и на 4,1% (ЦН-11), и радиальный отвод не оказывает негативного влияния [1, 2]. Такого явления раздвоения восходящего вихревого потока в других типах циклонов не обнаружено [5].

Полученные результаты экспериментальных исследований радиального и осевого раскручивающих устройств совместно с данными численного моделирования на данный момент говорят, что, по крайней мере для циклона СЦН-40, предпочтительным вариантом является использование устройств осевого типа, позволяющих существенно снизить гидравлическое сопротивление. В то же время имеющиеся сведения о высокой эффективности радиальных диффузоров, полученные на других типах циклонов, говорят о необходимости продолжения исследования (прежде всего методами CFD-моделирования) и раскручивающих устройств радиального типа.

Литература

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Funk, P.A. Reducing cyclone pressure drop with evas'es. // Powder Technology - 272 (2015) – p. 276–281.
5. Dzmityr Misiulia. High-efficiency industrial cyclone separator: a CFD study / Dzmityr Misiulia, Sergiy Antonyuk and other // Powder Technology – Volume 364, 15 March 2020, Pages 943-953