

ISSN 0023-1126

ХИМИЧЕСКОЕ **7/2012** И НЕФТЕГАЗОВОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
ЖУРНАЛ
ИЗДАЕТСЯ
с 1932 года

ЖУРНАЛ
ПЕРЕИЗДАЕТСЯ
НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ
ПОД НАЗВАНИЕМ
«CHEMICAL
AND PETROLEUM
ENGINEERING»

*Журналу —
80 лет*





*А.Ю. Вальдберг, д-р техн. наук, член редколлегии журнала,
М.В. Голубева, Ю.Ф. Хуторов (МГУИЭ, г. Москва, Россия);
Р.С. Горещкий (ООО «НПК «ОйлГазМаш», г. Подольск, Россия)*

Исследование элемента мультициклона



Арнольд Юрьевич Вальдберг —

академик Российской экологической академии, д-р техн. наук, профессор МГУИЭ (г. Москва) и БГТУ им. В.Г. Шухова (г. Белгород), Заслуженный изобретатель РСФСР

В МГУИЭ на экспериментальном стенде проведены испытания элемента мультициклона, разработанного ООО «НПК «ОйлГазМаш» и предназначенного для очистки от взвешенных частиц природного газа под давлением.

Элемент мультициклона диаметром $D = 0,113$ м (рис. 1) был установлен на стенде, принципиальная схема которого представлена на рис. 2. Особенностью элемента мультициклона является двойной подвод газового потока (см. рис. 1, сечение А—А) из цилиндрической камеры. Исследования проводились на воздухе при комнатной температуре ~ 20 °С и барометрическом давлении, близком к нормальному.

В процессе исследований определили параметры пылегазового потока на входе и выходе элемента мультициклона (см. рис. 2, точки 4 и 6): объемный расход воздуха, температуру, абсолютное давление, запыленность, дисперсный состав пыли. Замеры проводили по стандартным методикам [1–3]. Дисперсный состав пыли определяли с помощью струйных каскадных импакторов [4]: на входе импактор конструкции НИИОГАЗ, на выходе — НИФХИ им. Карпова, позволяющий определить дисперсный состав мелкодисперсной пыли, что соответствует условиям на выходе из аппарата.

При проведении испытаний с пылью (на запыленном воздухе) ее предварительно подогрели в муфельной печи (до 180–200 °С), а затем засыпали

в обогреваемый бункер пылепитателя 3 (см. рис. 2). Пыль с дозировочного стола пылепитателя попадала во вспыливатель (эжектор), откуда эжектировалась воздухом, расход которого поддерживался на уровне 75 л/мин с помощью реометра 2.

В качестве пыли использовался порошок «Пирант» плотностью $\rho_{\text{ч}} = 1870$ кг/м³. Уловленная пыль собиралась в герметичном бункере 10. Выгрузка пыли из бункера осуществлялась периодически при неработающем стенде.

На рис. 3 приведена зависимость гидравлического сопротивления аппарата ΔP (Па) от скорости воздуха $v_{\text{г}}$ в свободном сечении ($D = 0,113$ м), а на рис. 4 — зависимость коэффициента гидравлического сопротивления элемента мультициклона ζ также от величины $v_{\text{г}}$.

Из рис. 4 следует, что автотемпературный режим в элементе мультициклона, для которого характерно постоянство значения величины ζ [5], устанавливается при значении $\geq v_{\text{г}} \approx 4$ м/с. Начиная с этой скорости, можно принимать $\zeta = 40$.

Исследования дисперсного состава пыли проводились при $v_{\text{г}} = 10$ м/с. Полученные интегральные распределения дисперсного состава пыли (по массе) на входе и выходе циклона (рис. 5) позволяют определить медианный размер частиц на входе d'_m (мкм) и выходе аппарата d''_m (мкм) и величины логарифма среднеквадратичного отклонения в функции массового распределения частиц по размерам $\lg \sigma'_c$ и $\lg \sigma''_c$.

Были получены значения $d'_m = 9$ мкм и $\lg \sigma'_q = 0,46$; $d''_m = 2,4$ мкм и $\lg \sigma''_q = 0,46$.

Значения запыленности воздуха на входе Z' (г/м³) и выходе Z'' (г/м³) аппарата изменялись в пределах 1,30–1,71 г/м³ на входе и 0,20–0,07 г/м³ на выходе циклона. Средняя экспериментальная эффективность улавливания пыли в циклоне составила $\eta = 0,905$.

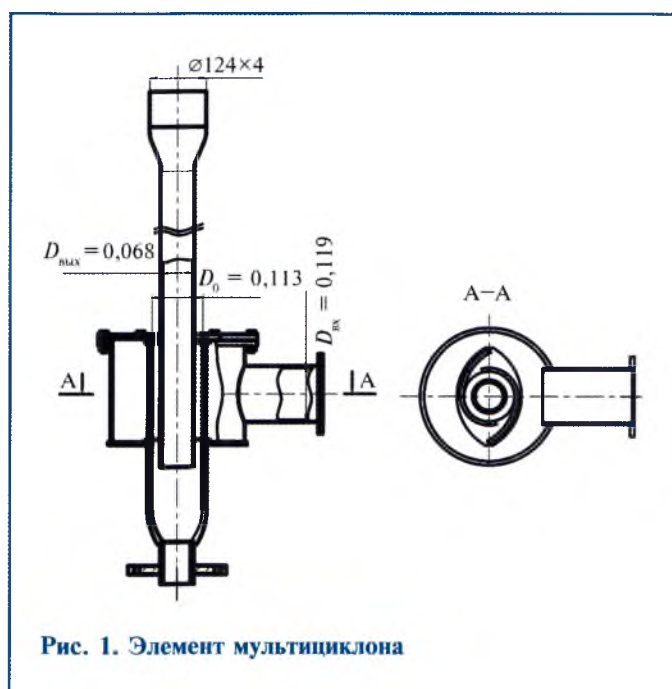


Рис. 1. Элемент мультициклона

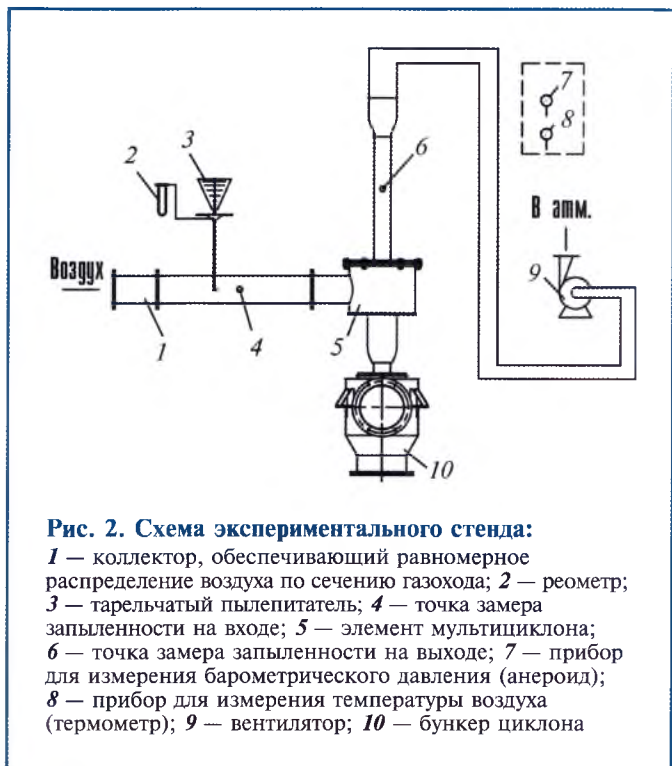


Рис. 2. Схема экспериментального стенда:

1 — коллектор, обеспечивающий равномерное распределение воздуха по сечению газохода; 2 — реометр; 3 — тарельчатый пылепитатель; 4 — точка замера запыленности на входе; 5 — элемент мультициклона; 6 — точка замера запыленности на выходе; 7 — прибор для измерения барометрического давления (анероид); 8 — прибор для измерения температуры воздуха (термометр); 9 — вентилятор; 10 — бункер циклона

Полученные данные позволяют определить диаметр частиц, улавливаемых в циклоне с эффективностью $0,5 d_{50}$ (мкм) и величину логарифма среднеквадратичного отклонения в функции распределения значений фракционного коэффициента пылеулавливания $\lg \sigma_\eta$: $d_{50} = 1,7$ мкм, $\lg \sigma_\eta = 0,30$.

Кривая на рис. 6 подтверждает характерное для инерционных пылеуловителей (в том числе циклонов) подчинение парциальной эффективности улавливания взвешенных частиц η_p логарифмически-нормальному закону распределения.

Согласно теории инерционного осаждения взвешенных частиц, подтвержденной рядом иссле-

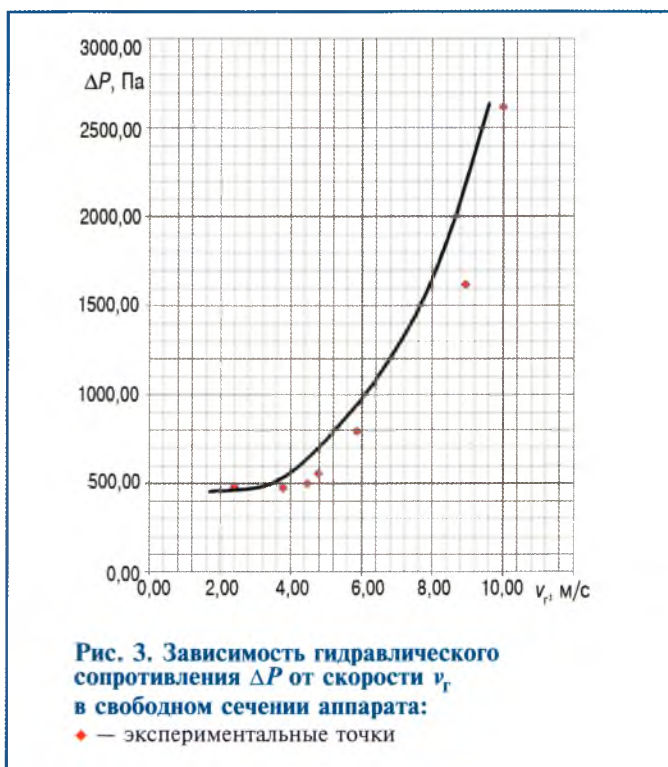


Рис. 3. Зависимость гидравлического сопротивления ΔP от скорости v_r в свободном сечении аппарата:

♦ — экспериментальные точки

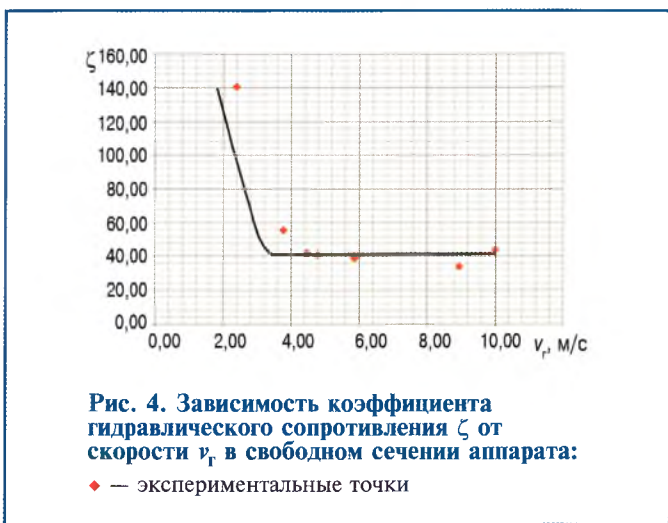


Рис. 4. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления ζ от скорости v_r в свободном сечении аппарата:

♦ — экспериментальные точки

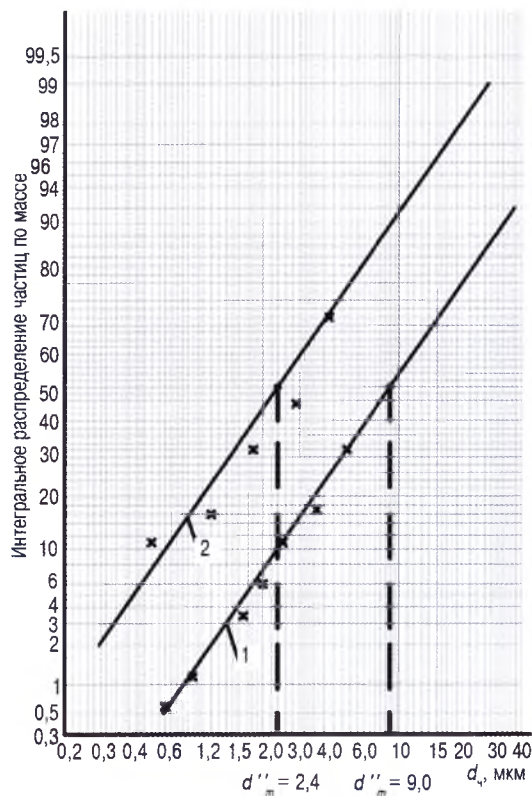


Рис. 5. Дисперсный состав пыли:

1 — на входе; 2 — на выходе;
 × — экспериментальные точки

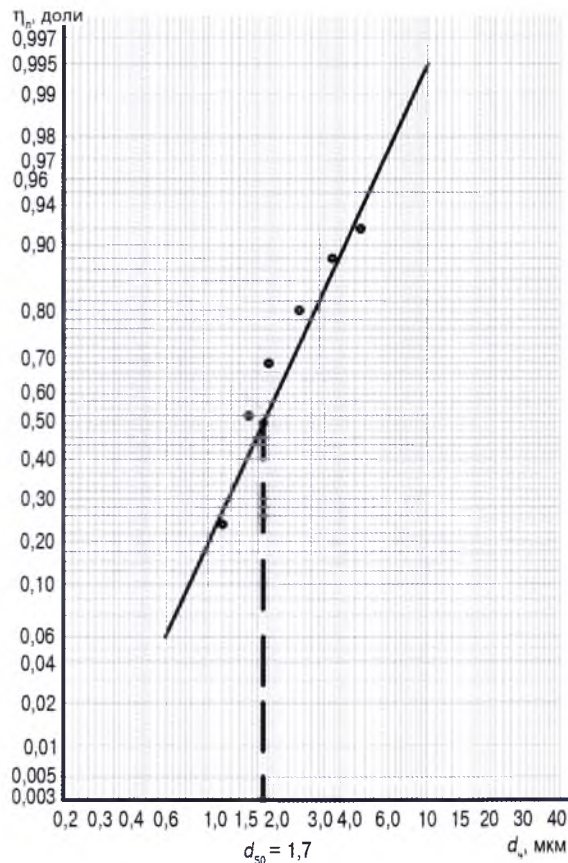


Рис. 6. Парциальная эффективность циклона η_n :

● — экспериментальные точки

дований [6, 7], величина d_{50} для центробежного пылеуловителя, работающего в автомобильном режиме, т. е. при $\zeta = \text{const}$, рассчитывается по формуле, действительной в интервале $\zeta = 8,5-4420$:

$$d_{50} = 14,5 \cdot 10^5 \zeta^{-0,51} \sqrt{\frac{D\mu}{v_r \rho_c}}, \quad (1)$$

где μ — динамическая вязкость газов, Па·с.

Отсюда величина d_{50} для исследования циклона диаметром $D = 0,113$ м при параметрах его работы $v_r = 10$ м/с, $\mu = 18 \cdot 10^{-6}$ Па·с и $\rho_c = 1870$ кг/м³ составляет

$$d_{50} = 14,5 \cdot 10^5 \cdot 40^{-0,51} \sqrt{\frac{0,113 \cdot 18 \cdot 10^{-6}}{10,0 \cdot 1870}} = 2,3 \text{ мкм},$$

т. е. практически совпадает с величиной d_{50} , полученной (см. рис. 6) при обработке результатов испытаний (1,7 мкм).

Учитывая, что полученные значения массового распределения взвешенных частиц по размерам на входе

в аппарат и парциальной эффективности подчиняются логарифмически-нормальному закону распределения, расчет эффективности циклона может быть проведен с помощью интеграла вероятности [4, 6]:

$$x = \frac{\lg \frac{d_m}{d_{50}}}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_\zeta}} = \frac{\lg \frac{9,0}{1,7}}{\sqrt{0,3^2 + 0,46^2}} = 1,32. \quad (2)$$

Согласно таблице значений интеграла вероятности [4], величина x соответствует значению эффективности $\eta_{\text{теор}} \approx 0,907$, что также подтверждается результатами исследований ($\eta_{\text{эксп}} = 0,905$).

Необходимо отметить, что полученные результаты, подтверждающие принятые для расчета эффективности циклонов зависимости, получены при скорости газового потока в свободном сечении аппарата, значительно (практически в два раза) превышающей скорость, обычно рекомендуемую на практике [4]: для циклонов типа СК и СДК — 1,7–2,0 м/с, для циклонов типа ЦН — 3,5–4,5 м/с.

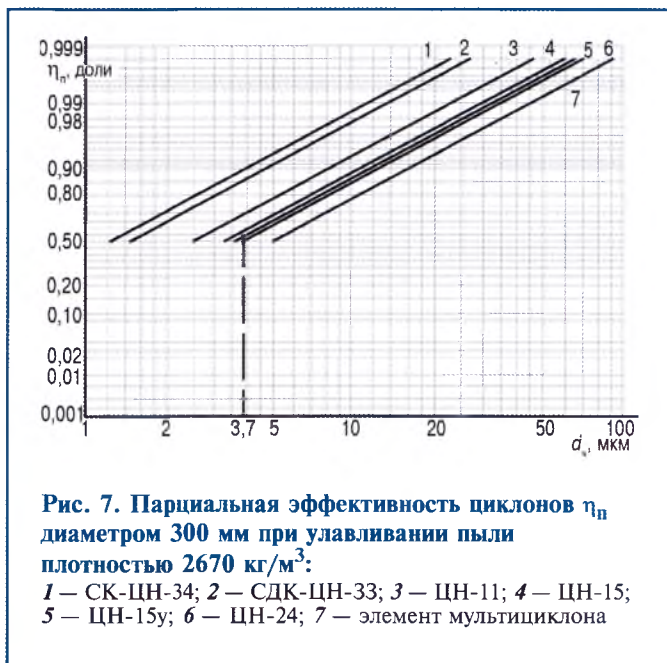


Рис. 7. Парциальная эффективность циклонов $\eta_{п}$ диаметром 300 мм при улавливании пыли плотностью 2670 кг/м³:
 1 — СК-ЦН-34; 2 — СДК-ЦН-33; 3 — ЦН-11; 4 — ЦН-15;
 5 — ЦН-15у; 6 — ЦН-24; 7 — элемент мультициклона

На рис. 7 [8] показаны графически характеристики парциальной эффективности осаждения взвешенных частиц в различных типах циклонов $\eta_{п}$ в зависимости от диаметра улавливаемых частиц $d_{ч}$. Прямые на рис. 7 получены расчетным путем для циклонов диаметром 0,3 м при улавливании частиц пыли плотностью 2670 кг/м³, содержащейся в воздухе при комнатной температуре. Скорости воздуха принимались равными 3,5 м/с для циклонов типа ЦН, 2 м/с — для циклонов СДК-ЦН-33 и 1,75 м/с — для циклона СК-ЦН-34. Кривая, характеризующая парциальную эффективность исследованного элемента мультициклона, построена на основании формулы (1) для циклона диаметром $D_p = 0,3$ м, $v_{г,р} = 4$ м/с, $\rho_{ч,р} = 2670$ кг/м³ и $\mu = \mu_p$. В этом случае

$$d_{50p} = d_{50} \sqrt{\frac{D_p \rho_{ч} v_{г}}{D \rho_{ч,р} v_{г,р}}} =$$

$$= 1,7 \sqrt{\frac{0,3}{0,113} \frac{1870}{2670} \frac{10}{4}} = 3,7 \text{ мкм.}$$

Построенная на основании расчета графическая зависимость $\eta_{п} = f(d_{ч})$ для элемента мультициклона достаточно хорошо коррелируется с зависимостями для широко используемых на практике центробежных пылеуловителей, подтверждающих рост $\eta_{п}$ с увеличением коэффициента ζ .

Выводы

Полученные результаты позволяют применять для оценки эффективности элементов мультициклона в рабочих условиях существующие и подтвержденные практикой теоретические разработки.

Исследования проводились при скоростях газового потока значительно больших, чем в циклонах, применяемых в промышленности и описанных в технической литературе, что существенно расширяет пределы применимости полученных ранее эмпирических зависимостей [6, 7] для расчета подобных пылеуловителей.

Список литературы

- ГОСТ 17.2.4.06—90. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расходы газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения.
- ГОСТ 17.2.4.07—90. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения давления и температуры газовых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения.
- ГОСТ Р 50820—95. Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Метод определения запыленности газопылевых потоков.
- Справочник по пыли и золоулавливанию / под общ. ред. А.А. Русанова. М.: Энергоатомиздат, 1983. 312 с.
- Вальдберг А.Ю., Николайкина Н.Е. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Защита атмосферы. М.: Дрофа, 2008. 239 с.
- Вальдберг А.Ю., Исянов Л.М., Яламов Ю.И. Теоретические основы охраны атмосферного воздуха от загрязнения промышленными аэрозолями. СПб.: МП «НИИОГАЗ-ФИЛЬТР». СПб ГТУ РП, 1993. 235 с.
- Сафонов С.Г. Сепарация взвешенных частиц в инерционных пыле- и туманоуловителях. Дисс. ... канд. техн. наук. М.: МГУИЭ, 2010. 18 с.
- Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха. М.: Стройиздат, 1981. 296 с.

Внимание авторов

- При направлении статьи в журнал «Химическое и нефтегазовое машиностроение» необходимо приложить:
- запись статьи на электронном носителе в формате Word 2003 с формулами (если они есть) в Equation 3.0; рисунки — *.jpg, *.tif с разрешением не менее 200 dpi;
 - заключение — разрешение организации или автора на публикацию материала в открытой печати;
 - сопроводительное письмо от организации;
 - рецензию;
 - краткую аннотацию статьи;
 - согласие автора на возможную публикацию статьи в переводном издании журнала — Chemical and Petroleum Engineering;
 - сведения об авторах: фамилия, имя, отчество, ученая степень, место работы, должность, контактные телефоны, адрес электронной почты, почтовый адрес (с указанием индекса).