

УДК 621.928.9

А.В. Карамушко, магістр,
В.Я. Гамоліч, математик,
А.А. Буров, канд. техн. наук,
Одес. нац. політехн. ун-т

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЦИКЛОНОВ “СИОТ” И МНОГОКАНАЛЬНЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ “БУРАН”

А.В. Карамушко, В.Я. Гамоліч, О.О. Буров. Порівняльна оцінка результатів промислових випробувань циклонів “СИОТ” і багатоканальних пиловловлювачів “Буран”. Виділено основні чинники, які впливають на ефективність інерційної сепарації. Проведено узагальнення результатів промислової експлуатації циклонів і буранів. Отримано залежність оцінки ефективності пиловловлювача від технологічних і фізико-механічних параметрів.

Ключові слова: інерційна сепарація, циклон, буран, ефективність пиловловлювача.

А.В. Карамушко, В.Я. Гамоліч, А.А. Буров. Сравнительная оценка результатов промышленных испытаний циклонов “СИОТ” и многоканальных пылеуловителей “Буран”. Выделены основные факторы, влияющие на эффективность инерционной сепарации. Проведено обобщение результатов промышленной эксплуатации циклонов и буранов. Получена зависимость оценки эффективности пылеуловителя от технологических и физико-механических параметров.

Ключевые слова: инерционная сепарация, циклон, буран, эффективность пылеуловителя

A.V. Karamushko, V.Ya. Gamolsch, A.A. Burov, Comparative evaluation of industrial test results of cyclones “SIOT” and multi-channel dust extractors “Buran”. The main factors affecting the efficiency of inertial separation are identified. The results of industrial operation of cyclones and burans are generalized. The dependence of assessing the effectiveness of dust collector on the technological and physical-mechanical parameters is obtained.

Keywords: inertial separation, cyclone, buran, effectiveness of dust collector.

Для выполнения постоянно повышающихся требований к качеству очистки промышленных выбросов в атмосферу предприятия вынуждены модернизировать и реконструировать системы газоочистки.

В связи с компактностью, небольшой стоимостью и простотой в эксплуатации инерционные пылеуловители получили широкое применение в системах очистки производственных предприятий. Из инерционных пылеуловителей наибольшее распространёнными являются циклоны. За почти полуторовековую историю циклоны получили огромное количество конструктивных воплощений и методик расчёта [1...4]. В отличие от циклонов бураны (многоканальные пылеуловители) совмещают центробежную сепарацию с многократной непрерывной фильтрацией запылённого потока через слои циркулирующих на равновесных орбитах частиц пыли различного дисперсного состава. Поэтому они занимают промежуточное место между инерционными пылеуловителями и фильтрами.

Основная задача, которая стоит перед теорией инерционной сепарации, — нахождение наименьшего (критического) размера частицы пыли, которая обладает и практически ощутимой относительной скоростью.

Очевидно, что осаждению подвергнется некоторая доля частиц, меньших по размеру, чем “критический”, но вошедших в инерционный пылесадительный аппарат в более благоприятных для их сепарации условиях. Таким образом, оценка эффективности сепарации улавливаем

мых частиц через минимальный диаметр (“критический размер”) не выражает абсолютной эффективности инерционного процесса, т.е. отношения массы уловленной пыли к начальному содержанию пыли в неочищенном воздухе. Поэтому большой интерес представляет сравнение существующих формул для расчета эффективности пылеуловителя и сравнение их результатов между собой и с результатами промышленных испытаний.

Анализ результатов промышленных испытаний циклонов и буранов (табл. 1) позволил прийти к выводу, что снижение расходов аспирируемых газов приводит к снижению коэффициента уноса пыли и уменьшению выбросов в атмосферу [5...7].

Выделим факторы, влияющие на эффективность центробежных пылеуловителей (циклонов, буранов). Обзор литературных источников показал, что действующие факторы можно разделить на технологические (C_0 — начальная массовая концентрация пыли, г/м³; Q — расход запыленного газа, м³/ч; ΔP — гидравлическое сопротивление пылеуловителя, Па) и физико-механические (ρ — плотность частицы пыли, кг/м³; d — медианный размер частицы пыли, мкм; w — средняя скорость витания частицы пыли, см/с).

Таблица 1

Результаты промышленных испытаний

Пыль Аппарат Фактор	Огарок			Наждачная пыль		
	циклон СИОТ№7	циклон СИОТ№7	буран, верт., $n = 6$	буран, верт., $n = 6$	буран, верт., $n = 6$	буран, верт., $n = 6$
	1	2	3	8	9	10
Q	10300	6750	11925	9600	9100	6800
ΔP	2000	730	2342	2100	1900	1150
C_0	30	26	31	2,4	2	0,4
ρ	3980	3980	3980	4230	4230	4230
d	3	3	3	38	38	38
w	0,13	0,13	0,13	20,5	20,5	20,5
η	0,7	0,8	0,85	0,92	0,96	0,985

Обобщение результатов промышленных испытаний проведем в виде зависимости эффективности пылеулавливания от перечисленных входных величин. Для этого технологические и физико-механические факторы сгруппируем в два безразмерных комплекса: объемную концентрацию пыли, которая равна отношению массовой концентрации пыли к плотности частиц пыли

$$\left(\varphi = \frac{C_0}{\rho} \right), \quad (1)$$

и безразмерный динамический комплекс (БДК)

$$\psi = \frac{Q\rho w}{\Delta P d^2}. \quad (2)$$

Выполним аппроксимацию зависимости коэффициента улавливания η от объемной концентрации пыли и БДК двухмерной функцией распределения Вейбула-Гнеденко

$$\eta = 1 - \exp(-\lambda X^\alpha Y^\beta), \quad (3)$$

где $X = 100\varphi$;

$Y = \psi/100$.

Приведем зависимость (3) к виду полинома, для этого перепишем его в виде

$$\exp(-\lambda X^\alpha Y^\beta) = 1 - \eta. \quad (4)$$

После логарифмирования (4) получим

$$\lambda X^\alpha Y^\beta = -\ln(1 - \eta),$$

что после повторного логарифмирования дает

$$\ln \lambda + \alpha \ln X + \beta \ln Y = \ln(-\ln(1 - \eta)). \quad (5)$$

Обозначим $\gamma = \ln \lambda$, $u = \ln X$, $v = \ln Y$, $z = \ln(-\ln(1 - \eta))$. Подставив эти обозначения в выражение (5), получим линейную функцию двух переменных u и v :

$$z(u, v) = \gamma + \alpha u + \beta v. \quad (6)$$

Таким образом, задача аппроксимации опытных данных привела к задаче вычисления трех коэффициентов γ , α , β . Эту задачу решим методом наименьших квадратов, для чего запишем систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial \gamma} \sum_{i=1}^n (\gamma + \alpha u_i + \beta v_i - z_i)^2 = 0 \\ \frac{\partial}{\partial \alpha} \sum_{i=1}^n (\gamma + \alpha u_i + \beta v_i - z_i)^2 = 0. \\ \frac{\partial}{\partial \beta} \sum_{i=1}^n (\gamma + \alpha u_i + \beta v_i - z_i)^2 = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Преобразуем (7) в систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} 6\gamma + \left(\sum_1^6 u_i\right)\alpha + \left(\sum_1^6 v_i\right)\beta = \sum_1^6 z_i \\ \left(\sum_1^6 u_i\right)\gamma + \left(\sum_1^6 u_i^2\right)\alpha + \left(\sum_1^6 u_i v_i\right)\beta = \sum_1^6 z_i u_i. \\ \left(\sum_1^6 v_i\right)\gamma + \left(\sum_1^6 u_i v_i\right)\alpha + \left(\sum_1^6 v_i^2\right)\beta = \sum_1^6 z_i v_i \end{cases} \quad (8)$$

Результаты расчета коэффициентов, входящих в систему, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета коэффициентов

X	Y	u	u^2	v	v^2	z	$u_i v_i$	$z_i u_i$	$z_i v_i$
0,7538	2,9607	-0,2827	0,0799	1,0854	1,1781	0,1856	-0,3068	-0,0525	0,2015
0,6533	5,3158	-0,4258	0,1813	1,6707	2,7912	0,4759	-0,7113	-0,2026	0,7950
0,7789	2,9272	-0,2499	0,0624	1,0741	1,1536	0,6403	-0,2684	-0,1600	0,6878
0,0567	2,7452	-2,8693	8,2330	1,0099	1,0198	0,9265	-2,8976	-2,6585	0,9357
0,0473	2,8762	-3,0516	9,3125	1,0565	1,1161	1,1690	-3,2239	-3,5675	1,2350
0,0095	3,5509	-4,6611	21,7256	1,2672	1,6058	1,4350	-5,9065	-6,6887	1,8185
Σ		-11,5404	39,5948	7,1637	8,8646	4,8324	-13,3146	-13,3298	5,6734

Подставим полученные значения коэффициентов в (8)

$$\begin{cases} 6\gamma - 11,54\alpha + 7,16\beta = 4,83 \\ -11,54\gamma + 39,59\alpha - 13,31\beta = -13,33. \\ 7,16\gamma - 13,31\alpha + 8,86\beta = 5,67 \end{cases} \quad (9)$$

Решив (9) получим, что, $\alpha = -0,23$, $\beta = 0,04$, $\gamma = 0,3$, тогда $\lambda = 1,35$.

В результате аппроксимации получили зависимость оценки эффективности пылеуловителя от шести параметров

$$\eta = 1 - \exp \left(-1,35 \left(\frac{100 \times C_0}{\rho} \right)^{-0,23} \left(\frac{\rho \times Q \times V}{100 \times d^2 \times \Delta P} \right)^{0,04} \right). \quad (10)$$

Результаты расчета эффективности пылеулавливания циклонов и буранов по формулам из [4] и [7] и полученной зависимости (10), а также их сравнение с результатами промышленного эксперимента представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета эффективности пылеулавливания

Аппарат	Пыль	$\eta_{\text{пром.}}$	$\eta_{\text{лит.}}$	η
Циклон СИОТ№7	Огарок	0,7	0,86	0,78
Циклон СИОТ№7	Огарок	0,8	0,86	0,80
Буран, верт., $n = 6$	Огарок	0,85	0,97	0,78
Буран, верт., $n = 6$	Наждачная пыль	0,92	0,97	0,94
Буран, верт., $n = 6$	Наждачная пыль	0,96	0,97	0,94
Буран, верт., $n = 6$	Наждачная пыль	0,985	0,97	0,99

Среднеквадратичная погрешность вычислений по (10) составила 5 %, по зависимостям из [4, 7] — 10 %.

Разработанная методика позволяет прогнозировать эффективность работы проектируемых пылеулавливающих аппаратов с учетом свойств улавливаемой пыли, а также выбрать наиболее эффективные режимы работы существующих пылеуловителей.

Литература

1. Гервасьев, А.И. Пылеуловители СИОТ / А.И. Гервасьев. — М.: Профиздат, 1954. — 95 с.
2. Страус, В. Промышленная очистка газов / В.Страус. — М.: Химия, 1981. — 617 с.
3. Идельчик, И.Е. Гидравлическое сопротивление циклонов НИИОГАЗа / И.Е. Идельчик, А.Д. Мальгин // Промэнергетика. — 1969. — № 8. — С. 45 — 48.
4. Гупта, А. Закрученные потоки / А. Гупта, Д. Лили, Н. Сайред; пер. с англ. — М.: Мир, 1987. — 588 с.
5. Очистка воздуха и дымовых газов от пыли огарка / [А.А. Буров, А.И. Буров, Н.Ф. Рябчикова и др.] // Сб. науч. статей XVI Междунар. науч.-практ. конф. “Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов”. Т.1. / УкрГНТЦ “Энергосталь”. — Харьков, 2008. — С. 404 — 409.
6. Буров, А.А. Эксплуатация буранов на металлургическом заводе / А.А. Буров. // Сб. науч. статей XVI Междунар. науч.-практ. конф. “Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов”. Т. 1. / УкрГНТЦ “Энергосталь”. — Харьков, 2008. — С. 410 — 414.
7. Буров, А.А., Система каналов с замкнутыми контурами и вертикальной осью вращения газового потока / А.А. Буров, В.А. Толкач // Матеріали VI Всеукр. наук.-практ. конф. “Охорона навколишнього середовища промислових районів як умова сталого розвитку України”. — Запоріжжя, 2010. — С. 26 — 29.

References

1. Gervasiev, A.I. Pyleuloviteli SIOT [Dust Collectors SIOT] / A.I. Geravasiev. — Moscow, 1954. — 95 p.
2. Straus, V. Promyshlennaya ochildka gazov [Industrial Gas Cleaning] / V. Straus. — Moscow, 1981. — 617 p.
3. Idelchik, I.E. Gidravlichesкое soprotivlenie tsiklonov NIIOGAZa [The Hydraulic Resistance of the Cyclone NIIOGAZ] / I.E. Idelchik, A.D. Malgin // Promenergetika. — 1969. — # 8. — pp. 45 — 48.
4. Gupta, A. Zakruchennye potoki [Swirling Flows] / A. Gupta, D. Lili, N. Saired: transl. from English — Moscow, 1987. — 588 p.

5. Ochistka vozdukha i dymovykh gazov ot pyli ogarka [Cleaning of Air and Flue gases from Cinder Dust in Cyclones and Burans] / [A.A. Burov, A.I. Burov, N.F. Riabchikova etc.] // Sb. nauch. statey XVI. Mezhdunar. nauch.-prak. konf. "Ekologiya i zdorovie cheloveka. Okhrana vozdushnogo i vodnogo basseynov. Utilizatsiya otkhodov". Vol. 1. [Collection of scientific papers of the XVI international conference "Environment and Human Health. Protecting Air and Water Basins. Recycling of Waste"] / UkrSSEC "Energostal". — Kharkov, 2008. — pp. 404 — 409.
6. Burov, A.A. Ekspluatatsia buranov na metalurgicheckom zavode [Operation of Burans at a Metallurgical Plant] / A.A. Burov. // Sb. nauch. statey XVI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Ekologiya i zdorovie cheloveka. Okhrana vozdushnogo i vodnogo basseynov. Utilizatsiya otkhodov". Vol.1. [Collection of sci. papers of the XVI intern. sci. and pract. conf. "Environment and Human Health. Protecting Air and Water Basins. Recycling of Waste"] / UkrSSEC "Energostal". — Kharkov, 2008. — pp. 410 — 414.
7. Burov, A.A. Sistema kanalov s zamknutymi konturami i vertikalnoy os'yu vrashcheniya gazovogo potoka [System of Channels with Closed Loops and the Vertical Axis of Rotation of the Gas Flow] / A.A. Burov, V.A. Tolkach. // Materialy VI Vseukr. nauk.-prakt. konf. "Okhorona navkolyshnoho sere-dovyshcha promyslovykh raioniv yak umova staloho rozvytku Ukrainy". [Materials of the VI All-Ukrainian sci. and pract. conf. "Environmental Protection of Industrial Areas as a Condition for Sustainable Development of Ukraine"]. — Zaporozhye, 2010. — pp. 26 — 29.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Королев А.В.

Поступила в редакцию 9 апреля 2012 г.