

УДК 621.928.9

Приемов С.И.

Институт технической теплофизики НАН Украины

НОВЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛАВЛИВАНИЯ ПЫЛИ В СКРУББЕРАХ ВЕНТУРИ

Запропоновано новий метод розрахунку ефективності вловлювання в скруббері Вентури аерозолів з невідомими фізико-хімічними параметрами.

Предложен новый метод расчета эффективности улавливания в скруббере Вентури аэрозолей с неизвестными физико-химическими параметрами.

A new method of calculation of the efficiency of aerosols recovery in Venturi scrubbers with unknowns physical chemical parameters is proposed.

d – диаметр горловины;

d_{50} – медианный диаметр пыли;

K_T – расход энергии на очистку 1000 м³ газа, (кДж);

l – длина горловины;

m – величина удельного орошения;

Re_r, Re – критерии Рейнольдса, рассчитанные соответственно по d и λ_0 ;

t – температура;

$u_{ж}$ – динамическая скорость;

V – скорость;

δ – величина «диффузионного пограничного слоя»;

ε – скорость диссипации энергии турбулентного движения на единицу массы, равная (V^3/d);

η – эффективность очистки;

λ_0 – внутренний колмогоровский масштаб турбулентности, равный $(\nu_r/V_r)^{3/4}(d)^{1/4}$;

ν – коэффициент кинематической вязкости;

ρ – плотность;

σ – стандартное отклонение распределения частиц пыли по размерам.

Индексы верхние:

p – расчет;

ε – эксперимент.

Индексы нижние:

Γ – газ;

Π – пыль.

В технике пылеулавливания при оценке эффективности очистки в скрубберах Вентури особенности каждой пыли учитываются путем экспериментального определения значений коэффициентов (B, x) в уравнении

$$\eta = 1 - \exp(-BK_T^x). \quad (1)$$

Однако, в ряде случаев такие данные отсутствуют и для их определения требуются значительные затраты времени и объемов исследований в конкретных производственных условиях.

В настоящей работе предлагается новый метод расчета эффективности улавливания пыли в скруббере Вентури, основанный на использовании определяющего влияния на эффективность улавливания пыли в механических скрубберах и в скруббере Вентури величины (λ_0) [2].

Так, в табл. 1–2 приведены данные испытаний скруббера Вентури на пыли талька ($d_{50} = 9$ мкм; $\sigma_n = 2,33$; $d = 0,076$ м; $t_r = 20$ °С) [3] и П.А. Коузова по оценке эффективности очистки в коагуляционном мокром пылеуловителе КМП (скруббере Вентури) на кварцевой пыли ($d_{50} = 8$ мкм; $\sigma_n = 3,75$; $d = 0,145$ м) [4].

В табл. 3 приведены результаты оценок значений парных коэффициентов корреляции различных факторов с величиной « η ».

Ранжировка по величине коэффициентов корреляции между наиболее значимыми факторами и эффективностью очистки в различных по конструктивному выполнению скрубберах Вентури показывает, что наибольшее влияние на эффективность очистки от пыли оказывает величина диффузионного пограничного слоя, которая, как известно, прямо пропорциональ-

Табл. 1. Опыты по оценке эффективности очистки скруббера Вентури ($d_{50} = 9$ мкм; $\sigma_n = 2,33$; $l = 0,3$ м; $d = 0,076$ м; $t_r = 20$ °С; ПЫЛЬ-ТАЛЬК) [3]

V_r , м/сек	40	50	60	70	80
ε , м ² /сек	$0,88 \cdot 10^6$	$1,645 \cdot 10^6$	$2,842 \cdot 10^6$	$4,51 \cdot 10^6$	$6,74 \cdot 10^6$
$\lambda_0 \cdot 10^6$, м	9,87	7,72	6,73	6,0	5,42
$Re_r \cdot 10^5$	2,057	2,53	3,04	3,55	4,05
u_* , м/с	1,81	2,19	2,58	2,97	3,35
Re_{λ_0}	0,957	0,982	1,01	1,035	1,056
$\delta = 2,3\lambda_0 \cdot 10^6$, м	18,1	15,4	13,5	12,0	10,9
η , %	81	92,7	95,6	97,2	98,2

Табл. 2. Опыты П.А. Коузова по оценке эффективности очистки в скруббере КМП ($d_{50} = 8$ мкм; $\sigma_n = 3,75$; $d = 0,145$ м; $t_r = 20$ °С; ПЫЛЬ-КВАРЦ) [4]

V_r , м/сек	20	30	40	50	60	70	80
ε , м ² /сек	55172	186206	441380	862000	1490650	2365000	3530000
$\lambda_0 \cdot 10^6$, м	16,9	11,7	9,1	7,36	6,23	5,41	4,79
$Re_r \cdot 10^5$	1,93	2,9	3,87	4,88	5,8	6,77	7,73
u_* , м/с	0,887	1,28	1,66	2,04	2,408	2,77	3,13
Re_{λ_0}	0,96	1,01	1,0	1,098	1,134	1,12	1,192
$\delta = 2,3\lambda_0 \cdot 10^6$, м	39,0	26,8	20,9	17,0	14,3	12,5	11,0
η , %	78,0	85,0	92,0	95,0	96,8	97,8	98,0

Табл. 3. Значения парных коэффициентов корреляции

Коэффициенты корреляции	Скруббер Вентури	КМП	Средние значения
$r_{\varepsilon, \eta}$	0,7648	0,756	0,76
$r_{Re_r, \eta}$	0,862	0,918	0,89
$r_{u_n, \eta}$	0,866	0,924	0,895
$r_{Re_{\lambda_0}, \eta}$	0,898	0,867	0,883
$r_{\delta, \eta}$	0,955	0,993	0,974

ная величине « λ_0 » [3].

На этом основании в данной работе предлагается новый метод оценки эффективности очистки в скрубберах Вентури от различных аэрозолей с неизвестными значениями коэффициентов в уравнении (1).

В основе такого метода лежит возможность прогнозирования эффективности очистки в скрубберах Вентури при различных значениях энергозатрат по результату всего лишь одного испытания на конкретной пыли, то есть при одном уровне энергозатрат и при известном значении величины « λ_0^3 ».

Последнее возможно в связи с тем, что отношения величин «проскоков» пыли проведен-

ного одного испытания к величине «проскоков» пыли в любых других режимах работы скруббера Вентури на этой пыли (при отличающихся значениях величин энергозатрат от испытанного одного режима ее работы) может быть рассчитано по зависимости:

$$\varepsilon^P = \varepsilon^3 (\lambda_0 / \lambda_0^3)^n, \quad (2)$$

где показатель степени «*n*» определен в функции от величины «*d*₅₀» и ниже приведены необходимые для его оценки данные по результатам обработки наиболее достоверных экспериментальных исследований.

В табл. 4 приведены данные исследования эффективности улавливания пыли в скруббере Вентури кварцевой пыли (*d* = 0,145 м; *d*₅₀ = 5 мкм ; *t*_г = 20 °С) [5].

Оптимальное значение показателя степени при отношении величин «*λ*₀» для данных табл. 4 составило величину 4,2; при этом средняя ошибка расчетов величины «*ε*^{*P*}» по предлагаемому новому методу, составила 11,8 %, что вполне удовлетворительно, поскольку не превышает рекомендуемых 15 % [6].

В табл. 5 приведены данные П.А. Коузова по исследованию эффективности улавливания кварцевой пыли в скруббере Вентури (*d* = 0,145 м; *t*_г = 20 °С; *d*₅₀ = 8 мкм; *t*_г = 20 °С ; *ρ*_{*n*} = 2650 кг/м³) [4].

Для приведенных в табл. 5 данных оптимальное значение показателя степени при отношении величин «*λ*₀» составило величину 4; при этом средняя ошибка расчетов величины «проскока» по предлагаемому методу составила 3 %, что вполне удовлетворительно,

Табл. 4. Результаты исследования эффективности улавливания кварцевой пыли в скруббере Вентури [5] и расчетов значений «*ε*^{*P*}»

<i>V</i> _г , м/с	40	50	60	70	80
<i>λ</i> ₀ · 10 ⁶ , м	9,35	7,91	6,9	6,146	5,56
<i>m</i> , л/м ³	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
<i>η</i> ³ , %	87	93	96	97,7	98,8
«Проскок» пыли, <i>ε</i> ³ = (100- <i>η</i> ³), %	13	7	4	2,3	1,2
(<i>λ</i> ₀ /9,35 · 10 ⁻⁶) ^{4,2}	1	0,495	0,279	0,172	0,113
« Проскок » пыли, <i>ε</i> ^{<i>P</i>} = 13(<i>λ</i> ₀ /9,35 · 10 ⁻⁶) ^{4,2}	13	6,43	3,63	2,23	1,46

Табл. 5. Результаты исследования эффективности улавливания пыли в скруббере Вентури [4] и расчетов значений «*ε*^{*P*}»

<i>V</i> _г , м/с	40	50	60	70
<i>λ</i> ₀ · 10 ⁶ , м	9,35	7,91	6,9	6,146
<i>m</i> , л/м ³	0,5	0,5	0,5	0,5
<i>η</i> ³ , %	93,5	96,5	98,0	98,8
«Проскок» пыли, <i>ε</i> ³ = (100- <i>η</i> ³), %	6,5	3,5	2,0	1,2
(<i>λ</i> ₀ /9,35 · 10 ⁻⁶) ⁴	1	0,495	0,279	0,172
« Проскок » пыли, <i>ε</i> ^{<i>P</i>} = 6,5(<i>λ</i> ₀ /9,35 · 10 ⁻⁶) ⁴	6,5	3,33	1,93	1,21

поскольку также не превышает рекомендуемых 15 % [6].

В табл. 6 приведены данные Л.И. Ещенко по исследованию эффективности улавливания в скруббере Вентури каолиновой пыли ($d=0,066$ м; $d_{50}=1,85$ мкм; $\sigma_n=3$; $\rho_n=2550$ кг/м³; $t_r=102...133$ °С) [7].

Для приведенных в табл. 6 данных оптимальное значение показателя степени при отношении величин « λ_0 » составило величину 5,0; при этом средняя ошибка расчетов величины «проскока» пыли составила 10,2 %, что не превышает рекомендуемых 15 % [6].

В табл. 7 приведены данные по исследованию эффективности улавливания в скруббере Вентури тальковой пыли ($d=0,076$ м; $d_{50}=9,0$ мкм; $\sigma_n=2,33$; $\rho_n=2275$ кг/м³;

$t_r=70...100$ °С) [3].

Для приведенных в табл. 7 данных оптимальное значение показателя степени при отношении величин λ_0 составило величину 4; при этом средняя ошибка расчетов величины «проскока» пыли составила 2,8 %, что не превышает рекомендуемых 15 % [6].

Обработка данных, приведенных выше таблиц, позволила оценить величину показателя степени « n » в уравнении (2) в виде зависимости:

$$n = 1,9/d_{50} + 3,8. \quad (3)$$

Таким образом, расчет величины «проскока» пыли (ε^p) в различных по энергозатратам режимах работы скруббера Вентури на пылях с известным дисперсным составом может осу-

Табл. 5. Результаты исследования эффективности улавливания пыли в скруббере Вентури [4] и расчетов значений « ε^p »

V_r , м/с	40	50	60	70
$\lambda_0 \cdot 10^6$, м	9,35	7,91	6,9	6,146
m , л/м ³	0,5	0,5	0,5	0,5
η^3 , %	93,5	96,5	98,0	98,8
«Проскок» пыли, $\varepsilon^3 = (100-\eta^3)$, %	6,5	3,5	2,0	1,2
$(\lambda_0/9,35 \cdot 10^{-6})^4$	1	0,495	0,279	0,172
«Проскок» пыли, $\varepsilon^p = 6,5(\lambda_0/9,35 \cdot 10^{-6})^4$	6,5	3,33	1,93	1,21

Табл. 6. Результаты исследования эффективности улавливания каолиновой пыли в скруббере Вентури [7] и расчетов значений « ε^p »

V_r , м/с	50	60	70	80
$\lambda_0 \cdot 10^6$, м	8,062	7,106	6,26	5,67
m , л/м ³	0,8	0,8	0,8	0,8
η^3 , %	75	88	92,5	95
«Проскок» пыли, $\varepsilon^3 = (100-\eta^3)$, %	25	12	7,5	5
$(\lambda_0/8,062 \cdot 10^{-6})^5$	1	0,532	0,282	0,172
«Проскок» пыли, $\varepsilon^p = 25(\lambda_0/8,062 \cdot 10^{-6})^5$	1	13,3	7,06	4,3

Табл. 7. Результаты исследования эффективности улавливания тальковой пыли в скруббере Вентури [3] и расчетов значений « ε^P »

V_r , м/с	40	50	60	70	80
$\lambda_0 \cdot 10^6$, м	9,87	7,72	6,73	6,0	5,42
m , л/м ³	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
η^3 , %	81	92,7	95,5	97,5	98,2
«Проскок» пыли, $\varepsilon^3 = (100 - \eta^3)$, %	19	7,3	4,5	2,5	1,8
$(\lambda_0/9,87 \cdot 10^{-6})^4$	1	0,374	0,216	0,136	0,091
«Проскок» пыли, $\varepsilon^P = 19(\lambda_0/9,87 \cdot 10^{-6})^4$	19	7,1	4,1	2,59	1,73

ществляться по зависимости:

$$\varepsilon^P = \varepsilon^3 (\lambda_0 / \lambda_0^3) \quad (4)$$

Одним из первых применений приведенного выше метода было внедрение 10 установок мокрого коагулятора Вентури (МКВ–15) единичной производительностью по очищаемому газу по 15 тыс. м³/ч на Фастовском заводе химического и нефтяного машиностроения «Красный Октябрь» при очистке аспирационных выбросов из дробеструйных камер (№ 860, 861) и мест шликерования участка № 2 эмалировочного цеха, а также ряда установок мокрого коагулятора Вентури (МКВ–15) на Киевском редукторном заводе.

Так, в связи с отсутствием данных об эффективности очистки скрубберами Вентури таких аэрозолей, на Фастовском заводе первоначально было проведено исследование степени очистки аспирационных выбросов из дробеструйных камер в модельном скруббере

Вентури (с $d = 0,076$ м) при одном уровне энергозатрат. Затем, используя результаты испытаний в модельном скруббере Вентури, были разработаны, внедрены и исследованы промышленные скрубберы «МКВ-15» на Фастовском заводе химического и нефтяного машиностроения «Красный Октябрь» при очистке аспирационных выбросов из дробеструйных камер.

В табл. 8 приведены результаты испытаний в производственных условиях модельного скруббера Вентури и промышленных установок «МКВ–15», а также расчетов по приведенной выше методике.

Средняя ошибка расчетных величин «проскока» (ε^P) по предлагаемому методу составила для данных таблицы 1,93 %, что вполне удовлетворительно, поскольку не превышает рекомендуемых 15 % [6].

Выводы

Табл. 8. Результаты исследования эффективности улавливания пыли в модельном и промышленном скрубберах Вентури [3] и расчетов значений « ε^P »

Тип скруббера	d , м	V_r , м/с	d_{50} , мкм	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$, м	$(\lambda_0/6,73 \cdot 10^{-6})^4$	«Проскок» пыли (100 - η^3), %	«Проскок» пыли, $\varepsilon^P = 0,506 \cdot (\lambda_0/6,73 \cdot 10^{-6})^4 \cdot 0$
Модель	0,076	60	12,3	6,73	1	0,506	–
МКВ–15	0,3	60	12,3	9,49	3,95	1,99	2,0
МКВ–15	0,3	52	12,3	10,56	6,07	2,97	3,07

Предложен новый метод расчета эффективности улавливания различных аэрозолей с неизвестными физико-химическими свойствами в скруббере Вентури по результатам его испытаний при одном значении уровня энергозатрат, основанный на использовании определяющего влияния на эффективность улавливания пыли величины внутреннего колмогоровского масштаба турбулентности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вальдберг А.Ю. К расчету эффективности мокрых пылеуловителей // ТОХТ.–1987.–№3.– С. 407-411.
2. Колмогоров А.Н. Локальная структура турбулентности в несжимаемой вязкой жидкости при очень больших числах Рейнольдса // Докл. АН СССР.–1941.–30.–№4.– С. 299-303.
3. Приемов С.И. Улавливание и рекуперация кормовых и пищевых аэрозолей мокрым коагуляционным методом. // Автореф....докт. техн. наук.– Л.– 1990.– 33 с.

4. Коузов П.А., Мыльников С.И. Сравнительная оценка и рекомендации по унификации мокрых пылеуловителей // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС.–1971, вып.74 – С. 17-23.

5. Мыльников С.И., Мамкин П.П. Исследование коагуляционного мокрого пылеуловителя КМП конструкции «Ленинградский Промстройпроект» // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС.– 1970.– вып.71.– С. 25-30.

6. Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрябин Г.М. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности.– Л.: Химия, 1982.– 256 с.

7. Брыляков В.Е., Еценко Л.И., Шагарова Б.А. и др. Оптимизация турбулентных промывателей при обеспыливании тонкодисперсных каолиновых аэрозолей. // Тр. НИПИОТСТРОМ.– 1974.– вып. 8.– С. 38-44.

Получено 27.01.2009 г.