

## РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ПО ПРОГРАММЕ «ЦИКЛОН»

**Рябова Е.А., Войтович М.А., Рябов А.В.** (*Одесская государственная академия строительства и архитектуры г. Одесса*)

**В данной статье приводится методика расчета и программа для определения суммарной степени очистки воздуха.**

Вентиляция деревообрабатывающих цехов далеко не простая задача. Они включают в себя множество отделений, при этом процесс обработки древесины сопровождается выделением в рабочую зону опилок, стружек и древесной пыли. Типовые проекты пылеулавливающих установок деревообрабатывающих производств предусматривают установку циклонов ОЭКДМ (другое название «Клайпеда»), а также Ц (Меркушева) [1]. Благодаря простоте конструкции, малым габаритам и надежности в эксплуатации они продолжают оставаться суперпопулярными в практике воздухоочистки. При этом следует помнить, никакой циклон не способен очищать воздух на 100%, т.е. полностью, 3% проскока считается максимальным и отличным результатом, который обычно также не достигается. [2]

При проектировании и эксплуатации систем вентиляции расчет эффективности очистки воздуха от пыли в циклонах целесообразно выполнять при помощи программ, в данном случае – разработанной нами «Циклон» в Excel 2007, при разработке за основу принята методика расчета и характеристики изложенные в [2]:

$d_{50}^T$  – диаметр частиц пыли, улавливаемой на 50%, мкм;

$\lg \sigma_{\eta}^T$  – стандартное отклонение фракции распределения степени очистки;

$\omega_0$  – оптимальная скорость воздуха в цилиндрической части циклона, м/с;

Необходимая площадь сечения циклонов, определяется по формуле:

$$F = Q_p / \omega_0, \text{ м}^2 \quad (1)$$

После преобразования первоначальной формулы, принятой по [1], диаметр примет следующее значение:

$$D_p = \sqrt{354 \cdot Q_p / \omega_0}, \text{ мм} \quad (2)$$

Таким же образом определяем и действительную скорость воздуха циклона:

$$\omega = 354 \cdot Q_p / D^2, \text{ м/с} \quad (3)$$

Параметр  $d_{50}^T$  получен при оптимальной скорости воздуха в циклоне диаметром ( $D_T$ ) 600 мм, плотности частиц пыли ( $\rho_c^T$ ) 1930 кг/м<sup>3</sup> и динамической вязкости воздуха ( $\mu^T$ )  $22,2 \cdot 10^{-6}$  Па·с, поэтому при заданных условиях (диаметр циклона, скорость воздуха, плотность пыли динамическая вязкость) определяется действительное значение по зависимости:

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{(D / D_T) \cdot \rho_c^T / \rho_c \cdot (\mu / \mu^T) \cdot \omega_o / \omega}, \text{ мкм} \quad (4)$$

Учитывая постоянство составляющих, приведенную зависимость можно преобразовать с учетом стандартного состояния воздуха (температура 20 °С, динамическая вязкость  $18,3 \cdot 10^{-6}$  Па·с):

$$d_{50} = A \sqrt{D / \rho_c \cdot \omega}, \text{ мкм} \quad (5)$$

где А – коэффициент, зависящий от типа циклона [3].

Основные характеристики, используемые в расчете приведены на рис. 1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Параметры циклонов															
2	Наименование	$d_{50}^T$ , мкм	$\lg \sigma_{\eta}^T$	$\omega_{opt}$ , м/с	A	Диаметры, мм										
3	Ц	4,12	0,34	3,3	5,29	250	300	375	450	550	675	800	950	1150	1400	1500
4	ОЭКДМ	3,1	0,25	1,1	12,19	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	3040	3400	-

Рис. 1. Параметры циклонов

Ниже, на рис. 2 приведена программа и применяемые функции, необходимые для определения эффективности очистки воздуха. В первую очередь в ячейки **F2:F6** вводим исходные данные: объем очищаемого воздуха,  $Q_p$ , м<sup>3</sup>/ч; плотность частиц пыли,  $\rho_c$ , кг/м<sup>3</sup>; медиальный размер частиц пыли,  $d_{50}$ , мкм; показатель полидисперсности пыли,  $\sigma_{\eta}$ ; запыленность воздуха на входе в циклон  $c_b$ , мг/м<sup>3</sup>.

Далее, в ячейке **A10** из выпадающего списка выбираем тип циклона (Ц или ОЭКДМ) – диапазон **Циклоны** (ячейки **A3:A4**), остальные параметры присваиваются автоматически из диапазона **Исходные данные** (ячейки **B3:E4**) и функции **ИНДЕКС**. Ячейка **E10** является связующей между диапазонами **Циклоны** и **Исходные данные**.

$d_{50}^T$ , мкм – **ИНДЕКС(Исходные\_данные;E10;1)**;

$\lg \sigma_{\eta}^T$  – **ИНДЕКС(Исходные\_данные;E10;2)**;

$\omega_o$ , м/с – **ИНДЕКС(Исходные\_данные;E10;3)**;

Необходимая площадь сечения и диаметр циклона определяются соответственно:  $F$ , м<sup>2</sup> – **F2/(3600\*D10)** и  $D_p$ , мм – **ОКРУГЛВВЕРХ((354\*F2/D10)^0,5;-1)**, при этом данное значение округляем с избытком до единичного разряда.

Стандартный диаметр D, мм принимается ближайшим к расчетному. В ячейке **G14** открывается выпадающий список в зависимости от выбранного циклона с помощью функции =ДВССЫЛ(\$A\$10). По полученному значению рассчитывается действительная скорость воздуха, которая не должна отличаться от оптимальной более чем на 15% [1], и размер частиц пыли, устанавливаемых в циклоне на 50%. Так как скорость должна лежать в требуемых пределах, используем следующую функцию =ЕСЛИ((Скорость < 0,85\*D10) + (Скорость > D10\*1,15); "Ошибка";Скорость).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	<b>ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ</b>							
2		Объем очищаемого воздуха, Q <sub>р</sub> , м <sup>3</sup> /ч						
3		Плотность частиц пыли, ρ <sub>ч</sub> , кг/м <sup>3</sup>						
4		Медальный размер частиц пыли, d <sub>ч</sub> , мкм						
5		Показатель полидисперсности пыли, σ <sub>ч</sub>						
6		Запыленность воздуха на входе в циклон с <sub>в</sub> , мг/м <sup>3</sup>						
7	<b>РАСЧЕТ</b>							
8	1. Задаемся типом циклона:							
9	Тип циклона	d <sub>50</sub> <sup>T</sup> , мкм	lg σ <sup>T</sup> η	ω <sub>опт</sub> , м/с				
10	▼							
11	Ц ОЖДМ							
12	2. Определяем необходимую площадь сечения циклонов, м <sup>2</sup> :					F=		м <sup>2</sup>
13	3. Определяем диаметр циклона, мм:					D <sub>F</sub> =		мм
14	4. Принимаем стандартный диаметр, мм:					D=		мм
15	5. Вычисляем действительную скорость газа в циклоне, м/с:					ω=		м/с
16	6. Определение значения параметра d <sub>50</sub> , мкм:					d <sub>50</sub> =		мкм
17	7. Определяем параметр, X:					X=		
18	8. Эффективность очистки пыли η, %					η=		%
19	9. Запыленность воздуха на выходе из циклона с, мг/м <sup>3</sup> :					c=		мг/м <sup>3</sup>

Рис.2. Расчет эффективности очистки воздуха

В случае, если диаметр определен неверно в ячейке **G15**, появится сообщение **Ошибка**, для продолжения расчета следует принять другой диаметр или изменить тип циклона. Значение диапазона **Скорость**, принимается по формуле =354\* Лист1!\$F\$2/Лист1!\$G\$14^2. Значение параметра d<sub>50</sub> при рабочих условиях (диаметр циклона, скорость потока, плотность пыли, динамическая вязкость) определяем с помощью функции =ИНДЕКС(Исходные\_данные;E10;4)\*(G14/F3\*G15)^0,5.

Запыленность воздуха на выходе из циклона, с, мг/м<sup>3</sup>, определяется по формуле:

$$c = (1 - \eta) \cdot c_v, \text{ мг/м}^3 \quad (6)$$

где η=Φ(x) – эффективность очистки газа, функция распределения, заданная в [1] или формулой приведенной в [4]:

$$\Phi(x) = 0,5 + \arctg(X) / 2,3 \quad (7)$$

где X - параметр, определяемый по формуле, рад:

$$X = \lg(d_c / d_{50}) / \sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_c} \quad (8)$$

При определении данных с помощью программы Microsoft Excel данные формулы примут вид: для параметра X -  $=\text{LOG10}(\text{F4}/\text{G16}/(\text{C10}^2 + \text{LOG10}(\text{F5})^2)^{0,5})$ , эффективность очистки -  $=((0,5 + \text{ATAN}(\text{G17}))/2,3) * 100$ , и соответственно запыленность воздуха на выходе -  $=(1 - \text{G18}/100) * \text{F6}$ .

Предусмотренные программой численные решения позволяют выполнить расчет при эффективности очистки менее 0,5, при этом следует учитывать, что при динамической вязкости воздуха, отличной от принятой, значение «А» необходимо умножить на поправку  $(\mu \cdot 118,3 \cdot 10^{-6})^{0,5}$  [3].

При расчете для группы циклонов расход очищаемого воздуха уменьшается на величину, кратную количеству принятых циклонов.

### **Вывод**

Разработанная программа дает возможность при незначительных затратах времени выполнить расчет общей и фракционной степени очистки воздуха от пыли в циклонах деревообрабатывающих производств. Интерфейс, в случае необходимости, позволяет добавлять другие типы циклонов, что позволит расширить применение программы и для других целей.

### **Summary**

**This article provides a methodology and calculation program for determining total degree of air purification. For ease of using, some formulas have been converted and the data tables of the distribution function replaced by the function.**

1. Справочник по пыли- и золоулавливанию./М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др.; Под общ. ред. А.А. Русанова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с., с ил. 2. Стольвент - вентиляция столярных цехов. Циклоны вентиляции деревообрабатывающих цехов. <http://stolvent.narod.ru/zamciki.htm>. 3. Расчет эффективности очистки воздуха в циклонах на программируемых калькуляторах./ Рябов А.В.// Судостроительная промышленность. Серия Промышленная энергетика, охрана окружающей среды, энергоснабжение судов. – 1989. – Вып.7. – С.51-56. 4. Методические указания к выполнению практической работы «Пылеулавливающие аппараты для очистки выбросов в атмосферу. Расчет циклонов»/Сост. В.В Севриков, А.А. Никитин. - Севастополь: Изд. СевНТУ, 2008. - 24с.