

УДК 664.1-047.37:551.510.42

В. А. Юрченко, К. С. Пономарев, С. Д. Пономарева

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНОЙ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ КАКАО КОНДИТЕРСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

UDC 664.1-047.37:551.510.42

V. O. Yurchenko, K. S. Ponomarov, S. D. Ponomarova

INVESTIGATION OF CHARACTERISTICS OF ECOLOGICALLY DANGEROUS FINE COCOA DUST FORMED IN CONFECTIONERY MANUFACTURING

Аннотация

Экспериментально определены характеристики частиц органической пыли (какао), образующейся на кондитерских предприятиях. Установлены характеристики, необходимые для оценки экологической ситуации в условиях выброса экологически наиболее опасных частиц ТЧ_{2,5}, ТЧ₁₀ (математическое моделирование рассеивания частиц в атмосферном воздухе, оценка уровня экологической опасности и идентификация частиц, загрязняющих выбросы, идентификация источников выбросов) и обеспечения надежной защиты атмосферного воздуха от этого вида загрязнения (эффективность работы пылеочистительного оборудования по улавливанию мелкодисперсных частиц, подбор фильтрующего оборудования).

Ключевые слова:

кондитерское производство, пыль какао, дисперсный состав, частицы менее 10 мкм, эффективность пылеулавливающего оборудования.

Abstract

Characteristics of organic dust particles (cocoa) formed in confectionery manufacturing were experimentally determined. Characteristics, necessary for assessment of environmental issues caused by emissions of the most environmentally hazardous particles PM_{2.5} and PM₁₀ were defined (for mathematical modeling of dispersion of such particles in the atmosphere, assessment of environmental hazard degree, identification of pollutant particles, as well as for identification of emission sources). These characteristics can also ensure reliable protection of atmospheric air from this type of pollution (efficient operation of dust-cleaning equipment for collecting fine particles and appropriate selection of filtration equipment).

Key words:

confectionery manufacturing, cocoa dust, particle size distribution, particles less than 10 μm, efficiency of dust collection equipment.

Введение

Сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и повышение экологической безопасности предприятий как основных источников антропогенных выбросов является острой проблемой для многих городов Украины. В 2015 г. в Украине превышение среднесуточных концентраций основных за-

грязняющих атмосферный воздух веществ (диоксида азота, формальдегида, взвешенных веществ (в том числе ТЧ₁₀, ТЧ_{2,5}), оксида углерода, диоксида серы) выявлено в 23 городах [1]. Достичь уменьшения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух возможно, помимо прочего, в результате реализации природоохранных мероприятий на уровне каждого предприятия не

© Юрченко В. А., Пономарев К. С., Пономарева С. Д., 2018



только за счет внедрения новых технологий, но и за счет улучшения существующих, что экономически достаточно привлекательно.

Одним из основных загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух, являются взвешенные твердые частицы (пыль). Особенно опасны для окружающей среды и человека взвешенные твердые частицы размером до 10 мкм (ТЧ₁₀ согласно [2]) и размером до 2,5 мкм (ТЧ_{2,5} согласно [2]). Изучением влияния взвешенных твердых частиц в целом, а также ТЧ₁₀ и ТЧ_{2,5} в частности, на человека занимались Ф. Ф. Эрисман, Б. А. Неменко, О. В. Ложкина, А. Н. Давыденко и др. Экологическая проблема, создаваемая выбросами взвешенных твердых частиц, решается очень медленно и только в отдельных отраслях промышленности Украины. К тому же дисперсный состав взвешенных твердых частиц, образующихся на различных производствах, остается малоизученным.

По темпам роста производства в Украине лидирующие позиции занимают предприятия пищевой промышленности, а в их составе – предприятия кондитерского производства, которые по объему продаж (12,4 %) занимают третье место среди товаров продовольственной группы [3]. Источниками взвешенных твердых частиц в газообразных выбросах на кондитерском производстве являются технологические процессы, в которых используются сыпучие материалы (какао, крахмал, сахар, мука) [4]. Их экологическая опасность усиливается рядом факторов: максимально близкое к жилой застройке расположение предприятий такого типа в городах, способность вызывать острые и хронические аллергические реакции [5], повышение ХПК ливневых вод с близлежащих территорий. Кроме того, органические частицы являются косвенными источниками выбросов парниковых газов [6].

На кондитерских предприятиях очистку газообразных выбросов со взвешенными твердыми частицами выполняют с помощью циклонов, эффективность которых составляет 85...95 % (частиц более 10 мкм), а также рукавных фильтров с эффективностью 95...96 % (частиц более 1 мкм) [7]. Обеспечивает ли такая эффективность оборудования достаточный уровень экологической безопасности предприятия по выбросам ТЧ₁₀ и ТЧ_{2,5} в городскую атмосферу, невозможно определить без сведений о дисперсном составе пыли.

Для кондитерских предприятий установлены удельные выбросы взвешенных твердых частиц, недифференцированных по составу для каждого из видов производства. Исследование, контроль и учет выбросов ТЧ₁₀ и ТЧ_{2,5} как самых опасных составляющих взвешенных твердых частиц не производится. В научно-технической литературе также отсутствует информация о дисперсном составе взвешенных твердых частиц кондитерских предприятий.

Исследования пыли муки, сахара и крахмала как отечественных, так и зарубежных специалистов [8, 9] позволили установить некоторые характеристики их выбросов на различных пищевых производствах (кроме кондитерских): мучная пыль имеет размер частиц 4...30 мкм, медианный диаметр частиц d_{50} (значение диаметра, для которого количество частиц меньше d_{50} равняется количеству частиц больше d_{50}) составляет 15 мкм, пыль сахара на 83,7 % состоит из частиц размером менее 10 мкм, а крахмала – на 88 %. Информация о пыли какао в научно-технической литературе крайне ограничена. По данным [10], какао-порошок, который используется в кондитерском производстве, состоит из частиц размером до 55 мкм, d_{50} составляет 10 мкм.

Характеристики пыли, необходимые для расчета циклонов (наиболее часто используемое пылеочистительное



оборудование на кондитерских предприятиях), включают следующие показатели: медианный диаметр частиц d_{50} и среднее квадратичное отклонение в функции распределения частиц по размерам [11]. Для расчета более эффективного пылеочистительного оборудования – рукавных фильтров – необходимо знать удельную нагрузку по виду пыли и ее склонность к агломерации, а также коэффициенты, учитывающие дисперсный состав пыли и порозность, которые зависят от химического состава пыли и таких характеристик частиц пыли, как округлость, соотношение сторон, степень неправильности формы частиц, их плотность и площадь поверхности [12]. Причем в технической литературе в основном приводятся значения этих характеристик для минеральной пыли, а для органической (какао, сахар, мука, крахмал) такие сведения очень ограничены.

От физико-химических свойств пыли во многом зависит надежность и эффективность работы пылеочистительного оборудования [13], т. к. размер частиц влияет на динамическое поведение пылегазового потока и аэродинамические свойства пыли, а форма частицы влияет на силу сопротивления потоку и скорость осаждения.

Исследование дисперсного состава и характеристик пыли какао, образующейся на кондитерских производствах, позволит не только определить эффективность улавливания этого загрязнения пылеочистительным оборудованием (в том числе ТЧ₁₀ и ТЧ_{2,5}), но и объективно оценить экологическую опасность выбросов пыли какао кондитерских производств для окружающей среды в целом и для человека в частности.

Цель работы – установить дисперсный состав пыли какао, образующейся на кондитерском предприятии, и эффективность улавливания ее наиболее экологически опасной фракции ТЧ_{2,5},

ТЧ₁₀ эксплуатируемым пылеочистительным оборудованием.

Основная часть

Объектом исследования является пыль какао, образующаяся на кондитерском предприятии. Отбор проб пыли какао производили из прямого участка воздуховода до циклона (образец 1) и из бункера циклона (образец 2). Для репрезентативности пробы пыли какао, уловленной циклоном, частичные пробы пыли отбирали в пяти точках в плане и в трех – по высоте. Отобранную пробу гомогенизировали стандартным методом конусования, уменьшение пробы проводили стандартным методом квартования [14].

Дисперсный состав пыли определяли методом микроскопии – измерения частиц с применением окуляра-микрометра, фотографии образцов пыли выполняли с помощью веб-камеры, масштаб изображения задавали в Corel Draw Graphics, некоторые геометрические характеристики частиц пыли (периметр, площадь проекции, коэффициенты округлости и удлинения) выявляли с помощью программы ImageJ, расчет геометрических и физических характеристик пыли (эквивалентный диаметр, объемный коэффициент формы, объем, масса и скорость оседания частиц пыли) и статистическую обработку данных проводили в программе Microsoft Excel, расчет медианного диаметра частиц d_{50} осуществляли в программе DisAdp, разработанной на языке C#. Процентное содержание ТЧ₁₀ и ТЧ_{2,5} определяли на основании установленного пофракционного состава пыли.

При микроскопическом исследовании просматривали по 10 проб пыли какао до циклона и пыли из бункера циклона (рис. 1). Всего проанализировано по 1200 частиц каждого образца, что, согласно [14], является достаточ-



ным для изучения дисперсного состава пыли.

Установлено, что пыль какао – порошок органического происхождения, однокомпонентный и полидисперсный (минимальный d_{\min} и максимальный d_{\max}

размеры частиц отличаются на несколько порядков). Морфология пыли: частицы светло-коричневого цвета, неправильной формы с неровными краями, слипаются, плохо отделяются друг от друга.

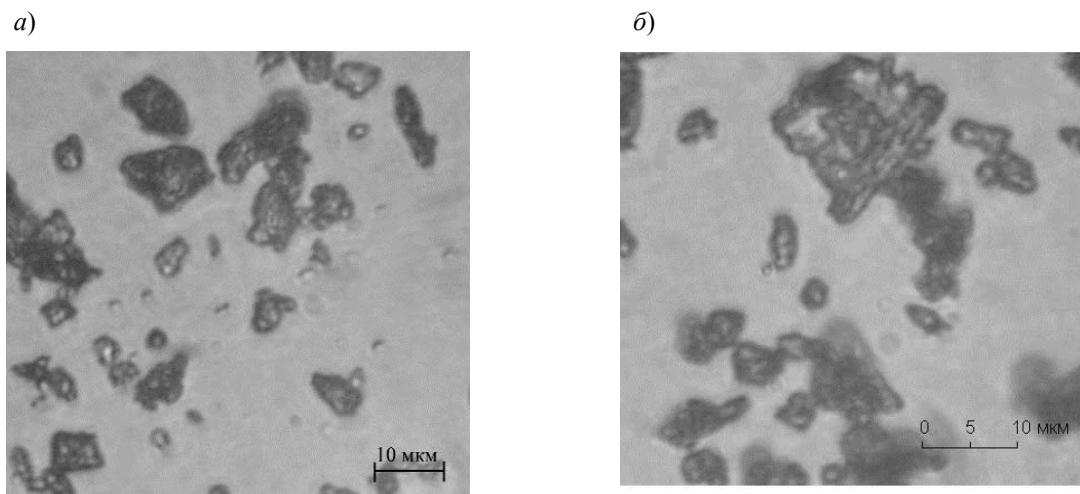


Рис. 1. Общий вид пыли какао: а – до циклона; б – из бункера циклона

Частицы пыли какао неправильной формы, что усложняет определение их геометрических характеристик способом микроскопии, поэтому их определяли и рассчитывали с помощью программы ImageJ, а именно:

- площадь изображения проекции частицы S_n и периметр частиц P_c ;
- коэффициент округлости

$$C_c = \frac{4\pi S_n}{P_c^2}. \quad (1)$$

Известно, что чем ближе значение C_c к нулю, тем менее скругленная форма частицы. По [15] округлость пылевидных частиц C_o находится в диапазоне от 1 до 5 и, следовательно, коэффициент округлости $C_c = 1/C_o$ находится в диапазоне от 1 до 0,2;

- коэффициент удлинения AR (отношение длины к ширине частицы).

Известно, что AR для круга или квадрата равняется 1, для прямоугольника – от 1 и более.

Эквивалентный диаметр частиц d_e принимали как средний проектированный диаметр d_n (диаметр круга, площадь которого равна площади проекции частицы) [16]. Расчет среднего проектированного диаметра выполняли по формуле

$$d_e = d_n = \sqrt{\frac{4S_n}{\pi}}, \quad (2)$$

где S_n – площадь изображения проекции частицы, мкм^2 ; π – математическая постоянная, $\pi = 3,14$.

Для учета степени неправильности формы частиц рассчитывали объемный коэффициент формы частиц k_f по формуле

$$k_{\phi} = \frac{0,455 \frac{h}{d_n}}{\sqrt{\frac{l}{d_n}}}, \quad (3)$$

где h – толщина (глубина) частицы (принимали, что толщина частиц пыли какао не превышает ее ширины), мкм; l – длина частицы, мкм; d_n – проектированный диаметр частицы, мкм.

Для шара k_{ϕ} составляет 0,455, для куба – 0,303, для пластины – 0,231, для осколка – 0,183 [16].

Объем частиц пыли какао V_{ϕ} , которые имеют неправильную форму, рассчитывали по уравнению

$$V_{\phi} = k_{\phi} \cdot d^3. \quad (4)$$

Масса частиц

$$m_{\phi} = V_{\phi} \cdot \rho, \quad (5)$$

где ρ – плотность какао, $\rho = 1,232 \text{ г/см}^3$ [17]).

Скорость оседания частиц в неподвижной среде определяли по формуле [11]

$$v_{\phi} = \frac{\rho \cdot d_{\phi}^2 \cdot g \cdot C_c}{18\eta \cdot \chi}, \quad (6)$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 981 \text{ см/с}^2$; d_{ϕ} – эквивалентный диаметр частиц, см; C_c – поправочный коэффициент скольжения Каннингема (для частиц размером от 1,5 до 75 мкм

равен 1, для частиц меньше 1,5 мкм находится по [11], для частиц менее 1 мкм скольжение увеличивается с уменьшением размера частиц); η – динамическая вязкость воздуха при 20 °С, $\eta = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ г/(с·см)}$); χ – динамический коэффициент, зависящий от формы частиц (принимали по [11] равным 1,08).

Как видно из табл. 1, в пыли какао до циклона преобладают ТЧ_{2,5}, суммарное процентное содержание частиц с размером до 10 мкм (ТЧ₁₀) составляет 96,4 %. В пыли какао, уловленной циклоном, содержание ТЧ_{2,5} на 20,8 % меньше, чем в пыли из воздуховода до циклона. Таким образом, ориентировочно не менее 20 % частиц пыли какао размером до 10 мкм циклоном не улавливается и проходит в атмосферный воздух. Следовательно, эффективность очистки выбросов от мелкодисперсной пыли размером до 10 мкм не превышает 80 %. Этот вывод подтверждает и расчет d_{50} . Для пыли какао, которая подается в циклон, d_{50} составил $(1,96 \pm 0,74)$ мкм, что свидетельствует о том, что в пыли какао до циклона преобладают ТЧ_{2,5} (наиболее опасные для человека и окружающей среды). Для пыли какао, уловленной циклоном, d_{50} составил $(3,48 \pm 0,89)$ мкм, что свидетельствует о преимущественном содержании ТЧ₁₀ в данной пыли. Разница между медианными диаметрами подтверждает вывод, что ТЧ_{2,5} пыли какао малоэффективно улавливаются очистительным оборудованием и поступают в городскую атмосферу.

Табл. 1. Дисперсный состав пыли кондитерского предприятия

Наименование	Содержание частиц фракции, %			Медианный размер частиц, мкм
	менее 2,5 мм	от 2,5 до 10 мкм	более 10 мкм	
Образец 1	$63,5 \pm 12,9$	$32,9 \pm 11,5$	$3,6 \pm 2,4$	$1,96 \pm 0,74$
Образец 2	$42,7 \pm 10,3$	$50,3 \pm 8,3$	$7,1 \pm 3,1$	$3,48 \pm 0,89$



Установленные характеристики пыли какао (измеренные и рассчитанные) представлены в табл. 2. Как видно, средняя площадь изображения проекции частиц до 10 мкм для образца 1 меньше, чем для образца 2, что подтверждает преобладание более мелких частиц в образце 1. Коэффициент округлости для частиц до 2,5 мкм образцов 1 и 2 (0,82 и 0,9 соответственно) близок к 1, а это свидетельствует о том, что частицы имеют форму, близкую к кругу (согласно [18], частицы круглой формы быстрее оседают, но легче проникают в легочную ткань человека). Частицы размером больше 2,5 мкм имеют более неровную форму краев (данные частицы медленнее оседают и сложнее

выводятся из органов дыхания [18], для таких частиц расчетная эффективность циклонов имеет большую погрешность, т. к. циклоны рассчитываются для частиц пыли шарообразной формы [19]). Среднее значение коэффициента удлинения AR для обоих образцов всех фракций пыли находится в диапазоне от 1,4 до 1,8, следовательно, разница в длине сторон менее 2. Степень неправильности формы частиц определяли с помощью объемного коэффициента формы частиц k_f . Для всех образцов он был в диапазоне от 0,3 до 0,4 (значение, близкое к коэффициенту формы, для частиц кубической формы – 0,303 и шарообразной – 0,455).

Табл. 2. Характеристики частиц пыли какао

Величина	До 2,5 мкм		От 2,5 до 10 мкм		Более 10 мкм	
	Диапазон	Среднее	Диапазон	Среднее	Диапазон	Среднее
Образец 1						
S_n , мкм ²	0,4...4,80	1,3	5,2...76,7	26,8	96,3...212,1	138,8
P_n , мкм	2,41...9,18	4,2	8,55...38,27	20,2	40,56...83,5	58,8
C_n	0,54...0,99	0,82	0,47...0,91	0,74	0,38...0,74	0,53
AR	1...2,6	1,7	1...3,5	1,5	1,3...2,1	1,8
k_f	0,24...0,44	0,34	0,2...0,44	0,35	0,28...0,37	0,31
V_n , мкм ³	0,07...5,93	0,84	5,49...346,2	81,8	401...1639,8	829,7
m_n , 10 ⁻⁹ мкг	0,09...7,31	1,04	6,77...426,5	100,7	493,6...2020	1022,2
v_n , см/с	0,002...0,023	0,006	0,025...0,338	0,118	0,424...0,933	0,611
Образец 2						
S_n , мкм ²	0,58...4,76	1,6	5,07...74,57	29,1	79,83...227,5	105,9
P_n , мкм	2,67...9,15	4,5	8,52...41,52	21	39,31...72,15	44,9
C_n	0,63...1	0,9	0,46...0,89	0,7	0,55...0,69	0,6
AR	1,04...2,44	1,4	1,1...3,78	1,5	1,23...2,37	1,7
k_f	0,26...0,43	0,4	0,21...0,43	0,4	0,26...0,43	0,3
V_n , мкм ³	0,21...5,94	1,3	4,74...323,1	95,6	264,3...2105	599,3
m_n , 10 ⁻⁹ мкг	0,26...7,32	1,6	5,84...393,1	118,2	325,6...2593	738,3
v_n , см/с	0,003...0,023	0,008	0,025...0,328	0,128	0,351...1,001	0,466



Анализ установленных характеристик частиц пыли какао показал, что частицы до 2,5 мкм имеют неправильную форму, но близкую к шару или кубу, неровные края с выпуклостями, на 10...18 % большими, чем у круга. Частицы больше 2,5 мкм имеют неправильную форму, более неровные края с выпуклостями, на 26...47 % большими, чем у круга. Учитывая то, что в пыли какао до циклона преобладают частицы с размером до 2 мкм, средняя скорость их оседания составляет 0,059 см/с. В пыли какао, уловленной циклоном, преобладают частицы размером до 4 мкм, средняя скорость их оседания составляет 0,089 см/с. Последняя характеристика очень важна для математического моделирования процесса рассеивания частиц в атмосферном воздухе. Чрезвычайно низкая скорость оседания пыли какао до циклона свидетельствует о том, что эта пыль очень медленно оседает и переносится на большие расстояния (что по-

вышает уровень экологической опасности предприятия – источника выбросов).

Для подбора пылеочистительного оборудования также необходимо установить следующие характеристики пыли какао: диаметр частиц, меньше которого находится 10, 25, 75 и 90 % частиц пыли, – соответственно d_{10} , d_{25} , d_{75} , d_{90} , коэффициент относительного диапазона распределения частиц $\Delta_{TЧ}$ (распределение количества частиц по диаметрам: чем меньше $\Delta_{TЧ}$, тем меньше разница в количестве частиц каждого диаметра, чем больше число, тем больше разница в количестве частиц каждого диаметра). Коэффициент относительного диапазона распределения частиц $\Delta_{TЧ}$ рассчитывали по формуле [20]

$$\Delta_{TЧ} = (d_{90} - d_{10}) / d_{50} . \quad (7)$$

Для определения этих характеристик построены интегральные кривые распределения частиц пыли (рис. 2).

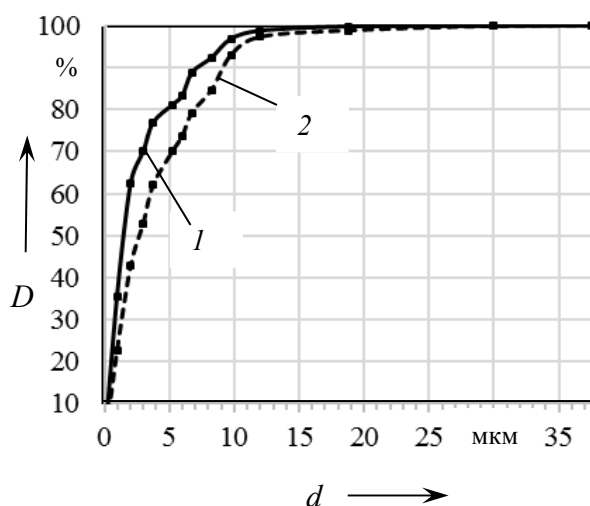


Рис. 2. Интегральная кривая распределения частиц пыли какао: 1 – пыль до циклона (образец 1); 2 – пыль, уловленная циклоном (образец 2)

Как видно из данных (см. рис. 2), для пыли какао до циклона d_{10} составил 0,3 мкм, d_{25} – 0,7 мкм, d_{75} – 3,6 мкм, d_{90} – 7,3 мкм, $\Delta_{TЧ}$ – 4,7. Для пыли какао, уловленной циклоном, d_{10} составляет

0,4 мкм, d_{25} – 1,1 мкм, d_{75} – 6,2 мкм, d_{90} – 9,2 мкм и, соответственно, $\Delta_{TЧ}$ – 3,3. Сравнивая $\Delta_{TЧ}$ пыли какао до циклона и $\Delta_{TЧ}$ пыли, уловленной циклоном, можно заключить, что пыль, улов-



ленная циклоном, имеет более равномерное распределение количества частиц по диаметрам, в то время как в пыли до циклона распределение количества частиц по диаметрам неравномерное, с преимуществом в сторону наиболее мелких частиц пыли ($3,3 < 4,7$).

Известно, что угол наклона интегральной кривой к оси абсцисс является показателем степени мелкодисперсности пыли (чем больше угол, тем более мелкодисперсная пыль) [21]. Как видно, угол наклона интегральной кривой для пыли какао (см. рис. 2) приближается к 90° , следовательно, пыль имеет очень

высокую степень мелкодисперсности как в образце до циклона, так и в образце пыли, уловленной циклоном.

Построены дифференциальные кривые распределения частиц пыли какао (рис. 3), где $\Delta D/\Delta d$ – функция распределения (прирост суммарного содержания фракций ΔD для границ каждого интервала Δd).

По графикам определены мода d_{mod} (диаметр частиц, имеющих наибольший процент от общего количества), максимальный d_{max} и минимальный d_{min} диаметры, диапазон наиболее вероятных диаметров частиц d_{pr} (табл. 3).

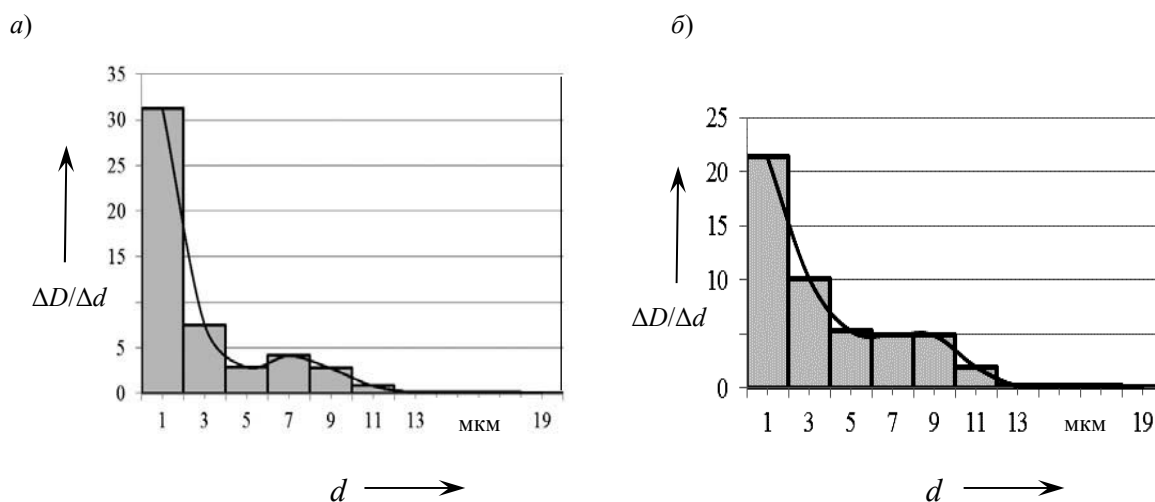


Рис. 3. Дифференциальная кривая распределения частиц пыли какао: а – до циклона (образец 1); б – уловленной циклоном (образец 2)

Табл. 3. Характеристики пыли какао

Образец пыли	d_{mod} , МКМ	d_{min} , МКМ	d_{max} , МКМ	d_{pr} , МКМ
1	0,97	0,3	37,5	0,97...2
2	0,97	0,4	37,5	0,97...4

Как видно, для пыли какао до циклона и для уловленной циклоном (образец 2) d_{mod} , d_{max} одинаковы, d_{min} почти одинаковы, а d_{pr} отличаются, что свидетельствует о необходимости проведения дополнительных мероприятий именно по улавливанию частиц пыли какао размером до 2 мкм.

Охрана труда. Охрана окружающей среды.
Геоэкология

Заключение

1. Согласно результатам экспериментальных исследований, эффективность пылеочистительного оборудования по удалению из выбросов экологически наиболее опасных частиц какао (менее 10 мкм) не превышает 80 %.



2. В экспериментальных исследованиях для таких частиц, как ТЧ₁₀, установлены характеристики, необходимые для математического моделирования рассеивания частиц пыли в атмосферном воздухе (средняя скорость оседания), расчета рукавных фильтров (средняя округлость, соотношение сторон, объемный коэффициент формы частиц), определения степени экологиче-

ской опасности (диаметр частиц, имеющих наибольший процент от общего количества, медианный диаметр и округлость частиц).

3. Все установленные характеристики пыли какао, образующейся в производстве, и пыли, уловленной циклоном, свидетельствуют о необходимости интенсификации очистки выбросов от частиц какао менее 10 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року : проект закона України № 8328 [Електронний ресурс]. – Київ, 2017. – Режим доступу: <http://www.ukrinform.ua>. – Дата звернення: 15.01.2018.
2. Викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря в Україні за 1990–2015 рр. [Електронний ресурс]. – Київ : Держстат, 2017. – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ns.htm. – Дата звернення: 16.11.2017.
3. Прес-бюлетень № 8 за січень–серпень 2017 року / Державна служба статистики України, Головне управління статистики у м. Києві ; відп. за вип. О. О. Шестак. – Київ, 2017. – 21 с.
4. Сборник удельных показателей выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от предприятий перерабатывающей промышленности агропромышленного комплекса. – Курск : Росгипросахагропром, 1990. – 80 с.
5. **Маленький, В. П.** Професійні хвороби : навч. посібн. / В. П. Маленький. – Київ : Нова Книга, 2001. – 336 с.
6. **Wallén, A.** Does the Swedish consumer's choice of food influence greenhouse gas emissions? / A. Wallén, N. Brandt, R. Wennersten // *Environmental Science & Policy*. – 2004. – Vol. 7, iss. 6. – P. 525–535.
7. **Штокман, Е. А.** Вентиляция и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности / Е. А. Штокман. – Москва : АСБ, 2001. – 567 с.
8. **Stobnicka, A.** Exposure to flour dust in the occupational environment / A. Stobnicka, Rafał L. Górny // *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. – 2015. – № 21 (3). – P. 241–249.
9. **Донин, Л. С.** Справочник по вентиляции в пищевой промышленности / Л. С. Донин. – Москва : Пищевая промышленность, 1977. – 352 с.
10. **Матыцын, Я. Г.** Техническая справка по результатам определения размера частиц пробы какао-порошка / Я. Г. Матыцын. – Харьков : Ариадна, 2014. – 7 с.
11. **Ватин, Н. И.** Очистка воздуха при помощи аппаратов типа циклон / Н. И. Ватин, К. И. Стрелец. – Санкт-Петербург : С.-Петербург. гос. политехн. ун-т, 2003. – 65 с.
12. **Сизов, В. Д.** Расчет рукавного фильтра / В. Д. Сизов, И. С. Бракович, В. Н. Короткий. – Минск : БНТУ, 2011. – 27 с.
13. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М. И. Биргер [и др.] ; под общ. ред. А. А. Русанова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
14. **Коузов, П. А.** Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П. А. Коузов. – Ленинград : Химия, 1987. – 264 с.
15. **Liou, K. N.** Recent Progress in Atmospheric Sciences : applications to the Asia-Pacific Region / K. N. Liou, M. D. Chou. – World Scientific, 2008. – 496 p.
16. **Градус, Л. Я.** Руководство по дисперсионному анализу методом микроскопии / Л. Я. Градус. – Москва : Химия, 1979. – 232 с.
17. **Mohos, A.** Confectionery and Chocolate Engineering: Principles and Applications / A. Mohos. – Hoboken, New Jersey (United States) : John Wiley & Sons, 2016. – 792 p.
18. **Москалева, В. М.** Охрана труда / В. М. Москалева. – Ровно : НУВГП, 2009. – 340 с.
19. **Гордон, Г. М.** Пылеулавливание и очистка в цветной металлургии / Г. М. Гордон, И. Л. Пейсахов. – Москва : Металлургия, 1977. – 456 с.
20. Horiba scientific: guidebook to particle size analysis. – Irvine : Horiba Instruments (INC), 2017. – 34 p.



21. **Кошкарев, С. А.** Дисперсионный анализ пыли выбросов в системах аспирации производства цемента с использованием усовершенствованной экспериментальной установки [Электронный ресурс] / С. А. Кошкарев, Л. Я. Соломахина, А. Редван // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 3. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/3224>. – Дата доступа: 10.11.2017.

Статья сдана в редакцию 21 января 2018 года

Валентина Александровна Юрченко, д-р техн. наук, проф., Харьковский национальный университет строительства и архитектуры. E-mail: bjieknuca@gmail.com.

Константин Сергеевич Пономарев, канд. техн. наук, доц., Харьковский национальный университет строительства и архитектуры.

Светлана Дмитриевна Пономарева, аспирант, Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем. E-mail: ponomarovasvitlana@gmail.com.

Valentyna Oleksandrivna Yurchenko, DSc (Engineering), Prof., Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture. E-mail: bjieknuca@gmail.com.

Kostiantyn Serhiiovych Ponomarov, PhD (Engineering), Associate Prof., Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture.

Svitlana Dmytrivna Ponomarova, PhD student, Ukrainian Research Institute of Environmental Problems. E-mail: ponomarovasvitlana@gmail.com.

