

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСПЕРСНОГО СКЛАДУ ПИЛУ КОНДИТЕРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ

В. О. Юрченко, К. С. ПономарьовХарківський національний університет будівництва та архітектури
вул. Сумська, 40, м. Харків, 61002, Україна. E-mail: bjienuca@gmail.com**С. Д. Пономарьова**Український науково-дослідний інститут екологічних проблем
вул. Бакуліна, 6, м. Харків, 61002, Україна. E-mail: ponomarovasvitlana@gmail.com

Розглянуто проблему забруднення атмосферного повітря екологічно небезпечним пилом з розміром частинок до 10 мкм підприємствами кондитерського виробництва. Метою даної роботи є дослідження дисперсного складу пилу кондитерських підприємств, та визначення ефективності його видалення існуючим на підприємстві пилоочисним обладнанням. Досліджено дисперсний склад 4 видів пилу (какао, крохмалю, цукру, борошна), утвореного на кондитерському підприємстві, та дисперсний склад пилу, уловленого пилоочисним обладнанням. Експериментально та із застосуванням комп'ютерних програм встановлено, що ефективність видалення дрібнодисперсного пилу пилоочисним обладнанням не перевищує 80 %. Встановлено, що у пилу какао, що надходить до циклону, переважають частинки з розміром до 2 мкм, а в пилу какао, уловленому циклоном частинки з розміром до 4 мкм. У пилу крохмалю, що надходить до циклону, переважають частинки з розміром від 2 до 6 мкм, в уловленому циклоном – частинки з розміром від 6 до 12 мкм. У пилу цукру та борошна, які надходять у атмосферне повітря без очистки, переважають частинки з розміром до 4 мкм та до 16 мкм відповідно. Визначено основні характеристики пилу необхідні для об'єктивного вибору пилоочисного обладнання.

Ключові слова: дрібнодисперсний пил, кондитерське виробництво, дисперсний склад пилу, пилоочисне обладнання, ефективність очистки.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПЫЛИ КОНДИТЕРСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В. А. Юрченко, К. С. ПономаревХарьковский национальный университет строительства и архитектуры
ул. Сумская, 40, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: bjienuca@gmail.com**С. Д. Пономарева**Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем
ул. Бакулина, 6, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: ponomarovasvitlana@gmail.com

Рассмотрена проблема загрязнения атмосферного воздуха экологически опасной пылью с размером частиц до 10 мкм предприятиями кондитерского производства. Целью данной работы является исследование дисперсного состава пыли кондитерских предприятий и определение эффективности ее улавливания существующим на предприятии пылеочистительным оборудованием. Исследован дисперсный состав 4 видов пыли (какао, крахмала, сахара, муки), образующихся на кондитерском предприятии, и дисперсный состав пыли, уловленной пылеочистительным оборудованием. Экспериментально и с использованием компьютерных программ установлено, что эффективность улавливания мелкодисперсной пыли пылеочистительным оборудованием не превышает 80 %. Установлено, что в пыли какао, поступающей в циклон, преобладают частицы с размером до 2 мкм, а в пыли какао, уловленной циклоном, частицы с размером до 4 мкм. В пыли крахмала, поступающей в циклон, преобладают частицы с размером от 2 до 6 мкм, в уловленной циклоном – частицы с размером от 6 до 12 мкм. В пыли сахара и муки, которые поступают в атмосферный воздух без очистки, преобладают частицы с размером до 4 мкм и до 16 мкм соответственно. Определены основные характеристики пыли, необходимые для объективного выбора пылеочистительного оборудования.

Ключевые слова: мелкодисперсная пыль, кондитерское производство, дисперсный состав пыли, пылеочистительное оборудование, эффективность очистки.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Пил (суспендовані тверді частинки) є одним з найпоширеніших забруднювачів атмосферного повітря в Україні. Його викиди займають третє місце після викидів діоксиду сірки та оксиду вуглецю, причому з тенденцією до підвищення [1]. Найнебезпечнішим для людини та навколишнього природного середовища є дрібнодисперсний пил [2], а саме ТЧ₁₀ – суспендовані тверді частинки з розміром від 2,5 мкм до 10 мкм, та ТЧ_{2,5} – суспендовані тверді частинки з розміром частинок менше 2,5 мкм (ТЧ₁₀ та ТЧ_{2,5} – за позначенням Держстат України [3]). В Україні ще не встановлено нормативи допустимої концентрації ТЧ_{2,5} і ТЧ₁₀ в

викидах, хоча контроль цих показників ведеться з 2004 р. [3]. Імплементация Директиви 2008/50/ЄС Європейського Парламенту та Ради про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи передбачає розроблення нормативно-правових актів, що встановлюють нормативи допустимої концентрації суспендованих твердих частинок (ТЧ_{2,5} та ТЧ₁₀) в атмосферному повітрі та забезпечення їх моніторингу. Нормування концентрації ТЧ₁₀ та ТЧ_{2,5} в повітрі в різних країнах світу приведені в табл. 1.

В загальному промисловому виробництві України наразі за темпами розвитку лідируючі позиції займають підприємства харчової промисловості а в

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

їх складі підприємства кондитерського виробництва (третє місце серед товарів продовольчої групи), які є значними джерелами органічного пилу [4]. Рівень екологічної небезпеки цих підприємств посилює особливість їх розташування: у містах, зазвичай близько до житлової забудови. Органічний пил цих підприємств є опосередкованим викидом CO₂, в який окиснюються всі органічні субстрати, а отже, джерелом парникового газу. До того ж органічний пил кондитерських підприємств – потенційний алерген, здатний викликати гострі та хронічні алергічні реакції [5].

Таблиця 1 – Допустимі ТЧ_{2,5} та ТЧ₁₀ в атмосферному повітрі за [6 – 10]

Країни та організації	Середньорічна концентрація (C _{с.р.}) частинок, мкг/м ³	
	ТЧ ₁₀	ТЧ _{2,5}
ЄС [6]	28 - 20	17 - 12
ВООЗ [7]	20	10
США [8]	-	12
Австралія [9]	-	8
Японія [10]	-	15

При обґрунтуванні вибору пилоочисного обладнання для ефективного захисту атмосферного повітря від забруднення пилом (особливо дрібнодисперсним) головним критерієм є його інгредієнтний та дисперсний склад. Для кондитерських підприємств встановлені питомі викиди органічного пилу для кожного з видів виробництва, проте недиференційовано його за інгредієнтним та дисперсним складом (табл. 2) [11].

Таблиця 2 – Питомі (на тону готової продукції) викиди недиференційованого за складом органічного пилу в кондитерському виробництві [11]

Вид кондитерського виробництва	Питомий викид, г/т	
	min	max
Какао порошку	2674	4081
Драже	941	1050
Шоколаду	834	1050
Цукерок	510	1169
Солодкої плитки	245	412
Східних солодоців	242	297
Карамелі	236	292
Зефіру	136	261
Печива	124	136
Ірису	45	48
Халви	15	35
Вафель	13	29
Мармеладу	7	7
Борошняних виробів (тортів, кексів), кг/год	6	23

Відомо, що в технологічних процесах кондитерського виробництва як сировина використовуються сипучі органічні речовини: какао, крохмаль, цукор, борошно, які у складі викидних газів можуть потрапляти в атмосферне повітря. Проте інформація

про технологічні властивості та дисперсний склад пилу кондитерських підприємств в науково-технічній літературі вкрай обмежена. Так, за [12] в пилу цукру та крохмалю переважають (≥ 80 %) частинки розміром до 10 мкм (табл. 3), а серед них найбільший вміст мають частинки 1 мкм.

Таблиця 3 – Дисперсний склад пилу харчових підприємств [12]

Вид пилу	Відсоток вмісту частинок пилу розміром, мкм			
	до 1	1 – 5	5 – 10	10
Цукровий	30,2	24,6	28,9	16,3
Крохмальний	34,0	28,0	26,0	12,0

Пил борошна, що утворюється не на кондитерських підприємствах, а на пекарнях та борошномельних підприємствах, в основному має розмір частинок 4 – 30 мкм, середній розмір частинок d₅₀ (медіанний діаметр, при якому кількість частинок крупніших d₅₀ дорівнює кількості частинок дрібніших d₅₀) складає 15 мкм [13]. Інформація про дисперсний склад пилу какао у науково-технічній літературі взагалі відсутня. Відомо лише, що какао порошок, який використовується в кондитерському виробництві складається з частинок до 55 мкм, а середній розмір частинок d₅₀ складає 10 мкм [14].

Для очистки викидних газів з пиловим забрудненням на кондитерських підприємствах використовуються циклони, які мають ефективність уловлювання 85 – 95 % (частинок більше 10 мкм), а також рукавні фільтри з ефективністю 95 – 96 % (частинок більше 1 мкм) [15]. Чи забезпечує така ефективність пилоочисного обладнання достатній рівень екологічної безпеки підприємства неможливо визначити без відомостей про дисперсний склад пилу, що надходить на установки та вилучається ними [16].

Мета даної роботи – дослідження дисперсного складу пилу кондитерських підприємств, та визначення ефективності його вилучення існуючим на підприємстві пилоочисним обладнанням.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Дослідження екологічно важливих характеристик пилу проводили за [17]. Визначення дисперсного складу пилу виконували методом мікроскопії – вимірюванням частинок із застосуванням окуляр мікрометра, та при обробці фотографій пилу у Corel Draw Graphics Suite 2017, розрахунок характеристик частинок пилу виконували у ImageJ. Теоретичні розрахунки та обробку експериментальних даних виконували із застосуванням комп'ютерних програм Microsoft Excel та DisAdp.

Експериментально досліджували пил, що утворюється на кондитерському підприємстві, яке виробляє шоколад, карамель, цукерки, драже, торти. При виготовленні цієї кондитерської продукції утворюється пил какао, крохмалю, цукру та борошна.

У даній роботі досліджували:

– пил какао, відібраний з витяжного повітроводу какао станції до циклону, та пил какао, відібраний з

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

бункеру циклону;

– пил крохмалю, відібраний з витяжного повітроводу зефірної дільниці, та пил крохмалю, відібраний з бункеру циклону;

– пил цукру з витяжного повітроводу млина для цукру (пилоочисне обладнання відсутнє);

– пил борошна, відібраний з витяжного повітроводу над столами приготування заготовок для тортів (пилоочисне обладнання відсутнє).

Результати дослідження дисперсного складу пилу кондитерського підприємства наведено в табл. 4.

Як видно, в пилу какао, крохмалю, цукру та борошна, який утворюється на кондитерському під-

приємстві, переважають $TЧ_{10}$ та $TЧ_{2,5}$, а це свідчить про те, що пил є дрібнодисперсним.

Результати дослідження дисперсного складу зразків пилу какао, відібраних з витяжного повітроводу до циклону, показують, що в ньому переважають $TЧ_{2,5}$. Сумарний процентний вміст частинок з розміром до 10 мкм, тобто $TЧ_{2,5}$ та $TЧ_{10}$, складає 96,4 %.

За результатами дослідження дисперсного складу пилу крохмалю, який надходить до циклону, визначено, що у його складі переважають $TЧ_{10}$. Сумарний процентний вміст $TЧ_{2,5}$ та $TЧ_{10}$ у пилу крохмалю становить 76,2 %.

Таблиця 4 – Дисперсний склад пилу кондитерського підприємства

Вид пилу	Ділянка відбору пилу	Вміст частинок кожної фракції, %			
		менше 2,5 мкм ($TЧ_{2,5}$)	від 2,5 мкм до 10 мкм ($TЧ_{10}$)	більше 10 мкм	Медіанний розмір часток, мкм
Какао	До циклону	63,5 ± 12,9	32,9 ± 11,5	3,6 ± 2,4	1,96 ± 0,74
	Уловлений	42,7 ± 10,3	50,3 ± 8,3	7,1 ± 3,1	3,48 ± 0,89
Крохмаль	До циклону	7,5 ± 1,4	68,7 ± 2,7	23,8 ± 2,8	6,40 ± 0,00
	Уловлений	0	55,3 ± 7,2	44,7 ± 7,2	10,56 ± 1,10
Цукор	У повітроводі	38,8 ± 8,8	39,6 ± 4,7	21,6 ± 6,3	3,67 ± 0,94
Борошно	У повітроводі	9,6 ± 1,8	40,6 ± 3,3	49,7 ± 2,4	10,22 ± 0,89

Аналіз результатів дослідження дисперсного складу пилу цукру, який викидається в атмосферне повітря без очистки, показав, що у його складі практично однакова кількість $TЧ_{2,5}$ та $TЧ_{10}$, сумарний процентний вміст яких складає 78,4 %.

У складі пилу борошна, що викидається в атмосферне повітря також без очистки, є значна кількість $TЧ_{10}$. Сумарний процентний вміст $TЧ_{2,5}$ та $TЧ_{10}$, перевищує 50 %.

За допомогою комп'ютерної програми DisAdp, розробленої на мові C#, виконано обробку експериментальних даних та розраховано медіанний діаметр частинок пилу d_{50} . Результати розрахунків за цією програмою звірено з розрахунками в програмі Microsoft Excel. Для пилу какао, який подається у циклон, d_{50} склав 1,96 ± 0,74 мкм. Це свідчить про те, що у пилу какао до циклону переважають $TЧ_{2,5}$ (найбільш небезпечні для людини та навколишнього середовища). Для пилу какао, уловленого циклоном, d_{50} склав 3,48 ± 0,89 мкм, що говорить про переважний вміст $TЧ_{10}$ у даному пилу. Різниця між медіанними розмірами пилу до циклону та пилу, уловленого циклоном, свідчить про те, що $TЧ_{2,5}$ какао малоефективно уловлюються очисним обладнанням і надходять в міське атмосферне повітря.

За результатами обробки експериментальних даних d_{50} для пилу крохмалю, який подається у циклон, становить 6,4 мкм, а d_{50} пилу крохмалю, уловленого циклоном, складає 10,56 ± 1,10 мкм. Це свідчить про те, що в пилу крохмалю до циклону та в пилу, уловленому ним, переважають $TЧ_{10}$. Але різниця між медіанними діаметрами пилу, що подається в циклон та уловлюється ним, говорить про те, що значна кількість дрібнодисперсного пилу не затримується очисним обладнанням і надходить в атмосферне повітря.

Для пилу цукру, що надходить безпосередньо у атмосферне повітря, d_{50} склав 3,67 ± 0,94 мкм. Отже, в атмосферне повітря міста викидається без очистки пил, 50 % якого згідно [18] за своєю дисперсністю здатне проникати аж в легені дихальної системи людини.

Медіанний діаметр d_{50} пилу борошна склав 10,22 ± 0,89 мкм. Отже, в пилу борошна, що викидається у атмосферне повітря без очистки, переважають екологічно небезпечні $TЧ_{10}$.

Дисперсний склад пилу какао та крохмалю, уловлених циклоном, дуже відрізняється від пилу до циклону процентним вмістом частинок. В пилу какао, уловленому циклоном, вміст $TЧ_{2,5}$ на 20,8 % менше, ніж у пилу з повітроводу до циклону. В уловленому пилу крохмалю $TЧ_{2,5}$ відсутні, а в пилу крохмалю до циклону їх 7,5 %. Це свідчить про те, що $TЧ_{2,5}$ цього пилу циклоном не уловлюються і надходять в атмосферне повітря. У пилу крохмалю до циклону $TЧ_{10}$ на 13,4 % більше ніж у пилу крохмалю, уловленому циклоном. Можна підсумувати, що орієнтовно не менше 20 % частинок пилу какао та крохмалю діаметром до 10 мкм циклоном не уловлюється й проходить в атмосферне повітря. А, отже, ефективність очистки викидів від дрібнодисперсного пилу не перевищує 80 %.

Для підбору пилоочисного обладнання необхідно встановити наступні характеристики пилу: діаметр частинок, що визначає межу, нижче якої знаходиться 10 %, 25 %, 75 % та 90 % частинок пилу відповідно d_{10} , d_{25} , d_{75} , d_{90} , коефіцієнт відносного діапазону розподілу частинок $\Delta_{TЧ}$ (розподіл кількості частинок за діаметрами: чим менше $\Delta_{TЧ}$, тим менша розбіжність у кількості частинок кожного діаметра, чим більше число, тим більша розбіжність у кількості частинок кожного діаметра).

Коефіцієнт відносного діапазону розподілу час-

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

тинок $\Delta_{Тч}$ розраховували за формулою [19]:

$$\Delta_{Тч} = (d_{90} - d_{10})/d_{50} \quad (1)$$

Для визначення цих характеристик побудовано інтегральні криві розподілу частинок пилу (рис. 1-4). З рис. 1 видно, що для пилу какао з витяжного повітроводу перед циклоном d_{10} становить 0,3 мкм, $d_{25} - 0,7$ мкм, $d_{75} - 3,6$ мкм, а $d_{90} - 7,3$ мкм, $\Delta_{Тч} - 4,7$. Для пилу какао, затриманого циклоном, d_{10} становить 0,4 мкм, $d_{25} - 1,1$ мкм, $d_{75} - 6,2$ мкм, а $d_{90} - 9,2$ мкм, $\Delta_{Тч} - 3,3$.

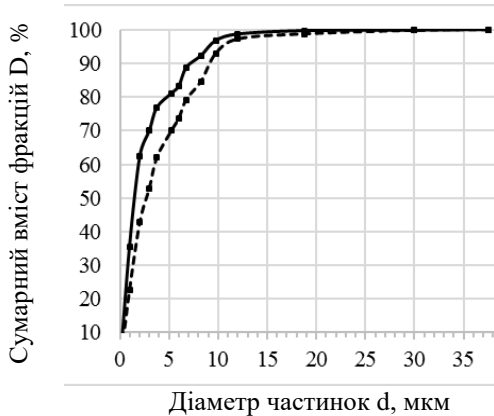


Рисунок 1 – Інтегральна крива розподілу частинок пилу какао (—■— пил до циклону, ---■--- пил затриманий циклоном)

Характеристики для пилу крохмалю визначено за рис. 2. Для пилу крохмалю з витяжного повітроводу перед циклоном d_{10} становить 1,9 мкм, $d_{25} - 3,4$ мкм, $d_{75} - 9,5$ мкм, а $d_{90} - 17,6$ мкм, $\Delta_{Тч} - 2,8$. Для пилу крохмалю, затриманого циклоном, d_{10} становить 4 мкм, $d_{25} - 6,7$ мкм, $d_{75} - 12,1$ мкм, а $d_{90} - 15$ мкм, $\Delta_{Тч} - 1,2$.

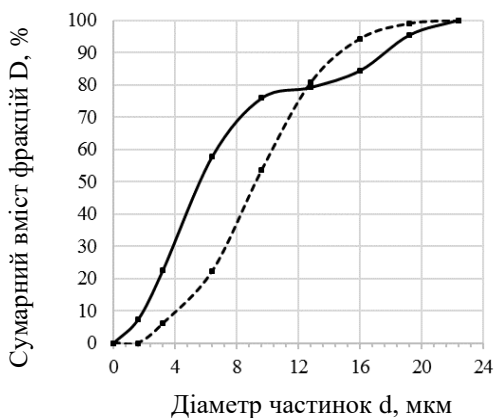


Рисунок 2 – Інтегральна крива розподілу частинок пилу крохмалю (—■— пил до циклону, ---■--- пил з циклоном)

Порівнюючи $\Delta_{Тч}$ пилу до циклону та пилу уловленого циклоном як для какао так і для крохмалю, можна сказати, що пил уловлений циклоном має більш рівномірне розподілення кількості частинок за діаметрами, у той час як у пилу до циклону розподілення кількості частинок за діаметрами нерівномірне, з перевагою у сторону найбільш дрібних частинок пилу (для какао $3,3 < 4,7$, для крохма-

лю $1,2 < 2,8$).

З рис. 3 визначено характеристики для пилу цукру з витяжного повітроводу: d_{10} становить 0,9 мкм, $d_{25} - 1,6$ мкм, $d_{75} - 7,8$ мкм, а $d_{90} - 21,6$ мкм. Визначено, що $\Delta_{Тч}$ для пилу цукру склав 6,5, отже розподілення кількості частинок за діаметрами нерівномірне, з перевагою у сторону найбільш дрібних частинок.

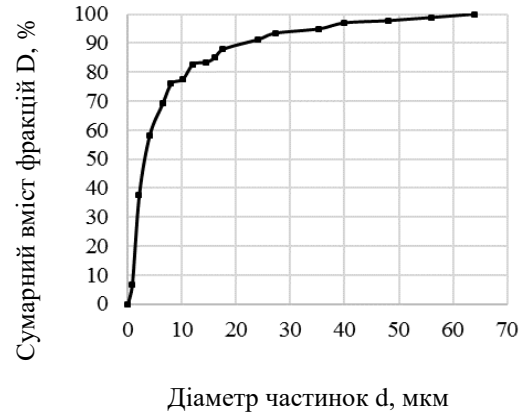


Рисунок 3 – Інтегральна крива розподілу частинок пилу цукру

Характеристики для пилу борошна, який викидається в атмосферне повітря без очистки, визначено за рис. 4. Діаметр d_{10} становить 2,2 мкм, $d_{25} - 5,7$ мкм, $d_{75} - 15,2$ мкм, а $d_{90} - 21,9$ мкм. Визначено, що $\Delta_{Тч}$ для пилу борошна становить 1,97, отже розподілення кількості частинок за діаметрами досить рівномірне.

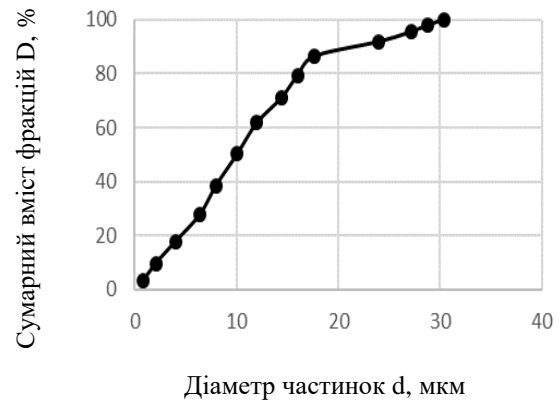


Рисунок 4 – Інтегральна крива розподілу частинок пилу борошна

Відомо, що кут нахилу інтегральної кривої до осі абсцис є показником ступеню дрібнодисперсності пилу (чим більший кут, тим більш дрібнодисперсним є пил) [20]. Отже, за зменшенням ступеня дрібнодисперсності дослідженого пилу сипучі речовини, які утворюють цей пил, можна розташувати в наступний ряд: какао – цукор – крохмаль – борошно. Причому, пил какао має дуже високий ступінь дрібнодисперсності пилу як в зразках до циклону, так і в зразках пилу уловленого циклоном. А пил крохмалю до циклону є більш дрібнодисперсним ніж пил уловлений циклоном.

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

Визначено моди – d_{mod} (діаметр частинок, що мають найбільший відсоток від загальної кількості), максимальний (d_{max}) та мінімальний (d_{min}) ді-

метри, діапазон найбільш вірогідних діаметрів частинок дослідженого пилу d_{pr} (табл. 5).

Таблиця 5 – Характеристики пилу кондитерського підприємства

Вид пилу	Ділянка відбору пилу	d_{mod} , МКМ	d_{min} , МКМ	d_{max} , МКМ	d_{pr} , МКМ
Какао	До циклону	0,97	0,3	37,5	0,97 - 2
	Уловлений	0,97	0,4	37,5	0,97 - 4
Крохмаль	До циклону	6,4	1,6	22,4	2-6,4
	Уловлений	9,6	3,2	22,4	6-12
Цукор	У повітроводі	2,1	0,8	64	2,1-4
Борошно	У повітроводі	10,1	0,8	30,4	0,8-16

Як видно, для пилу какао як до циклону, так і для уловленого циклоном, d_{mod} , d_{max} однакові, d_{min} практично однакові, але d_{pr} відрізняються, що свідчить про необхідність проведення додаткових заходів саме з уловлення частинок пилу какао з розміром до 2 мкм. d_{max} як для пилу крохмалю до циклону, так і для уловленого циклоном однаковий. Різниця у d_{mod} , d_{min} та d_{pr} для пилу крохмалю до циклону та для уловленого циклоном свідчить про необхідність проведення додаткових заходів з уловлення найдрібніших частинок пилу з розміром до 6,4 мкм. Для пилу цукру характерне зміщення d_{mod} до лівої межі d_{pr} , та до значення d_{min} . Отже при виборі пилоочисного обладнання необхідно враховувати переважаючий вміст частинок до 2,1 мкм. Для пилу борошна d_{mod} дещо зміщений до правої межі d_{pr} , проте d_{min} такий же як для пилу цукру, а d_{max} вдвічі менше ніж в ньому. Тому для підбору пилоочисного обладнання необхідно враховувати більш широкий діапазон уловлюваних частинок борошна, а саме до 16 мкм (що не зовсім привабливо для використання фільтрів).

ВИСНОВКИ.

1. За даними експериментальних досліджень пил усіх сипучих речовин, що використовуються у кондитерському виробництві (какао, крохмаль, цукор, борошно), відноситься до дрібнодисперсного, тобто пилу з розміром частинок менше 10 мкм, який є екологічно найнебезпечнішим.

2. У пилу какао, що надходить до циклону переважають частинки з розміром до 2 мкм, пил какао, уловлений циклоном, складається переважно з частинок розміром до 4 мкм. В пилу крохмалю, що надходить до циклону, переважають частинки з розміром від 2 до 6,4 мкм, а в пилу, уловленому циклоном – від 6 до 12 мкм. У пилу цукру та борошна, які надходять у атмосферне повітря без очистки, переважають частинки з розміром до 4 мкм та до 16 мкм відповідно.

3. У пилу какао та крохмалю який уловлюється очисним обладнанням переважають частинки з розміром у 2 рази більшим ніж у пилу до циклону (для какао частинки до 4 мкм, для крохмалю до 12 мкм).

4. Орієнтовно пилоочисне обладнання на підприємстві пропускає не менше 20 % найбільш небезпечного дрібнодисперсного пилу $ТЧ_{2,5}$ та $ТЧ_{10}$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Викиди забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення у 2016 році (остаточні дані) [Текст] : статистичний бюлетень / Держ. служба статистики України / О. М. Прокопенко (відп. за вип.). – К. : Б.в., 2017. – 34 с.
2. Particulate Matter (PM) Pollution [Electronic resource] / United States Environmental Protection Agency. – 2017. – Access mode: <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm> (last access: 20.10.2017) – Title from the screen.
3. Викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря в Україні за 1990-2015 рр. [Електронний ресурс]. – Електронні дані. – Київ : Держстат, 2017. – Режим доступу : http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ns.htm (дата звернення 16.11.2017). – Назва з екрана.
4. Прес-бюлетень № 8 за січень – серпень 2017 р. / Державна служба статистики України, Головне управління статистики у м. Києві / О. О. Шестак (відп. за вип.). – Київ : Б. в., 2017. – 21 с.
5. Бочарова К. А. Неотложные состояния в аллергологии : клиника, диагностика, профилактика анафилактических и анафилактоидных реакций / К. А. Бочарова – Белгород : ООО «Константа», 2010. – 60 с.
6. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe [Electronic resource] / European Parliament and the Council. – 2017. - Access mode: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0050#ntr1-L_2008152EN.01001401-E0001 (last access: 28.10.2017) - Title from the screen.
7. Ambient air pollution : a global assessment of exposure and burden of disease / WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. – Switzerland, Geneva : WHO Document Production Services, 2016. – 121 p.
8. EPA-452/R-12-005 Regulatory Impact Analysis for the Final Revisions to the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter / U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Health and Environmental Impacts Division Research Triangle Park, 2012. – 474 p.

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

9. National standards for criteria air pollutants 1 in Australia [Electronic resource] / Department of the Environment and Heritage. – 2005. – Access mode: <http://www.environment.gov.au/about-us/accountability-reporting/expenditure> (last access: 30.10.2017) - Title from the screen.

10. Outline of Report on PM Particle Substance (PM 2.5) Review Board / Tokyo Metropolitan Office. – 2011. – 4 p.

11. Беляева Л.И. Сборник удельных показателей выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от предприятий перерабатывающей промышленности агропромышленного комплекса / К. И. Беляева и др. – Курск : Росгипросахпропром, 1990. – 80 с.

12. Донин Л. С. Справочник по вентиляции в пищевой промышленности. – М. : Пищевая промышленность, 1977. – 352 с.

13. Stobnicka A. Exposure to flour dust in the occupational environment / A. Stobnicka, Rafai L. Gurny // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. – 2015. – № 21 (3). – P. 241 – 249.

14. Матыцын Я. Г. Техническая справка по результатам определения размера частиц пробы какао-порошка / Я. Г. Матыцын ; ТОВ «Ариадна». – Х. : 2014. – 7 с.

15. Штокман Е.А. Вентиляция и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности / Е. А. Штокман. – М. : АСБ, 2001. – 567 с.

16. Гурець Л.Л. Вибір високоєфективного газоочисного обладнання з метою запобігання забруднення атмосфери / Л.Л. Гурець // Екологічна безпека : наук. журн. – Кременчук : КрНУ ім. М. Остроградського, 2009. – № 2. – С. 69 – 72.

17. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П. А. Коузов. – Л. : Химия, 1987. – 264 с.

18. Thoracic and respirable particle definitions for human health risk assessment [Electronic resource] / J. S. Brown, T. Gordon, O. Price, B. Asgharian // Particle and Fibre Toxicology. – 2013. – Access mode: <http://www.particleandfibretoxicology.com/content/10/1/12> (last access: 20.10.2017) – Title from the screen.

19. Horiba scientific: guidebook to particle size analysis. – Irvine : Horiba Instruments, INC, 2017. – 34 p.

20. 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 : Электронный науч. журн. – 2014. – № 3. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/3224>. – Дата обращения: 10.11.17. – Название с экрана.

INVESTIGATION OF DISTRIBUTION OF DUST PARTICLE OF CONFECTIONERY MANUFACTURING

V. Iurchenko, K. Ponomarov

Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture
vul. Sumska 40, Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: bjieknuca@gmail.com

S. Ponomarova

Ukrainian Research Institute of Environmental Problems
vul. Bakulyna 6, Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: ponomarovasvitlana@gmail.com

Purpose. The purpose of this paper is to explore distribution of dust particles from confectionery manufacturers and determine the effective dust capture by the cyclone dust collectors which are installed in confectionery manufacturing.

Methodology. Distribution of dust particles was defined by optical-microscopy technique, characteristics of dust particles were determined by ImageJ. Theoretical calculations and processing of experimental data were done using a software Microsoft Excel. **Results.** Results of study distribution of 4 types of dust particles (cocoa, starch, sugar, flour), which are formed in confectionery manufacturers and distribution of dust particles caught by the cyclone dust collectors are presented. The study tested that in all types of dust formed in confectionery manufacturers, particles PM_{2,5} and PM₁₀ are prevailing. Consequently, this dust particles are most ecologically dangerous. The experimental data was processed using computer programs and it is established that collection efficiency for PM_{2,5} and PM₁₀ is about 80 %. **Originality.** Distribution of dust particles which are formed of loose materials using in confectionery manufacturing are explored. It is established that in the cocoa dust entering to the cyclone dust collector particles with a size to 2 μm are predominate, in the starch dust – particles with a size from 2 to 6 μm, in the sugar dust – particles with a size to 4 μm and in the flour dust – particles with a size to 16 μm. **Practical value.** Results of investigation of the distribution of dust particles which confectionery manufacturing create have a big practical mean. They make possible to estimate the efficiency of dust cleaning of existing dust-cleaning equipment, to select effective methods for the intensification for the emission treatment. *References 20, tables 5, figures 4.*

Keywords: fine dust, confectionery manufacturing, distribution of dust particles, dust-cleaning equipment, cleaning efficiency.

REFERENCES

1. Prokopenko, O.M. (2017), Vykydy zabrudniuchykh rehovyn ta parnykovykh haziv u atmosferne povitria vid statsionarnykh dzherel zabrudnennia u 2016 rotsi (ostatochni dani): statystychnyi biuletyn [Emissions of pollutants and greenhouse gases in ambient air from stationary sources of pollution in 2016

(final data): statistical bulletin], State Statistics Committee of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

2. United States Environmental Protection Agency (2017), “Particulate Matter (PM) Pollution”, available at: www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm (accessed October 20, 2017).

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

3. State Statistics Committee of Ukraine (2017), "Emission of pollutants into atmospheric air in Ukraine for 1990-2015", available at: www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ns.htm (accessed November 13, 2017).
4. Shestak, O.O. (2017), Pres-biuleten № 8 za sichen – serpen 2017 roku [Newsletter No. 8 January-August 2017], Main Department of Statistics in Kyiv region Kyiv, Kiev, Ukraine.
5. Bocharova, K. A. (2010), Neotlozhnye sostoiannya v allerholohyy : klynyka, dyahnostyka, profylaktyka anafylaktycheskykh y anafylaktoydykh reaktsiy [Urgent conditions in allergology: clinic, diagnosis, prevention of anaphylactic and anaphylactoid reactions], TOV «Konstanta», Belgorod, Russia.
6. European Parliament and the Council (2008), "Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe", available at: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0050#ntr1-L_2008152EN.01001401-E0001 (accessed October 28, 2017).
7. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data (2016), "Ambient air pollution : a global assessment of exposure and burden of disease", WHO Document Production Services, Geneva, Switzerland.
8. "Regulatory Impact Analysis for the Final Revisions to the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter." U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality and Planning Standards, Health and Environmental Impacts Division, 2012. EPA-452/R-12-005.
9. "National standards for criteria air pollutants 1 in Australia" Department of the Environment and Heritage, 2005.
10. "Outline of Report on PM Particle Substance (PM 2.5) Review Board", Tokyo Metropolitan Office, 2011.
11. Beliaeva, L.Y., Malenkyna, L.O. Panchenko, V.V. and Shypylova, S.A. (1990), Sbornyk udelnykh pokazatelei vubrosov zahriazniaiushchykh veshchestv v atmosferu ot predpriyati pererabatyvaiushchei promyshlennosti ahropromyshlennoho kompleksa [Collection of specific indicators of emissions of pollutants into the atmosphere from enterprises of the processing industry of the agro-industrial complex], Roshyprosakhahroprom, Kursk, Russia.
12. Donyl, L. S. (1977), Spravochnyk po ventyliatsiyi v pyshchevoi promyshlennosti [Handbook of ventilation in the food industry], Pyshchevaia promyshlennost, Moscow, Russia.
13. Stobnicka, A. (2015), "Exposure to flour dust in the occupational environment", International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, no. 21(3), pp. 241-249.
14. Matytsyn, Ya. H. (2014), Tekhnicheskaiya spravka po rezultatam opredeleniya razmera chastytsy proby kakao-poroshka [Technical information on the results of determining the particle size of a sample of cocoa powder], TOV «Ariadna», Kharkiv, Ukraine.
15. Shtokman, E. A. (2001), Ventyliatsiya y ochystka vozdukh na predpriyatiakh pyshchevoi promyshlennosti [Ventilation and air purification at food industry enterprises], ASB, Moscow, Russia.
16. Hurets, L.L. (2009), "Vybir vysokoeffektyvnoho hazoochysnoho obladnannia z metoiu zapobihannia zabrudnennia atmosfery", Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyyi National University, no. 2, pp. 69-72.
17. Kouzov, P. A. (1987), Osnovy analiza dyspersnoho sostava promyshlennykh pylei y yzmelchennykh materiyalov [Fundamentals of analysis of the disperse composition of industrial dusts and crushed materials], Khymiya, Leningrad, Russia.
18. Brown, J.S., Gordon, T., Price, O. and Asgharian, B. (2013), "Thoracic and respirable particle definitions for human health risk assessment", Particle and Fibre Toxicology, available at: www.particleandfibretotoxicology.com/content/10/1/12 (accessed October 20, 2017).
19. "Horiba scientific: guidebook to particle size analysis", Horiba Instruments, INC, Irvine, USA, 2017.
20. Koshkarev, S. A. (2014), "Dispersion analysis of dust emissions in cement aspiration systems using an improved experimental installation", The engineering bulletin of the Don Electronic scientific journal, no. 3, available at: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/3224> (accessed November 10, 2017).