

Пономарьова С. Д.¹, Юрченко В. О.², Пономарьов К. С.²,¹Український науково-дослідний інститут екологічних проблем
(вул. Бакуліна, 6, м. Харків, 61002, Україна; E-mail: ponomarovasvitlana@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-6062-9033>)²Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, м. Харків, 61002, Україна; E-mail: bjieknuca@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7123-710X>, <https://orcid.org/0000-0002-2832-0802>)

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ОЧИЩЕННЯ ВИКИДІВ ДРІБНОДИСПЕРСНОГО ПИЛУ КАКАО З ДОПОМОГОЮ ПОПЕРЕДНЬОЇ ІОНІЗАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ

В експериментальних дослідженнях визначено ефективність впливу штучної іонізації пилового потоку какао на підвищення ефективності подальшого очищення цих викидів пилоочисними установками. Показано, що іонізація суттєво зменшує концентрацію електронейтральних частинок какао. Встановлено оптимальні технологічні параметри інтенсифікації уловлювання $PM_{2,5}$ та PM_{10} какао за допомогою попередньої іонізації пилу. Доведено, що цей метод дозволяє знизити концентрацію PM_{10} какао в атмосферному повітрі за межами СЗЗ кондитерських підприємств до нормативно-допустимого рівня.

Ключові слова: викиди кондитерського виробництва, дрібнодисперсні частинки какао, штучна іонізація, попередня обробка, ефективність очистки, технологічні параметри.

Вступ. Дрібнодисперсні тверді частинки органічного походження з розміром до 2,5 мкм ($PM_{2,5}$) та до 10 мкм (PM_{10}) – надзвичайно небезпечне забруднення атмосферного повітря, оскільки є інтенсивним патогеном, алергеном та потенційним опосередкованим джерелом парникових газів [1 – 3]. Інтенсивним джерелом викидів дрібнодисперсних органічних твердих частинок є кондитерське виробництво (наразі активно прогресуюча галузь промисловості України) внаслідок використання в технологічних процесах сипучих матеріалів (какао, крохмалю, цукру, борошна) [4].

Для очистки пило-газових потоків з твердими органічними частинками на кондитерських підприємствах використовуються циклони, які мають ефективність уловлювання 85 – 95 % (частинок більше 10 мкм), іноді рукавні фільтри з ефективністю 95 – 96 % (частинок більше 1 мкм) [5]. Така ефективність пиловловлюючих установок не забезпечує достатній рівень екологічної безпеки підприємства, як джерела викидів $PM_{2,5}$ та PM_{10} : є відомості, що концентрація $PM_{2,5}$ на кордоні санітарно-захисної зони (СЗЗ) на території житлової забудови становить більше 40 мкг/м³ (при допустимій в ЄС концентрації 25 мкг/м³) [6].

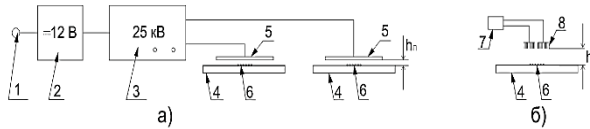
Один з напрямків підвищення ефективності вилучення таких частинок з викидів є їх попереднє укрупнення, наприклад, з допомогою обробки запиленого повітря негативно зарядженими іонами (штучна іонізація пило-газового потоку), яка наразі ефективно використовується при видаленні неорганічного пилу [7, 8]. Відомі лише поодинокі дослідження впливу штучної іонізації на пил тютюну [5], та пил борошна [9].

Мета роботи – визначення ефективності попереднього впливу штучної іонізації пилового потоку какао на підвищення ефективності подальшого очищення цих викидів пилоочисними установками.

Об'єкти і методи дослідження. Об'єкт – викиди $PM_{2,5}$ та PM_{10} какао, що утворюються в технологічних процесах на кондитерських підприємствах.

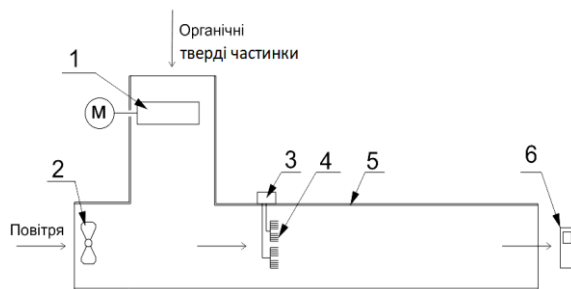
Для лабораторного дослідження заряду та впливу негативно заряджених іонів на органічні тверді частинки використовували лабораторну установку (рис. 1) з висковольтним перетворювачем «Розряд 1» (напруга постійного струму 25 кВ), двома різнойменно зарядженими мідними пластинами та іонізатором Dongguan Jingpin Environmental Protection Technology Co.,

Ltd. JP-A2241. Інтенсивність емісії негативно заряджених іонів становила $1,9 \cdot 10^7$ іонів/см³; h_i – 100 мм; h_{II} – 3 мм. На цій установці проведено 200 експериментів.



1 – мережа змінної напруги 220 В, 60 Гц; 2 – джерело постійного струму 12 В; 3 – високовольтний перетворювач «Розряд-1» з вихідною напругою 25 кВ; 4 – керамічна неглазурована основа; 5 – мідна пластина; 6 – зразок органічних РМ; 7 – іонізатор Dongguan Jingpin Environmental Protect. Techn. Co., Ltd. JP-A2241; 8 – вуглецеві щітки іонізатора
Рис. 1. Установа визначення заряду частинок (а), установа іонізації частинок (б)

Для лабораторного дослідження впливу іонізації на ефективність уловлювання органічних твердих частинок використовували лабораторну установку, що імітувала повітропровід (рис. 2) з пристроєм для подавання твердих частинок какао, вентилятором, іонізатором Dongguan Jingpin Environmental Protection Technology Co., Ltd JP-A2241, аналізатором якості повітря VSON Agris WP 6910 та лічильником іонів Barry Century KT-401 Ion Tester. На цій установці проведено 50 експериментів. Концентрацію пилу в повітрі вимірювали аналізатором атмосферного повітря WP6910.



1 – пристрій для подавання твердих частинок какао; 2 – вентилятор; 3 – іонізатор JP-A2241; 4 – карбонові щітки іонізатора; 5 – повітропровід; 6 – аналізатор атмосферного повітря
Рис. 2. Схема установки дослідження впливу іонізації на органічні тверді частинки

Теоретичні розрахунки і статистичну обробку даних проводили в комп'ютерній програмі Microsoft Excel. Випадкова похибка врахована як похибка вимірювань, систематична похибка – як похибка приладу,

абсолютну похибку брали рівною випадковій похибці. Виключення промахів проводили за критерієм Ірвіна. Довірча ймовірність отриманих результатів $P = 0,95$, достатня для представлення результатів наукових досліджень.

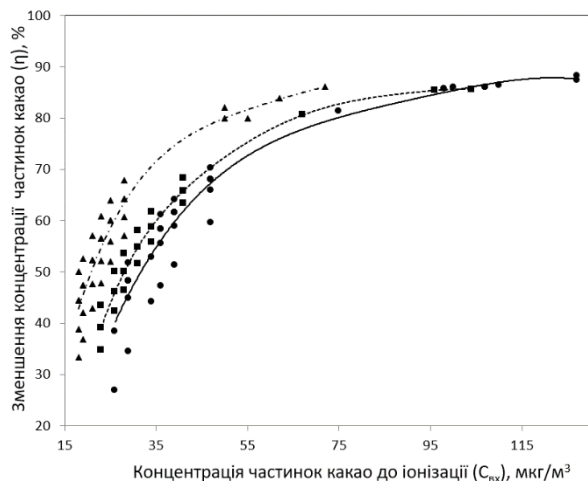
Результати та обговорення. Електростатичний заряд твердих частинок сприяє агломерації нормально сипучого матеріалу. Заряджені частинки мають тенденцію до «стрибків» на значні відстані (що спостерігалось при лабораторних дослідженнях на пилу какао), і тому рухливіші в повітрі за нейтральні частинки. В електричному полі частинки становляться поляризованими, електричний заряд збирається на протилежних сторонах частинки в результаті чого збільшується ймовірність їх зіткнення і злипання [10 – 13].

Експериментальне визначення заряду твердих частинок пилу какао показало, що до іонізації в ньому були відсутні позитивно заряджені частинки, кількість негативно заряджених становила $0,2 \pm 0,06$ %, а нейтральних – $99,8 \pm 0,06$ %. Такий пил є перспективним для іонізації, що підтвердили подальші експерименти. Після іонізації пилу какао в ньому суттєво збільшилась кількість негативно заряджених частинок ($11,2 \pm 4,54$ %) за рахунок зменшення нейтральних ($88,8 \pm 4,54$ %), а кількість позитивних залишилась рівною нулю.

В експериментах досліджували наступні параметри впливу процесу іонізації твердих частинок какао на ефективність зменшення їх концентрації в пило-газовому потоці: розмір твердих частинок до 1 мкм ($PM_{1,0}$), до 2,5 мкм ($PM_{2,5}$), до 10 мкм (PM_{10}), інтенсивність емісії негативних іонів $C_{iон}$ (від $0,12 \cdot 10^7$ до $1,9 \cdot 10^7$ іонів/см³); швидкість потоку у повітропроводі v (від 0,5 до 2 м/с); концентрація твердих частинок какао до іонізації (від 18 до 130 мкг/м³).

За результатами експериментальних досліджень впливу штучної іонізації на концентрацію пилу какао в пило-газовому потоці побудовано залежності зниження концентрації дрібнодисперсного органічного пилу від параметрів іонізації запиленого повітря у повітропроводі (рис. 3, 4).

Як видно, при підвищенні концентрації частинок какао в повітрі до 55 – 65 мкг/м³ ефективність їх видалення після іонізації активно зростає (до 75 %). Подальше підвищення концентрації частинок какао в оброблюваному повітрі (до 120 мкг/м³) збільшує ефективність їх видалення після іонізації лише на 10 %. Найефективніше іонізація запиленого повітря впливала на видалення частинок какао РМ_{1,0}.



Експериментальні точки: • - РМ₁₀; ■ - РМ_{2,5}; ▲ - РМ_{1,0}
 Апроксимуючі криві: — РМ₁₀; - - - РМ_{2,5}; - · - РМ_{1,0}

Рис. 3. Зменшення концентрації какао РМ₁₀, РМ_{2,5} та РМ_{1,0} у повітропроводі після іонізації

Досліджено вплив швидкості потоку у повітропроводі та концентрації какао до іонізації на зменшення концентрації какао у повітропроводі після іонізації (рис. 4). Фіксовані параметри обробки: розмір частинок (РМ₁₀), інтенсивність емісії негативно заряджених іонів ($C_{\text{іон}} = 1,9 \times 10^7$ іонів/см³). Як видно, при зменшенні швидкості потоку в повітропроводі від 2,0 до 0,5 м/с ефективність уловлювання збільшується з 55 до 85 %.

Досліджено вплив інтенсивності емісії негативно заряджених іонів на зменшення концентрації РМ₁₀ какао у повітропроводі після іонізації (рис. 5). Фіксовані параметри обробки: розмір частинок (РМ₁₀), швидкість потоку у повітропроводі ($v = 0,5$ м/с), концентрація РМ₁₀ какао до іонізації ($C_{\text{вх}} = 127$ мкг/м³). Встановлена залежність має лінійний характер. Розраховано, що при концентрації твердих частинок какао в

пило-газовому потоці до 200 мкг/м³, концентрація іонів в потоці повинна складати $C_{\text{іон}} = 1,9 \times 10^7$ іонів/см³.

Наявність позитивного та негативного зарядів в одному виді пилу зумовлене тим, що частинки з різними розмірами та структурою поверхні за рахунок тертя одна об одну набувають різних зарядів. Але кількість заряджених частинок по відношенню до нейтральних незначна [14], що підтверджено нашими експериментальними дослідженнями. Електроємність частинок пилу залежить від площі поверхні частинки. Дрібнодисперсний пил (розміром частинок менше 10 мкм) має значну площу поверхні по відношенню до пилу з розміром частинок більше 10 мкм, тому такий вид пилу має значно більшу електроємність, що збільшує перспективність застосування іонізації для обробки дрібнодисперсного пилу.

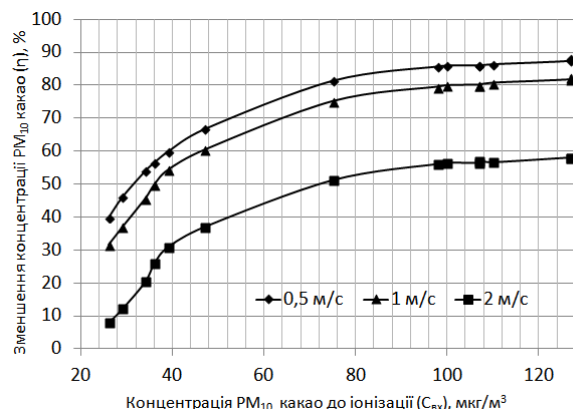


Рис. 4. Залежність ефективності зменшення концентрації какао у повітропроводі після іонізації від швидкості потоку

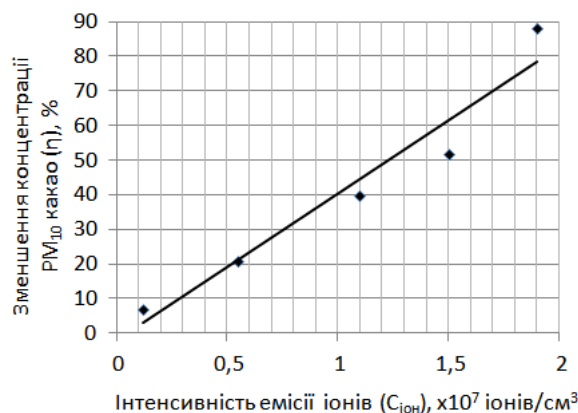


Рис. 5. Залежність ефективності зменшення концентрації РМ₁₀ какао у повітропроводі після іонізації від інтенсивності емісії негативно заряджених іонів

В наших дослідженнях іонізація зразків пилу збільшила вміст негативно заряджених частинок в загальному об'ємі пилу какао з 0,2 % до 11,2 %. Після іонізації ефект видалення частинок какао PM_{10} в повітрепроводі досягав 75 – 85 %. Якщо припустити, що концентрація частинок PM_{10} в повітрі при розсіюванні викидів зменшується пропорційно зменшенню концентрації цих частинок в викиді, то після іонізації на кордоні зазначеної в [6] СЗЗ вона становитиме менше 25 мкг/м^3 , тобто відповідатиме екологічно безпечному рівню.

Висновки:

1. В експериментальних дослідженнях визначено, що іонізація суттєво зменшує концентрацію електронейтральних частинок какао в викидах цієї речовини на кондитерському підприємстві: з $99,8 \pm 0,06 \%$ (до іонізації) до $88,8 \pm 4,54 \%$ (після іонізації).

2. Встановлено оптимальні технологічні параметри інтенсифікації уловлювання органічних $PM_{2,5}$ та PM_{10} какао за допомогою попередньої іонізації пилу какао: концентрація частинки какао до іонізації – не менше 65 мкг/м^3 , інтенсивність емісії негативних іонів, $C_{\text{іон}} - 1,9 \times 10^7 \text{ іонів/см}^3$; швидкість потоку у повітрепроводі $v - 1 \text{ м/с}$.

3. Доведено, що попередня іонізація дозволяє знизити концентрацію органічних PM_{10} в атмосферному повітрі на територія за межами СЗЗ кондитерських підприємств до нормативно-допустимого рівня.

ЛІТЕРАТУРА:

1. 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.
2. Mastika Ardhana. Microbial ecology and biochemistry of cocoa bean fermentation: dissertation of Philosophy Doctor: Department of Food Science and Technology / University of New South Wales. Kensington, 1990. - 311 p.
3. Wallén, A. Does the Swedish consumer's choice of food influence greenhouse gas

- emissions? / A. Wallén, N. Brandt, R. Wennersten // Environmental Science & Policy. – 2004. – Volume 7. – Issue 6. – P. 525 – 535.
4. Юрченко В.О. Дослідження дисперсного складу пилу крохмалю в викидах від обладнання кондитерських підприємств / В.О. Юрченко, С.Д. Пономарьова, К.С. Пономарьов // Науковий вісник будівництва: Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – 2017. – Т. 90. – № 4. – с. 232-235.
5. Штокман Е.А. Вентиляция и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности / Е. А. Штокман. – М.: АСБ, 2001. – 567 с.
6. Iurchenko V. Ecological safety predictive modeling of fine cocoa dust dispersion, released by confectionery manufacture / V. Iurchenko, E. Lebedeva, S. Ponomarova // Environmental problems : Scientific journal / Lviv Polytechnic National University. - Lviv LPNU, 2018. - Volume 2. - Number 2.
7. Cuia Y. Experimental Study on Dust Removal Efficiency of Electrostatic Precipitation for Biomass Flue Gas / Y. Cuia, X. Zhaoa , J. Suna, W. Liud, N. Jianga, K. Chena // Procedia Engineering, 2017. - № 205. – P. 3893–3897.
8. Беляев Н. Н. Оценка аэроионного режима в рабочей зоне при искусственной ионизации воздуха в помещении / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Науковий вісник будівництва: Харків : ХНУБА, 2015. – № 3. – с. 158-161.
9. Чепелев Н.И. Моделирование процесса осаждения пыли электрофильтрами на зерноперерабатывающих предприятиях / Н.И. Чепелев, И.О. Богульский, Д.А. Едимичев // ВестникКрасГАУ, 2012. - №5. – С. 351-355.
10. Пустовой Д. С. Исследования процессов коагуляции пыли при ионизации пылегазовой среды в поле импульсного коронного разряда / Д. С. Пустовой // Збагачення корисних копалин, 2017. – Вип. 66 (107). – С. 12 – 21.
11. Патент України № 73962, МПК В03С 3/00, В01D 49/00, заявл. 10.11.2000, опубл. 17.10.2005.
12. Han B. Unipolar Charging of Fine and Ultra-Fine Particles Using Carbon Fiber Ionizers / B. Han, H.-J. Kim , Y.-J. Kim, C. Sioutas // Journal Aerosol Science and Technology, 2008. - Volume 42. – Issue 10. – P. 793 – 800.
13. Shinbrot T. Why do particle clouds generate electric charges? / T. Pähz, H. J. Herrmann,

T. Shinbrot // Nature Physics, 2010. - Volume 6. – P. 364-368.

14. Svestka J. Measurement of Dust Electric Charges by the Ulysses and Galileo Dust Detectors / J. Svestka, S. Auer, M. Baguhl, E. Grün // Access International Astronomical Union Colloquium, 1996. – Vol. 150. – P. 481 – 484.

Юрченко В. А., Пономарев К. С., Пономарева С. Д. ИНТЕНСИФИКАЦІЯ ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ КАКАО С ПОМОЩЬЮ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ИОНИЗАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ. В экспериментальных исследованиях определена эффективность воздействия искусственной ионизации пылевого потока какао на повышение эффективности дальнейшей очистки этих выбросов пылеочистительными установками. Показано, что ионизация существенно уменьшает концентрацию электронейтральных частиц какао. Установлены оптимальные технологические параметры интенсификации улавливания органических $PM_{2,5}$ и PM_{10} с помощью предварительной ионизации пыли какао. Доказано, что предварительная ионизация позволяет снизить концентрацию PM_{10} какао в атмосферном воздухе за пределами СЗЗ кондитерских предприятий до нормативно-допустимого уровня.

Ключевые слова: выбросы кондитерского производства, мелкодисперсные частицы какао, искусственная ионизация, предварительная обработка, эффективность очистки, технологические параметры.

Iurchenko V. O., Ponomarova S. D., Ponomarov K. S. CLEANING INTENSIFICATION FOR EMISSIONS OF FINE COCOA DUST USING PRE-IONIZATION. In experimental studies, the ionization efficiency was determined to increase the efficiency of cleaning cocoa dust emissions in dust-cleaning plants. It is shown that ionization significantly reduces the concentration of electroneutral particles of cocoa. The optimal technological parameters of the intensification of organic $PM_{2.5}$ and PM_{10} trapping with the help of preliminary ionization of cocoa dust were established. The pre-ionization allows to reduce the concentration of PM_{10} cocoa in the atmosphere outside the sanitary protection zone of confectionery enterprises to a standard-acceptable level is proved.

Keywords: confectionery manufacturers emissions, fine cocoa particles, artificial ionization, pretreatment, cleaning efficiency, technological parameters.

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-95-1-250-254

УДК 628.312.3

¹Юрченко В. О., ¹Іваніт П.С., ²Смирнов О.В.

¹Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків

¹(вул. Сумська, 40, м. Харків, 61002, Україна; E-mail: bjieknuca@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7123-710X>, <https://orcid.org/0000-0002-0558-1081>)

²(вул. Тобольська, 42а, м. Харків 61042, Україна, E-mail: ecomman2009@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-9109-6030>)

ОСОБЛИВОСТІ НАСИЧЕННЯ КИСНЕМ СТИЧНИХ ВОД ВИРОБНИЦТВА ПАПЕРОВИХ ТОВАРИВ З МАКУЛАТУРНОЇ МАСИ

В експериментальних дослідженнях визначили характеристики впливу різних силіконових деаераторів, які додаються в пульпу для запобігання піноутворення, на ступінь насичення киснем стічних вод, що утворюються при виробництві паперових товарів з макулатурної маси. Показано, що силіконові деаератори в концентраціях, типових для промислових стічних вод досліджуваного виробництва, суттєво зменшують ступінь їх насичення киснем і його концентрацію при аерації стічних вод.

Ключові слова: виробництво паперу з макулатури, стічні води, піноутворення, силіконові деаератори, аерація, концентрація кисню в стічних водах.