

І. В. Севостьянов, д. т. н., доц.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ ВІДХОДІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

У статті наведено класифікацію термічних способів утилізації відходів харчових виробництв (спалювання, піролізу, газифікації), а також обладнання для їх реалізації. Запропоновано схему спеціальної високоефективної печі для спалювання цих відходів, наведено залежності для визначення параметрів повітряних потоків у робочих зонах печі.

Ключові слова: утилізація відходів харчових виробництв, піч для спалювання.

Вступ

На сьогодні однією з актуальних проблем в Україні є забруднення навколишнього середовища промисловими відходами, серед яких і відходи харчових виробництв (спиртова барда, пивна дробина, буряковий жом, кавовий і ячмінний шлами тощо). У більшості випадків ці відходи виливають на спеціалізовані земельні ділянки, що призводить до погіршення екологічної ситуації у відповідному регіоні, тому завдання пошуку більш безпечних для довкілля способів утилізації відходів залишається досить актуальним. На думку автора, раціональним є поділ відходів на тверду та рідку фази, після чого першу можна використовувати як добавку до сільськогосподарських кормів або в якості палива, тоді як рідка фаза (вода) повертається у виробничий процес [1]. У цій роботі розглянуто можливі способи спалювання, піролізу та газифікації твердої фази відходів харчових виробництв після їх поділу. Реалізація цих способів дозволить частково чи повністю розв'язати проблему забезпечення вітчизняних харчових підприємств теплом і паром для задоволення виробничих потреб, що особливо важливо в умовах дорожчання природного газу та інших енергоносіїв, тому у статті також запропоновано використання спеціального високоефективного обладнання для спалювання відходів.

У різних джерелах [2 – 4] наведено аналіз способів та обладнання для утилізації відходів промислових виробництв, але на думку автора, у кожному випадку цей аналіз є недостатньо повним і таким, що не враховує повною мірою специфіку відходів, які розглядають. Щодо поданого в цих джерелах обладнання, то воно є переважно універсальним, а отже, і не достатньо ефективним під час утилізації саме відходів харчових виробництв. Так, у роботах [2, 3] детально проаналізовано способи спалювання та піролізу промислових відходів, але практично нічого не сказано про їхнє використання для утилізації відходів харчових виробництв, а також про особливості потрібного для цього обладнання. У роботі [4] розглядають переважно термічні способи знезараження та кондиціонування осаду стічних вод із метою їх подальшого сушіння. Крім цього подано поняття про способи піролізу та газифікації, знову ж таки, без прив'язки до відходів харчових виробництв.

Зважаючи на вищевикладене, *метою цієї статті* є розробка класифікації термічних способів утилізації відходів харчових виробництв та обладнання для їх здійснення, визначення переваг і недоліків кожного способу, а також розробка схеми спеціальної високоефективної печі для спалювання відходів після їх остаточного віброударного зневоднення [1] з урахуванням вологості (20 – 25%) та інших фізико-механічних характеристик відходів.

Основна частина

На рис. 1 представлено, розроблену автором класифікацію відомих способів та обладнання для здійснення термічних способів утилізації відходів харчових виробництв. Ці

способи можна поділити на три групи: спалювання в печах і топках, піроліз, газифікація.

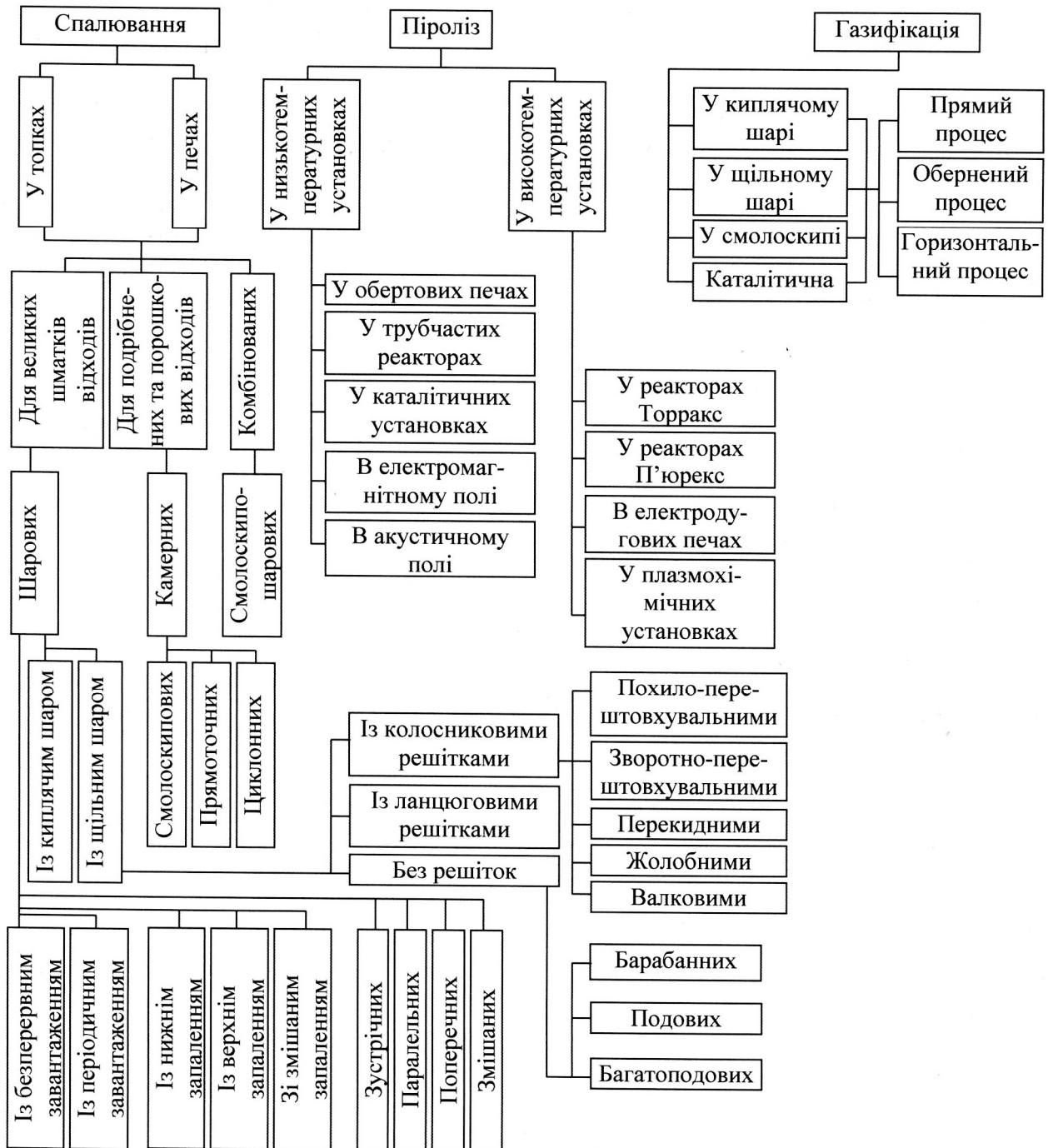


Рис. 1. Класифікація термічних способів утилізації відходів харчових виробництв та обладнання для їх реалізації

Спалювання є найпоширенішим способом термічного знезараження промислових відходів [3], серед яких і відходи харчових виробництв.

Здійснюють його в печах і топках різних конструкцій. При цьому топки можуть бути елементом печі або парового котла. Залежно від виду відходів розрізняють шарові (для спалювання великих шматків відходів) та камерні (для спалювання подрібнених й

пилоподібних відходів) печі й топки. Комбіновані печі й топки дозволяють спалювати відходи, що містять як великі фрагменти, так і частинки у вигляді порошку. Шарові топки й печі, з урахуванням співвідношення напрямків газоповітряного і паливо-шлакового потоків, класифікують на зустрічні, паралельні, поперечні та змішані. Одним з недоліків шарових печей і топок є необхідність оснащення їх колосниковими (різних видів) чи ланцюговими решітками з механічним або гідравлічним приводом для шурування та пересування відходів [3]. Багатоподові печі відрізняються великими матеріалоемністю та вартістю, потребують привод для здійснення безперервного обертання масивного вала з гребними лопатями, які забезпечують перемішування відходів, а також систему охолодження вала й лопатей. Крім цього, серед недоліків такого обладнання варто назвати неможливість створення всередині печі значних питомих теплових навантажень та розташування в її високотемпературній зоні обертових елементів [2]. Барабанні печі є основним видом обладнання для спалювання промислових відходів [3], але, враховуючи стан відходів харчових виробництв після зневоднення (спресована волога маса), вони не забезпечать необхідної ефективності їх спалювання. До цього ж вони мають низькі ступінь завантаження робочого об'єму та ресурс, потребують великих капітальних та експлуатаційних витрат [2]. Згідно із [2], печі і топки з киплячим шаром, а також циклонного типу є найпродуктивнішими, завдяки тому, що частинки відходів спалюються у них у зваженому стані під час інтенсивного теплообміну з газом (теплопередача в киплячому шарі в 4 рази вища, ніж у нерухомому [3]). Але й це обладнання має недоліки: необхідність створення оптимального режиму спалювання, з урахуванням виду та властивостей відходів, потреба в потужних пристроях для пиловловлювання [2, 3].

Із погляду санітарії, процеси піролізу вигідно відрізняються від спалювання завдяки зменшенню обсягів відхідних газів, які потрібно очищати, а також твердого залишку. При цьому останній, у більшості випадків, являє собою сажу або активоване вугілля, які можна використовувати у промисловості. Отже, деякі технології піролізу належать до безвідходних [3]. Для підтримання піролізних п'юрекс-процесів не потрібно навіть додаткового палива. Перевагами піролізних установок є забезпечення безперервності робочого процесу та відсутність у них рухомих елементів. Потужні промислові установки для здійснення способу утилізації, який розглядають, є досить універсальними, але й дорогими. Наприклад, вартість піролізної установки потужністю 310 000 т відходів у рік за коефіцієнта використання обладнання 0,85 складає близько 16 млн. доларів у цінах 1990 р. [3]. Для здійснення деяких технологій піролізу потрібні температури до 1650 °C [3], що накладає обмеження на вибір матеріалів для виготовлення певних елементів установок. Крім цього, знижується рівень безпеки обладнання. Досить складною є й проблема акумулювання та зберігання горючого газу, що утворюється в процесах піролізу, тому деякі фірми-виробники піролізних установок вимагають, щоб споживач газу був від них на відстані не більше 1 – 3 км [3].

Щодо способів газифікації, то переважно вони більш складні і менш ефективні, ніж процеси піролізу, оскільки вимагають підведення до робочої зони установок газифікованих агентів (повітря, кисню, діоксиду вуглецю, водяної пари). До цього ж процесам газифікації властиві практично всі вищевказані недоліки технологій піролізу. Зважаючи на вищевикладене, газифікацію значно менше використовують для утилізації відходів, ніж спалювання або піроліз [2, 3].

Під час вибору найраціональнішого способу утилізації відходів харчових виробництв та під час розробки схеми обладнання для його реалізації брали до уваги такі вимоги й параметри:

- урахування вихідних фізико-механічних характеристик утилізованих відходів;
- забезпечення заданої продуктивності та безперервності процесу утилізації;
- мінімізацію недоліків відомих способів утилізації, зокрема максимально ефективно

використання енергоносіїв, створення в робочій зоні розроблюваної установки високих питомих температурних навантажень та значного ступеню завантаження наявного об'єму обладнання, оптимальні й не дуже високі температури в робочій зоні, зменшення негативних чинників утилізації для людини та навколишнього середовища, зменшення обсягу вторинних продуктів (твердого й газоподібного залишків), забезпечення реалізації робочого процесу в повністю автоматичному режимі за мінімальних витрат часу і коштів на експлуатацію та обслуговування обладнання, зменшення габаритів, матеріалоемності та вартості розроблюваної установки, спрощення її конструкції, підвищення надійності;

– використання всього досвіду створення й експлуатації різноманітного обладнання для термічної утилізації промислових відходів.

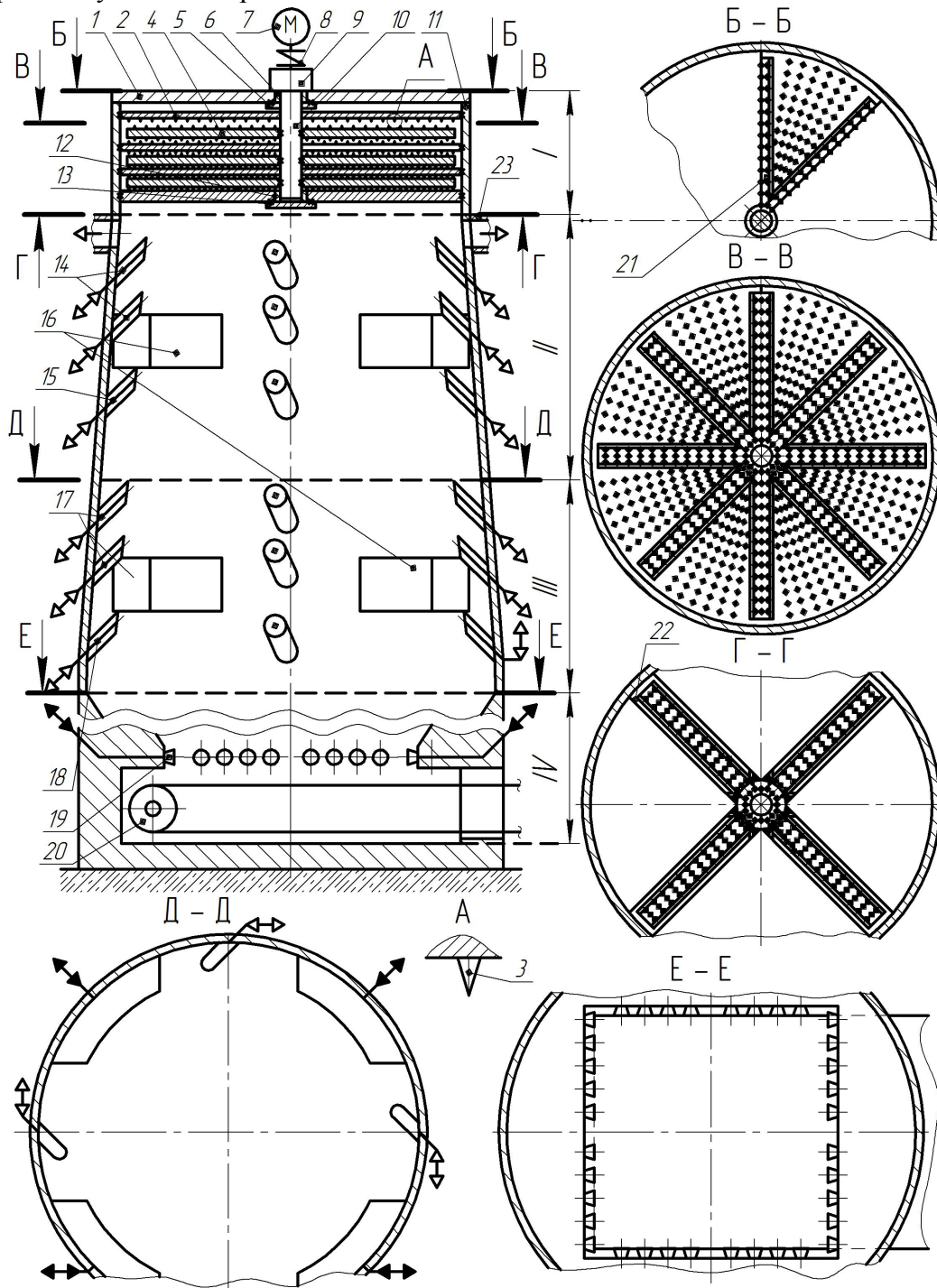


Рис. 2. Схема спеціальної печі для спалювання відходів харчових виробництв

На рис. 2 наведена розроблена автором схема спеціальної печі для спалювання відходів харчових виробництв, яка містить корпус 11 та кришку 1. Корпус 1 збудований з вогнетривкої цегли; внутрішні поверхні корпусу та кришки 1 облицьовані відшліфованими листами жаростійкої сталі для відбивання тепла всередину. Зовні корпус 11 та кришка 1 вкриті теплоізолювальним матеріалом. Усередині корпусу печі можна виділити чотири робочі зони: I – зона подрібнення та попереднього підсушування спалюваних відходів; II – зона досушування та спалювання; III – зона доспалювання; IV – зона охолодження та вивантаження золи. Спалювані відходи з початковою вологістю $U_n = 20 - 25\%$ у вигляді великих спресованих після зневоднення шматків завантажують через конічний виріз 21 у кришці 1 (див. розріз Б – Б на рис. 2), і вони потрапляють у подрібнювач. Останній містить три блоки ножів 4 (по 8 ножів у кожному блоці, див. розріз В – В на рис. 2) із загостреними кромками, що закріплені на валу 10. Повільне рівномірне обертання ножів 4 між чотирма нерухомими перегородками 2 забезпечують електродвигун 7 та планетарний редуктор 9, що змонтовані на кришці 1 і з'єднані один з одним через муфту 8. Вал 10 установлений у підшипниках ковзання 6, 12, що впираються торцями в кришки 5, 13. На поверхнях ножів 4 та перегородок 2 закріплена велика кількість загострених штирів 3 (див. виносний елемент А на рис. 2). Зазори між ножами 4 та перегородками 2 поступово зменшуються від верхнього до нижнього ступеню подрібнювача. У другій і третій зверху перегородках 2 виконані конічні вирізи, аналогічні вирізу 21, але зміщені один відносно одного на кут 45° . У нижній перегородці 2 зроблені чотири прямокутні вирізи 22 (див. розріз Г – Г на рис. 2). Шматки відходів, що надходять у подрібнювач під час обертання ножів 4, розрізаються їх кромками на торцях та подрібнюються штирями 3. На кожному ступені подрібнення завантажені порції відходів здійснюють поворот на кут 315° , після чого через вирізи в перегородках 2 проходять на нижні ступені подрібнення. Через вирізи 22, 21 та зазори між ножами 4 і перегородками 2 проходять також гарячі потоки повітря із зон спалювання II та доспалювання III, що забезпечує попереднє підсушування відходів у подрібнювачі. З останнього подрібнені й підсушені відходи висипаються через вирізи 22 і потрапляють у зону II спалювання. Тут вони підхоплюються потоками гарячого повітря, які подають через два ряди сопел 14. Сопла встановлені таким чином, що на частинки відходів діють вертикальні та тангенціальні сили (див. розріз Д – Д на рис. 2), що сприяє закручуванню відходів навколо осі печі та їх кращому просушуванню. Через сопла 15 подається природний або інший пальний газ. У результаті створюється температура $600 - 800^\circ\text{C}$ та реалізується спалювання відходів. Зола, що утворюється під час цього процесу, а також неповністю спалені частинки відходів опускаються в зону доспалювання III, у якій розташовані ще два ряди сопел 17 для подачі гарячого повітря та сопла 18, через які нагнітається пальний газ. Температура в зоні III досягає $900 - 1000^\circ\text{C}$. Отже, під впливом тепла, а також вертикальних і тангенціальних сил частинки відходів затримуються, закручуються і згорають. Тепло, яке виділяється в зонах II, III нагріває воду, що циркулює по радіаторах 16, 17 і використовується для виробничих потреб. Зола відходів із зони III опускають у зону IV на стрічку конвеєра 20, де її охолоджують водою, яку розбризкують із гідрантів 19 (див. також розріз Е – Е на рис. 2). За допомогою конвеєра 20 золу відвантажують із печі. Частина газоподібних продуктів згорання відходів із зони II проходить через зазори в подрібнювачі, інша частина виходить через отвори 23 в окрему колонну циклонного сепаратора з лабіринтним та електромагнітним фільтрами (на схемі не показана), яка є аналогічною колонам сепараторів барабаних печей. У сепараторі здійснюється очищення продуктів згорання від механічних частинок. Крім цього, там розташовані труби, якими проходить повітря. Продукти згорання обмивають стінки труб сепаратора та підігрівають у них повітря перед подачею останнього в піч, що сприяє підвищенню її ефективності. Із колони сепаратора продукти згорання викидають димососом у димар.

Основною відмінністю пропонованої печі від відомого обладнання для термічної утилізації промислових відходів (див. рис. 1) є реалізація в ній руйнування великих вологих шматків спалюваних відходів, перетворення їх у порошок масу, збільшення поверхні контакту відходів з гарячими газами та інтенсивне підсушування частинок. Завдяки впливу на них вертикальних і тангенціальних сил, створюваних повітряними потоками в зонах спалювання II і доспалювання III, частинки перебувають у роззосередженому зваженому стані, що також сприяє підвищенню ефективності пропонованого обладнання. Підсушування, спалювання, охолодження та відведення твердих і газоподібних продуктів згорання здійснюється в безперервному режимі. Максимально повно використовують енергію відхідних газів: для підігрівання відходів, які подрібнюють і спалюють, для нагрівання води й генерування пари, що задовольняє виробничі потреби та для попереднього підігрівання повітря, яке надходить у піч.

Але для підвищення ефективності пропонованої печі потрібно одержати залежності для визначення необхідної подачі повітря через сопла 14, 17. Застосування цих залежностей разом із рівняннями теплового балансу для робочих зон печі, наведених автором в іншій роботі, дозволить раціонально використовувати паливо й повітря під час здійснення процесів просушування та спалювання відходів, з урахуванням їхніх вихідних і поточних фізико-механічних параметрів, а також заданої продуктивності спалювання.

На рис. 3 наведена схема для визначення параметрів повітряних потоків у зонах спалювання та доспалювання пропонованої печі (див. також рис. 2), при цьому стовщеними стрілками показані напрямки повітряних потоків, які виходять із сопел 1, 3 та обтікають тверді частинки 2 відходів, які спалюють. Очевидно, що процес переміщення частинок відходів у печі є значною мірою стохастичним, що зумовлено зміною в досить широких межах розмірів частинок і відстаней між ними. Змоделювати точно такий процес без уведення припущень і усереднень неможливо, тому вважаємо, що частинки після подрібнення в зоні I печі (див. рис. 2) мають сферичну форму та однаковий середній діаметр d_q . Це припущення для багатьох процесів, пов'язаних із продукцією та відходами харчових виробництв досить точно підтверджує практика [5]. Також з урахуванням ретельного подрібнення відходів у зоні I та потрапляння їх у зону II через чотири рівномірно розташовані в нижній перегородці 2 подрібнювача вирізи 22 допускаємо, що відстані між будь-якими двома сусідніми частинками в зонах II і III в усіх трьох площинах є однаковими та рівними l_{ch} (див. рис. 3). Для визначення l_{ch} запишемо рівняння руху середньої за розмірами частинки масою m_{chII} у II-й зоні печі відносно вертикальної осі z

$$m_{chII} a_{chII} = m_{chII} g - P_{uII} = m_{chII} g - \rho_{nII} \frac{\pi \cdot d_q^2}{4} v_{nII}^2 = m_{chII} g - \rho_n \frac{v_{nII}^2}{2} \frac{\pi \cdot d_q^2}{4}, \quad (1)$$

де a_{chII} – прискорення, з яким переміщується частинка в зоні II; P_{uII} – зусилля, створюване швидкісним напором [6] повітря, яке подають через сопла 1 у зоні II; v_{nII} – середня швидкість повітряного потоку у верхньому поперечному перерізі зони II; ρ_n – густина гарячого повітря, яке подають у зони II, III.

Швидкість v_{nII} та сумарна подача Q_{nII} гарячого повітря через сопла 1 пов'язані співвідношенням

$$Q_{nII} = v_{nII} \frac{\pi \cdot D_n^2}{4}, \quad (2)$$

де D_n – початковий діаметр печі.

Із врахуванням формул (1, 2), переміщення частинки, що розглядається в одиницю часу можна знайти як

$$h_{одII} = \frac{a_{чII} t^2}{2} = \frac{1}{2} \left(g - \rho_n \frac{3}{4} \frac{v_{нII}^2}{d_q \rho_{елII}} \right), \quad (3)$$

де $\rho_{елII}$ – густина відходів вологістю U_n .

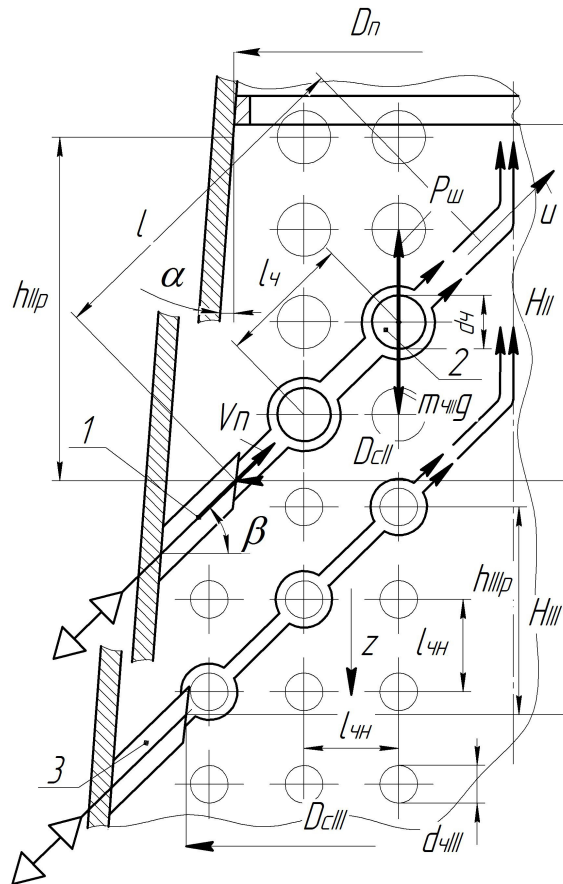


Рис. 3. Схема для визначення параметрів повітряних потоків у робочих зонах пропонованої печі

Середнє число частинок відходів діаметром d_q , що надходять у зону II печі, в одиницю часу обчислюємо як

$$n_{одII} = \frac{m_{e.o}}{m_{чII}}, \quad (4)$$

де $m_{e.o}$ – маса відходів, що надходять у зону II печі в одиницю часу.

Число твердих частинок в одиниці довжини з урахуванням залежності (4) знаходимо так

$$n_{одII\delta} = \sqrt[3]{n_{одII}} = \sqrt[3]{\frac{m_{e.o}}{m_{чII}}}. \quad (5)$$

Тоді формула для визначення $l_{чII}$ матиме вигляд

$$l_{чII} = \frac{h_{одII} - n_{одII\delta} h_{одII} d_q}{h_{одII} (n_{одII\delta} - 1)}. \quad (6)$$

Зміну параметрів повітряного потоку, що виходить зі сопла 1 на певній відстані l від нього (l змінюється в межах $0 \leq l \leq D_{cII} / 2 \cdot \cos \beta$), відносно осі u (див. рис. 3) можна знайти за законом Бернуллі [6]

$$\rho_n g \cdot H_{II} + \rho_n \frac{v_{n.cII}^2}{2} \frac{\pi \cdot d_u^2}{4} = \rho_n g (H_{II} - l \cdot \sin \beta) + \rho_n \frac{v_{n.l.II}^2}{2} \frac{\pi \cdot d_u^2}{4} + \frac{l}{l_u} \zeta_{cIII} \rho_n \frac{v_{n.l}^2}{2}, \quad (7)$$

де H_{II} – висота зони II; $v_{n.cII}$, $v_{n.l.II}$ – швидкості повітряного потоку в перерізах на виході зі сопла 1 (визначають з урахуванням площі S_c прохідного перерізу сопла 1 та числа n_c сопел, як $v_{n.cII} = Q_{nII} / n_c S_c$) та на відстані l від нього; β – кут нахилу сопла 1; l_u – відстань по осі u між двома сусідніми частинками відходів (може бути знайдена як $l_u = l_{cII} / \sin \beta$); ζ_{cIII} – коефіцієнт місцевого опору [6] частинки відходів під час її обтікання повітряним потоком у зоні II.

Зміну параметрів повітряного потоку із сопла 3 відносно осі u за зміни l в межах $0 \leq l \leq D_{cIII} / 2 \cdot \cos \beta$ знаходимо як

$$\rho_n g (H_{II} + H_{III}) + \rho_n \frac{v_{n.cIII}^2}{2} \frac{\pi \cdot d_{cIII}^2}{4} = \rho_n g (H_{II} + H_{III} - l \cdot \sin \beta) + \rho_n \frac{v_{n.l.III}^2}{2} \frac{\pi \cdot d_{cIII}^2}{4} + \frac{l}{l_u} \zeta_{cIII} \rho_n \frac{v_{n.l.III}^2}{2}, \quad (8)$$

де H_{III} – висота зони III; $v_{n.cIII}$, $v_{n.l.III}$ – швидкості повітряного потоку в перерізах на виході із сопла 3 ($v_{n.cIII} = Q_{nIII} / n_c S_c$, Q_{nIII} – подача повітря із сопел 3) та на відстані l від нього; ζ_{cIII} – коефіцієнт місцевого опору частинки відходів під час її обтікання повітряним потоком у зоні III; d_{cIII} – середній діаметр твердої частинки в зоні III після її підсушування та спалювання в зоні II.

Площу поперечного перерізу повітряних потоків, що виходять з сопел 1, 3 у зонах II, III, вважаємо такою, що дорівнює S_c .

В інших об'ємах зони II, що виходять за межі струменів із сопел 1, параметри повітряних потоків визначаємо за допомогою рівняння

$$\rho_n g \cdot H_{II} + \rho_n \frac{v_{nIIc}^2}{2} \frac{\pi \cdot d_u^2}{4} = \rho_n g (H_{II} - h_{IIp}) + \rho_n \frac{v_{nIIp}^2}{2} \frac{\pi \cdot d_u^2}{4} + \frac{h_{IIp}}{l_{cII}} \zeta_{cIII} \rho_n \frac{v_{nIIp}^2}{2}, \quad (9)$$

де v_{nIIc} , v_{nIIp} – швидкості повітряного потоку в нижньому перерізі зони II та в перерізі на відстані h_{IIp} від нижнього перерізу, що можуть бути визначені за формулами

$$v_{nIIc} = \frac{4 \cdot (Q_{nII} + Q_{nIII})}{\pi \cdot (D_n + 2 \cdot H_{II} \operatorname{tg} \alpha)}; \quad v_{nIIp} = \frac{4 \cdot (Q_{nII} + Q_{nIII})}{\pi \cdot [D_n + 2 \cdot (H_{II} - h_{IIp}) \operatorname{tg} \alpha]}, \quad (10)$$

де α – кут нахилу стінок печі.

Значення h_{IIp} у формулі (10) змінюється в межах $0 \leq h_{IIp} \leq H_{II}$.

Параметри повітряних потоків в об'ємах зони III, що виходять за межі струменів із сопел 3, визначаємо за допомогою рівняння

$$\rho_n g (H_{II} + H_{III}) + \rho_n \frac{v_{nIIIc}^2}{2} \frac{\pi \cdot d_{cIII}^2}{4} = \rho_n g (H_{II} + H_{III} - h_{IIIp}) + \rho_n \frac{v_{nIIIp}^2}{2} \frac{\pi \cdot d_{cIII}^2}{4} + \frac{h_{IIIp}}{l_{cIII}} \zeta_{cIII} \rho_n \frac{v_{nIIIp}^2}{2}, \quad (11)$$

де v_{nIIIc} , v_{nIIIp} – швидкості повітряного потоку в нижньому перерізі зони III та в перерізі на відстані h_{IIIp} від нижнього перерізу, що можуть бути обчислені як

$$v_{nIIIc} = \frac{4 \cdot Q_{nIII}}{\pi \cdot [D_n + 2 \cdot (H_{II} + H_{III}) \operatorname{tg} \alpha]}; \quad v_{nIIIp} = \frac{4 \cdot Q_{nIII}}{\pi \cdot [D_n + 2 \cdot (H_{II} + H_{III} - h_{IIIp}) \operatorname{tg} \alpha]}, \quad (12)$$

де h_{IIIp} змінюється в межах $0 \leq h_{IIIp} \leq H_{III}$.

На вертикальній осі печі повітряні потоки із сопел 1, 3 зустрічаються з такими самими потоками з протилежно установлених сопел (див. рис. 2) і після взаємодії з ними змінюють напрямок руху на вертикальний (див. рис. 3).

Висновки

1. Забруднення навколишнього середовища відходами харчових виробництв є однією з найактуальніших проблем в Україні, тому завдання розробки ефективного обладнання для утилізації цих відходів є досить важливим.

2. У статті наведено класифікацію способів та обладнання, які можна використовувати для термічної утилізації відходів харчових виробництв. Аналіз вказаних способів та обладнання показав, що вони не забезпечують достатньо ефективного розв'язання поставленого завдання, оскільки під час їх розробки не враховували фізико-механічні характеристики конкретних відходів, у результаті в процесі їхньої експлуатації нераціонально використовують паливо та робочий об'єм обладнання, матеріалоємність та вартість якого, а також негативний вплив на навколишнє середовище є досить значними.

3. Автор пропонує схему спеціальної печі для спалювання відходів харчових виробництв, під час використання якої здійснюється попереднє подрібнення спалюваних відходів для збільшення їхньої поверхні контакту з гарячими газами та їх інтенсивного підсушування, розпилення й гальмування частинок відходів із метою їхнього повного згорання, створення високих питомих температурних навантажень у печі за порівняно низьких середніх температур і помірних витрат енергоносіїв, забезпечується безперервність процесів підсушування, спалювання, охолодження та вивантаження золи для підвищення продуктивності та ефективності розробленого обладнання.

4. Наведені залежності для визначення параметрів повітряних потоків у робочих зонах пропонованої печі, які можуть бути використані для розробки методики її проектного розрахунку для забезпечення оптимальних показників ефективності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Севостьянов И. В. Процессы и оборудование для виброударного разделения пищевых отходов. Монография / И. В. Севостьянов. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 417 с. – ISBN 978-3-659-47395-1.
2. Романова С. М. Процессы, аппараты и оборудование для защиты литосферы от промышленных и бытовых отходов: учебное пособие / С. М. Романова, С. В. Степанова, А. Б. Ярошевский. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2012. – 144 с. – ISBN 978-5-7882-1286-9.
3. Пальгунов П. П. Утилизация промышленных отходов / П. П. Пальгунов, М. В. Сумароков. – М. : Стройиздат, 1990. – 352 с.
4. Ветошкин А. Г. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы). Учебное пособие / А. Г. Ветошкин, К. Р. Таранцева. – Пенза : Изд-во Пенз. технол. ин-та, 2004. – 249 с.
5. Гончаревич И. Ф. Вибрационная техника в пищевой промышленности / И. Ф. Гончаревич, И. Б. Урьев, М. А. Талейсник. – М. : Пищевая промышленность, 1977. – 279 с.
6. Башта Т. М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т. М. Башта, Б. Б. Некрасов. – М. : Машиностроение, 1982. – 423 с.

Севостьянов Иван Вячеславович – д. т. н., професор кафедри металорізальних верстатів та обладнання автоматизованого виробництва.

Вінницький національний технічний університет.