

УДК 628.544

І.В. Севостьянов*Вінницький національний технічний університет***РОЗРОБКА СПЕЦІАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ ВІДХОДІВ
ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

У статті запропонована схема спеціальної вискоєфективної печі для спалювання відходів харчових виробництв (спиртової барди, пивної дробини, бурякового жому, кавового шלאму), що дозволяє одержувати тепло й пару для задоволення виробничих потреб підприємств харчової промисловості. Наводяться залежності для визначення робочих параметрів розробленої печі.

Ключові слова: піч для спалювання, відходи харчових виробництв.

И.В. Севостьянов**РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ОТХОДОВ
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ.**

В статье предложена схема специальной высокоэффективной печи для сжигания отходов пищевых производств (спиртовой барды, пивной дробины, свекольного жома, кофейного шлама), что позволяет получать тепло и пар для удовлетворения производственных потребностей предприятий пищевой промышленности. Приводятся зависимости для определения рабочих параметров разработанной печи.

Ключевые слова: печь для сжигания, отходы пищевых производств.

I.V. Sevostyanov**ELABORATION OF THE SPECIAL EQUIPMENT FOR BURNING OF A FOOD
MANUFACTURES WASTE.**

The scheme of the special highly effective oven for burning of a food manufactures waste (spirit bards, beer pellet, beet press, coffee slime) is offered in this article, that allows to receive heat and steam for satisfaction of industrial requirements of the food-processing industry's enterprises. Dependences for definition of working parameters of the developed oven are also presented.

Keywords: the oven for burning, a waste of food manufactures.

Однією з актуальних проблем вітчизняної харчової промисловості є утилізація відходів, таких як спиртова барда, пивна дробина, буряковий жом, кавовий та ячмінний шлам тощо. У теперішній час дані відходи в основному виливаються на ґрунт, що призводить до забруднення навколишнього середовища. Більш безпечно для довкілля, а головне економічно вигідніше здійснювати розділення відходів на тверду (концентрат) та рідинну (фільтрат) фази. Концентрат після зневоднення до вологості 20 – 25% можна застосовувати як цінну високопоживну добавку до сільськогосподарських кормів або спалювати з одержанням тепла й пари для задоволення виробничих потреб [1]. Фільтрат відходів, що після достатньо ретельного очищення являє собою воду й може повторно використовуватись на виробництві [1]. В сучасних умовах, при високій вартості природного газу, для ряду харчових підприємств України використання відходів в якості палива є найбільш оптимальним варіантом. У зв'язку із цим, розробка вискоєфективного обладнання для спалювання відходів харчових виробництв є важливим науковим та практичним завданням.

На даний момент відомо багато різного обладнання для спалювання та піролізу промислових відходів [2 – 4], але все воно має свої недоліки, крім цього, не призначене спеціально для спалювання саме відходів харчових виробництв, тому в більшості випадків не забезпечує необхідної ефективності при розв'язанні поставленого завдання. Вказані відходи після зневоднення, наприклад, на вібропресових установках з гідроімпульсним приводом [1] являють собою великі спресовані вологі шматки, які перед спалюванням для зменшення витрат енергоносіїв доцільно попередньо подрібнювати та підсушувати. Тому, застосування з цією метою барабанних, подових чи багатоподових печей [2, 3] є економічно невиправданим через відсутність у останніх пристроїв для попереднього подрібнення відходів. До цього ж барабанні печі та топкі мають порівняно невеликий ступінь завантаження робочого об'єму і ресурс, потребують великих капітальних та експлуатаційних витрат [2]. Багатоподові печі відрізняються великими матеріалоемністю та вартістю й додатково оснащуються приводом для здійснення безперервного обертання масивного вала з гребними лопатами, що забезпечують перемішування відходів, а також системою охолодження вала й лопат. Крім цього, серед недоліків даного обладнання слід назвати неможливість створення всередині печі значних питомих теплових навантажень та

розташування у її високотемпературній зоні обертових елементів [2]. Шарові печі й топки з колосниковими решітками різних видів [2, 3] потребують додаткового механічного чи гідравлічного приводу, що приводить їх в дію. Камерні печі слугують для спалювання дрібнодисперсних порошоків, тому перед завантаженням в дане обладнання відходів харчових виробництв у вказаному вище стані їх також потрібно подрібнювати. Також в більшості камерних печей не передбачене безперервне механізоване вивантаження золи, що змушує здійснювати їх періодичну зупинку в процесі експлуатації. За даними [2, 3] печі й топки з киплячим шаром забезпечують у порівнянні із обладнанням для спалювання відходів у нерухомому шарі в 4 рази вищу швидкість теплопередачі і відповідне підвищення продуктивності робочих процесів, але за умови створення в них оптимального режиму спалювання, з врахуванням властивостей знищуваних відходів. Крім цього, печі з киплячим шаром потребують оснащення їх потужними пристроями для пиловловлювання. Обладнання для піролізу є з екологічної точки зору безпечнішим, ніж печі й топки для спалювання, оскільки забезпечує зменшення обсягів газоподібних та твердих продуктів згоряння відходів. Також зменшуються й енерговитрати на утилізацію, тоді як надійність обладнання, завдяки відсутності в ньому рухомих елементів, є вищою. Але потужні промислові піролізні установки мають досить високу вартість [3], до цього ж для здійснення деяких технологій піролізу потрібні температури до 1650 °С [3], що накладає обмеження на вибір матеріалів для виготовлення ряду елементів установок. 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 знаходився від них на відстані не більше 1 – 3 км [3].

З врахуванням вищевикладеного, під час розробки схеми спеціального обладнання для спалювання відходів харчових виробництв доцільно керуватись такими вимогами:

- забезпечення безперервності спалювання відходів та заданої достатньо високої продуктивності робочого процесу;
- реалізація попереднього подрібнення та підсушування відходів перед спалюванням;
- підвищення поверхні нагрівання частинок відходів за рахунок спалювання їх у зваженому стані;
- збільшення питомих температурних навантажень, при порівняно невеликій оптимальній температурі в робочій зоні обладнання;
- максимальне повне використання робочого об'єму обладнання;
- мінімізація обсягів газоподібних й твердих продуктів згоряння відходів, а також зменшення негативного впливу з боку розроблюваного обладнання на людину та навколишнє середовище;
- автоматизація й механізація всіх основних та допоміжних процесів обладнання;
- максимальне спрощення конструкції, зменшення габаритів та матеріалоемності обладнання, підвищення його надійності та ресурсу;
- мінімізація капітальних та експлуатаційних витрат на обладнання;
- використання всього досвіду створення та експлуатації обладнання для термічної утилізації промислових відходів.

Дані вимоги брались до уваги під час розробки схеми спеціальної печі для спалювання відходів харчових виробництв, представленої на рис. 1.

Піч містить електродвигун 1, який через муфту 2 та планетарний редуктор 3 приводить в обертання шнек 5, що розташовується в циліндрі 7. Останній зверху має патрубок 6. На ступені вала 8 квадратного поперечного перерізу, ближчого до його правого за схемою кінця, установлений чотирикромковий обертовий ніж 9 (див. також розріз Г – Г на рис. 1). Крайній правий ступінь вала 8 круглого поперечного перерізу входить у отвір решітки 10. Ще одна решітка 11 для остаточного подрібнення відходів (див. також розріз А – А на рис. 1) кріпиться до кутової труби 12. Основний корпус печі 21 складений з вогнетривкої цегли й покритий зсередини відшліфованими сталевими листами для відбивання тепла, а ззовні – шаром теплоізолювального матеріалу. В середині корпусу 21 під кутом до горизонтальної осі, а також з тангенціальним нахилом (див. розріз Б – Б на рис. 1) установлені чотири ряди сопел 14, 17 для нагнітання через них гарячого повітря й два ряди пальників 15, 18 для подачі пального газу. Крім цього, всередині корпусу 21 змонтовані два ряди радіаторів 16 (див. розріз Б – Б на рис. 1), по яких циркулює вода. У верхній частині корпусу 21 виконані отвори 13 для відведення газоподібних продуктів згоряння відходів. Нижня частина печі має квадратну форму поперечного перерізу (див. розріз В – В на рис.

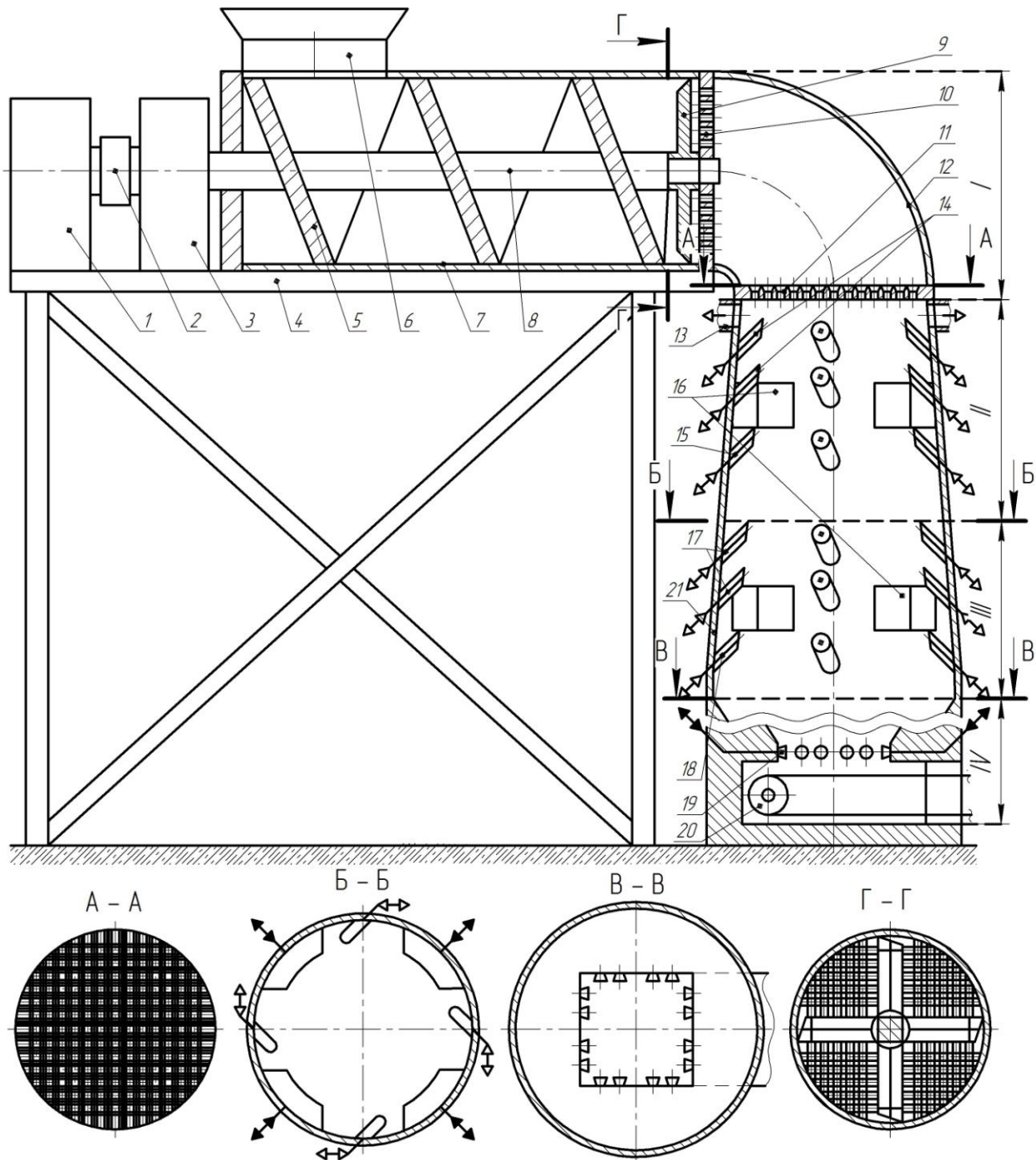


Рис. 1. Схема спеціальної високоефективної печі для спалювання відходів харчових виробництв

1), по периметру якого закріплені гідранти 19 для розбризування води. Ще нижче розташовується стрічковий конвеєр 20. В цілому усередині печі можна виділити чотири зони: I – подрібнення та попереднього підсушування відходів; II – підсушування та спалювання відходів, а також відведення їх газоподібних продуктів згоряння; III – доспалювання; IV – охолодження та відвантаження твердих продуктів згоряння відходів.

Працює піч таким чином. Остаточні зневоднені до вологості $U_{п} = 20 - 25\%$ відходи харчових виробництв у вигляді великих спресованих шматків періодично скидаються через патрубок 6 у циліндр 7. При безперервному рівномірному обертанні шнека 5 великі шматки відходів подрібнюються й подаються у бік ножа 9, який здійснює їх ще більше подрібнення. Остаточне подрібнення відходів й перетворення їх у дрібнодисперсну порошокуву масу забезпечується при проходженні відходів через решітки 10, 11. На всьому цьому шляху частинки відходів обтікають гарячі газы, що піднімаються з основного корпусу печі 21, таким чином здійснюється попереднє підсушування утилізованої речовини. Далі вона потрапляє у зону II, де

підхоплюється і закручується завдяки впливу висхідних та тангенціальних потоків гарячого повітря, що подається з сопел 14. Це сприяє затриманню та кращому просушуванню відходів. З пальників 15 подається паливний газ, при згорянні якого створюється температура $T_{\text{сп1}} = 600 - 800$ °С; разом з газом спалюються й частинки відходів. Зола та неповністю спалені відходи опускаються далі в зону III, де на них впливають вертикальні та тангенціальні сили, створювані потоками гарячого повітря з сопел 17, а також температура $T_{\text{сп2}} = 900 - 1000$ °С, що забезпечується при згорянні газу, який подається через пальники 18. Залишки золи після доспалювання потрапляють у зону IV, де охолоджуються струменями води з гідрантів 19 й опускаються на конвеєр 20, що у безперервному режимі відвантажує їх з печі. Газоподібні продукти згоряння відходів, піднімаючись вгору нагрівають також воду, що циркулює по радіаторах 16 й використовується у подальшому для задоволення виробничих потреб. Далі вказані гази частково прямують у зону I, частково відводяться через патрубки 13 у окрему колону циклонного сепаратора (на схемі не показана), аналогічну за будовою сепараторним колонам відомого обладнання для спалювання промислових відходів. У сепараторі установлені щільний та електромагнітний фільтри для видалення з газоподібних продуктів згоряння твердих частинок, крім цього, там змонтовані труби, по яких проходить повітря. Останнє після попереднього підігрівання у сепараторі надходить через сопла 14, 17 у основний корпус печі. Таким чином, підвищується тепловіддача від спалювання газу. В цілому запропонована піч відповідає сформульованим вище вимогам.

Рівняння теплового балансу [5] для зони II спалювання печі має вигляд

$$Q_{\text{сп.г}}(t) + Q_{\text{сп.в}}(t) - Q_{\text{наг.п}}(t) - Q_{\text{наг.в}}(t) - Q_{\text{вип.в}}(t) = 0, \quad (1)$$

де $Q_{\text{сп.г}}(t)$ – кількість теплоти, що надходить у зону II в одиницю часу в результаті спалювання газу, який подається через пальники 15; $Q_{\text{сп.в}}(t)$ – кількість теплоти, що утворюється при спалюванні відходів; $Q_{\text{наг.п}}(t)$ – кількість теплоти, що витрачається на нагрівання повітря, яке подається через сопла 14; $Q_{\text{наг.в}}(t)$ – теплота, що витрачається на нагрівання відходів, які надходять із зони I; $Q_{\text{вип.в}}(t)$ – теплота, що витрачається на випарювання води з відходів, які надходять із зони I. У розгорнутому вигляді рівняння (1) можна подати таким чином

$$c_{\text{сп.г}} \rho_{\text{г}} V_{\text{г1}}(t) + c_{\text{сп.в}} (m_{\text{в}}(t) - m_{\text{п}}(t)) - c_{\text{п.в}} \rho_{\text{п}} V_{\text{п1}}(t) (T_{\text{сп1}} - T_{\text{сеп}}) - c_{\text{в.в}} m_{\text{в}}(t) (T_{\text{сп1}} - T_{\text{под}}) - r_{\text{п}} m_{\text{п}}(t) = 0, \quad (2)$$

де $c_{\text{сп.г}}$ – питома теплоємність спалювання газу густиною $\rho_{\text{г}}$ та об'ємом $V_{\text{г1}}(t)$, що подається через пальники 15; $c_{\text{сп.в}}$ – питома теплоємність спалювання відходів початковою масою $m_{\text{в}}(t)$, що проходять через патрубків 6; $m_{\text{п}}(t)$ – маса рідинної фази, що випаровується з відходів у зонах I та II; $c_{\text{п.в}}$ – питома теплоємність при нагріванні повітря густиною $\rho_{\text{п}}$ та об'ємом $V_{\text{п1}}(t)$, яке подається з сопел 14 від температури $T_{\text{сеп}}$, що відповідає температурі у сепараторі до $T_{\text{сп1}}$; $c_{\text{в.в}}$ – питома теплоємність при нагріванні відходів масою $m_{\text{в}}(t)$ від температури $T_{\text{под}}$, що відповідає температурі у патрубку подачі 6 до $T_{\text{сп1}}$; $r_{\text{п}}$ – питома теплота випаровування рідинної фази відходів.

Рівняння теплового балансу у розгорнутому вигляді для зони III

$$c_{\text{сп.г}} \rho_{\text{г}} V_{\text{г2}}(t) + c_{\text{сп.в}} (m_{\text{в}}(t) - m_{\text{п}}(t) - m_{\text{з}}(t)) - c_{\text{п.в}} \rho_{\text{п}} V_{\text{п2}}(t) (T_{\text{сп2}} - T_{\text{сп1}}) - c_{\text{в.в}} (m_{\text{в}}(t) - m_{\text{п}}(t)) (T_{\text{сп2}} - T_{\text{сп1}}) = 0, \quad (3)$$

де $V_{\text{г2}}(t)$ – об'єм газу, що подається з пальників 18; $m_{\text{з}}(t)$ – маса золи, що утворюється в зоні II; $V_{\text{п2}}(t)$ – об'єм повітря, що подається у зону III з сопел 17.

Масу $m_{\text{п}}(t)$ у формулах (2, 3) визначаємо виходячи з максимально допустимої вологості $U_{\text{д}}$ відходів для забезпечення їх ефективного і достатньо повного згоряння, яка для кожного конкретного виду відходів може бути визначена дослідним шляхом. Наприклад, для концентрату кавового шламу визначена на СП «Галка Лтд» $U_{\text{д}}$ склала 8%. Тоді

$$m_{\text{п}}(t) = m_{\text{в}}(t) \frac{U_{\text{п}} - U_{\text{д}}}{100\%}. \quad (4)$$

Об'єми $V_{\text{п1}}(t)$, $V_{\text{п2}}(t)$ у рівняннях (2, 3) визначаємо, виходячи з проміжків часу $t_{\text{п}}$, $t_{\text{д}}$, необхідних відповідно для просушування відходів від вологості $U_{\text{п}}$ до $U_{\text{д}}$ в зоні II та для їх доспалювання в зоні III.

Значення $t_{\text{п}}$ не повинне бути меншим за тривалість $t_{\text{п}}$ переміщення твердих частинок відходів в зоні II, яку, в свою чергу можна розрахувати за рівнянням, складеним за допомогою схеми на рис. 2 для найменшої за розмірами твердої частинки (з метою спрощення аналізу в аналогічних дослідженнях динамічних процесів в харчових середовищах допускають, що їх частинки мають сферичну форму і діаметр $d_{\text{ч}}$ [6]). Тоді рівняння для обчислення $t_{\text{п}}$ матиме вигляд

$$t_{II} = \sqrt{\frac{2 \cdot h_{II}}{a_{чII}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot h_{II}}{(m_{чII}g - P_{III})/m_{чII}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot h_{II}}{\left(g - P_{III} \frac{\pi \cdot d_{чII}^2}{4 \cdot m_{чII}}\right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot h_{II}}{\left(g - \rho_n \frac{v_{нII}^2}{2} \frac{\pi \cdot d_{чII}^2}{4 \cdot m_{чII}}\right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot h_{II}}{\left(g - \rho_n \frac{3}{4} \frac{v_{нII}^2}{d_{чII} \rho_{вII}}\right)}}, \quad (5)$$

де h_{II} – переміщення частинки в зоні II (висота даної зони, див. також рис. 1); $a_{чII}$ – прискорення, з яким переміщується частинка в зоні II; $m_{чII}$ – маса найменшої за розмірами частинки відходів діаметром $d_{чII}$ в зоні II; P_{III} – зусилля, створюване швидкісним напором [7] повітря, що подається через сопла в зоні II; $v_{нII}$ – середня швидкість повітряного потоку у середньому поперечному перерізі зони II діаметром $D_{срII}$; ρ_n – густина гарячого повітря, що подається у зони II, III; $\rho_{вII}$ – густина відходів з середньою вологістю $(U_n + U_d)/2$.

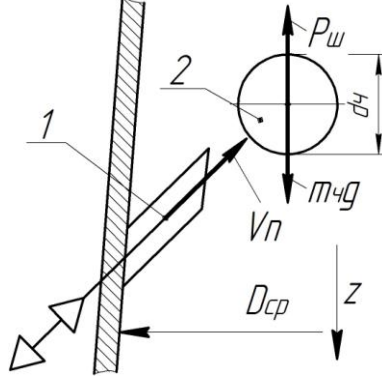


Рис. 2. Схема для визначення параметрів руху частинки відходів в основному корпусі печі

Пропонується дослідним шляхом, з використанням іншої печі або сушарки визначити час t_n необхідний для підсушування відходів даного виду від вологості U_n до U_d . Далі з врахуванням умови $t_{II} \leq t_n$, а також за допомогою формули (5) підбирається відповідне значення $v_{нII}$.

Швидкість $v_{нII}$ та сумарна подача $Q_{нII}$ гарячого повітря через сопла 14 (див. рис. 1) пов'язані співвідношенням

$$Q_{нII} = v_{нII} \frac{\pi \cdot D_{срII}^2}{4}. \quad (6)$$

В той же час об'єм $V_{нII}(t)$ визначається як

$$V_{нII}(t) = \frac{Q_{нII}}{t_{II}}. \quad (7)$$

Тепловий потік повітря в зоні II може бути обчислений за законом Фур'є [5]

$$q_{II} = -\chi_n \frac{T_{снI} - T_{сеп}}{h_{II}} \frac{\pi \cdot D_{срII}^2}{4}, \quad (8)$$

де χ_n – коефіцієнт теплопровідності повітря.

Кількість теплоти, що передається через середній поперечний переріз зони II [5]

$$Q_{II} = \chi_n \frac{T_{снI} - T_{сеп}}{h_{II}} \frac{\pi \cdot D_{срII}^2}{4} t_{II}. \quad (9)$$

Кількість теплоти, що проходить через середній поперечний переріз зони II за час t [5]

$$Q_{II}(t) = \alpha \cdot \frac{\pi \cdot D_{срII}^2}{4} \cdot t \cdot (T_{снI} - T_{сеп}), \quad (10)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі гарячого повітря [5].

За допомогою схеми на рис. 2 та з врахуванням формули (5) складаємо рівняння, що дозволяє визначати час t_d

$$\begin{aligned} h_{III} &= v_{ч.н.III} t_{III} + \frac{a_{чIII} t_{III}^2}{2} = a_{чII} t_{II} t_{III} + \left(g - \rho_n \frac{3}{4} \frac{v_{нIII}^2}{d_{чIII} \rho_{вIII}}\right) t_{III}^2 / 2 = \\ &= \left(g - \rho_n \frac{3}{4} \frac{v_{нII}^2}{d_{чII} \rho_{вII}}\right) t_{II} t_{III} + \left(g - \rho_n \frac{3}{4} \frac{v_{нIII}^2}{d_{чIII} \rho_{вIII}}\right) t_{III}^2 / 2, \end{aligned} \quad (11)$$

де h_{III} – переміщення твердої частинки відходів в зоні III (висота зони III, див. також рис. 1); $v_{ч.п.III}$ – початкова швидкість твердої частинки в зоні III; t_{III} – тривалість переміщення частинки в зоні III; $a_{ч.III}$ – прискорення частинки в зоні III; $v_{п.III}$ – середня швидкість повітряного потоку у середньому поперечному перерізі зони III діаметром $D_{ср.III}$; $\rho_{в.III}$ – середня густина відходів після спалювання; $d_{ч.III}$ – діаметр найменшої частинки відходів після спалювання в зоні II.

Далі визначаємо з використанням печі-прототипу мінімальний допустимий час доспалювання відходів в зоні III $t_d = t_{III}$, підставляємо його в рівняння (11) й розв'язуємо останнє відносно $v_{п.III}$.

Формули (6 – 10) для зони доспалювання матимуть вигляд

$$Q_{п.III} = v_{п.III} \frac{\pi \cdot D_{ср.III}^2}{4}; V_{п2}(t) = \frac{Q_{п.III}}{t_{III}}; q_{III} = -\chi_n \frac{T_{сн2} - T_{сн1}}{h_{III}} \frac{\pi \cdot D_{ср.III}^2}{4};$$

$$Q_{III} = \chi_n \frac{T_{сн2} - T_{сн1}}{h_{III}} \frac{\pi \cdot D_{ср.III}^2}{4} t_{III}; Q_{III}(t) = \alpha \cdot \frac{\pi \cdot D_{ср.III}^2}{4} \cdot t \cdot (T_{сн2} - T_{сн1}), \quad (12)$$

де $D_{ср.III}$ – середній діаметр поперечного перерізу печі в зоні III; $Q_{п.III}$ – сумарна подача гарячого повітря через сопла 17 (див. рис. 1); q_{III} – тепловий потік повітря в зоні III; $Q_{III}(t)$ – кількість теплоти, що проходить через середній поперечний переріз зони III за час t .

Наведені вище формули дозволяють розраховувати основні робочі та експлуатаційні параметри запропонованої печі (зокрема, витрати палива та повітря), від яких залежить її ефективність.

Висновки

1. Проблема утилізації відходів харчових виробництв є досить актуальною для України, тому пошуку раціональних способів й обладнання для розв'язання даної проблеми приділяється багато уваги.

2. В результаті проведеного автором аналізу відомого обладнання для спалювання та піролізу промислових відходів встановлено, що воно є недостатньо ефективним для утилізації відходів харчових виробництв, оскільки має низький ступінь завантаження робочого об'єму, не забезпечує їх попереднього подрібнення та підсушування (барабанні, багатоподові, камерні печі), не дозволяє реалізувати безперервний процес спалювання відходів (камерні печі), просте й надійне регулювання робочих параметрів (печі киплячого шару), потребує значних капітальних та експлуатаційних витрат (піролізні установки).

3. Автором сформульовані вимоги до обладнання, що забезпечить високоефективне та продуктивне спалювання відходів харчових виробництв та з врахуванням цих вимог розроблена схема спеціальної печі для здійснення такого спалювання.

4. Наведені залежності для визначення основних параметрів ефективності запропонованої печі (витрат повітря та палива на реалізацію робочого процесу), що можуть слугувати підставою для розробки методики проектного розрахунку печі для спалювання відходів харчових виробництв.

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.

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 / Пальгунов П. П., 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. Кузьмичев В. Е. Законы и формулы физики/ Кузьмичев В. Е. – Киев: Наук. думка, 1989. – 864 с.

6. Гончаревич И. Ф. Вибрационная техника в пищевой промышленности/ Гончаревич И. Ф., Урьев И. Б., Талейсник М. А. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 279 с.

7. Башта Т. М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы/ Т. М. Башта, Б. Б. Некрасов. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.

Стаття надійшла до редакції 10.09.2015.