

О.Г.Мазуренко, д-р техн.наук, Л.В.Декуша, канд.техн.наук

КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЛОГІСНОГО СТАНУ ГАЗОВОГО СЕРЕДОВИЩА В ПРОЦЕСАХ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Проанализированы методы и приборы, которые используют для контроля за температурно-влажностным состоянием рабочих газовых сред пищевой промышленности. Показано, что результаты определения влажности воздуха этими приборами зависят от скорости движения среды, барометрического давления, дополнительных теплопритоков к чувствительному элементу устройства.

Проанализовані методи та прилади, які використовуються для контролю температурно-вологісного стану робочих газових середовищ харчової промисловості. Показано, що результати визначення вологості повітря цими приладами залежать від швидкості руху середовища, барометричного тиску, додаткових теплопритоків до чутливого елемента пристрою.

Температурно-вологісний стан газового середовища при термічній обробці харчових продуктів впливає на якість готового виробу, визначає тривалість та енергетичну доцільність технологічних процесів [1]. Для контролю температурно-вологісного стану газових середовищ на підприємствах харчової промисловості використовують декілька типів гігрометрів, найбільш розповсюдженими серед яких є пристрі, принцип дії яких заснований на вимірюванні температури точки роси (конденсаторні), електrolітичні, реалізуючі психрометричний спосіб [2, 3].

В конденсаційних гігрометрах робочу поверхню приладу, металеве дзеркало, спочатку охолоджують до тих пір, поки в ньому не утвориться плівка конденсату, а потім нагрівають до температури зникнення цієї плівки. Температуру стану рівноваги середовища вважають рівною середньоарифметичному значенню між температурами появи і зникнення конденсату на дзеркалі.

Вибір середньоарифметичного значення температури дзеркала приладу, як того, що відповідає стану рівноваги парогазової суміші, зв'язаний з припущенням, що процес конденсації йде при температурах нижче, а процес випарювання — вище температури стану рівноваги. Разом з тим дослідження показують, що температура «стану рівноваги» суміші, як правило, відрізняється від температури точки роси. Різниця між ними залежить від матеріалу, з якого виготовлено дзеркало, і засобу обробки його поверхні, від ступеня чистоти дзеркала і парогазової суміші, від темпу охолодження дзеркала. Крім того, парціальний тиск насиченого пару над поверхнею переохолодженої рідини вище, ніж над льодом, що суттєво

ускладнює використання конденсаційних приладів при температурах, близьких до криоскопичної [2].

Недоліками цього способу є також зменшення точності приладів зі збільшенням відносної вологості середовища, складність конструкції пристроїв та найголовніше — це залежність результатів вимірювання від швидкості руху парогазової суміші, яка може суттєво змінюватися під час обробки продуктів.

Спосіб вимірювання вологості газового середовища електролітичними гігрометрами зводиться до визначення температури насиченого розчину електроліту, при якій тиск водяного пару, що знаходиться біля поверхні розділу фаз, збігається з парціальним тиском пару, що знаходиться у парогазовій суміші. Цей стан фіксують за різким падінням електропровідності розчину електроліту приладу.

Слід відзначити, що електролітичні гігрометри не можуть працювати в умовах, коли парціальний тиск пару у суміші менший парціального тиску пару, який знаходиться над поверхнею насиченого розчину електроліту. Так, при використанні в якості електроліту розчину хлористого літія нижня межа вимірювання температури обмежена мінус 36 °С, де криві тиску водяного пару і кристалізації хлористого літію перетинаються. Ці пристрої відрізняються складністю конструкцій, а також нестабільністю показів при температурах вище 100 °С [3].

Найбільш розповсюдженим у промисловості є психрометричний спосіб вимірювання вологості газів, заснований на порівнянні температур парогазової суміші та тіла, з поверхні якого йде випаровування води. За цим засобом вологість повітря визначають за показами двох термометрів, поверхня одного з яких постійно волога.

Розглянемо детальніше теоретичні засади цього способу.

Густина потоку маси, що випаровується з поверхні тіла, може бути визначена за формулою Дальтона:

$$j = \beta_p (P_{\text{п}} - P) P_{\text{п}} / P_{\delta}, \quad (1)$$

де j і β_p — густина потоку маси і коефіцієнт масовіддачі, віднесений до різності парціальних тисків; $P_{\text{п}}$ і P — парціальні тиски водяного пару біля поверхні випаровування і в парогазовій суміші; $P_{\text{н}}$ і P_{δ} — нормальний і спостережуваний тиск.

Для забезпечення такої густини потоку маси до поверхні випаровування треба підвести кількість теплоти:

$$q = jr = \alpha (t_c - t_m), \quad (2)$$

де q — густина теплового потоку від омиваючого середовища до поверхні випаровування; r — прихована теплота пароутворення; α — коефіцієнт тепловіддачі; t_c , t_m — температура повітря, що вимірюється «сухим», та температура поверхні випаровування, що вимірюється «мокрим» термометрами; $(t_c - t_m)$ — психрометрична різниця.

В стаціонарному стані системи за умовою, що тепло на випаровування підводиться тільки за рахунок конвекції, рівняння теплового балансу має вигляд

$$\alpha (t_c - t_m) = \beta_p r (P_{\text{п}} - P) P_{\text{п}} / P_{\delta}. \quad (3)$$

Розв'язавши рівняння (1) відносно парціального тиску пара у парогазовій суміші, одержимо

$$P = P_n - \alpha P_d(t_c - t_m) / (r\beta_p P_n) \quad (4)$$

або

$$P = P_n - A P_d(t_c - t_m), \quad (5)$$

де A — психрометричний коефіцієнт, величина якого залежить від швидкості руху парогазової суміші, що омиває поверхню «мокрого» термометра.

Як слідує з аналізу рівнянь (4) та (5), недоліками психрометричного способу є залежність показів приладів від зміни швидкості руху середовища, барометричного тиску, додаткових теплопритоків до поверхні випаровування, за рахунок теплового випромінювання і теплопровідності по стержню термометра.

При зниженні температури парогазової суміші, коли абсолютна вологість стає визначною, чутливість приладів, що працюють за цим способом, різко знижується. Крім того, при від'ємних температурах виникають труднощі в забезпеченні безперервного підведення води до поверхні «мокрого» термометра і у визначенні фазового стану води на поверхні термометра.

Недоліки існуючих способів та приладів контролю вологості газових робочих середовищ в процесах термічної обробки харчових продуктів усуваються при використанні методів теплотиметрії [4].

Для обґрунтування цього твердження розв'яжемо систему рівнянь, які описують густини потоків маси, що випаровується з двох поверхонь розподілу фаз, які знаходяться в однакових гідродинамічних умовах по відношенню до омиваючої парогазової суміші, але мають різні температури (t_1 і t_2):

$$\begin{cases} j_1 = \beta_p(P_{n1} - P) P_n / P_d; \\ j_2 = \beta_p(P_{n2} - P) P_n / P_d. \end{cases} \quad (6)$$

відносно парціального тиску пару ріднини у парогазовій суміші:

$$P = P_{n1} - (P_{n1} - P_{n2}) / (1 - j_2 / j_1). \quad (7)$$

Густина потоку маси j ріднини, що випаровується з поверхні розподілу фаз, зв'язана з густиною теплового потоку q , який іде на випаровування, співвідношенням

$$j = q / r. \quad (8)$$

Після підстановки (8) в (7), прийнявши, що r_1 дорівнює r_2 , одержимо

$$P = P_{n1} - (P_{n1} - P_{n2}) / (1 - q_2 / q_1). \quad (9)$$

З рівняння (9) випливає, що шукана величина парціального тиску пару ріднини залежить від температури поверхонь розподілу фаз (t_1 , t_2) і густин теплового потоку (q_1 , q_2), що іде на випаровування. Разом з тим вона не залежить від барометричного тиску парогазової суміші.

Густину потоку маси можна вимірювати теплотиметричними пристроями з використанням методу окремого визначення складових теплового потоку при складному теплообміні [5]. Суть цього методу полягає в тому, що коли з поверхні одного з двох ідентичних та розміщених в однакових гідродинамічних умовах

тепломірів відбувається випаровування маси, то різниця сигналів тепломірів (сигнал теплометричного комплексу) буде пропорційна густині теплої, що йде на випаровування рідини.

Щоб реалізувати запропонований засіб, теплометричний гігрометр повинен мати два однакових теплометричних комплекси, які знаходяться при різних температурах. Якщо знехтувати температурною залежністю між q і i для кожного із комплексів, то в (9) замість відношення q_2 / q_1 можна підставити відношення сигналів термоворухення, що генерують комплекси — e_2 / e_1 . За допомогою термопар, розміщених на «мокрих» поверхнях кожного комплексу, можна виміряти t_1 та t_2 , за величинами яких і одержати P_{m1} і P_{m2} .

Конструкція розробленого теплометричного гігрометра показана на рис.1. Він складається з повітрянсприймального короба (1) прямокутного перерізу, на торцях якого знаходяться потоковирівнювальні решітки 2 і 3. Решітка 3 призначена для усунення збурень, що можуть виникнути при роботі мікровентилятора 4, який забезпечує потрібну швидкість руху досліджуваного середовища у коробі приладу.

На двох протилежних внутрішніх поверхнях короба розміщені два однакових за конструкцією теплометричних комплекси 5. Кожен з цих комплексів складається із двох однакових термобатарей 6 і 7, диференційний сигнал яких подається на систему збирання та обробки інформації. Одна з термобатарей кожного з комплексів вкрита шаром капілярно-пористого матеріалу 8, який постійно зволожується через дренажні канали 9, зроблені у температуровирівнювальних пластинах 10.

Для досягнення потрібної температури випаровування рідини з поверхонь термобатарей встановлені електронагрівачі 12. Цю температуру вимірюють за допомогою термопар 11, що вшиті у матеріалі 8.

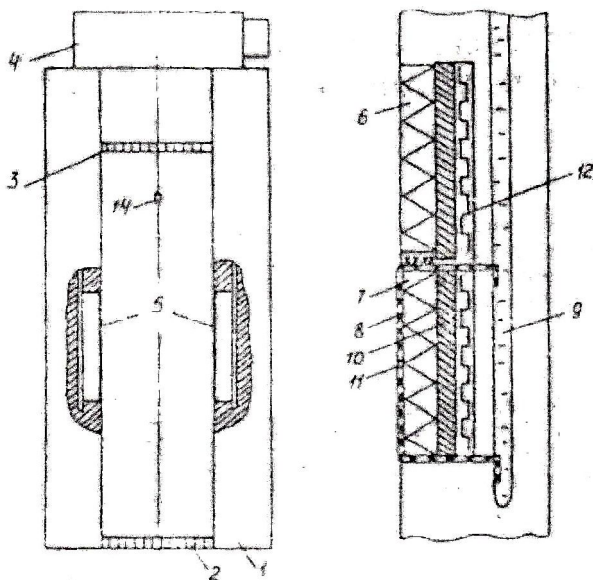


Рис. 1. Теплометричний гігрометр

Електронагрівачі теплометричних комплексів під'єднують до індивідуальних регуляторів напруги. Один з регуляторів забезпечує стабілізацію температури випаровування рідини з поверхні комплексу, а другий — підтримує задану різницю температур між комплексами. Різницю між температурами поверхонь випаровування рідини вибирають з міркування забезпечення рівності коефіцієнтів масовидачі для обох теплометричних комплексів гігрометра. Звичайно вона становить 2—15 К. Для вимірювання температури досліджуваної парогазової суміші встановлена термопара 14.

З метою розширення температурного діапазона вимірювань замість електроніричав теплотричних комплексів прилад оснащують проточними або термoeлектричними холодильниками.

Розроблений теплотричний гігмометр пропонується використовувати для контролю температурно-вологісних параметрів робочих середовищ як при тепловій, так і при холодильній обробках харчових продуктів. Він придатний для систем автоматизованого керування процесами в інших галузях промисловості.

- 1 *Процессы и аппараты пищевых производств* /В.Н.Стабников, В.Д.Попов, В.М.Лысянский, Ф.А.Редько — М.: Пищевая промышленность, 1976. — 663 с.
- 2 *Берлинер М.А.* Измерение влажности. — М.: Энергия, 1973. — 400 с.
- 3 *Качурин Л.Г.* Электрические измерения аэрофизических величин. — М.: Высш. шк., 1967. — 488 с.
- 4 *Герашенко О.А.* Основы теплотрии. — Киев: Наукова думка, 1971. — 193 с.
- 5 *Федоров В.Г.* Основы тепломассометрии. — Киев: Вища шк., 1987. — 184 с.