**План**

Вступ

1. Тепловий розрахунок.
2. Розрахунок основних робочих елементів.
3. Гідравлічний розрахунок.
4. Техніко-економічний розрахунок.
5. Опис апаратурно-технологічної схеми.

Література

**Вступ**

Процеси сушіння широко застосовують у харчовій технології для зневоднення різноманітних вологих матеріалів (твердих, пастоподібних, рідких) на різних стадіях їх переробки (сировина, напівфабрикати, готові вироби).

Вологу з матеріалів можна видалити різними способами: механічним, фізико-хімічним і тепловим. При механічному способі вологу відтискують у пресах або в центрифугах. Фізико-хімічний спосіб ґрунтується на застосуванні вологовідбірних засобів і використовується переважно в лабораторній практиці. Зневоднювальними засобами є сірчана кислота, хлористий кальцій, силікагель. При тепловому способі волога випаровується з поверхні матеріалу і дифундує в навколишнє повітря, яке виносить вологу із сушарки. Із цього випливає, що сушінням називають термічний процес видалення вологи з матеріалів внаслідок її випаровування і дифузії.

Сушіння є суміщеним тепловим і дифузійним процесом, при якому волога дифундує із середніх шарів матеріалу до його поверхні, переходить крізь примежову плівку, а потім дифундує всередину газової фази, виносячи при цьому з матеріалу значну кількість теплової енергії. Підраховано, що в нашій країні приблизно 15% палива витрачається на сушіння, при цьому енергетичний ККД багатьох сушильних установок становить лише 30...50 %. Тому підвищення технологічної та енергетичної ефективності процесів сушіння має важливе народногосподарське значення.

Розрізняють природне і штучне сушіння.

Для більшості харчових виробництв сушіння є одним із основних процесів, мета якого – підвищення стійкості матеріалів під час зберігання, поліпшення якісних показників, консервування, зменшення маси з метою транспортування. У цукробуряковому виробництві сушать цукор-пісок, цукор-рафінад, а також відходи виробництва жом. У спиртовому виробництві сушать відходи виробництва барду, харчові та кормові дріжджі. Помітну роль сушіння відіграє у пивоварному виробництві, де сушать солод, відходи виробництва. У крохмале-патоковому виробництві сушать основний продукт – крохмаль. Сушіння використовують для одержання сухого молока, сухих фруктів і овочів. У хлібопекарському, макаронному і кондитерському виробництві сушать хліб для одержання сухарів, макарони, кондитерські вироби деяких видів.

Методи сушіння вологих матеріалів розрізняються переважно способом підведення теплоти й зумовлені фізико-хімічними властивостями цих матеріалів. Найпоширенішим є метод конвективного сушіння, що характеризується безпосереднім контактом матеріалу з потоком нагрітого газу (повітря, димових газів). Волога випаровується за допомогою теплоти нагрітого газу, який одночасно поглинає і виносить із сушарки утворену водяну пару.

Значно рідше, але теж застосовують у харчових виробництвах контакт ний (кондуктивний) метод сушіння, при якому теплота від теплоносія (зви чайно водяної пари) до матеріалу передається через металеву стінку, що розділяє їх.

Для сушіння різних металевих пофарбованих виробів, виробів із картону, а також для висушування харчових продуктів у тонкому шарі застосовують терморадіаційний метод, при якому теплота передається інфрачервоним промінням.

Товстолистові матеріали, а також деякі плоди, якщо треба зберегти їхню форму сушать у полі струмів високої частоти. Такий метод сушіння називають високочастотним.

Для дуже термочутливих матеріалів застосовують сублімаційне сушіння при якому волога із матеріалу в замороженому стані переходить у парову фазу, минувши рідку (сублімує). Процес здійснюється в глибокому вакуумі.

Варто зазначити, що при будь-якому способі підведення теплоти матеріал перебуває в контакті з вологим повітрям. Тому доцільно спочатку розглянути фізичні властивості вологого повітря.

Абсолютною вологістю повітря називають масу водяного пару в грамах або в кілограмах, яка міститься в 1 м3 вологого повітря. Об’єм пари дорівнює об’єму вологого повітря, і тому абсолютна вологість густини водяної пари в суміші .

Відносною пологістю повітря називають відношення абсолютної вологості при даних значеннях температури і загального тиску до максимально можливої абсолютної вологості за тих самих умов:

.

За рівнянням стану ідеальних газів можна написати

і ,

де – тиск насиченої пари при температурі повітря *Т*.

Вважаючи наближено, що для пароповітряної суміші дійсними є рівняння стану ідеальних газів, і підставляючи одержані вирази для і , дістанемо:

Тиск залежить від температури, з підвищенням якої він збільшується. внаслідок чого відповідно зменшується величина . Максимальне значення йде за умови, коли , тоді

Густина вологого повітря, тобто суміші сухого повітря і водяної пари, дорівнює сумі густин сухого повітря і водяної пари

.

За нормальних умов (тиск 760 мм рт. ст. і температура 0ºС ) кг/м3.

З підвищенням парціального тиску пари в повітрі в процесі сушіння , зменшується, оскільки пара витісняє сухе повітря. Проте в процесі конвективного сушіння знижується температура, а це сприяє більш суттєвому збільшенню . Тому в кінцевому результаті у процесі сушіння збільшується.

Питома теплоємність вологого повітря, віднесена до 1 кг сухого повітря, визначається як сума

,

де – питома теплоємність сухого повітря (при t < 200°С беруть кДж/(кг·К));

– питома теплоємність водяної пари ( кДж/(кг·К)).

Ентальпія (тепловміст) вологого повітря визначається сумою ентальпій сухого повітря і водяної пари, яка є в ньому. Відносячи ентальпію до 1 кг сухого повітря, дістанемо рівняння, кДж/кг сухого повітря,

,

де – ентальпія водяної пари;

кДж/кг ентальпія водяної пари при 0°С або, що те саме, теплота пароутворення води при 0°С.

**1. Тепловий розрахунок**

*Вихідні дані:*

* продуктивність, , кг/год 200
* початкова вологість, , % 55
* кінцева вологість, , % 5
* температура повітря на вході в сушарку, , ºС 160
* його відносна вологість, , % 5
* температура повітря на виході із сушарки, , ºС 70
* його відносна вологість, , % 20
* температура повітря навколишнього середовища, , ºС 20
* його відносна вологість, , % 70

Продуктивність сушарки по вологому матеріалу:

кг/год

Кількість видаленої вологи:

кг/год

Перевірка значення :

кг/год

Будуємо процес сушіння і-х-діаграми.

Знаходимо кг/кг; кДж/кг; кДж/кг; кг/кг.

Розрахунок витрат повітря в сушильній установці:

Питомі витрати абсолютно сухого повітря (кількість повітря, затраченого на випарування 1 кг вологи):

кг

Загальний вихід циркуляційного повітря у сушильній камері:

кг с.п./год

Розрахунок об’ємних витрат повітря:

,

де – питомий об’єм вологи повітря, м3/кг;

,

– універсальна газова опала повітря, Дж/(кг·К);

*В* – барометричний тиск повітря, Па;

– тиск насичений пари при даній температурі, Па;

*Т* – абсолютна температура повітря, ºК;

– відносна вологість повітря, %.

м3/кг;

Об’ємні витрати повітря:

м3/кг;

м3/кг;

***Тепловий баланс***

Питомі витрати тепла на нагрівання матеріалу в сушильній камері:

,

де – питома теплоємкість меланжу, кДж/(кг·К);

,

де – вологість висушеного матеріалу, % – питома теплоємкість абсолютно сухого меланжу, кДж/(кг·К); – температура меланжу на виходу із сушарки, ºС;

ºС;

– температура меланжу на вході в сушарки, ºС; ºС;

– питома теплоємкість води, кДж/(кг·К),

кДж/(кг·К)

кДж/(кг·К)

кДж/(кг·К)

Питомі витрат в навколишнє середовище:

,

де – коефіцієнт теплопередачі через стінку і кришку апарата, Вт/м2·К;

– площа поверхні апарата, м2;

– середня різниця температур, ºС;

– кількість видаленої вологи, кг/год.

ºС; ºС;

ºС

Коефіцієнт теплопередачі:

,

де – коефіцієнт теплопередачі від повітря до внутрішньої поверхні сушильної камери, Вт/(м2·К);

– товщина стінок апарату, м;

– коефіцієнт теплопровідності стінки, Вт/(м2·К);

– коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні камери до повітря, Вт/(м2·К).

Якщо повітря подається вентилятором, коефіцієнт тепловіддачі розраховується за формулою:

,

де *А* – коефіцієнт, який залежить від режиму руху повітря і сану поверхні стінки (для турбулентного режиму):

, – коефіцієнти тепловіддачі в умовах примусової та природної конвенції, Вт/(м2·К). Критерії Рейнольда:

,

де – діаметр камери, м,

м;

– середня швидкість повітря у сушарці, м/с;

– кінетична частина повітря при ,

м2/с

При критерій виражається за формулою:

Вт/(м2·К)

Вт/(м2·К)

Коефіцієнт теплопередачі при звичайній природній конвенції для стінок визначають із слідкуючих рівнянь:

при

;

при

– критерій Прантля;

– критерій Трансгоффа;

– коефіцієнт температуропровідності повітря біля стінки, м2/с;

– прискорення вільного падіння, м/с;

– абсолютна середня температура повітря, К;

К

– абсолютна середня температура внутрішньої поверхні стінки, К,

ºС.

Значення , , приймаємо при :

ºС

м2/с;

м2/с;

Вт/(м2·К);

– висота сушильної камери, м

м

Вт/(м2·К)

Вт/(м2·К)

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні сушильної камери до повітря :

,

де – коефіцієнт тепловіддачі тепловим випромінюванням, Вт/(м2·К). Для вертикальних стінок зовнішньої поверхні стінок ºС.

Температура середовища:

ºС;

ºС

Абсолютні температури: К; К.

Коефіцієнт температуропровідності повітря біля зовнішньої стінки

м2/с;

м2/с – кінетична в’язкість повітря;

Вт/(м·К) – теплопровідність повітря.

Вт/(м2·К)

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням:

,

де – приведений коефіцієнт теплового випромінювання, Вт/(м2·К):

Вт/(м2·К)

Вт/(м2·К)

Вт/(м2·К)

Сушильна камера складається із стальних стін товщиною м, коефіцієнт теплопровідності Вт/(м2·К), теплова ізоляція – скловата ( мм, Вт/(м2·К)). Стіни пофарбовані масляною фарбою ( мм, Вт/(м2·К)).

Коефіцієнт теплопередачі:

Вт/(м2·К)

Щоб знайти питомі витрати теплоти у навколишнє середовище, знайдемо площу сушарки , м:

, м2

де – площа поверхні циліндричної частини сушарки, м2;

– площа конічної частини сушарки, м2;

– площа кришки апарата, м2;

,

де – радіус сушарки, м;

– січна конуса, м;

м;

,

м;

м;

м2;

м2;

; ; м3;

м3;

м3;

м;

м3;

м2.

Витрати тепла в навколишньому середовищі:

Дж/кг

Різницю реального сушильного процесу від теоретичного враховує величина – кількість теплоти, яка вноситься в сушильну камеру, віднесена до 1м2 поверхні:

,

де – питома теплоємкість води, кДж/кг·К

– температура матеріалу, ºС;

, – питомі затрати матеріалу на нагрів матеріалу та навколишнього середовища, кДж/кг·К

,

де – продуктивність, кг/год;

– питома теплоємкість висушеного матеріалу, кДж/кг·К;

кг/год;

– температура матеріалу на виході із сушарки, ºС.

**2. Розрахунок основних робочих елементів**

***Розрахунок і вибір калорифера***

Кількість тепла, необхідного для нагріву повітря у калорифері:

,

де – кількість повітря, необхідного для висушування, кг/год, кг/год;

, – ентальпія повітря на вході і виході сушарки.

кДж/год

Для розрахунку приймається газовий калорифер.

Площа поверхні нагріву:

,

де кДж/год;

– середня температура для всієї поверхні теплоносія і повітря.

Температура гріючого газу ºС;

ºС;

ºС;

;

ºС;

*К* – коефіцієнт теплопередачі від газу до повітря, Вт/(м2·К)

,

де м/с – швидкість руху повітря у калорифері.

Вт/(м2·К)

Необхідна площа нагріву калорифера:

м2

***Конструктивний розрахунок***

Об’єм сушильної камери, м3:

м3

Площа перерізу сушильної камери, м2:

,

де – середня швидкість повітря у сушильній камері, м/с, м/с;

– кількість повітря на висушування, кг/год; кг/год.

м2;

Діаметр сушильної камери, , м:

м

Діаметр розпилювальної сушарки перевіряємо по радіусу факела розпилу продукту :

, м

,

де – діаметр крапель, м;

– середня густина меланжу, кг/м3;

*С* – коефіцієнт, ;

– густина повітря, кг/м3;

– початкова швидкість польоту краплі, м/с, м/с;

– кінцева швидкість польоту краплі, м/с, м/с;

м;

, м;

, м.

Висота сушарки:

,

де – висота циліндричної частини сушарки, м;

– висота конічної частини сушарки, м;

м.

Об’єм конічної частини сушарки:

м3

Об’єм циліндричної частини сушарки:

м3

м

Висота сушарки:

м

**3. Гідравлічний розрахунок**

***Розрахунок вентилятора***

Тиск, який створює вентилятор:

,

де – швидкісний перепад тисків, Па,

,

–густина повітря, кг/м3; –середня швидкість повітря у сушарці, м/с.

Па

– витрати тиску, обумовлені опором сушарки,

,

– опір тертю повітря об стінку трубопроводу, Па;

– опір суми місцевих опорів, Па;

– опір шару зернистого матеріалу при продувці, Па;

– опір калорифера, Па.

,

де – коефіцієнт опору тертя

;

,

де – швидкість повітря у трубопроводі, м/с; – діаметр трубопроводу, м; – густина повітря при ºС, кг/м3; – динамічна в’язкість повітря, Па·с.

Швидкість обираємо в залежності від діаметра трубопроводу :

м;

м/с

Довжина трубопроводу:

м;

;

;

Па;

,

де – сума місцевих опорів, Па,

;

Па

,

де – висота киплячого шару, м;

– відносна величина порожнин у шарі;

– кінцева густина меланжу, кг/м3;

– густина повітря, кг/м3.

Па;

Па;

Па

Па

Потужність, яку використовує вентилятор:

,

де – витрати повітря на висушування, кг/год;

, – к.к.д. вентилятора і передачі.

кВт

***Розрахунок теплової ізоляції***

Обрана ізоляція, , м:

;

Вт/(м2·К);

мм

**4. Техніко-економічний розрахунок**

***1. Енергетичні витрати***:

,

де – потужність двигуна, кВт; – час роботи на рік (297 днів · 2 зміни · 8 год = 4752 год/рік); – вартість ел. Енергії, грн/кВт, грн/кВт.

Для побудови графіка змінюємо значення:

– витрат повітря на висушування, кг/год:

кг/год;

кг/год;

кг/год;

грн

грн

грн

***2. Амортизаційні витрати***:

де – площі поверхні сушарки, м2;

*в* – вартість 1 м2 поверхні сушарки, грн/м2;

*с* – амортизаційні відрахування, %.

Переведемо вартість 1 м2 сушарки у вартість 1 м3 для полегшення розрахунків: м3; грн/м3.

,

де – питома витрата абсолютно сухого повітря, кг/кг;

– напруга об’єму сушарки по волозі, кг/(м3·год);

– кількість видаленої вологи, кг/год;

– витрати повітря на висушування, кг/год;

– швидкість повітря в сушильній камері, м/с, м/с.

Для побудови графіку змінюваної швидкості:

кг/год;

кг/год;

кг/год;

грн/год

грн/год

грн/год

***3. Сумарні витрати, , грн:***

грн

грн

грн

**5. Опис апаратурно-технологічної схеми**

Яєчний порошок використовується у хлібопекарській промисловості для покращення забарвлення, структури і смакових якостей виробів, підвищення їх харчової цінності.

Для зберігання яєць на підприємстві облаштовується спеціальне приміщення, обладнане холодильною камерою 1 для їх зберігання. Далі яйця відмиваються в ванні 2 і проходять дезинфекцію у ємкості 3. Ємкість 4 служить для підсушування яєць.

Наступним етапом є відділення яєць від шкарлупи і переміщення одержаної маси в мішалці 5, із якої насосами 6 яєчна маса подається на висушування в розпилювальну сушарку 7.

Яєчна маса розпилюється у верхній частині сушарки. Сушильний агент рухається зверху вниз. Завдяки великій питомій поверхні утворених дрібних крапель швидкість процесу сушіння досить висока.

Висушений продукт (яєчний порошок) відводиться із нижньої частини сушарки. Згідно вимогам стандарту, яєчний порошок повинен мати колір від світло-жовтого до яскраво-жовтого; смак і запах – притаманні даному продукту, без сторонніх присмаків і запахів. Масова частка вологи у порошку – не більше 8,5, масова частка жирів – не менше 35, білків – не менша 45, золи – не більша 4%. Розчинність яєчного порошку має бути не менше 85%. Кислотність – не більше – 10ºТ.

Яєчний порошок пакують у жерстяні банки, фанерні бочки, картонні пакети, вистелені під пергаментом або целофаном, у паперові 4-5-ти шарові мішки або картонні ящики з поліетиленовими вкладишами.

**Література**

* + - 1. Стабников В.Н., Лысянский В.М., Попов В.Д. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, 1985. – 509с.
      2. Кавецкий Г.Д., Васильев Б.В. Процессы и аппараты пищевой технологии. – М.: Колос, 1997. – 551с.
      3. Романков П.Г., Фролов В.Ф. Теплообменные процессы химической технологии. – Л.: Химия, 1982. – 288с.
      4. Справочник по сушке древесины / Е.С.Богданов, В.А.Козалов, В.Б.Кунтыш, В.И.Мелехов / Под редакцией Е.С.Богданова. – 40-е издание, перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 304с.
      5. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1988. – 472с.
      6. Гораев А. А. Вакуумно-диэлектрические сушильные камеры. – М.: Лесн. пром-сть, 1985. – 104с.
      7. Шкоропад Д.Е., Центрифуги для химических производств, М., 1985;
      8. Соколов В.И., Центрифугирование, М., 1976.
      9. Романков П.Г., Плюшкин С.А., Жидкостные сепараторы, Л., 1996.