

ФАЗОВІ ПЕРЕХОДИ В ЦУКРОВІСНИХ МАТЕРІАЛАХ ПРИ СУШІННІ

При сушінні в цукровмісній рослинній сировині відбуваються фазові переходи першого та другого роду. До фазових переходів першого роду відноситься ендотермічний процес випаровування води та екзотермічні процеси кристалізації цукрів (переважно глюкози, фруктози та сахарози). Фазовий перехід другого роду (склування) може спостерігатися на заключному етапі зневоднення, коли в матеріалі накопичуються аморфні фази цукрів та залишається лише зв'язана вода.

Стосовно питомої теплоти випаровування необхідно зауважити, що в розрахунках витрат енергії на зневоднення цукровмісних продуктів використовують значення питомої теплоти випаровування з вільної поверхні чистої води. Проте необхідно усвідомлювати, що при зневодненні таких матеріалів як фрукти та овочі, вода в основному випаровується з соку, вміст якого в середньому становить ~ 91–92% до маси сировини.

Дослідженнями гідратації цукрів та теплоти випаровування було виявлено вплив ступеня гідратації на питому теплоту випаровування води. Через утворення гідратів цукри зв'язують частину води соку.

Так збільшення концентрації сахарози в розчині при його зневодненні призводить до безперервного зростання питомої теплоти випаровування, досягаючи в області насичення значень, що перевищують питому теплоту випаровування чистої води на 7–10%. Така залежність є наслідком зростання енергії зв'язку між сахарозою та водою зі скороченням міжмолекулярної відстані. Вода, що знаходиться в так званій першій координаційній сфері, має більш сильний водневий зв'язок з молекулою цукру. Гідратна вода поза першою координаційною сферою зв'язана з цукром менш міцними зв'язками, енергія яких зменшується в міру розведення розчину. При випаровуванні води з розчину, що містить одночасно вільну і гідратну воду, до граничного водовмісту видаляється вільна вода. При цьому в розчині безперервно відбувається зміна ступеня гідратації в сторону зменшення, яке призводить до переходу частини слабо зв'язаної гідратної води у вільну воду. На зміну ступеня гідратації витрачається енергія, яка зростає із збільшення концентрації розчину. Після подолання граничного водовмісту з розчину випаровується вода, яка сильно зв'язана з екваторіальними гідроксильними групами сахарози.

З огляду на однотипні з сахарозою концентраційні залежності гідратації глюкози та фруктози стає зрозумілою причина завищених витрат енергії при сушінні цукровмісних матеріалів.

Сировина з високим вмістом моно- та дисахаридів (в сухих речовинах яблук ~70%), особливо повільно зневоднюється на завершальному етапі сушіння. Причиною є те, що вода видаляється з високо концентрованого в'язкого соку та з адсорбційних шарів біополімерів. В певний момент концентрація цукрів в соку досягає критичного пересичення, що спонукає до кристалоутворення. Швидкість утворення і формування кристалічних фаз в нечистих розчинах, якими є соки, залежить від виду цукру, температури, коефіцієнту пересичення, концентрації нецукрів та швидкості зневоднення. Формування кристалічних фаз супроводжується виділенням теплоти, інтегральна величина якої залежить від маси утворених кристалів та температури кристалізації. Коли швидкість зневоднення значно перевищує швидкість кристалізації, цукри не встигають викристалізуватись і утворюють аморфну масу.

Частка кристалічних фаз в отриманому продукті може бути представлена ступінню кристалічності. Визначення методами дериватографії та рентгенофазового аналізу кристалічності порошків, отриманих після конвективного сушіння паренхімних тканин яблук та тканин цукрового буряку, показали її залежність від температури (швидкості) сушіння.

З підвищенням температури з 60 до 100 °С, при швидкості сушильного агента 1,5 м/с, ступінь кристалічності порошку з цукрового буряку знижується з 34,0% до 20,4%, а порошку з яблук – з 11,1% до 7,7%. Ліофілізовані зразки паренхімних тканин яблук, попередньо оброблені імпульсним електричним полем, мали більшу ступінь кристалічності (35,5%) в порівнянні з необробленими (11,0%).

Таким чином висушені до малої вологості цукровмісні продукти являють собою аморфно-кристалічні матеріали – суміші біополімерів і цукрів в кристалічному та аморфному стані. Вміст аморфних фаз з ростом швидкості сушіння зростає, що підвищує гігроскопічність продуктів, особливо з високим вмістом фруктози, та збільшує вірогідність прояви фазових переходів другого роду.

Проведені дослідження показали, що в теоретичних розрахунках та теплових балансах сушіння сировини з високим вмістом моно- та дисахаридів необхідно враховувати залежність питомої теплоти випаровування води від концентрації цукрів в соку та їх фазові перетворення.