

ФІЗИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОСМОТИЧНОЇ ДЕГІДРОТАЦІЇ ЯК СПОСОБУ ОБРОБКИ КОРЕНЕПЛІДНИХ ОВОЧІВ

Самілик Марина Михайлівна

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0002-4826-2080

maryna.samilyk@snau.edu.ua

*У статті наведено результати експериментального дослідження осмотичного зневоднення коренеплідних овочів. В якості предмету дослідження використовували стиглі коренеплідні овочі: моркву (*Daucus*) Шантане, столовий буряк (*Beta vulgaris*) Бордо 237, пастернак (*Pastinaca sativa*) Білий лелека. В якості осмотичного розчину використовували цукрові розчини різних концентрацій (50, 60, 70%). Експеримент проведено за різних температур (40, 50, 60°C) та з різною тривалістю процесу (1; 1,5; 2; 2,5 год). Дослідження показало, що частинки овочів розмірами менше 5 мм можуть розварюватись і мають непривабливу зморщену форму та суху консистенцію після висушування. Частинки розміром 10 мм мають характерну форму, але в них навіть після 2,5 годин дегідратації спостерігається відчутний запах та присмак овочів, що негативно впливає на сенсорні показники якості. Запропоновано подрібнення овочевої сировини на кубики розміром 5×5×5 мм, що забезпечує однаковий шлях дифундування та гарні органолептичні властивості готового продукту для всіх видів досліджуваних овочів. За результатами експериментальних досліджень та математичних розрахунків визначено оптимальні параметри ведення процесу осмотичної дегідратації при виробництві овочевих цукатів. Встановлено, що найбільша динаміка зневоднення спостерігається в першу годину дегідратації, коли різниця концентрацій сахарози в осмотичному розчині та всередині частинок*

найбільша. Найбільше перенесення маси спостерігається при використанні розчину з вмістом сахарози – 70%. Така концентрація осмотичного розчину створює достатній осмотичний потенціал, тим самим спричиняючи більшу втрату води, уповільнюючи окисне та неферментативне підрум'янення, що дозволяє отримати продукт кращої якості. Активна масопередача відбувається в перші 2 години, тому процес можна обмежувати цим терміном, оскільки подальше зневоднення є економічно та технологічно недоцільним. Математично доведено, що осмотичне зневоднення овочів відбувається швидше при перемішуванні цукрового розчину, за рахунок зниження опору масообміну на поверхні і уникнення локалізованого розведення, яке впливає на швидкість видалення води.

Ключові слова: осмотична дегідратація, овочі, осмотичний тиск, концентрація розчину, масопередача, питомий потік маси.

Вступ. Коренеплідні овочі є надзвичайно корисними і обов'язково представлені в денному раціоні харчування кожної людини. Саме тому, виникає необхідність удосконалення методів їх зберігання.

Серед традиційних способів обробки рослинної сировини можна виділити: теплову обробку під дією високих температур (бланшування, розварювання, підігрівання, обжарювання, пасерування); теплову обробку під дією низьких температур (охолодження, заморожування); зневоднення; ферментативне консервування. В процесі високотемпературної теплової обробки відбуваються зміни структурно-механічних, фізико-хімічних, біохімічних, хімічних, мікробіологічних та органолептичних властивостей сировини, відбуваються зміни харчової та біологічної цінності (Samilyk et al., 2020).

Одним із кращих методів збільшення терміну зберігання фруктів та овочів є осмотичне зневоднення (дегідратація). Переваги цього методу полягають в тому, що він дозволяє максимально зберегти в овочах початковий

вміст вітамінів і мінералів, природний колір, аромат і смак (Yadav & Singh, 2014).

Осмотичне зневоднення - це процес видалення води, який передбачає замочування сировини, в основному фруктів та овочів, у гіпертонічному розчині, наприклад, концентрованому цукровому сиропі, що спричиняє два одночасні потоки масопередачі: потік води від продукту до навколишнього розчину і вливання розчинених речовин в продукт (Falade & Igbeka, 2007).

Процес широко використовується при розробці нових продуктів, оскільки він позитивно впливає на харчові і сенсорні властивості свіжих фруктів, плодів та овочів. Розроблено різноманітні режими ведення процесу в залежності від властивостей сировини (Ahmed et al., 2016; Khan, 2012; Phisut, 2012; Tortoe, 2010).

Фізичний зміст процесу осмотичної дегідратації пояснюється тим, що концентровані розчини твердих речовин мають більш високий осмотичний тиск і меншу активність води. Різниця хімічних потенціалів води у сировині та осмотичному розчині є рушійною силою зневоднення (Hasanuzzaman et al., 2014).

Процес видалення води під час осмотичної дегідратації відбувається за рахунок дифузії і капілярного потоку, тоді як поглинання розчиненої речовини або вилуговування відбувається тільки шляхом дифузії (Akbarian et al., 2014; Rahman, 2009). На процес осмотичної дегідратації також впливають і фізико-хімічні властивості, молекулярна маса, розчинність і іонний стан розчиненої речовини (Beristain et al., 1990).

Встановлено оптимальні умови дегідратації деяких овочів при концентрації цукрового розчину 20-60%: температурі - 38 °С, тривалості - 100 хв (Corzo & Gomez, 2004).

Існують, також, дискусії щодо обсягу осмотичного середовища. При збільшенні кількості осмотичного розчину підвищується швидкість масопередачі, збільшуються втрати води, але це призводить до збільшення експлуатаційних витрат. Крім того, збільшення вмісту твердих речовин і

загальної масопередачі може знизити якість продукту за рахунок зміни смаку продукту і більшої міграції природних речовин в осмотичне середовище (Khoi & Hesari, 2007).

Аналіз літературних джерел показав, що основними показниками, які впливають на процес осмотичного зневоднення є: температура та концентрація осмотичного розчину, тривалість процесу, розмір частинок сировини, що зневоднюється, співвідношення кількості матеріалу і осмотичного розчину, швидкість руху розчину.

Нами запропоновано використання осмотичної дегідратації для виробництва цукатів із коренеплідних овочів. З цією метою необхідно встановити оптимальні параметри процесу дегідратації, розробити раціональний режим його проведення.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити наступні задачі:

- визначити оптимальну концентрацію та температуру осмотичного розчину;
- визначити оптимальну тривалість процесу;
- дослідити вплив розміру частинок сировини на швидкість масопередачі;
- обґрунтувати доцільність перемішування в процесі осмотичної дегідратації.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводилися на кафедрі технологій та безпечності харчових продуктів Сумського національного аграрного університету. В якості предмету дослідження використовували стиглі коренеплідні овочі таких сортів: моркву (*Daucus*) Шантане, столовий буряк (*Beta vulgaris*) Бордо 237, пастернак (*Pastinaca sativa*) Білий лелека. Для проведення осмотичної дегідратації застосовували рідинний термостат MLW-16, з робочим об'ємом 0,01 м³.

Для визначення оптимальних розмірів частинок, проведено дослідження стійкості овочів до температур. Овочі подрібнювали та сортували на фракції розмірами 3, 5 та 10 мм. Шматочки овочів відповідних фракцій занурювали у

скляні конічні колби (по 4 колби з кожною фракцією) із концентрованим цукровим розчином (70%). Співвідношення цукрового розчину і овочів у всіх колбах становило 1:2. Колби одночасно поміщали в термостат із температурою 50 °С та через певний час (1 год, 1,5 год, 2 год, 2,5 год), по черзі виймали і відділяли овочі від сиропу. Отримані зразки висушували у лабораторній вакуум-сушарці при температурі 50 °С протягом 1 години. Висушені зразки досліджували органолептично.

Математичні розрахунки для встановлення оптимальних параметрів процесу проводили за допомогою відомих загальноприйнятих рівнянь.

Викладення основного матеріалу дослідження. Одним із основних чинників, що впливають на умови осмотичного зневоднення, є осмотичний тиск. Він відноситься до колігативних властивостей речовини, оскільки залежить від концентрації розчиненої речовини, а не її хімічної природи.

Осмотичний тиск – це надлишковий тиск у розчині, який необхідний для запобігання перенесення розчинника через напівпроникну мембрану. Він описується рівнянням Ван-Гоффа:

$$p = CRT, \quad (1)$$

де p – осмотичний тиск, Па;

C – концентрація розчину, моль/м³;

$R = 8,31$ Дж/(моль·К) – універсальна газова стала;

T – абсолютна температура, К.

В ході досліджень, розраховували осмотичний тиск, спричинений цукровими розчинами, з вмістом сухих речовин 50, 60 та 70% (відповідають концентраціям цільового компоненту відповідно 1462, 1754 та 2047 моль/м³). Розрахунки, для розчинів із всіма запропонованими концентраціями, проведено з урахуванням різних температур зневоднення - 40, 50 та 60 °С (313, 323, 333 К). Результати розрахунку представлено на рис.1.

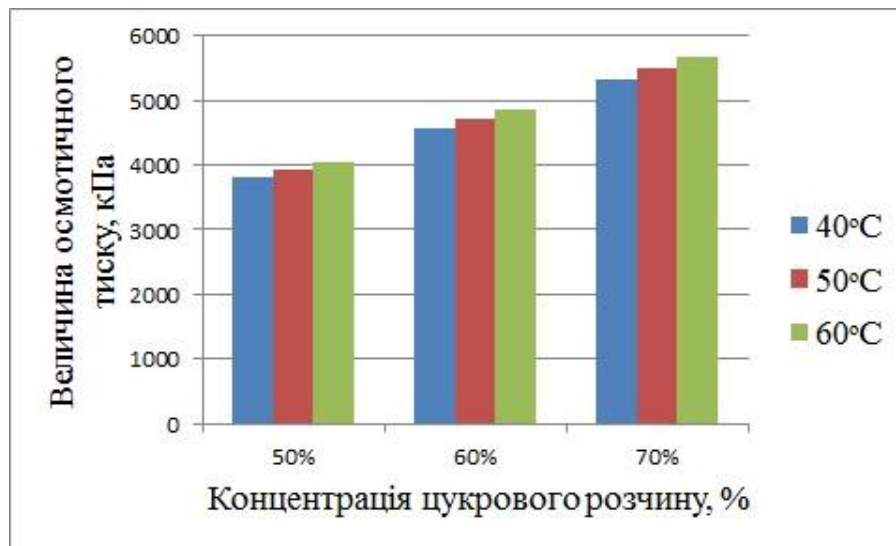


Рис.1. Залежність величини осмотичного тиску від концентрації цукрового розчину та температури

Результати розрахунку показали, що при збільшенні концентрації цукрового розчину та температури підвищується осмотичний тиск. Оскільки, оптимальною температурою, при якій зберігається біологічна цінність овочів, є 50°C, пропонується для зневоднення використовувати цукровий розчин з вмістом сухих речовин 70%, який забезпечує найвищий осмотичний тиск при даній температурі. Така концентрація осмотичного розчину створює достатній осмотичний потенціал, тим самим спричиняючи більшу втрату води, уповільнюючи окисне та неферментативне підрум'янення, що дозволяє отримати продукт кращої якості.

Маса цільового компонента, перенесена з однієї фази в іншу за одиницю часу, визначає продуктивність масопередачі і відповідає потоку маси, який розраховується за формулою:

$$M = \frac{dm}{d\tau}, \quad (2)$$

де M – маса речовини, що продифундувала за одиницю часу, кг/год;

dm – маса цільового компонента (сахарози), перенесена з однієї фази в іншу за одиницю часу, кг;

$d\tau$ – тривалість процесу, год.

З метою визначення оптимальної тривалості процесу дегідратації розраховували питомий потік маси, відносячи потік маси до робочого об'єму апарату:

$$q_v = \frac{M}{V} = \frac{dc}{d\tau}, \quad (3)$$

де q_v – питомий потік маси, $\text{кг/м}^3 \cdot \text{год}$;

V – робочий об'єм апарату, м^3 .

Спочатку розраховували масу цільового компонента, що переноситься в результаті осмотичної дегідратації. Враховуючи, що всередині термостату встановлено перемішувач для постійного перемішування розчину і вирівнювання температур, можна вважати, що потік маси рівномірно розподіляється по всьому об'єму апарату.

Таким чином, можна розрахувати масу цільового компонента, що переноситься в процесі дегідратації, знаючи концентрацію осмотичного розчину за формулою:

$$dm = V \cdot dc, \quad (4)$$

де dc – концентрація цільового компонента, кг/м^3 .

Градiєнт концентрації між розчином та внутрішньоклітинною рідиною є рушійною силою відведення води із сировини.

Розрахунки проводили, використовуючи різні концентрації сахарози: 50% (500 кг/м^3), 60% (600 кг/м^3), 70% (700 кг/м^3) та різну тривалість процесу (від 1 до 2,5 год).

Результати розрахунку продуктивності масопередачі в залежності від тривалості процесу та концентрації осмотичного розчину представлено на рисунку 2.

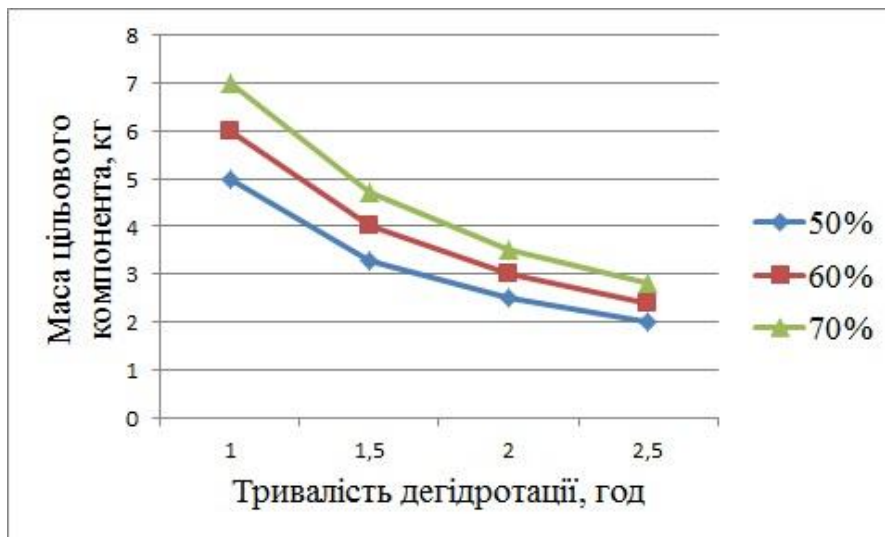


Рис 2. Залежність маси, що переноситься від тривалості процесу та концентрації осмотичного розчину

Встановлено, що найбільше перенесення маси спостерігається при використанні розчину з вмістом сахарози – 70%. Активна масопередача відбувається в перші 2 години, тому процес можна обмежувати цим терміном, оскільки подальше зневоднення є економічно та технологічно недоцільним.

Відповідно до закону Фіка маса речовини, що продифундувала за одиницю часу при постійній температурі і тиску залежить від коефіцієнту дифузії та градієнту концентрацій:

$$M = -DS \frac{dc}{dx}, \quad (5)$$

де D – коефіцієнт дифузії, m^2/c ;

S - площа перерізу, через який відбувається дифузія, m^2 ;

dc/dx - градієнт концентрації. Знак мінус показує, що дифузія йде в бік зменшення концентрації.

Із рівняння (5) видно, що площа дифундування впливає на швидкість масопередачі. Маса речовини, що продифундувала прямопропорційна площі перерізу, через який відбувається дифузія та оберненопропорційна товщині шару, або довжині шляху дифундування. Площа перерізу, через який відбувається дифузія, залежить від розміру та форми часточок сировини, що

подається на дегідратацію. Це підтверджує те, що форма і розмір частинок впливають на швидкість процесу, тому мають регулюватися.

Результати впливу розмірів сировини на характер зневоднення представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Дослідження впливу розмірів сировини на характер зневоднення

| Розмір фракцій, мм | Тривалість дегідратації, год | Характеристика зневоднених частинок | | |
|--------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------|
| | | морква | буряк | пастернак |
| 3×3×3 | 1 | Частинки зморщені. Консистенція суха. Запах цукровий. Смак солодкий | | |
| | 1,5 | Частинки зморщені. Консистенція суха. Запах цукровий. Смак солодкий | | |
| | 2 | Частинки дуже зморщені, подекуди розварені. Консистенція суха. Запах цукровий. Смак солодкий | | |
| | 2,5 | Частинки дуже зморщені, подекуди розварені. Консистенція суха. Запах цукровий. Смак солодкий | | |
| 5×5×5 | 1 | Частинки не зморщені. Консистенція не суха. Запах цукровий з легким ароматом овочу. Смак солодкий з присмаком овочу | | |
| | 1,5 | Частинки не зморщені. Консистенція не суха. Запах цукровий. Смак гармонійно солодкий | | |
| | 2 | Частинки не зморщені. Консистенція не суха. Запах цукровий. Смак гармонійно солодкий | | |
| | 2,5 | Частинки не зморщені. Консистенція не суха. Запах цукровий. Смак гармонійно солодкий | | |
| 10×10×10 | 1 | Частинки не зморщені. Консистенція не суха. Відчутний запах овочу. Смак солодкий з | | |

| | | |
|--|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | присмаком овочу |
| | 1,5 | Частинки не зморщені. Консистенція не суха. Відчутний запах овочу. Смак солодкий з присмаком овочу |
| | 2 | Частинки не зморщені. Консистенція не суха. Відчутний запах овочу. Смак солодкий з присмаком овочу |
| | 2,5 | Частинки не зморщені. Консистенція не суха. Ледь відчутний запах овочу. Смак солодкий з присмаком овочу |

Дослідження показало, що частинки овочів розмірами менше 5 мм можуть розварюватись і мають непривабливу зморщену форму та суху консистенцію після висушування. Частинки розміром 10 мм мають характерну форму, але в них навіть після 2,5 годин дегідратації спостерігається відчутний запах та присмак овочів, що негативно впливає на сенсорні показники якості. Тому запропоновано подрібнювати овочеву сировину (*Beta vulgaris*, *Daucus*, *Pastinaca sativa*) на кубики розміром 5×5×5 мм. При такій формі спостерігаються гарні органолептичні властивості готового продукту та забезпечуються однаковий шлях дифундування.

В процесі дослідження, також, визначали зміну масової частки сухих речовин у розчині за допомогою рефрактометру. Результати зміни вмісту сухих речовин в сиропі представлено на рисунку 3.

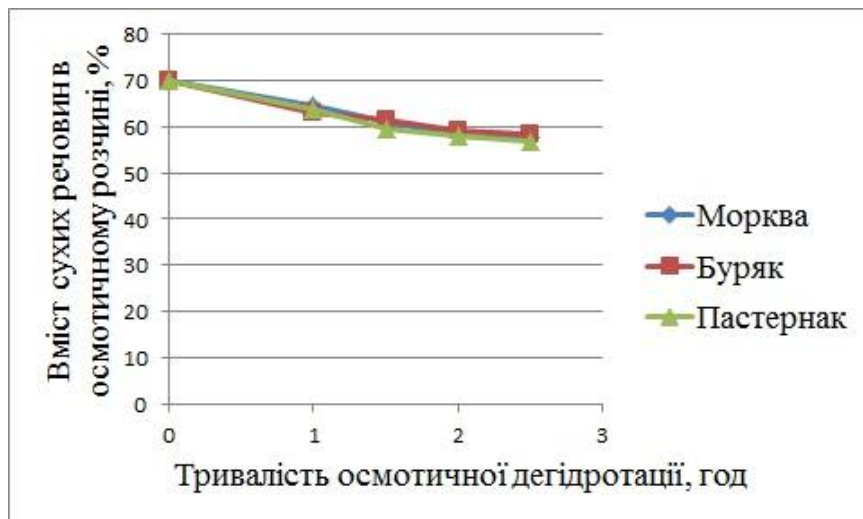


Рисунок 3. Зміна вмісту сухих речовин в сиропі

Із графіка видно, що найбільша динаміка зневоднення спостерігається в першу годину дегідратації, коли різниця концентрацій сахарози в осмотичному розчині та всередині частинок найбільша. Впродовж наступного часу вміст сухих речовин в осмотичному розчині змінюється в незначній мірі, що дозволяє обмежити час дегідратації до 2 год.

Відомо, що швидкість процесу масопередачі прямопропорційна різниці концентрацій та обернено пропорційна кінетичному (дифузійному) опору середовища:

$$W_m = \frac{M}{F \cdot \tau} = \frac{\Delta C}{R_d}, \quad (6)$$

де ΔC – різниця концентрацій (рушійна сила масообміну);

R_d – дифузійний опір;

M - маса речовини, що перейшла з однієї фази в іншу, кг;

F - поверхня контакту фаз, м²;

τ – тривалість зневоднення, с.

Оскільки при збільшенні дифузійного опору, швидкість масопередачі знижується, осмотичне зневоднення овочів відбувається швидше, за умови перемішування сиропу або його циркуляції. Це відбувається через зниження опору масообміну на поверхні за рахунок уникнення локалізованого

розведення, яке впливає на швидкість видалення води. Перемішування дозволяє інтенсифікувати процес.

Однак, перемішування може бути ускладнене і викликати пошкодження зразків, що зневоднюються. Тому, в розробленому нами апараті для осмотичної дегідратації (Samilyk et al., 2020), для перемішування передбачено лопатеву мішалку обтікаючої форми без гострих кутів.

Обговорення. Доведено, що для попереднього зневоднення варто використовувати цукровий розчин з вмістом сухих речовин 70%, який забезпечує найвищий осмотичний тиск при даній температурі. Подібні результати було отримано (Gribova & Berketova, 2018) при зневодненні ягід. Отримані нами результати, як і результати інших дослідників (Ahmed et al., 2016; Khan, 2012; Phisut, 2012; Tortoe, 2010), свідчать про те, що застосування осмотичної дегідратації перед сушінням дозволяє покращити органолептичні властивості готового продукту.

Технічний результат осмотичного зневоднення пояснюється тим, що попередня обробка сировини перед процесом сушіння, підвищує його ефективність за рахунок зменшення енергетичних витрат, поліпшує структуру готового продукту, запобігає знебарвленню плодів, спричиненому ферментативним окисненням.

Висновки. Результати аналізу існуючих наукових праць та власних досліджень показали:

- найвищий осмотичний тиск при температурі 50 °С, оптимальній для збереження біологічної цінності овочів, забезпечується при концентрації цукрового розчину 70%;
- висока концентрація осмотичного розчину створює достатній осмотичний потенціал, тим самим спричиняючи більшу втрату води, уповільнюючи окисне та неферментативне підрум'янення, що дозволяє отримати продукт кращої якості;
- оптимальна тривалість процесу, яка забезпечує ефективне зневоднення і гарні сенсорні властивості продукту - 2 год;

- розмір і форма зразків, що зневоднюються, впливають на характер зневоднення та швидкість масопередачі, найкращі результати досягаються при подрібненні овочів на кубики розміром 5×5×5 мм;
- швидкість масопередачі залежить від руху осмотичного середовища, оскільки дозволяє знижувати опір масообміну на поверхні за рахунок уникнення локалізованого розведення.

Бібліографічні посилання:

1. Ahmed, I., Qazi, I., Jamal S. (2016). Developments in osmotic dehydration technique for the Preservation of Fruits and Vegetables. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 34, 29-43. (in English). DOI: 10.1016/j.ifset.2016.01.003.
2. Akbarian, M., Ghasemkhani, N., Moayedi F. (2014). Osmotic dehydration of fruits in food industrial: A review *International Journal of Biosciences*. vol. 4, no 1. pp. 42–57. (in English). DOI: 10.12692/ijb/4.1.42-57.
3. Beristain, CI., Azuara, E., Cortes, R., Garcia, HS. (1990). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. *Intl J Food Sci Technol*. 25(5):576–582. (in English). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb01117>.
4. Corzo, O., Gomez, ER. (2004). Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. *J Food Eng*. 20. 64, 213–219. (in English). <https://doi.org/10.3136/fstr.15.575>.
5. Falade, K.O., Igbeka, J.C. (2007). Osmotic Dehydration of Tropical Fruits and Vegetables. *Food Reviews International*. 23, 4. (in English). <https://doi.org/10.1080/87559120701593814>.
6. Gribova N.A., Berketova L.V. (2018). Osmoticheskaya degidratatsiya yagod: izucheniye parametrov massoperenosa [Osmotic dehydration of berries: study of mass transfer parameters]. Moscow: Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. vol. 80. no. 2. pp. 30–37. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-2-30-37.
7. Hasanuzzaman, M., Kamruzzaman, M., Islam, M., Khanom, S., Rahman, M., Lisa L. et al. (2014). A Study on Tomato Candy Prepared by Dehydration Technique Using Different Sugar Solutions. *Food and Nutrition Sciences*. 5, 1261-1271. (in English). DOI: 10.4236/fns.2014.513137.

8. Khan, M.R. (2012). Osmotic Dehydration Technique for Fruits Preservation A-Review. Pakistan Journal of Food Science, 22, 71-85. (in English). DOI: 10.12691/ajfst-7-6-2.
9. Khoji, MR., Hesari, J. (2007). Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. J Food Eng. 78:1355–1360. (in English). DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2006.01.0.
10. Phisut, N. (2012). Minireview- Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. International Food Research Journal, 19(1), 7-18. (in English).
11. Rahman, M.S. (2009). A Review of “Handbook of Food Preservation”. Journal of Agricultural & Food Information.10. (in English). <https://doi.org/10.1080/10496500902813376>.
12. Samilyk, M., Helikh, A., Bolgova, N., Potapov, V., Sabadash, S. (2020). The application of osmotic dehydration in the technology of producing candied root vegetables. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. №3(11), 13-20. (in English). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.204664>.
13. Tortoe, C. (2010). A Review of Osmodehydration for Food Industry. African Journal of Food Science, 4, 303-324. (in English).
14. Yadav, A.K , Singh, S.V. (2014). Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. J Food Sci Technol. 51(9), 1654–1673. (in English). DOI:10.1007 / s13197-012-0659-2.

Samilyk M.M., PhD, Sumy National Agrarian University (Sumy, Ukraine)

PHYSICAL JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF OSMOTIC DEHYDRATION AS A METHOD OF PROCESSING ROOT VEGETABLES

*The article presents the results of an experimental study of osmotic dehydration of root vegetables. Ripe root vegetables were used as the subject of the study *Daucus (Chantane)*, *Beta vulgaris (Bordeaux 237)*, *Pastinaca sativa (White stork)*. Sugar solutions of various concentrations (50, 60, 70%) were used as an osmotic solution. The experiment was carried out at different temperatures (40, 50, 60 ° C) and with different duration of the process (1; 1.5; 2; 2.5 h). Research has shown that vegetable particles less than 5 mm in size can boil over and have an*

unattractive wrinkled shape and dry consistency after drying. Particles with a size of 10 mm have a characteristic shape, but even after 2.5 hours of dehydration, there is a noticeable smell and taste of vegetables, which negatively affects the sensory indicators of quality. The proposed grinding of vegetable raw materials into cubes of $5 \times 5 \times 5$ mm, which provides the same diffusion path and good organoleptic properties of the finished product for all types of investigated vegetables. Based on the results of experimental studies and mathematical calculations, the optimal parameters for conducting the process of osmotic dehydration in the production of candied vegetables have been determined. It was found that the greatest dynamics of dehydration is observed during the first time of dehydration, when the difference in sucrose concentrations in the osmotic solution and inside the particles is greatest. The greatest mass transfer is observed when using a solution with a sucrose content of 70%. This concentration of the osmotic solution creates a sufficient osmotic potential, thereby leading to a greater loss of water, slowing down oxidative and non-enzymatic browning, resulting in a better product. Active mass transfer occurs in the first 2 hours, so the process can be limited to this period, since further dehydration is economically and technologically inexpedient. It is mathematically proven that osmotic dehydration of vegetables occurs faster when mixing the sugar solution, by reducing the resistance to mass transfer on the surface and avoiding localized dilution, which affects the rate of water removal.

Key words: *osmotic dehydration, vegetables, osmotic pressure, solution concentration, mass transfer, specific mass flow.*