

УДК 66.011:664.002.5

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-188-194

*Людмила Мостова, Леонід Мартиненко, Станіслав Касьянов***ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ ХАРЧОВОГО ПРОДУКТУ
НА ВТРАТИ ВІТАМІНУ С ПРИ ТЕРМІЧНІЙ ОБРОБЦІ**

Актуальність теми дослідження. Найбільш поширеним методом обробки харчових продуктів (80 %) є теплова обробка. Ця обробка має недоліки: втрати необхідних організму людини компонентів, створення канцерогенних речовин та інше.

Постановка проблеми. Одним із шляхів розв'язання вказаних проблем може бути створення нових механізмів моделювання, технологій і обладнання для обробки харчових продуктів та отримання виробів, що відповідають фізіологічним потребам людини. **Аналіз останніх досліджень і публікацій** показує, що на сьогоднішній час не розроблений механізм моделювання зміни вмісту вітаміну С в харчовому продукті, який має геометричну форму циліндра під дією явищ теплопровідності, дифузії та хімічних перетворень.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Відомо, що харчові продукти за гідротермічної обробки можуть мати різні геометричні форми: кулі, циліндра, прямокутника та інші. Тому за моделювання зміни концентрації вітаміну С в харчовому продукті під час теплової обробки потрібно враховувати їх геометричну форму.

Постановка завдання. Метою даної роботи є вдосконалення механізму моделювання гідротермічної обробки картоплі, що має геометричну форму циліндра для зменшення втрат вітаміну С у кулінарних виробках.

Викладення основного матеріалу. Методом фізичного моделювання побудовано диференціальне рівняння, яке описує зміну вітаміну С в харчовому продукті, який має геометричну форму циліндра за рахунок дифузії та хімічних перетворень. Отримано рішення такого диференціального рівняння. Досліджено зміну концентрації вітаміну С в картоплі, що має геометричну форму циліндра і кулі від їх лінійних розмірів.

Висновки відповідно до статті. Встановлено, що при гідротермічній обробці картоплі при температурі 100 °С до стадії кулінарної готовності існує оптимальний лінійний розмір при якому в ній відбувається мінімальні втрати вітаміну С. Наприклад, для картоплі, що має геометричну форму циліндра радіус якого дорівнює 20 мм максимальне значення середньої концентрації вітаміну С (С=60 % відносно сирої картоплі) досягається при висоті циліндра рівній 16 мм. Для картоплі, що має геометричну форму кулі максимальне значення середньої концентрації вітаміну С (С=50 %) досягається при радіусі рівному 14 мм.

Ключові слова: моделювання; харчові продукти; термічна обробка; вітамін С.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Найбільш поширеним методом обробки харчових продуктів (80 %) є теплова обробка. Ця обробка має недоліки: великі енергозатрати, втрати необхідних організму людини компонентів, створення канцерогенних речовин та інше.

Порушена екологія та деформований раціон харчування призводить до зниження загальної резистентності організму, поширення багатьох хвороб, у тому числі пов'язаних із обміном речовин, серед яких – цукровий діабет, ожиріння та ін. Традиційне харчування не забезпечує високого профілактичного ефекту. Відповідно до «Глобальної стратегії ВООЗ у галузі харчування, фізичної активності і здоров'я» (Резолюція 57.17 Всесвітньої асамблеї охорони здоров'я від 22 травня 2004 р.), поступова заміна традиційного асортименту харчових продуктів на функціональні, які сприяють підтриманню нормального функціонування всіх органів і систем організму людини, забезпеченню здоров'я та довголіття, є важливим напрямом розвитку цивілізованого ринку.

Серед основних засад державної політики стосовно якості та безпеки харчових продуктів є розробка стратегії щодо створення нових науково обґрунтованих технологій екологічно чистих харчових продуктів, у тому числі спеціального призначення [1]. Одним із шляхів вирішення вказаних проблем може бути створення нових механізмів моделювання, технологій і обладнання для обробки харчових продуктів та отримання виробів, що відповідають фізіологічним потребам людини. Тому вдосконалення механізмів моделювання процесу термічної обробки харчових продуктів для визначення оптимальних технологічних параметрів є **актуальним**.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, які присвячені розробці механізму моделювання зміни концентрації вітаміну С у харчовому продукті під час гідротермічної обробки.

У роботі [2] розроблено механізм моделювання процесу досягнення харчовим продуктом стану кулінарної готовності під час гідротермічній обробки за умови, що тем-

пературне поле продукту змінюється за часом та неоднорідне вздовж просторової координати. Визначено тривалість τ , протягом якої картопля досягає стану кулінарної готовності залежно від температури обробки в діапазоні від 75 до 175 °C і лінійних розмірів – (1...80 мм). Дослідні зразки картоплі мають геометричну форму циліндра та прямокутного паралелепіпеда. Встановлено, що тривалість обробки τ залежить від геометричної форми, лінійних розмірів, теплофізичних параметрів, енергії активації структурних перетворень харчового продукту та температури обробки.

У роботі [3] розроблено фізико-математичну модель зміни концентрації вітаміну С у харчовому продукті, що має геометричну форму кулі, під дією процесів дифузії та термічного перетворення.

У роботі [4] методом фізичного моделювання досліджено зміну концентрації вітаміну С у картоплі, яка має радіус 10 мм, залежно від температури обробки до стану кулінарної готовності. Встановлено, що ця залежність має максимальне значення відносно концентрації вітаміну C_{\max} (73 % – відносно сирової картоплі) за температури T_{\max} , дорівнює 117 °C. Встановлено, що величини T_{\max} і C_{\max} залежать від лінійного розміру, теплофізичних параметрів, енергії активації структурних перетворень харчового продукту та енергії активації вітаміну С.

Відомо, що харчові продукти за гідротермічної обробки можуть мати різні геометричні форми: кулі, циліндра, прямокутника та інші. Тому за моделювання зміни концентрації вітаміну С у харчовому продукті під час теплової обробки потрібно враховувати їх геометричну форму.

Метою цієї роботи є вдосконалення механізму моделювання гідротермічної обробки харчового продукту для зменшення втрат вітаміну С у кулінарних виробках, що мають геометричну форму циліндра.

Виклад основного матеріалу досліджень. Фізичну модель зміни вітаміну С у харчовому продукті за термічної обробки можна представити таким чином.

Харчовий продукт має геометричну форму циліндра (радіус R і висота h). Початкова температура його дорівнює T_0 . Харчовий продукт розміщується в нагрітому до температури T_k середовищі. Температура середовища підтримується постійною. Після цього в харчовому продукті інтенсифікуються такі фізичні та хімічні явища:

1. Згідно з явищем теплопровідності температура харчового продукту буде збільшуватися, оскільки початкова температура продукту менша за температуру нагрітого середовища.

2. Згідно з явищем дифузії кількість вітаміну С у продукті почне зменшуватися, оскільки концентрація вітаміну в продукті значно вища від концентрації вітаміну в нагрітому середовищі.

3. За рахунок хімічних перетворень під дією енергії теплового руху молекули вітаміну С будуть руйнуватися.

Припустимо, що початкова концентрація c_0 вітаміну С постійна в різних частинах продукту. Концентрація вітаміну в нагрітому середовищі, де розміщують харчовий продукт, відсутня та не змінюється з часом.

Згідно зі сформульованою фізичною моделлю, температурне поле харчового продукту змінюється за часом та неоднорідне вздовж просторової координати. Це поле можна представити таким аналітичним виразом, якщо температура нагрітого середовища підтримується постійною [5]:

$$T(r, z=0, \tau, T_{k1}) = 273 + (T_0 = 20) + (T_{k1} - (T_0 = 0)) \frac{4}{\pi \cdot R} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(1 - (-1)^n) J_0(\alpha_m(r=0))}{n \cdot \alpha_m \cdot J_1(\alpha_m R)} \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{h} \cdot (z=0)\right) \cdot e^{-\chi \left[\alpha_m^2 + \left(\frac{n\pi}{h}\right)^2 \right] \tau} \quad (1)$$

де T_{k1} – температура нагрітого середовища, °C; T_0 – початкова температура харчового продукту, °C; r – просторова координата, м; R – радіус харчового продукту, м; a – кое-

фіцієнт температуропровідності харчового продукту, $\text{м}^2/\text{с}$; $J_0(\alpha_m \cdot r)$ – функція Беселя першого роду нульового порядку; α_m – корні рівняння ($J_0(\alpha \cdot R) = 0$); $J_1(\alpha_m \cdot r)$ – функція Беселя першого роду першого порядку; t – час, с.

Для визначення зміни концентрації вітаміну за рахунок термічного перетворення під дією теплової енергії використаємо відомий вираз, що характеризує швидкість проходження хімічних реакцій [6]:

$$\frac{dc}{dt} = -\kappa_0 \cdot \exp\left[-\frac{U}{R_r \cdot T(r,t)}\right] \cdot c, \quad (2)$$

де c – концентрація молекул вітаміну С, м^{-3} ; κ_0 – коефіцієнт пропорційності, с^{-1} ; U – енергія активації, Дж/моль; R_r – універсальна газова стала Дж/(моль·К); $T(r,t)$ – температурне поле продукту, К; r – просторова координата, м.

Для визначення зміни концентрації вітаміну за рахунок явища дифузії, обумовленого неоднорідністю концентрації, використаємо закон Фіка [7]:

$$j = -D \cdot \text{grad}c, \quad (3)$$

де j – густина потоку молекул вітаміну, $\text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$; D – коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$.

Згідно із законом збереження маси сумарна швидкість зміни концентрація молекул вітаміну С у харчовому продукті, яка обумовлена одночасно явищами дифузії та хімічним перетворенням, може бути представлена таким інтегральним рівнянням [3]:

$$\int_V \frac{\partial c}{\partial t} \cdot dv = \oint_S D \cdot \text{grad}_n c \cdot ds - \int_V \kappa_0 \cdot \exp\left[-\frac{U}{R_r \cdot T(r,t)}\right] \cdot c \cdot dv. \quad (4)$$

У рівнянні (4) інтеграл по поверхні S замінимо за допомогою формули Остроградського [8] на інтеграл по об'єму V і отримаємо диференціальне рівняння в циліндричній системі координат:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \cdot \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial c}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 c}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) - \kappa_0 \cdot \exp\left[-\frac{U}{R_r \cdot T(r,t)}\right] c, \quad (5)$$

де r, ϕ, z – координати в циліндричній системі.

Рішення рівняння (4) і (5) має задовольняти початковій і граничним умовам, сформульованим у фізичній моделі:

$$c = c_0 \text{ при } t = 0. \quad (6)$$

$$c = 0 \text{ при } r = R, z = h, z = 0. \quad (7)$$

Задача, що досліджується в цій роботі, є симетрична відносно вісі z, тому концентрація вітаміну та температурне поле у харчовому продукті за гідротермічної обробки змінюється вздовж координат r, z і за часом t. Із фізичної точки зору концентрація вітаміну С змінюється у харчовому продукті вздовж координат безперервно, тому її можна представити у вигляді суми [8]:

$$c(r, z, t) = c_{nm}(t) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} J_0(\alpha_m \cdot r) \cdot \sin\left(\frac{n\pi}{h} \cdot z\right), \quad (8)$$

де $c_{nm}(t)$ – коефіцієнт, який залежить лише від часу.

Підставимо вираз (8) у інтегральне рівняння (4) і виконаємо інтегрування в циліндричній системі координат. Отримаємо диференціальне рівняння для знаходження невідомого коефіцієнта $c_{nm}(t)$ у такому вигляді:

$$\frac{dc_{nm}}{dt} = D \cdot b_{nm} \cdot c_{nm} - \kappa_o \cdot d_{nm} \cdot f(t) \cdot c_{nm}, \quad (9)$$

де

$$b_{nm} = \alpha_m^2 + \left(\frac{(2 \cdot n + 1) \cdot \pi}{h} \right)^2, \quad (10)$$

$$d_{nm} = \frac{\alpha_m \cdot (2 \cdot n + 1) \cdot \pi}{2 \cdot h \cdot R \cdot J_1(\alpha_m \cdot R)}, \quad (11)$$

$$f(t) = \int_0^R \int_0^h \exp\left(\frac{-U}{R_r \cdot T(r, z, t)}\right) J_o(\alpha_m r) \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{h} z\right) \cdot 2\pi \cdot r dr dz. \quad (12)$$

Із системи рівнянь (6) і (9) отримаємо вираз для обчислення концентрації вітаміну С у харчовому продукті, що має геометричну форму циліндра, під час гідротермічної обробки в такому вигляді:

$$c = c_o \frac{8}{\pi R} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{J_o(\alpha_m r)}{(2n+1)\alpha_m J_1(\alpha_m R)} \sin\left(\frac{n\pi}{h} z\right) e^{-\left(Db_{nm}\tau + \kappa_o d_{nm} \int_0^{\tau} f(t) dt\right)}, \quad (13)$$

де τ – тривалість гідротермічної обробки харчового продукту, що має геометричну форму циліндра, с.

Концентрації вітаміну С у харчовому продукті представлена сумою членів ряду. Ряд сходиться. Числовий аналіз виразу (13) показує, що кількісна величина членів ряду швидко зменшується зі збільшенням порядкового номера. Ще швидше зменшується величина членів ряду зі збільшенням тривалості обробки τ . Похибка обчислення не перевищує 0,01 %, якщо n змінюється від 0 до 30, m – від 1 до 30 і τ дорівнює 1 хв або більше.

Тривалість τ , протягом якого картопля досягає кулінарної готовності при гідротермічній обробці, можна обчислити за допомогою інтегрального рівняння [2]:

$$\int_0^{t_1} \exp\left\{-\frac{U}{R_r \cdot T(r, z = 0, \tau, T_{к1})}\right\} \cdot d\tau = \int_0^{\tau} \exp\left\{-\frac{U}{R_r \cdot T(r = 0, \tau, T_{к})}\right\} \cdot d\tau, \quad (14)$$

де $T_{к1}$ – температура обробки дослідного зразка харчового продукту до стадії кулінарної готовності; t_1 – тривалість обробки дослідного зразка харчового продукту до стадії кулінарної готовності.

У цьому рівнянні зафіксовано, що температура навколишнього простору дорівнює 20 °С, а концентрація структурних зв'язків обчислюється в центрі харчового продукту.

Практичне значення для виробників і споживачів має середня величина концентрації вітаміну С у харчових продуктах, доведених до кулінарної готовності. Середнє значення концентрації вітаміну в харчовому продукті обчислюється відповідно до його визначення:

$$C_{cp} = \frac{1}{V} \int_V c(r, z, \tau) \cdot dV. \quad (15)$$

На рисунку наведені залежності зміни втрат середньої концентрації вітаміну С у картоплі за тривалістю гідротермічної обробки τ , протягом якої вона набуває стану кулінарної готовності, від її лінійного розміру для різних геометричних форм: С1_к – циліндр (R=20 мм, h = 2, 4, 6, ... 40 мм); С2_к – куля (R = 2, 4, 6, ... 40 мм).

Результати аналізу зміни втрат концентрації вітаміну С проведені для таких численних значень параметрів: $a=1,6 \cdot 10^{-7}$ м²/с [9]; $D=5 \cdot 10^{-9}$ м²/с [7]; $U=10 \cdot 10^4$ Дж/моль [10]; $\ln(\kappa_o) = 24,2$; $U_1=2,2 \cdot 10^5$ Дж/моль [4]; $T_{к}=100$ °С; $T_0=20$ °С.

Представлені на рисунку криві мають мінімуми. Це свідчить, що за гідротермічної обробки картоплі існує оптимальний її розмір, який залежить від геометричної форми зразка картоплі та її лінійних розмірів.

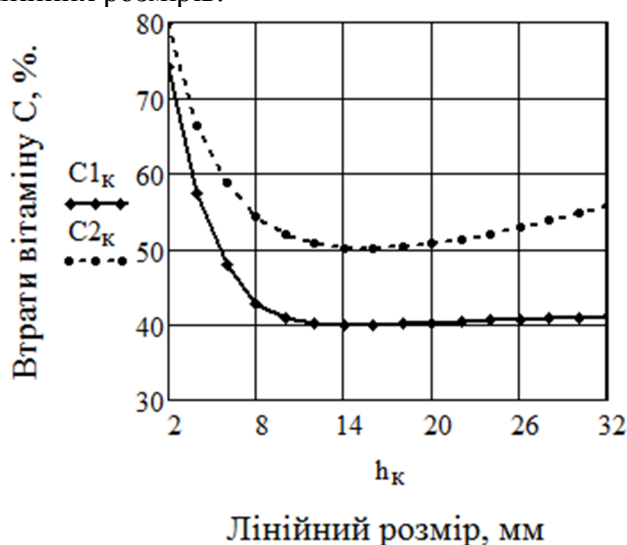


Рис. Залежність втрат вітаміну С від лінійного розміру картоплі за гідротермічної обробки

Наприклад, для картоплі, що має геометричну форму циліндра, радіус якого дорівнює 20 мм, мінімальні втрати середньої концентрації вітаміну ($C_1=40\%$ відносно сирової картоплі) досягається за висоти циліндра, що дорівнює 16 мм. Для картоплі, що має геометричну форму кулі, мінімальні втрати середньої концентрації вітаміну ($C=50\%$) досягається за радіуса, що дорівнює 14 мм. Температура гідротермічної обробки дорівнює $100\text{ }^\circ\text{C}$.

Висновки і пропозиції. Методом фізичного моделювання побудовано алгоритм обчислення втрат вітаміну С у харчовому продукті, який має геометричну форму циліндра, за рахунок дифузії та хімічних перетворень. Досліджено зміну втрат вітаміну С у картоплі, що має геометричну форму циліндра та кулі, від їх лінійних розмірів за рахунок явищ дифузії та хімічних перетворень при гідротермічній обробці. Встановлено, що за гідротермічної обробки картоплі до стану кулінарної готовності існує оптимальний лінійний розмір та температура, за яких в ній мають місце мінімальні втрати вітаміну С, що залежать від геометричної форми зразка. Область використання отриманих результатів досліджень визначається межами фізичних величин, в яких виконуються рівняння (1,2,3,6,7).

Список використаних джерел

1. *Технологія харчових продуктів функціонального призначення* : монографія / А. А. Мазаракі, М. І. Пересічний, М. Ф. Кравченко. [та ін.] ; за ред. М. І. Пересічного. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – К. : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2012. – 1116 с.
2. *Мостова Л. М.* Моделювання впливу технологічних параметрів на термін термічної обробки харчових продуктів / Л. М. Мостова, Л. Г. Мартиненко, М. О. Комарова // *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі* : зб. наук. пр. – Х. : ХДУХТ, 2014. – Вип. 1 (19). – С. 318–326.
3. *Розробка механізму моделювання зміни концентрації вітаміну С у харчовому продукті під час термічної обробки* / Л. М. Мостова, Л. Г. Мартиненко, М. О. Комарова, І. В. Галясний // *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі* : зб. наук. пр. – Х. : ХДУХТ, 2013. – Ч. 1. – Вип. 1 (17). – С. 310–316.
4. *Мостова Л. М.* Моделювання впливу температури обробки на вміст вітаміну С в харчовому продукті / Л. М. Мостова, Л. Г. Мартиненко, М. О. Комарова // *Харчова наука і технологія*. – Одеса : ОНАХТ, 2013. – № 1 (22)*. – С. 43–46.
5. *Карслоу Г.* Теплопроводность твёрдых тел / Г. Карслоу, Д. Егер. – М. : Наука, 1964. – 487 с.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

6. Лебідь В. І. Фізична хімія / В. І. Лебідь. – Х. : Гімназія, 2008. – 478 с.
7. Василенко С. М. Основи тепломасообміну : підручник / С. М. Василенко, А. І. Українець, В. В. Олішевський ; за ред. акад. УААН І.С. Гулого. – К. : НУХТ, 2004. – 250 с.
8. Корн Г. А. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. М. Корн, Т. М. Корн. – М. : Наука, 1973. – 832 с.
9. Гинзбург А. С. Теплофизические характеристики картофеля, овощей и плодов / А. С. Гинзбург, М. А. Громов. – М. : Агропромиздат, 1987. – 272 с.
10. Девис М. Витамин С. Химия и биохимия / М. Девис, Д. Патридж. – М. : Мир, 1999. – 463 с.

References

1. Mazaraki, A.A., Peresichnyi, M.I. (ed.), Kravchenko, M.F. [et al.] (2012). *Tekhnolohiia kharchovykh produktiv funktsionalnoho pryznachennia [The technology of food products of functional area]* (2nd ed., rev.). Kyiv: National University of Trade and Economics (in Ukrainian).
2. Mostova, L.M., Komarova, M.O., Martynenko, L.G. (2014). Modeliuvannia vplyvu tekhnolohichnykh parametriv na termin termichnoi obrobky kharchovykh produktiv [The modeling of the impact of technological parameters on the time of the heating of food products]. *Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli – Advanced equipment and technology of food production of restaurant industry and trade*, issue 1 (19), pp. 318–326 (in Ukrainian).
3. Mostova, L.M., Martynenko, L.G., Komarova, M.O., Galiasnyi, I.V. (2013). Rozrobka mekhanizmu modeliuvannia zminy kontsentratsii vitaminu S u kharchovomu produkti pid chas termichnoi obrobky [Working out modelling mechanisms for vitamin C concentration in food products during thermal treatment]. *Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli – Advanced equipment and technology of food production of restaurant industry and trade*, issue 1(17), part 1, pp. 310–316 (in Ukrainian).
4. Mostova, L.M., Martynenko, L.G., Komarova, M.O. (2013). Modeliuvannia vplyvu temperatury obrobky na vmist vitaminu S v kharchovomu produkti [Modelling treatment temperature effects on the vitamin C content in food products]. *Kharchova nauka i tekhnolohiia – Food science and technology*. Odessa: ONAHT, № 1 (22)*, pp. 43–46 (in Ukrainian).
5. Carslaw, H.S., Jaeger, J.C. (1964). *Teploprovodnost tverdykh tel [Conduction of heat in solids]*. Moscow: Nauka (in Russian).
6. Lebid, V.I. (2008). *Fyzychna khimiia [Physical Chemistry]*. Kharkiv: Gimnaziia (in Ukrainian).
7. Vasilenko, S.M., Ukrainets, A.I., Olishvskii, V.V., Gulyi, I.S. (ed.) (2014). *Osnovy teplomasoobminu [Basics of heat transfer]*. Kyiv: NUHT (in Ukrainian).
8. Korn, G.A., Korn, T.M. (1973). *Spravochnik po matematike dlja nauchnykh rabotnikov i inzhenerov [Mathematical handbook for scientists and engineers]*. Moscow: Nauka (in Russian).
9. Ginzburg, A.S., Gromov, M.A. (1987). *Teplofizicheskie kharakteristiki kartofelia, ovoshhei i plodov [Thermal physical characteristics of potatoes, vegetables and fruit]*. Moscow: Agropromizdat (in Russian).
10. Davies, V., Partidge, D. (1999). *Vitamin C. Khimiia i biokhimiia [Vitamin C. Its Chemistry and biochemistry]*. Moscow: Mir (in Russian).

Liudmyla Mostova, Leonid Martynenko, Stanislav Kasyanov

INFLUENCE OF FOOD PRODUCT GEOMETRICAL FORM ON VITAMIN C LOSS IN THERMAL TREATMENT

Urgency of the research. The common method of food treatment (80%) is heat treatment. This method has such limitations as big power inputs, waste of elements required for human organism, developing carcinogenic agents etc.

Target setting. One way to solve these problems is to make modeling engines, new technologies and equipment for food product treatment, and making products, which satisfy human physiological requirements.

Actual scientific researches and issues analysis. The analysis of the latest published works shows that today we do not have developed mechanism for modeling vitamin C content changes in food products in a cylindrical form with the influence of thermal conductivity, diffusion, and chemical changes.

Uninvestigated parts of general matters defining. It is a well-known fact that nutrition products may be of various geometric shapes such as a ball-shaped, cylinder, rectangle etc. Therefore while simulating vitamin C concentration change in a nutrition product during heat treating requires consideration of its geometric shape.

The research objective. The purpose of this work is to improve the mechanism for modeling the hydrothermal processing of potatoes, which has the geometric shape of a cylinder to reduce the loss of vitamin C in products.

The statement of basic materials. A differential extinction was built by the method of physical modeling, which describes vitamin C changes in the cylinder-shaped food product due to thermal conductivity, diffusion and chemical changes. We studied vitamin C changes in cylinder- and ball-shaped potatoes depending on their linear dimensions and the treatment temperature.

Conclusions. It is estimated that while preparing potatoes there exist optimal linear dimensions with minimal vitamin C losses. For example, in the cylinder-shaped potatoes with 20 mm radius, concentration mean rate of vitamin C ($C=60\%$ as compared to that of raw potatoes) is attained at the cylinder height of 14 mm. For ball-shaped potatoes, the maximum vitamin mean concentration ($C=50\%$) is achieved at the radius of 16 mm. The treatment temperature is $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Keywords: modeling, food products, heating, vitamin C.

Людмила Мостовая, Леонид Мартыненко, Станислав Касьянов

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПИЩЕВОГО ПРОДУКТА НА ПОТЕРИ ВИТАМИНА С ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Тепловая обработка пищевых продуктов имеет недостатки: потери витаминов, создание канцерогенных веществ и прочее. Одним из путей решения указанных проблем может быть создание новых механизмов моделирования и технологий для обработки пищевых продуктов. Анализ последних исследований и публикаций показывает, что на сегодняшний день не разработан механизм моделирования изменения содержания витамина С в пищевом продукте, который имеет геометрическую форму цилиндра, под действием явления теплопроводности, диффузии и химических превращений.

Методом физического моделирования построено дифференциальное уравнение, описывающее изменение витамина С в пищевом продукте, который имеет геометрическую форму цилиндра, за счет диффузии и химических превращений. Получено решение такого уравнения. Исследовано изменение концентрации витамина С в картофеле, что имеет геометрическую форму цилиндра и шара, от их линейных размеров. Установлено, что при гидротермической обработке картофеля до стадии кулинарной готовности существует оптимальный линейный размер, при котором в ней происходит минимальные потери витамина С.

Ключевые слова: моделирование; пищевые продукты; термическая обработка; витамин С.

Мостова Людмила Николаївна – кандидат технічних наук, доцент., завідувач кафедри харчових технологій та організації ресторанної справи, Харківський торговельно-економічний інститут Київського Національного торговельно-економічного університету (пров. О. Яроша, 8, м. Харків, 61045, Україна).

Мостовая Людмила Николаевна – кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой пищевых технологий и организации ресторанного дела, Харьковский торгово-экономический институт Киевского Национального торгово-экономического университета (проул. О. Яроша, 8, г. Харьков, 61045, Украина).

Mostova Liudmyla – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technology and Planning of Restaurant Business, Kharkiv Institute of Trade and Economics of Kyiv National University of Trade and Economics (8 O. Yarosh lane, 61045 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: nastia5532@mail.ru

Мартиненко Леонід Григорович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій та організації ресторанної справи, Харківський торговельно-економічний інститут Київського Національного торговельно-економічного університету (пров. О. Яроша, 8, м. Харків, 61045, Україна).

Мартыненко Леонид Григорьевич, кандидат технических наук, доцент., доцент кафедры пищевых технологий и организации ресторанного дела, Харьковский торгово-экономический институт Киевского Национального торгово-экономического университета (проул. О. Яроша, 8, г. Харьков, 61045, Украина).

Martynenko Leonid – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology and Planning of Restaurant Business, Kharkiv Institute of Trade and Economics of Kyiv National University of Trade and Economics (8 O. Yarosh lane, 61045 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: leonid.martynenko@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4270-1505>

Касьянов Станіслав Петрович – магістр, Харківський торговельно-економічний інститут Київського Національного торговельно-економічного університету (пров. О. Яроша, 8, м. Харків, 61045, Україна).

Касьянов Станислав Петрович – магистр, Харьковский торгово-экономический институт Киевского Национального торгово-экономического университета (проул. О. Яроша, 8, г. Харьков, 61045, Украина).

Kasyanov Stanislav – master, Kharkiv Institute of Trade and Economics of Kyiv National University of Trade and Economics (8 O. Yarosh lane, 61045 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: stas-kasyanov@rambler.ru