

I. O. Гузьова, В. М. Атаманюк

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра хімічної інженерії**ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ  
ВИРОБНИЦТВА ЦУКАТІВ З МОРКВИ**<https://doi.org/10.23939/ctas2021.01.145>

Розроблено енергоощадну схему виробництва цукатів з моркви. В розробленій схемі впроваджено: промивання сировини 1 % розчином  $\text{NaHCO}_3$ , зменшення витрати води на бланшування, зменшення витрати сиропу для насичення сировини цукром. Впроваджено нову технологію сушіння: цукат сушать у змінному температурному режимі, а саме: на початкових стадіях тепловим агентом температурою  $70\text{ }^\circ\text{C}$ , на завершальній стадії – тепловим агентом температурою  $20\text{ }^\circ\text{C}$ . Здійснено моделювання традиційної та енергоощадної схем виробництва цукатів з моркви в універсальній моделювальній програмі ChemCad. Проаналізовано результати моделювання. Доведено, що загальна енергоефективність упровадженої технології становить 340, 4 МДж/год або 354,6 кДж/кг готового продукту.

**Ключові слова:** цукати; сироп; бланшування; сушіння; енергоефективність.

**Вступ**

Для визначення можливих напрямів підвищення енергетичної ефективності технологічних схем необхідно оцінити рівень енергетичних затрат на кожній стадії технологічної лінії загалом [1]. Технологічна лінія виробництва цукатів традиційно передбачає такі основні стадії: чищення та миття сировини, нарізання (формування певної форми), бланшування, насичення сиропом, сушіння [2, 3]. Залежно від сировини, з якої виготовляють цукат, кожна стадія має певну специфіку [4–7]. Проте, незалежно від сировини та специфіки процесу, лімітуючою стадією буде сушіння [2]. Цукат являє собою органічну рослинну речовину, насичену цукром. У таких речовинах сушіння, переважно, відбувається в другому періоді, отже, є довготривалим у часі [8–10]. Саме тому під час проєктування технологічної лінії виробництва цукатів необхідно знизити енергозатрати на кожній стадії виробництва та розробити сушильні установки, які би працювали в енергозбережному режимі з одночасним дотриманням якості готового продукту.

Аналізуючи літературні джерела багатьох авторів, можна дійти висновку, що часто у виробництві цукатів використовують етапи оброблення сировини розчинами лугів на етапі промивання

[11], біосульфитом натрію перед насиченням цукрозою або замість насичення цукрозою разом із лимонною кислотою [12] та сірчистим газом перед сушінням. Такі етапи передбачено для консервування та довготривалого зберігання готового продукту, проте залишки вищенаведених хімічних сполук можуть потрапити в організм людини та зашкодити її здоров'ю. Позбутися необхідності застосування таких речовин можливо, якщо спроєктувати технологічну лінію виробництва цукатів без використання шкідливих для здоров'я людини хімічних сполук, виконати енергетичний аналіз спроєктованої лінії та довести її енергоефективність. Також недоліком багатьох технологічних схем є перевитрата цукрового сиропу на стадії насичення [13], що призводить до перевитрати енергії. Автори [14] запатентували технологічну лінію виробництва цукатів, що містить бункер вихідної фруктової сировини із встановленим у нижній частині роторним дозатором, мийно-калібрувальний комплекс, машину для видалення насінневого гнізда, машину для різання плодів на кубики, сульфітатор, СВЧ-конвективну сушарку. Проте застосування СВЧ-конвективних сушарок є енергозатратним, навіть за умов змінного температурного режиму сушіння [7, 8]. Застосовувати інші методи сушіння під час виробництва цукатів

можливо, якщо довести їх ефективність як з погляду енергозатрат, так і з погляду збереження якості готового продукту. Саме тому актуальним є створення енергоощадних технологічних ліній виробництва цукатів, які б давали змогу зменшити енергозатрати на процес та зберегти поживну цінність цукатів.

**Мета досліджень** – розробити технологічну схему виробництва цукатів із моркви та довести її енергоефективність.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Виконати аналіз традиційної технології виробництва цукатів та виявити певні недоліки.

2. Розробити енергоощадну схему виробництва цукатів із моркви з усуненням недоліків.

3. Користуючись універсальною моделювальною програмою ChemCad, здійснити моделювання традиційної та запропонованої технології виробництва цукатів.

4. На основі результатів моделювання довести енергоефективність запропонованої технології.

### Матеріали та методи досліджень

Об'єктом досліджень була відома технологія виробництва цукатів з моркви [11, 14, 15]. Продуктивність за вихідною сировиною взято з літературних джерел [11]. Розглянемо кожну стадію виробництва, схема якого зображена на рис. 1.

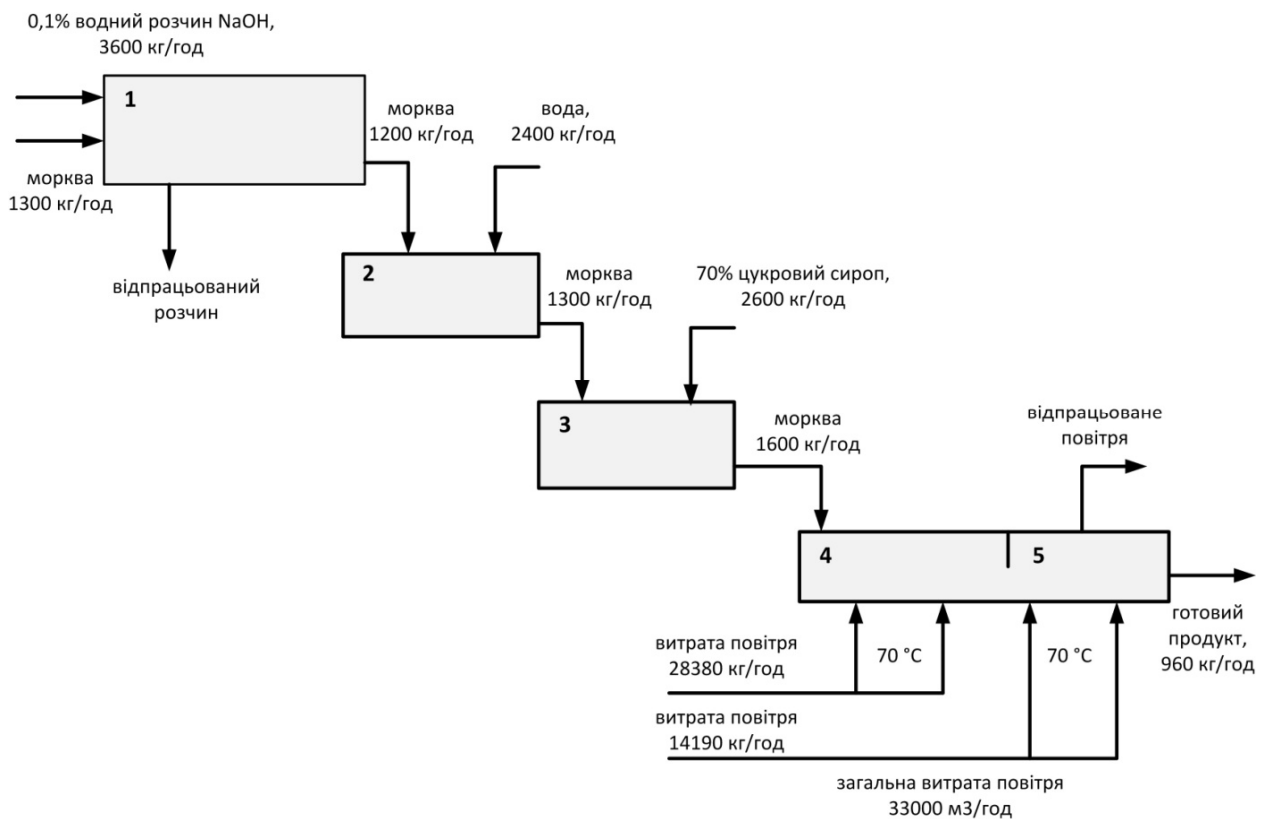


Рис. 1. Традиційна схема виробництва цукатів з моркви:

1 – стадія миття та нарізання; 2 – стадія бланшування; 3 – стадія насичення; 4(5) – стадія сушіння

Стадія 1 (рис. 1) – миття та нарізка. Сира калібрована морква по 1300 кг/год потрапляє у термостат. З метою якісного очищення моркви від шкірки в термостат із температурою 40 °C додають водний розчин лугу (0,1 % NaOH) в кількості приблизно втричі більше ніж сировини [11]. Після промивання із ретельним перемішуванням морква, очищена від шкірки, матрицями нарізається на

шматки однакової форми у вигляді циліндрів розміром 20×2 мм. Недоліком цієї стадії технологічного процесу є використання лугу для промивання сировини. Залишки лугу можуть потрапляти в організм людини та заподіювати шкоду її здоров'ю.

Стадія 2 (рис. 1) – бланшування. Промита та нарізана морква в кількості 1200 кг/год (100 кг – втрати під час промивання і чищення) подається

на бланшування водою у кількості 2400 кг/год. Бланшування відбувається за температури 100 °С та є процесом енергозатратним. Скорочення часу бланшування або кількості води на бланшування буде залежати від розмірів та м'якості сировини.

Стадія 3 (рис. 1) – насичення сировини цукром. Згідно із традиційними технологіями виробництва цукатів, для насичення використовують цукровий сироп (70 % мас) у співвідношенні “цукат : сироп = = 1:2(2.5)” [13, 16]. Таке співвідношення у деяких випадках може призвести до перевитрати сиропу.

Стадія 4(5) (рис. 1) – сушіння цукатів. Процес відбувається на чотирьох стрічках у стрічковій сушарці. Тепловим агентом є повітря температурою 70 °С та загальною кількістю 33000 м<sup>3</sup>/год, яке

надходить у сушарку знизу вверх. Вологість цукатів до сушіння становить 60 % (мас), після сушіння – 20 %. На першій стадії сушіння (стадія 4) цукати сушать до вологості 30 %, на другій (стадія 5) – до вологості 20 %. Сушіння цукатів є довготривалим та енергозатратним.

Автори статті запропонували вдосконалити традиційну схему виробництва цукатів з моркви, зменшуючи енергозатрати на кожній стадії виробництва. Продуктивність за вихідною сировиною (1300 кг/год) та вихід готового продукту (960 кг/год) залишаються незмінними. Вдосконалену схему виробництва цукатів з моркви наведено на рис. 2. Введені в технологічний процес зміни на схемі позначено жирним курсивом (рис. 2).

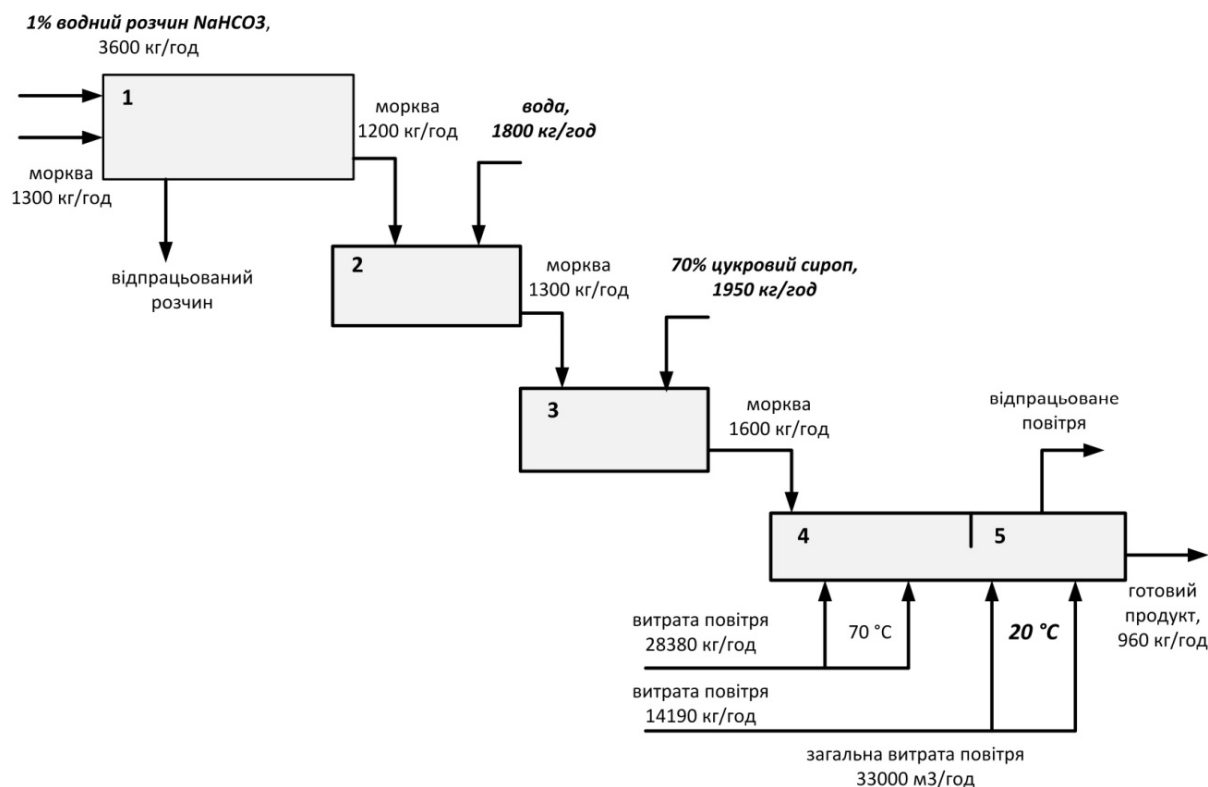


Рис. 2. Енергоощадна схема виробництва цукатів з моркви:

1 – стадія миття та нарізання; 2 – стадія бланшування; 3 – стадія насичення;  
 4 – стадія сушіння за температури 70 °С; 5 – стадія сушіння за температури 20 °С

Стадія 1 (рис. 2) – миття та нарізання. Запропоновано сиру неочищену моркву обробляти 1 % водним розчином питної соди ( $\text{NaHCO}_3$ ) за температури 40 °С. Ця хімічна сполука не шкодить організму, є втричі дешевшою за собівартістю, ніж їдкий натр  $\text{NaOH}$ , використовуваний у традиційній технології. Крім цього, питна сода за хімічними властивостями здатна пом'якшувати

сировину та збільшувати площу поверхні міжклітинного простору в ній.

Стадія 2 (рис. 2) – бланшування. Оскільки очищена питною содою сировина є пом'якшеною та зі збільшеною площею поверхні міжклітинного простору в ній, скорочується тривалість бланшування, тому кількість води на бланшування можна зменшити з 2400 кг/год до 1800 кг/год.

Стадія 3 (рис. 2) – насичення сировини цукром. Згідно із результатами наших досліджень [16], кількість цукрового сиропу візьмемо у співвідношенні “цукат : сироп = 1:1,5”. Таке співвідношення є цілком достатнім для насичення цукатів до необхідної концентрації цукру в них. Тобто зменшимо витрату сиропу з 2600 кг/год до 1950 кг/год.

Стадія 4 (рис. 2) – сушіння цукатів. Тепловий агент температурою 70 °С профільтронується знизу вверх крізь чотири стрічки стрічкової сушарки і цукати сушаться до вологості 30 %, аналогічно до схеми, наведеної на рис. 1. Шари цукатів на нижніх стрічках транспортера досягають кінцевої вологості, їх температура дорівнює температурі теплового агента.

Стадія 5 (рис. 2) – сушіння цукатів. Шари цукатів на нижніх стрічках транспортера в масообміні участі не беруть, а лише накопичують в собі теплову енергію. Ми запропонували новий спосіб сушіння цукатів [17], згідно із яким тепловий агент температурою 20 °С профільтронується знизу вверх і цукати сушаться до вологості 20 %. Висушити у такий спосіб цукати можливо за допомогою теплоти, що накопичується в цукатах на нижніх стрічках транспортера.

### Результати досліджень та їх обговорення

Для підтвердження енергоефективності цієї технології виконаємо розрахунок затрат енергії на кожній стадії виробництва цукатів традиційним методом та методом, який ми запропонували. Розрахунок здійснено із використанням універсальної моделювальної програми ChemCad. Для складання моделі технологічної схеми використано модулі, що зображені на рис. 3,4, а саме: модулі 1–3, що відображають стадії виробництва 1–3, являють собою модель Solids Washer (WASH) з інтенсивним перемішуванням (ефективність перемішування 0,98); модулі 4–5, що відображають стадії виробництва 4–5, являють собою модель Dryer (DRYE).

Змодельюємо традиційну схему виробництва цукатів з моркви. Всі вихідні дані відповідають технології, зображеній на рис. 1.

Вхідними потоками в модуль 1 (рис. 3), що відповідає стадії промивання сировини (стадія 1), є потік 1 – сировина та потік 3 – 0,1 % розчин їдконого натру. Загальна температура 40 °С. Вихідні потоки – промита сировина (потік 4) та вода з відходами (потік 2).

Вхідними потоками в модуль 2 (рис. 3), що відповідає стадії бланшування (стадія 1), є потік 4 – промита сировина та потік 6 – вода, продуктивністю 2400 кг/год. Загальна температура 100 °С. Вихідні потоки – бланшована сировина (потік 7) та відпрацьована вода (потік 5).

Вхідними потоками в модуль 3 (рис. 3), що відповідає стадії насичення цукровим сиропом (стадія 3), є потік 7 – промита сировина та потік 6 – сироп продуктивністю 2600 кг/год. Загальна температура 100 °С. Вихідні потоки – бланшована сировина (потік 7) та відпрацьована вода (потік 5).

Вхідними потоками в модуль 4 (рис. 3), що відповідає стадії сушіння цукатів до вологості 30 % (стадія 4), є потік 11 – насичена сировина та потік 9 – повітря. Загальна температура 70 °С. Вихідні потоки – висушений до вологості 30 % цукат (потік 14) та відпрацьоване повітря (потік 12).

Вхідними потоками в модуль 5 (рис. 3), що відповідає стадії сушіння цукатів до вологості 20 % (стадія 5), є потік 14 – висушені до вологості 30 % цукати та потік 9 – повітря. Загальна температура 70 °С. Вихідні потоки – висушений до вологості 20 % цукат (потік 16) та відпрацьоване повітря (потік 15).

Ентальпію, константу фазової рівноваги і, як наслідок, енергозатрати загалом розраховано за допомогою термодинамічних моделей NRTL та Latent Heat відповідно, які є складовою універсальної моделювальної програми ChemCad [18].

Результати моделювання зображено на рис. 3. Визначені енергетичні затрати на кожній стадії традиційної технології виробництва як результати моделювання наведено в таблиці.

Змодельюємо енергоощадну схему виробництва цукатів з моркви. Всі вихідні дані відповідають технології, зображеній на рис. 2. Як видно з рис. 4, модель аналогічна до моделі, наведеної на рис. 3. Тому наведемо лише відмінності в технології (рис. 2), згідно із якими змодельована енергоощадна схема (рис. 4).

Модуль 1 – потік 3 являє собою 1 % розчин  $\text{NaHCO}_3$ . Модуль 2 – витрата води на бланшування становить 1800 кг/год (потік 6). Модуль 3 – витрата сиропу для насичення сировини – 1950 кг/год (потік 8). Модуль 5 – температура теплового агента дорівнює 20 °С (потік 13).

Результати моделювання подано на рис. 4. Визначені енергетичні затрати на кожній стадії енергоощадної технології виробництва як результати моделювання наведено в таблиці.

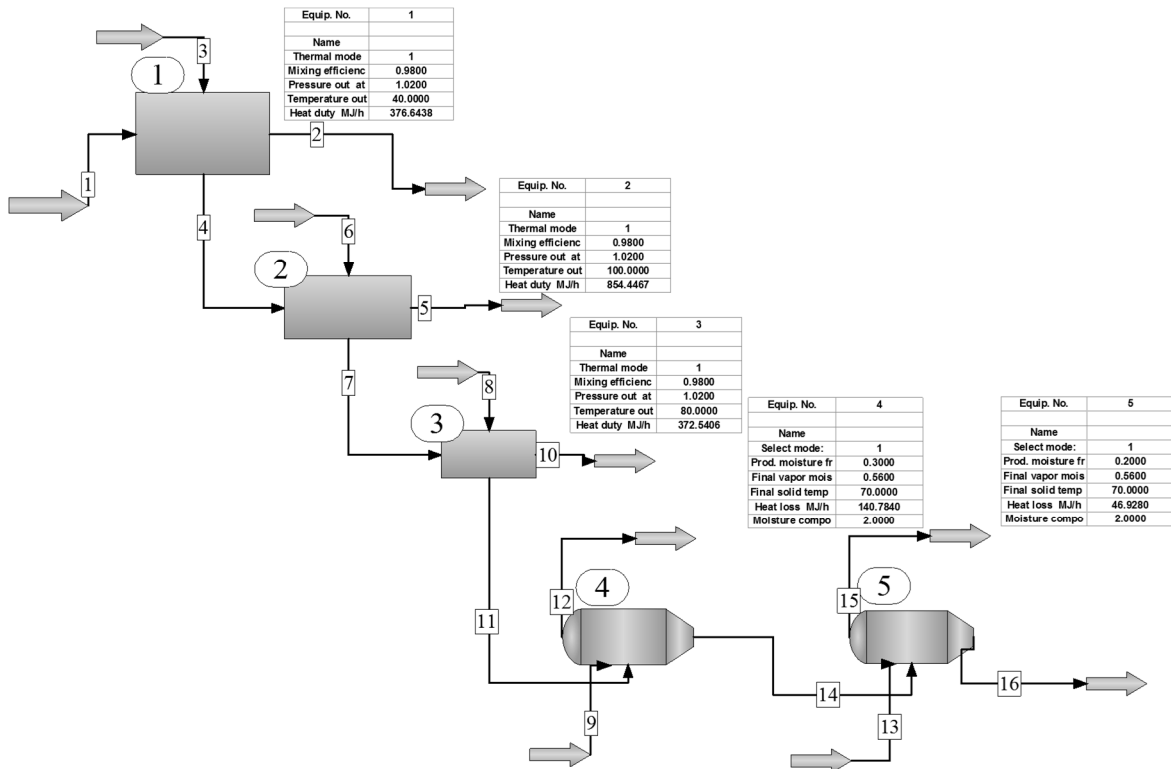


Рис. 3. Змодельована традиційна схема виробництва цукатів з моркви:

1 – стадія промивання (модель Solids Washer (WASH)); 2 – стадія бланшування (модель Solids Washer (WASH)); 3 – стадія насичення (модель Solids Washer (WASH)); 4(5) – стадія сушіння повітрям температурою 70 °C (модель Dryer (DRYE))

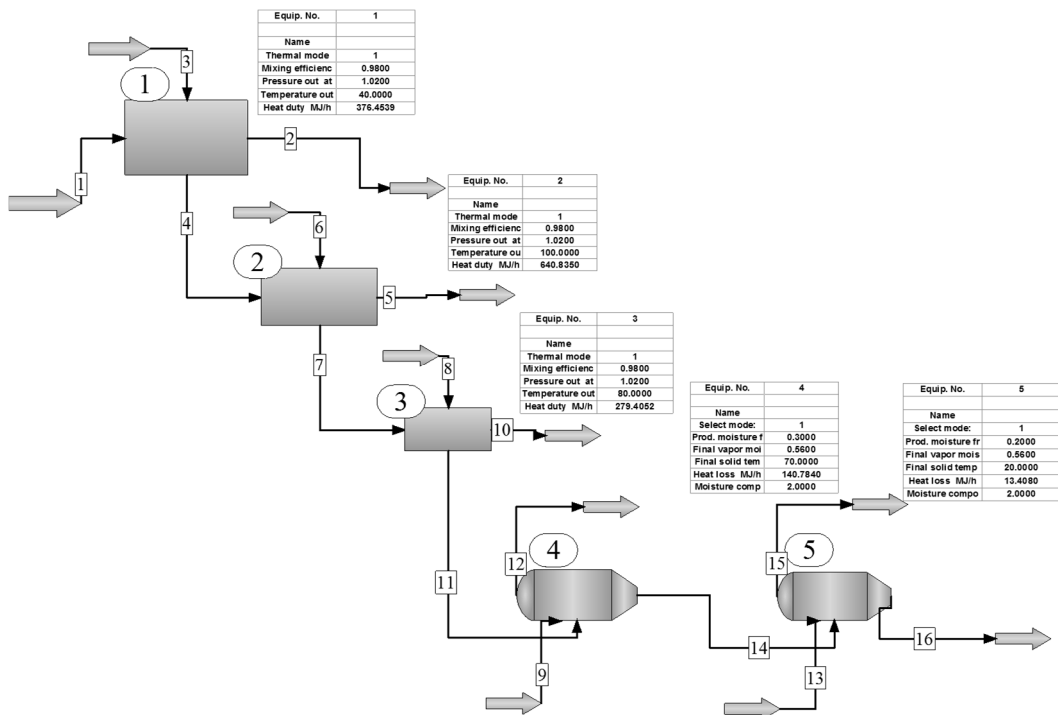


Рис. 4. Змодельована енергоощадна схема виробництва цукатів з моркви:

1 – стадія промивання (модель Solids Washer (WASH)); 2 – стадія бланшування (модель Solids Washer (WASH)); 3 – стадія насичення (модель Solids Washer (WASH)); 4 – стадія сушіння повітрям температурою 70 °C (модель Dryer (DRYE)); 5 – стадія сушіння повітрям температурою 20 °C (модель Dryer (DRYE))

Аналізуючи таблицю, можна зробити висновок, що енергоефективності досягнуто на кожній стадії виробництва. На стадії миття енергоефективність незначна (0,19 МДж/год) та вартісна перевитрата за рахунок використання 1 % розчину питної соди. Проте використання питної соди забезпечує значну енергоефективність на стадії бланшування сировини (213,565 МДж/год). На стадії насичення енергоефективність 93,14 МДж/год

за рахунок зменшення витрати сиропу. На стадії сушіння енергоефективність 33,528 МДж/год за рахунок досушування цукатів тепловим агентом температурою 20 °С. Також у таблиці наведено енергоефективність впровадженої технології у кДж/кг готового продукту.

Отже, як видно з таблиці, загальна енергоефективність упровадженої технології становить 340,4 МДж/год, або 354,6 кДж/кг готового продукту.

Таблиця

**Енергоефективність упровадженої технології виробництва цукатів**

Стадії виробництва	Енергозатрати традиційної технології виробництва цукатів, МДж/год	Енергозатрати впровадженої технології виробництва цукатів, МДж/год	Енергоефективність упровадженої технології, МДж/год	Енергоефективність упровадженої технології, кДж/кг готового продукту
миття	376,64	376,45	0,19	0,20
бланшування	854,4	640,835	213,565	222,46
насичення	372,54	279,4	93,14	97,02
сушіння	187,712	154,184	33,528	34,93
Сумарні енергозатрати	1791,3	1450,87	–	–
<b>Сумарна енергоефективність</b>	–	–	<b>340,4</b>	<b>354,6</b>

**Висновки**

Проаналізовано традиційну схему виробництва цукатів із моркви та розроблено енергоощадну схему виробництва, у якій запропоновано промивати сировину 1 % розчином NaHCO<sub>3</sub>, зменшити витрату води на бланшування, а також витрату сиропу для насичення сировини цукром та сушити цукат у змінному температурному режимі, а саме: на початкових стадіях тепловим агентом температурою 70 °С, на завершальній стадії – тепловим агентом 20 °С.

В універсальній моделювальній програмі ChemCad змодельовано традиційну та енергоощадну схеми виробництва цукатів з моркви. Проаналізовано результати моделювання, енергозатрати та енергоефективність на кожній технологічній стадії. Доведено, що загальна енергоефективність впровадженої технології становить 340,4 МДж/год, або 354,6 кДж/кг готового продукту.

**References**

- Dem'janov, V. D. (2014). Exergy analysis of production line candied fruit. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 4, 38–43. (in Russian). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2014-4-38-43>
- Belenkaya, I. R., Golinskaya, Ya. A. (2016). Technological aspects of production of the candied fruits from non-traditional raw material. *Harčova Nauka Ī Tehnologîâ*, 10(2), 50–57. <https://doi.org/10.15673/fst.v10i2.156>
- Bekele, Melkam, Satheesh, Neela, Sadik, J. A., (2020). Screening of Ethiopian mango cultivars for suitability for preparing jam and determination of pectin, sugar, and acid effects on physico-chemical and sensory properties of mango jam. *Scientific African*, 7, 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00277>
- Samilyk, M., Helikh, A., Bolgova, N., Ryzhkova, T., Sirenko, I., Fesyun, O. (2020). Substantiation of the choice of fillers for cottage cheese masses. *Eureka: Life Sciences*, 2, 38–45. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2020.001210>
- Kalugina, I., Dzyuba, N., Yakymenko, I. (2019). The prophylactic granola development with increased iodine content. *Naukovyj Visnyk L'vivs'kogo Nacional'nogo*

Universytetu Veterynarnoi' Medycyny ta Biotehnologij Imeni S.Z. G'zhyc'kogo. Serija: Harchovi Tehnologii', 21(91), 60–68. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9111>

6. Wypchoł A., Tomasiak, I. B., Fortuna, T., Gałkowska, D., Pietrzyk, S. (2010). The influence of storage conditions of candied fruits enriched with vitamin c by different methods on its content. *Potravinarstvo*, 4(2), 65–66. <https://doi.org/10.5219/55>

7. Telezhenko, L., Bilenka, I., Zolovska, O., Lazarenko, N. (2018). The development of technology of dairy-vegetative dessert with functional additives. *Naukovyj Visnyk Lvivs'kogo Nacional'nogo Universytetu Veterynarnoi' Medycyny ta Biotehnologij imeni S. Z. G'zhyc'kogo. Serija: Harchovi Tehnologii'*, 20(90), 46–52. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32718/nvlvet9010>

8. Paramonova, V. A., Kudryvtsev, V. N. (2019). Drying processes of pumpkin candied fruits in the microwave field: Studying the oscillating mode of energy supply. *Vestnik MGTU*, 22(3), 379–385. (in Russian). <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2019-22-3-379-385>

9. Hosovsky, R., Kindzera, D., Atamanyuk, V. (2016). Diffusive Mass Transfer during Drying of Grinded Sunflower Stalks. *Chemistry & Chemical Technology*, 4(10(4)), 459–463. <https://doi.org/10.23939/chcht10.04.459>

10. Guz'ova, I. O., Atamanjuk, V. M. (2020). Doslidzhennja kinytyky sushinnja cukativ z garbuza. *Naukovi praci*, 84(1), 34–41. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15673/swonaft.v84i1.1866>

11. Kac, Z. A. (1984). Proizvodstvo sushenyh ovoshhej, kartofelja i fruktov. Moskva: Legkaja i pishhevaja promyshlennost', 216 s. (in Russian).

12. Ostrikov, A. N., Skladchikova, Ju. V., Sturova, E. Ju., Sviridov, D. A. (2013). Patent RF No. 2449544 Tehnologicheskaja linija proizvodstva fruktovyh chipsov. Rossijskaja federacija. (in Russian).

13. Pavlov, L. V., Golubkina, N. A., Shilo, L. M., Baranova, E. V., Khimich, G. A. (2017). Candied pumpkin; technology for its preparation and standard for organization. *Ovoši Rossii*, 1, 39–41. (in Russian). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2017-1-39-41>

14. Krasovickij, Ju. V., Ostrikov, A. N., Dem'janov, V. D. (2015). Patent No. 2543282. Tehnologicheskaja linija proizvodstva cukatov. Rossijskaja federacija. (in Russian)

15. Zaharenko, V. O., Nepochatyh, T. A. (2003). Patent No. 57419 A. Sposib vyrobnyctva cukativ z garbuza ta morkvy. Ukrai'na. (in Ukrainian).

16. Guz'ova, I. O., Atamanjuk, V. M. (2020). Doslidzhennja kinytychnyh procesiv nasychennja cukativ v promyslovyh umovah. *Chemistry, Technology and Application of Substances*, 3(2), 102–108. (in Ukrainian).

17. Huzova, I. (2020). Investigation of the energy-saving method during candied fruits filtration drying. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 64(4), 555–561. <https://doi.org/10.3311/PPch.15107>

18. Gerber, R. P., Soares, R. P. (2013). Assessing the reliability of predictive activity coefficient models for molecules consisting of several functional groups. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 30(1), 1–11. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322013000100002>

**I. O. Huzova, V. M. Atamanyuk**

Lviv Polytechnic National University,  
Department of Chemical Engineering

## ENERGY ANALYSIS OF THE PRODUCTION LINE FOR CANNED CARROT PRODUCTION

An energy-saving scheme for the production of candied carrots has been developed. The developed scheme includes: washing of raw materials with 1 % NaHCO<sub>3</sub> solution, reduction of water consumption for blanching, reduction of syrup consumption for saturation of raw materials with sugar. A new drying technology is introduced: candied fruits are dried in a variable temperature mode, namely: in the initial stages with a heat agent at a temperature of 70 °C, at the final stage – with a heat agent at a temperature of 20 °C. The process of modeling the traditional and energy-saving scheme of candied carrot production in the universal simulation software ChemCad is carried out. The simulation results are analyzed. It is proved that the total energy efficiency of the implemented technology is 340.4 MJ/h or 354.6 kJ/kg of finished product.

**Key words:** candied fruits; syrup; blanching; drying; energy efficiency.