

Все ж таки найкращі результати сушіння відповідають ступінчатому режимові 65/50°C, що найкраще зберігає нативні властивості насінневого матеріалу.

#### Література

1. Снежкін Ю.Ф. Теплообмінні процеси під час одержання каротиновмісних порошків / Ю.Ф. Снежкін, Ж.О. Петрова. - К.: Академперіодика, 2007. – 162 с.
2. Снежкін Ю.Ф. Безвідходна технологія отримання коротиновмісної пасти / Ю.Ф. Снежкін, Ж.О.Петрова, Т.О. Михайлик, // Труды Международной научно-практической конференции школы-семинара “Повышение энергетической эффективности пищевых и химических производств” Одесса – 2007.
3. Гержой А.П. Зерносушение и зерносушилки / А.П. Гержой, В.Ф. Самочетов – М.: Колос, 1967.– 255 с.
4. Гинзбург А. С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов/ А.С. Гинзбург – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 528 с.
5. Снежкін Ю.Ф. Теплонасосна зерносушарка для насінневого зерна / Ю.Ф. Снежкін, В.М. Пазюк, Ж.О. Петрова, Д.М. Чалаєв. - К.: Поліграф-Сервіс, 2012. – 154 с.

УДК 664.8.047.014

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОТИ ВИПАРОВУВАННЯ ВОЛОГИ З БЕТАНІНОВМІСНОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ В ПРОЦЕСІ ЗНЕВОДНЕННЯ МЕТОДОМ СИНХРОННОГО ТЕПЛОВОГО АНАЛІЗУ

**Петрова Ж.О., д-р техн. наук, пров. наук. співр., Снежкін Ю.Ф., чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, професор, Самойленко К.М., мол. наук. співр.  
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ**

*У даній статті висвітлюються принципово нові способи збереження бетаніну столового буряку та суттєвого зниження енерговитрат на процес сушіння завдяки розробленій енергоефективній теплотехнології переробки столового буряку із застосуванням методу створення функціональних композицій з рослинної сировини безпосередньо перед сушінням. Також були проведені калориметричні дослідження з визначення теплоти випаровування вологи композиційних сумішей.*

*This article reveals innovative ways to store betanin in beets and a significant reduction in energy consumption in the drying process developed thanks to energy-efficient technology processing the beets, using the method of creating functional composition of plant material directly before drying. There were also conducted studies to determine heat of evaporation composite mixtures using calorimeter.*

Ключові слова: сушіння, бетанін, енергоефективність, зневоднення, теплота випаровування.

Для виробництва харчових продуктів зі збереженням їх поживних речовин необхідні додаткові прийоми обробки сировини, які відсутні в сучасних технологіях. Недоліками існуючих способів переробки столового буряку є значні втрати біологічно активних речовин (від 20 до 80 %).

Беталаїни, знайдені в столовому буряку, це водорозчинні пігменти, які раніше відносили до антоціанів. Вони виявлені у вакуолях клітин. Однак, беталаїни структурно і хімічно відрізняються від антоціанів і ніколи не були виявлені в одній рослині одночасно [1]. Наприклад, беталаїни містять у своїй структурі азот, тоді як антоціани його не мають. Зараз відомо, що беталаїни представляють собою ароматичні індольні сполуки, які синтезуються із тирозину. Вони не подібні хімічно до антоціанів, а також флавоноїдів [2]. Кожний з беталаїнів являє собою глікозид, який містить цукор і барвникову частину. Їх синтез стимулюється світлом [3].

Є два типи беталаїнів: бетаціаніни, які включають пігменти від червоного до фіолетового кольору і бетаксантини, які мають жовтий і помаранчевий колір. Найкраще вивчений із беталаїнів – бетанін (Betanin), який ще називається буряково-червоний (Beetroot Red). Бетанін є глікозидом, він гідролізується на глюкозу та бетанідін. Бетанін представляє собою глікозидний харчовий барвник, що виробляють з столових буряків [4].

Таким чином, столовий буряк є важливою сировиною для виробництва багатьох овочевих консервів, в тому числі для дієтичного та лікувально-профілактичного харчування. Але основною проблемою при його переробці залишається зберігання природного кольору, навіть після термічної обробки. Збереження натурального кольору столового буряку (бетаніну) є основною метою при створенні антиоксидантних продуктів на основі буряку.

Для підвищення стабільності пігментів столового буряку та збереження його кольору рекомендується додавати аскорбінову, сорбінову, лимонну, оцтову, молочну кислоти до досягнення рН 3...5 або соки: яблучний та чорноплідної горобини, або квашену капусту, або пюре з горобини. Також у якості стабілізуючих добавок можна вносити карамельну патоку, фосфат натрію, хлорид натрію. Значний стабілізуючий ефект дають екстракт насіння винограду, чай, відвар дубових жолудів, вишневий та кизилловий екстракт [5].

Запропоновані методи стабілізації бетаніну підвищують його стабільність, однак вони не знайшли належного застосування в харчовій та консервній промисловості. У зв'язку з цим актуальним є пошук нових ефективних методів зберігання барвних речовин столового буряку при його переробці.

Оскільки столовий буряк при зберіганні втрачає до 70% барвних речовин, а при сушінні з високими температурами теплоносія їх втрати можуть досягнути 85%, то для стабілізації бетаніну шляхом створення оптимального рН середовища нами раніше був розроблений метод гіротермічної обробки цілих коренеплодів буряку в кислому середовищі. Цей метод дозволяє отримати збереження бетаніну на рівні майже 96 % при досить тривалому терміні зберігання [6]. Але така гіротермічна обробка є енергоємною та потребує багато часу, тому було розроблено новий метод створення оптимального рН середовища. Запропоновано створювати перед сушінням функціональні композиції з рослинної сировини на основі буряку з додаванням лимону, ревеню чи томату.

Для проведення досліджень використовували паренхімні тканини столового буряку, ревеню, лимону, томату, подрібнені на шматочки, та їх функціональні суміші. Оскільки стабілізація бетаніну відбувається у середовищі з рН 3,2...4,0, композиції столовий буряк – ревінь, столовий буряк – лимон, столовий буряк – томат складались у таких співвідношеннях, щоб отримати необхідний рН.

Сушіння сировини проводилось на експериментальному сушильному стенді в широкому діапазоні режимних параметрів, температура змінювалась в інтервалі 50...100 °С, швидкість повітря 1,5...3,5 м/с, вологовміст теплоносія 7...15 г/кг сухого повітря, товщина шару 2...20 мм., з безперервним автоматичним збором та обробкою інформації про зміну маси, температури зразка за допомогою розробленої прикладної програми [7].

В межах розробки запропонованого методу попередньої обробки досліджували вплив попереднього компонування рослинної сировини на збереження бетаніну в кінцевому продукті та на витрати теплоти на зневоднення.

Вміст бетаніну визначали за спектрами поглинання, використовуючи величину оптичної густини при довжині хвилі 540 нм на спектрометрі СФ-26 [8].

Для визначення питомих витрат теплоти на випаровування вологи з бетаніновмісної рослинної сировини під час сушіння було використано диференціальний мікрокалориметр випаровування ДМКИ-01, [9]. Робота приладу заснована на методі синхронного теплового аналізу: одночасному застосуванні термогравіметрії і диференціальної калориметрії. Під час ізотермічного сушіння зразка всередині теплового блоку калориметру здійснюють одночасне поточне вимірювання кількості теплоти, витраченої на випаровування вологи з матеріалу, і відповідне зменшення маси зразка. Поточні значення теплоти випаровування вологи зі зразка під час досліду визначають після закінчення досліду за формулою:

$$r_i = \frac{\int_{\tau_i}^{\tau_{i+1}} Q(\tau) d\tau}{m(\tau_i) - m(\tau_{i+1})} \quad (1)$$

де  $r_i$  – питомі витрати теплоти на випаровування за час сушіння від  $\tau_i$  до  $\tau_{i+1}$ , кДж/кг;

$\tau_i$  та  $\tau_{i+1}$  – поточні моменти часу процесу сушіння, с;

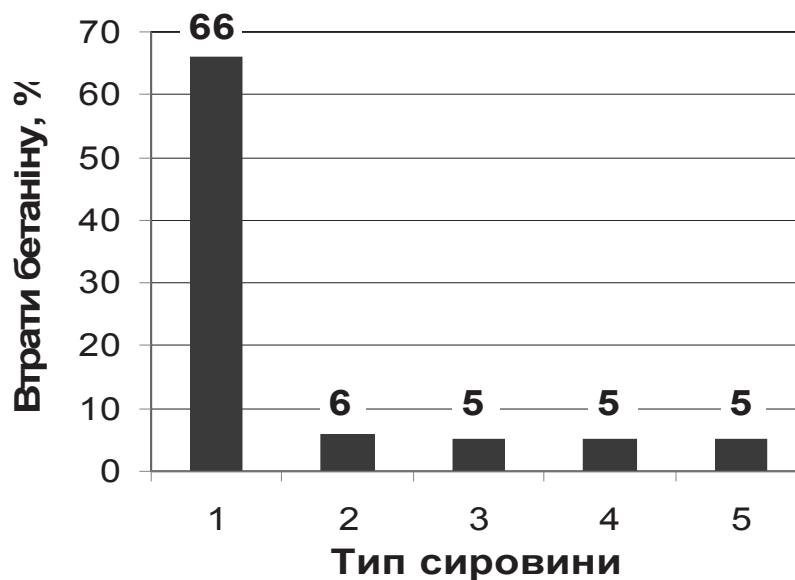
$Q(\tau)$  – тепловий потік всередині робочої камери теплового блоку ДМКИ-01 як функція часу, Дж/с;

$m(\tau_i)$  та  $m(\tau_{i+1})$  – маса зразка в моменти часу  $\tau_i$  та  $\tau_{i+1}$ , кг.

Для виявлення отриманого ефекту стабілізації бетаніну було досліджено втрати бетаніну під час сушіння при  $t = 60$  °С у буряку без попередньої підготовки, у буряку з попередньою гіротермічною обробкою цілих коренеплодів у підкисленому середовищі та в композиціях буряку з ревенем, томатом та лимоном у відповідних співвідношеннях, необхідних для створення оптимального рН середовища (рис.1). Як видно з рисунку втрати бетаніну під час сушіння столового буряку без попередньої обробки становлять 66%. Варка цілих коренеплодів у підкисленому середовищі з рН 3,2...4 зменшує втрати при сушінні

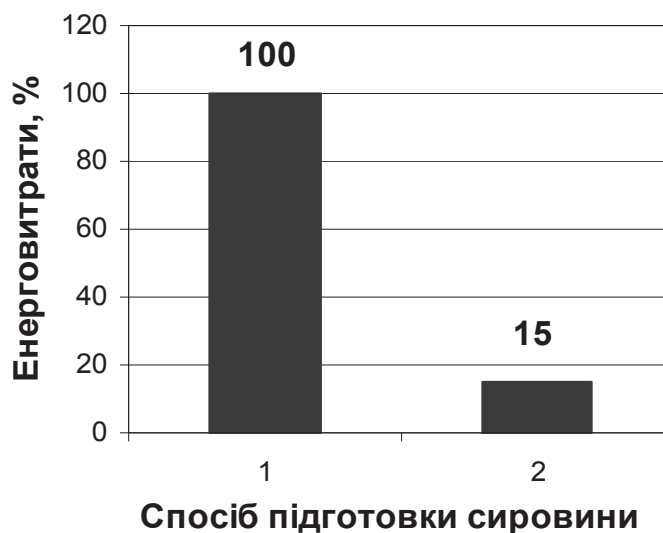
до 6 %. Попереднє створення запропонованих функціональних композицій на основі столового буряку мінімізує втрати бетаніну при сушінні до 5 %.

На процес попередньої гідротермічної обробки буряку (варка цілих коренеплодів протягом 40 хв.) витрачається певна кількість енергії. Якщо ці витрати прийняти за 100 % (рис.2), то на підготовку сировини способом створення необхідного рН середовища за допомогою змішування подрібненого буряку з подрібненим томатом, лимоном чи ревенем витрачається приблизно 15 % енергії. Отже, розроблений спосіб підготовки до сушіння бетаніновмісної сировини дав можливість не тільки мінімізувати втрати бетаніну під час сушіння до рівня 5 %, але ще і зменшити витрати енергії на попередню обробку на 85 %.



1 – буряк без гідротермічної обробки; 2 – буряк гідротермічно оброблений;  
 3 – буряк-рєвїнь (купажування); 4 – буряк-лимон (купажування);  
 5 – буряк-томат (купажування)

Рис. 1 – Втрати бетаніну при сушінні сировини різного типу та виду попередньої обробки

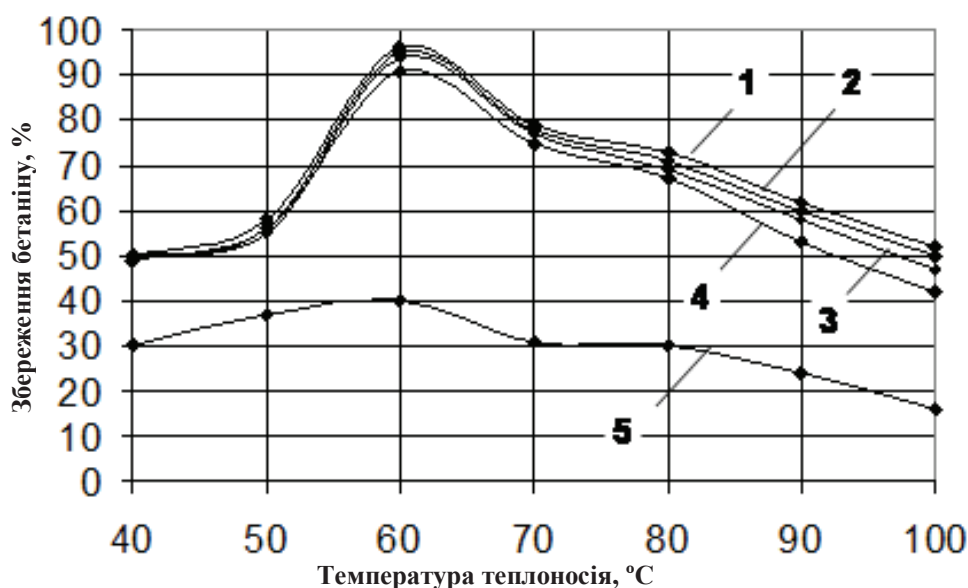


1 – гідротермічна обробка сировини; 2 – удосконалена обробка сировини

Рис. 2 – Втрати енергії на стадії підготовки сировини до сушіння

Дослідження залежності ступеню збереження бетаніну в кінцевих продуктах конвективного сушіння від температури теплоносія показало (рис.3), що максимальне (до 94,0...96,5 %) збереження бетаніну в

бурякових сумішах, як і в буряку гіротермічно обробленому при рН середовищі 3,2...4, відбувається при температурі теплоносія біля 60 °С. При температурах 40...50 °С ступінь збереження бетаніну знаходиться на рівні 55...58 %. Це пояснюється тим, що столовий буряк містить фермент беталаїнооксидазу, оптимальними умовами для виявлення ферментативної активності якої є температура  $t = 40^{\circ}\text{C}$  і рН = 2...3 середовища. У зв'язку з цим у подрібненому буряку при температурі 40...50 °С відбувається підвищення активності ферментів, істотне руйнування та окислення бетаніну. При підвищенні температури від 60 до 100 °С відсоток збереження бетаніну поступово зменшується і при температурі теплоносія 100 °С знов досягає рівня 50 %. Ступінь збереження бетаніну в столовому буряку необробленому коливається біля 30 % при температурі теплоносія 40...80 °С, а при підвищенні температури до 90...100 °С відсоток збереження бетаніну зменшується до 24...16 %.



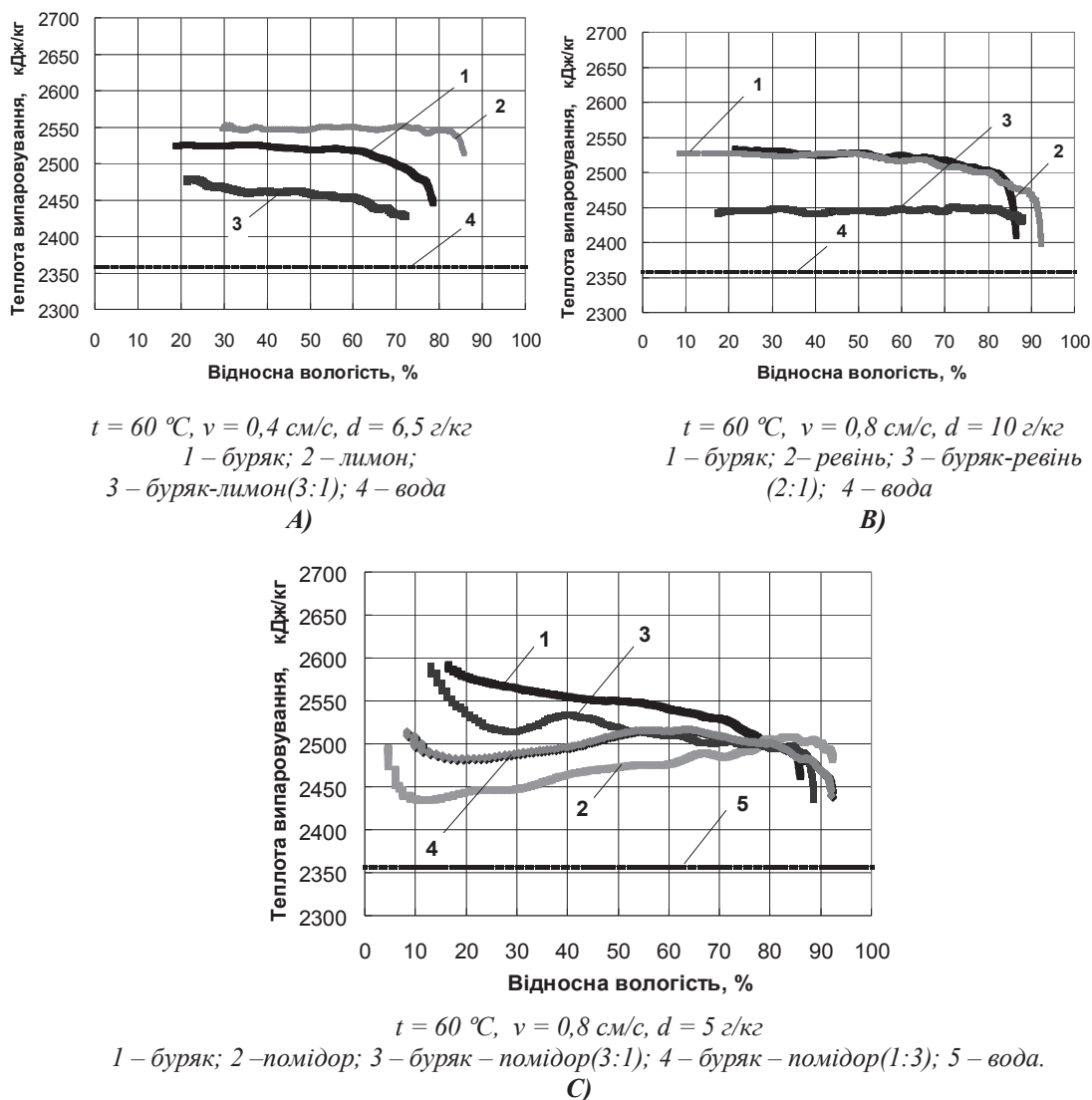
1 – буряк гіротермічний; 2 – буряк-ревіль (2:1); 3 – буряк-лимон (3:1);  
4 – буряк-томат (3:1); 5 – буряк необроблений.

**Рис. 3 – Вплив температури сушіння на збереження бетаніну в сировині різного типу та виду по передньої обробки.**

Таким чином, сушіння зазначених функціональних композицій на основі буряку, як і буряку гіротермічно обробленого, дозволяє досягти значного, порівняно з сушінням свіжого буряку, ступеню збереження бетаніну. Аналізуючи результати збереження бетаніну можна зробити висновок, що найкраще збереження бетаніну під час конвективного сушіння відбувається при температурі теплоносія 60 °С. Тобто, сушіння композицій при температурі 60 °С є оптимальним за якісними показниками.

При розрахунках енергетичних витрат на процес сушіння, крім витрат часу, необхідне знання питомих витрат теплоти на випаровування води. Практика сушіння цілого ряду складних рослинних матеріалів вказує на істотну відмінність реальних значень витрат теплоти на випаровування з них вологи від теплоти випаровування чистої води. Оскільки зростання енергетичних витрат при сушінні рослинних матеріалів пов'язують з утрудненою проникністю клітинних оболонок для води та складністю видалення води, яка взаємодіє з розчинними молекулами клітинного соку і молекулами скелету матеріалу, важливо було дослідити вплив створення функціональних композицій з рослинної сировини на питому теплоту її випаровування.

Сушіння відбувалося всередині теплового блоку ДМКИ-01 при оптимальній за якісними показниками температурі 60 °С. Результати цих дослідів представлено на рис. 4. Значення швидкості та вологості повітря, яке використовувалось у якості теплоносія, наведені у підписах до рисунків.



**Рис. 4 – Порівняльна характеристика теплоти випаровування води з антиоксидантної сировини на основі буряку з лимоном (А), ревенем (В) та томатом (С).**

З рисунка 4 А бачимо, що теплота випаровування вологи з буряково-лимонної суміші приблизно на 4...5 % більша від теплоти випаровування чистої води та на стільки ж менша від теплоти випаровування вологи з буряку та лимону окремо. Така ж картина спостерігається для теплоти випаровування вологи з суміші буряку та ревеню та окремо (рис. 4 В). Змішування шматочків подрібнених тканин буряку з шматочками ревеню та лимону, як і попередня гігротермічна обробка буряку у підкисленому середовищі, на нашу думку, призводить до деяких змін в хімічному складі компонентів композиції та руйнуванню клітинних оболонок під впливом органічних кислот. Ці зміни, в даному випадку, призводять до зменшення водоутримуючої здатності рослинних тканин та зменшення на 4...5 % витрат теплоти на випаровування з них вологи.

На рис. 4 С вказані значення теплоти випаровування вологи з томату, буряку та буряково-томатних композицій в порівнянні між собою та теплою випаровування чистої води. З рисунку видно, що значення питомих витрат теплоти на випаровування з суміші буряк-томат (3:1 та 1:3) під час сушіння знаходяться поміж значеннями питомих витрат теплоти на випаровування з тканин буряку та томату окремо. У цьому випадку також відбувається зменшення теплоти випаровування в порівнянні з теплою випаровування столового буряку [10]. В цій композиції нам вдалося досягти ефекту максимального збереження у кінцевому продукті кольору як буряку, так і томату. Їх кольори, навіть, трохи підсилюлись та стали більш яскравими. Можна припустити, що зміни, які відбулися в сировині при створенні композиції буряку з томатом були достатні для створення умов збереження бетаніну буряку та лікопіну томату під час сушіння, але явно недостатні для зменшення водоутримуючої здатності цих рослинних тканин.

**Висновки.** Попередня підготовка бетаніновмісної рослинної сировини методом створення функціональних композицій зі спеціально підібраним співвідношення компонентів дозволяє не лише стабілізувати компоненти нативної сировини, але й скоротити загальні енергетичні витрати під час сушіння за рахунок виключення досить тривалої попередньої гіротермічної обробки в підкисленому середовищі.

Визначено оптимальну температуру сушіння попередньо обробленої бетаніновмісної сировини (буряку), при якій зберігається до 95 % бетаніну, та яка становить 60°C.

Питомі витрати теплоти на випаровування води з розроблених антиоксидантних рослинних композицій на основі буряку з додаванням ревеню та лимону на 4...5% менші, ніж для вихідних компонентів. Відбувається зменшення питомої теплоти випаровування води з суміші різних речовин завдяки змінам в рослинних тканинах вихідних компонентів і утворенню на стадії попередньої обробки принципово нового матеріалу для сушіння.

### Література

1. Bär A., Borrego F., Castillo J., del Rio J. A., Neohesperidin dihydrochalcone: Properties and applications / *Lebensm. Wiss. Technol.* – 1990. 23, pp. 371. available at: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
2. Leticia Christina Pires Gonçalves, Marco Aurélio de Souza Trassi, Nathana Barbosa Lopes, Felipe Augusto Dörr, Monica Teixeira dos Santos, Wilhelm Josef Baader, Vani Xavier Oliveira Jr., Erick Leite Bastos A comparative study of the purification of betanin - *Food Chemistry* – 2012. - 131 (1) pp. 231-238. available at: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
3. Branen A.L., Davidson P.M., Salminen S. *Food Additives.* - Marcel Dekker: New York. – 1990. –300 p.
4. Guesmi A., Ladhari N., Ben Hamadi N., Sakli F. Isolation, identification and dyeing studies of betanin on modified acrylic fabrics - *Industrial Crops and Products*/ - 2012 - 37 (1), pp. 342-346.
5. Дубініна А.А., Пенкіна Н.М., Черевична Н.І., Ольховська В.С. Характеристика пігментного комплексу столового буряку та закономірності змін його кольору. *Технологии и оборудование пищевых производств. Харків.* – 2013 - с. 43 - 47.
6. Патент України 92843 МПК С09В 61/00, А23Р 1/06. Спосіб одержання порошкоподібного харчового барвника зі столового буряку / Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О.; заявник і патентовласник Інститут технічної теплофізики. - № а200905036; заявл.21.05.09; видан 10.12.10; опубл. 25.11.10, Бюл. № 23 – 4 с.
7. Петрова Ж.О. Створення енергоефективних теплотехнологій виробництва функціональних харчових порошоків / Автореферат докторської дисертації. – Київ. – 2013 – 40 с.
8. Тележенко Л.Н., Безусов А.Т., Биологически активные вещества фруктов и овощей: сохранение при переработке. - Одеса: «Optimum» - 2004. - 268 с.
9. Патент України 84075 МПК С12С 1/00. Калориметричний пристрій для визначення питомої теплоти випаровування вологи і органічних рідин з матеріалів / Снежкін Ю.Ф., Декуша Л.В., Дубовікова Н.С., Грищенко Т.Г., Воробйов Л.Й., Боряк Л.А.; заявник і патентовласник Інститут технічної теплофізики НАН України. - № а 200613266; заявл. 15.12.2006; опубл. 10.09.2008; Бюл. № 17 - 10 с.
10. Петрова Ж.О., Снежкін Ю.Ф., Гетманюк К.М., Дмитренко Н.В., Воронцов М.С. Intensifying Drying Process with Creation of Functional Plant Compositions. - *Журнал «Ukrainian Food Journal», Volume 3, Issue 2 - 2014.* - 167-174 с.