

$$\eta = a_{11} C^2 + a_{12} C \cdot T + a_{13} C + a_{23} T + a_{33}, \quad (1.4)$$

де: a_{11} , a_{12} , a_{22} , a_{13} , a_{23} , a_{33} – поки що невідомі коефіцієнти.

Дисперсія S випадкових помилок експерименту рівна

$$S = \frac{\sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^4 (a_{11} C_i^2 + a_{12} C_i \cdot T_j + a_{13} C_i + a_{23} T_j + a_{33} - \eta_{ij})^2}{36}, \quad (1.5)$$

де: C_i, T_j – значення концентрації та температури, за яких вимірювалася концентрація, і які брали із табл. 3 ($i = 1, 2, \dots, 9$; $j = 1, 2, 3, 4$).

Таблиця 3. Стійкість емульсії на основі борошна перлової крупи

Найменування борошна	Концентрація борошна, %	Питома вага незруйнованої емульсії (%) за жиромісту (%)		
		30	50	70
Борошно з перлової крупи	5	68	70	76
	7	83	83	86
	9	91	91	92
	11	91	91	93
	13	93	93	93

Необхідна умова мінімуму дисперсії має вигляд:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^4 (a_{11} C_i^2 + a_{12} C_i \cdot T_j + a_{13} C_i + a_{23} T_j + a_{33} - \eta_{ij}) C_i T_j &= 0 \\ \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^4 (a_{11} C_i^2 + a_{12} C_i \cdot T_j + a_{13} C_i + a_{23} T_j + a_{33} - \eta_{ij}) C_i &= 0 \\ \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^4 (a_{11} C_i^2 + a_{12} C_i \cdot T_j + a_{13} C_i + a_{23} T_j + a_{33} - \eta_{ij}) T_j &= 0 \\ \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^4 (a_{11} C_i^2 + a_{12} C_i \cdot T_j + a_{13} C_i + a_{23} T_j + a_{33} - \eta_{ij}) &= 0 \end{aligned} \quad (1.6)$$

Ці вирази є системою лінійних алгебраїчних рівнянь, шляхом розв'язування котрої і було отримано невідомі коефіцієнти.

Наведена методика була реалізована у середовищі системи комп'ютерної математики MAPLE 10 [2, 3]. Розроблено відповідні програми, які мають великий об'єм і в даній статті не опубліковані. Дослідження в даному напрямку будуть продовжені, а їх результати опубліковані в наступних виданнях.

Список літератури: 1. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 418 с. 2. <http://www.marlesoft.com>. 3. <http://www.microcal.com>

Поступила в редколегію 10.10.2009

УДК 665.391.4

О.А. ЛИТВИНЕНКО, молодший науковий співробітник, НТУ “ХПІ”

А.А. КОТЕЛЕВСЬКА, науковий співробітник, НТУ “ХПІ”

М.Д. КОНЄВ, науковий співробітник, НТУ “ХПІ”

Ф.Ф. ГЛАДКИЙ, докт. техн. наук, проф., НТУ “ХПІ”

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПІДГОТОВКИ ЯДРА СОНЯШНИКУ ДО ЕКСТРАКЦІЇ НА ЯКІСТЬ ХАРЧОВОГО ШРОТУ

В статті за допомогою статистичних методів планування експерименту з’ясовані умови підготовки ядра соняшнику (вологість, тривалість і температура плющення) до прямої екстракції. Показано, що для переробки безлушпинного ядра соняшнику як джерела не тільки олії, а і білкових продуктів достатнє плющення безлушпинного ядра з вологістю 1,5...3,0 % у продовж 1 хв. при температурі 70 °С.

In the article the preparation conditions of sunflower kernel (water content, duration and temperature of bumping) for direct extraction by the instrumentality of statistical technology planning an experiment are ascertained. It is shown that bumping of cover-free sunflower seeds water-contented 1,5...3 % in the pending of 1 minute at the temperature 70 °C above zero will be sufficient for processing of cover-free sunflower seeds in the capacity of source of oil as well as protein products.

В останні роки у світі спостерігається нестача білкових продуктів в раціоні харчування людини, що призводить до росту різноманітних захворювань, пов’язаних з відсутністю білка або його нестачею в їжі, яку споживає людина. Україна не стала винятком, особливо в останній час, зважаючи на значне підвищення цін на м’ясо. Для вирішення проблеми нестачі тваринного білка в харчуванні людини все більше уваги почали приділяти отриманню нових видів білкових і білково-ліпідних добавок та застосуванню їх при виготовленні різних продуктів харчування [1-4].

На сьогоднішній день основною сировиною для виробництва білкових добавок рослинного походження стало насіння сої та продукти його переробки, які імпортуються. Разом з тим як джерело рослинних білків може бути використаний харчовий шрот, отриманий із безлушпинного ядра насіння соняшнику, з огляду на те, що соняшник вирощується в Україні і відрізняється високим вмістом в насінні біологічно повноцінних білків [5,6]. Однак, у теперішній час на олієекстракційних та олієпресових заводах насіння соняшнику переробляють з єдиною метою – виділити із насіння максимальну кількість харчової олії. Для досягнення цієї мети ядро соняшнику переробляють в умовах жорстких технологічних режимів, при яких якість олії, а в особливості білків ядра, поступово погіршуються, збільшується їх втрата [7].

У зв’язку з цим виникає необхідність дослідження можливості зміни технології виробництва рослинних олій зі збереженням біологічно активних речовин, які накопились в ядрі насіння, а також складу і природної структури білків. Попередні дослідження, виконані авторами разом із д.т.н., проф. Іхно М.П., дозволили запропонувати принципово нову схему попереднього знежирення матеріалу, що виключає вологотеплову обробку насіння. Основна ідея роботи – провести дослідження основних закономірностей підготовки безлушпинного ядра до так званої прямої екстракції олії, тобто видалення олії за допомогою розчинника із сирого ядра насіння, яка у перспективі може бути здійснена у крупнотонажному виробництві.

В межах вирішення цієї проблеми було досліджено вплив сушки та умов пресування безлушпинного ядра між двома металевими поверхнями на якість харчового

шроту. Вивчено вплив на вміст водорозчинних білків та залишкову олійність шроту після екстракції таких факторів як: вологість ядра перед пресуванням, тривалість пресування та температурний режим процесу. В роботі використовували безлушпинне ядро насіння соняшнику сорту Ранок (вміст жиру і білка на абсолютно суху речовину 60,3 і 22,3 % відповідно). Пошук оптимальних умов пресування безлушпинного ядра відбувся з використанням методу математичного планування експерименту [8,9]. Використовували композиційне ортогональне планування другого порядку (ЦКОП) з наступним математичним моделюванням в програмних пакетах MathCad і Microsoft Excel. Умови проведення досліджень представлені у таблиці 1.

Таблиця 1. Умови проведення досліджень

Фактори	Вологість ядра, %	Тривалість витримки, хв.	Температура пресування, °С
Код	X_1	X_2	X_3
Основний рівень, X_{i0}	4,5	3	70
Інтервал варіювання, ΔX_i	3,0	2	50
Верхній рівень, +1	7,5	5	120
Нижній рівень, -1	1,5	1	20
Верхня зіркова точка, +1,215	8,1	5,4	131
Нижня зіркова точка, -1,215	0,9	0,6	11

Загальна кількість дослідів склала 17.

На підставі відповідних розрахунків знайдено значення функцій відгуку та одержано рівняння регресій. Залежність залишкового вмісту жиру в шроті після екстракції (Y , % на абсолютно суху речовину) від основних параметрів плющення (вологість матеріалу, тривалість та температура процесу) описується наступним рівнянням. У кодових змінних воно має вигляд:

$$Y = 0,929 + 0,251 \cdot X_1 - 0,136 \cdot X_2 + 0,055 \cdot X_3 - 0,095 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,36 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,101 \cdot X_1^2 + 0,01 \cdot X_2^2 \quad (1)$$

Розрахункове значення критерію Фішера $F_{\text{розрах}} = 3,54$, табличне значення $F_{\text{табл}} = 19,35$ (при рівні значимості 0,05). Оскільки $F_{\text{розрах}} < F_{\text{табл}}$, рівняння (1) адекватно описує поверхню відгуку.

Аналіз цієї моделі показує, що домінуючим фактором є вологість початкового ядра. Помітний вплив справляє також ефект взаємодії вологості початкового ядра та температури процесу. Квадратична залежність вмісту залишкової олійності від вологості початкового ядра та тривалості пресування передбачає наявність екстремальної області значень цих перемінних, при яких залишкова олійність шроту буде оптимальною.

У фізичних перемінних рівняння регресії має вигляд:

$$y = 1,694 - 0,147 \cdot x_1 - 0,147 \cdot x_2 - 0,001 \cdot x_3 - 0,016 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,002 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,012 \cdot x_1^2 + 0,025 \cdot x_2^2 \quad (2)$$

Другим важливим показником якості харчових шротів є вміст водорозчинного білку (Z , % на абсолютно суху та знежирену речовину), що визначається за рівнянням (3). У кодових змінних воно має вигляд:

$$Z = 19,842 - 0,676 \cdot X_1 - 0,606 \cdot X_2 - 4,249 \cdot X_3 - 0,975 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,821 \cdot X_1^2 - 2,477 \cdot X_3^2 \quad (3)$$

Розрахункове значення критерію Фішера $F_{\text{розрах}}=7,08$, табличне значення $F_{\text{табл}}=19,37$ (при рівні значимості 0,05). Оскільки $F_{\text{розрах}} < F_{\text{табл}}$, рівняння (3) адекватно описує поверхню відгуку.

На відміну від попередньої залежності величина цього показника визначається перш за все температурою процесу (X_3). Вплив вологості початкового ядра на розчинність білків також достатньо значний. Квадратична залежність вмісту розчинного білка від вологості початкового ядра та температури також передбачає наявність екстремальної області значень цих перемінних, при яких вихід розчинного азоту буде оптимальним. У фізичних перемінних рівняння регресії має вигляд:

$$z = 18,966 + 1,051 \cdot x_1 - 0,303 \cdot x_2 + 0,083 \cdot x_3 - 0,0065 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,091 \cdot x_1^2 - 0,001 \cdot x_3^2 \quad (4)$$

Знайдені екстремальні значення вказаних функцій представлені в таблиці 2.

Таблиця 2. Параметри плющення

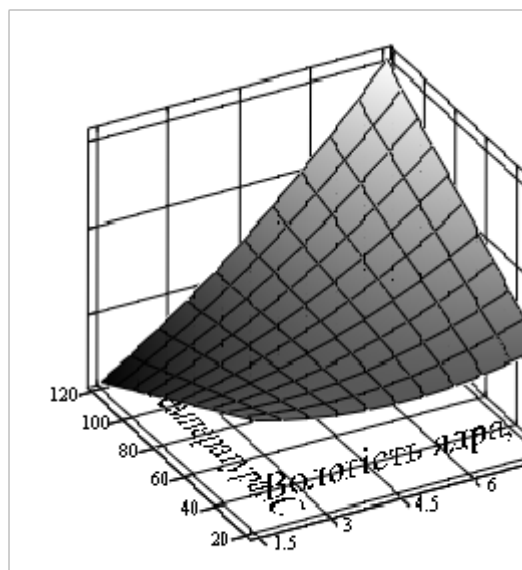
Значення функції, %	Вологість ядра, %	Тривалість витримки, хв.	Температура пресування, °C
Код	X_1	X_2	X_3
<i>Залишкова олійність</i>			
Найбільше значення $y = 2,03$	7,5	1	120
Найменше значення $y = 0,48$	1,5	3	120
<i>Водорозчинний білок</i>			
Найбільше значення $z = 22,22$	4,5	1	20
Найменше значення $z = 9,91$	7,5	5	120

Отже, в ході математичного моделювання встановлена кількісна залежність (у вигляді регресійної моделі) залишкової олійності шроту та вмісту водорозчинного білку від вологості ядра, тривалості та температурного режиму пресування, а також розраховано раціональні параметри процесу.

Відомо, що для виробництва харчових білкових продуктів слід використовувати шрот, який представляє собою продукт з максимально можливим вмістом нативних білків та низьким вмістом ліпідів. Однак, необхідно підкреслити значну різницю в температурних режимах пресування ядра, при яких можна досягти мінімальної залишкової олійності шроту та максимального виходу водорозчинного білка. Результати досліджень підтвердили, що залишкова олійність шроту зменшується з підвищенням температури пресування безлушпинного ядра, але при цьому ж зменшується і вміст водорозчинних білків у харчовому шроті.

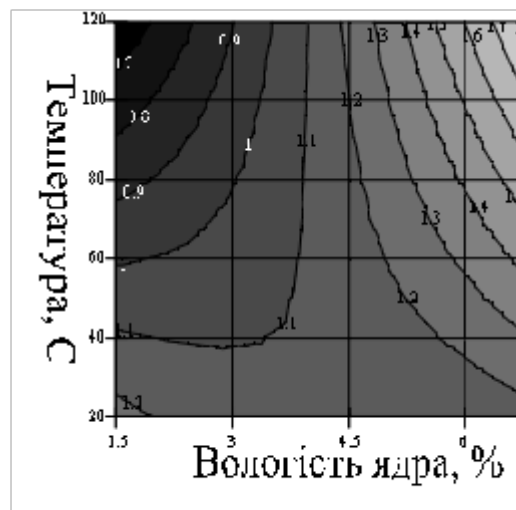
Графічні зображення поверхонь відгуку та зон раціональних значень при тривалості пресування 1 хв. показано на рис.1, 2.

Аналізуючи графічні залежності, наведені на рис. 1, 2 слід зазначити, що для отримання шроту із залишковою олійністю ≤ 1 % та вмістом водорозчинних білків ≥ 20 % при тривалості пресування 1 хв. вологість ядра обмежена значеннями – 1,5...3,0 %, а температура пресування – 58...74 °C. У подальших дослідженнях використовували безлушпинне ядро сорту Ранок з вологістю 2,0 %, яке пресували при температурі 70 °C у продовж 1хв. та екстрагували гексаном. Нижче наведено фізико-хімічні та органолептичні показники шроту, отриманого при даних умовах (табл. 3).



rez

а)

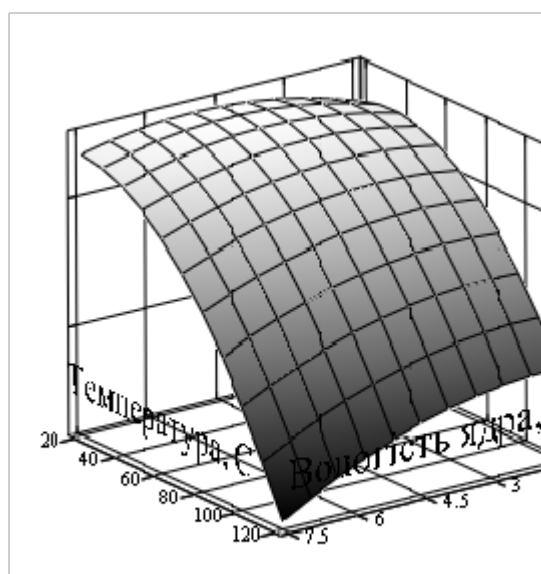


rez

б)

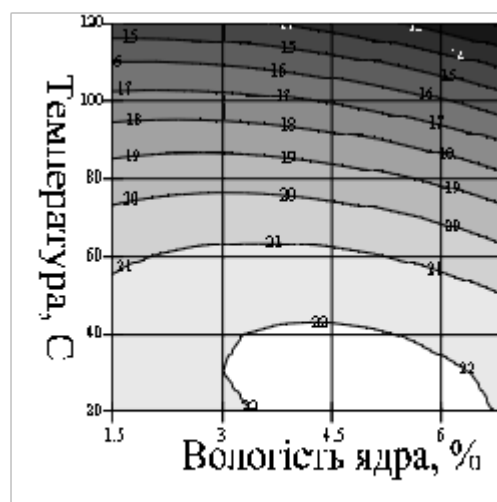
Рис. 1. Залежність олійності шроту від вологості ядра та температурного режиму при тривалості пресування 1 хв.

а) – модель поверхні відгуку; б) – зона раціональних значень



rez

а)



rez

б)

Рис. 2. Залежність вмісту водорозчинного білка від вологості ядра та температурного режиму при тривалості пресування 1 хв.

а) – модель поверхні відгуку; б) – зона раціональних значень

Таблиця 3. Фізико-хімічні та органолептичні показники харчового шроту

Найменування показника	Соняшниковий шрот із безлушпинного ядра
------------------------	---

Масова частка води та летючих речовин, %	7,1
Масова частка сирого жиру на абсолютно суху речовину, %	0,9
Масова частка моно- і дісахаридів на абсолютно суху речовину, %	6,2
Масова частка загальної золи на абсолютно суху речовину, %	7,9
Масова частка сирого клітковини в знежиреному продукті на абсолютно суху речовину, %	4,0
Масова частка фосфатидів в перерахунку на P_2O_5 , %	3,2
Масова частка протеїну на абсолютно суху речовину, %	55,1
Масова частка розчинних протеїнів в шроті до загального вмісту протеїну, %, в тому числі: - водо- і солерозчинних	93,16 84,6
Колір	Білий з кремовим відтінком
Запах	Без запаху

Результати проведених досліджень були покладені в основу розробки способу виробництва харчового шроту [10].

На рис. 3 наведено порівняння способів виробництва харчового та кормового шротів.

Технології видобування олії з насіння олійних культур присвячено велика кількість наукових праць, однак доведено, що високоолійні культури не можна переробляти методом прямої екстракції. Загально прийнята технологія переробки таких культур включає 2 етапи: часткове знежирення у пресах після волого-теплової обробки подрібненого ядра насіння і екстракцію олії з напівзнежиреного продукту вуглеводневим розчинником.

Техніко-економічний результат від використання запропонованого способу виробництва харчового шроту полягає в тому, що із звичайної технології виключаються процеси подрібнення ядра в м'ятку, інактивації ферментів м'ятки, зволоження та жаріння м'ятки, пресування смаженої м'ятки, подрібнення і просіювання жмиха, а також пелюсткування подрібненого жмиха. Замість цих операцій застосовується сушка безлушпинного ядра до вологості 1,5 – 3,0 % і пелюсткування ядра при температурі 70 °C на плющильному пресі [11]. Крім того, зменшуються витрати теплової і електричної енергії, поліпшуються умови праці.

Таким чином, можна зробити висновок, що із безлушпинного ядра соняшника можна отримати два харчових продукти замість одного – олію високої якості та харчовий шрот з вмістом білків 52 – 57 %.



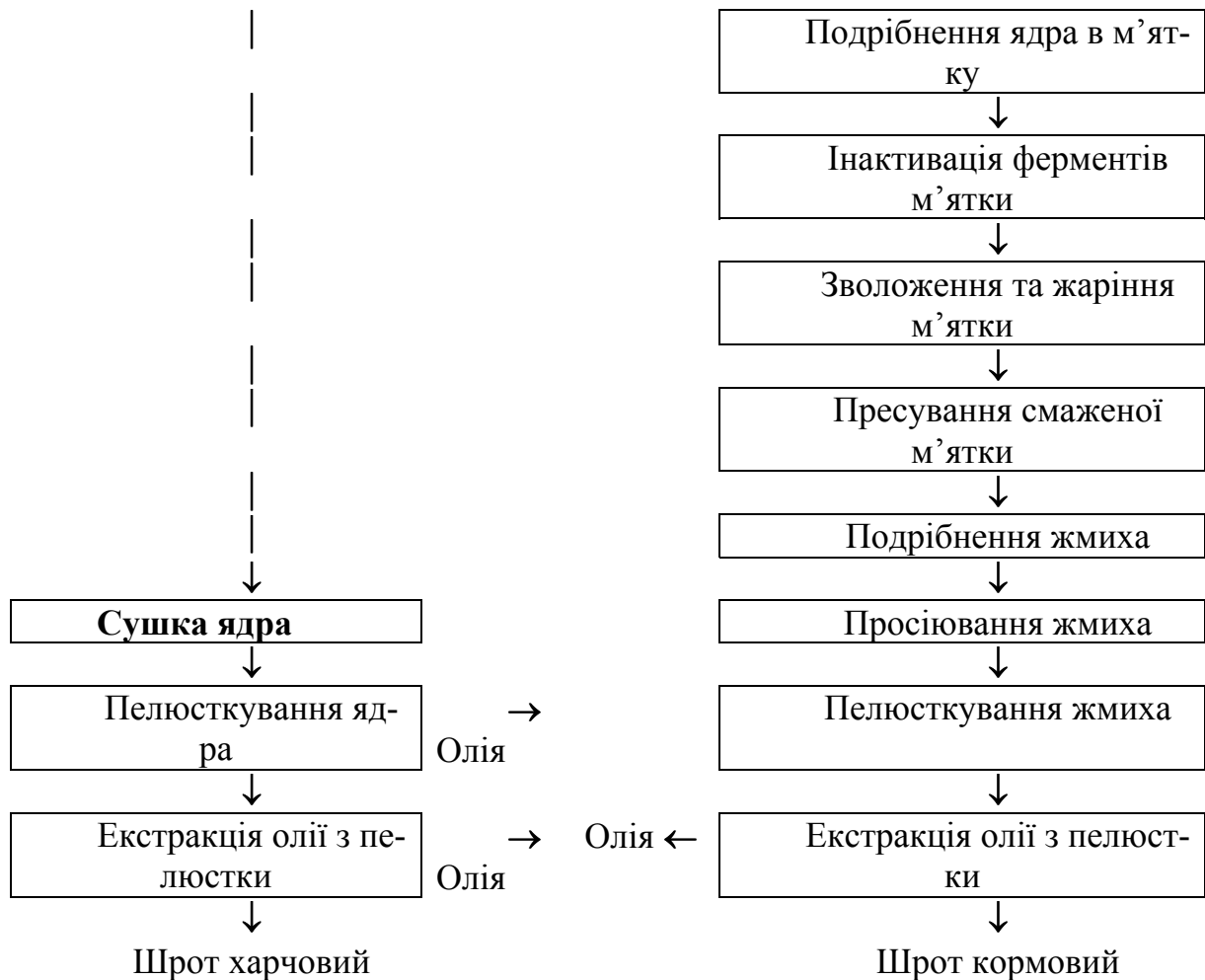


Рис. 3. Порівняння способів виробництва харчового та кормового шротів

Рентабельність такого виробництва буде суттєво вища, ніж нині існуючого, завдяки отриманню достатньо дорогого харчового рослинного білка, дефіцит якого явно відчутний в харчовій промисловості.

Список літератури: 1. Рынку нужен растительный белок // Масла и жиры. – М., 2006. – № 3. – С.3. 2. Толкунова Н.Н. Новые виды соевых белковых препаратов / Н.Н. Толкунова // Пищевые ингредиенты: сырье добавки. – М., 2004. – № 2. – С.86. 3. Белоксодержащие добавки для мясных продуктов / Ю.Г. Базарнова, А.Л. Ишевский, В.И. Соскин [та ін.] // Пищевые ингредиенты: сырье и добавки. – М., 2004. – № 1. – С.75–78. 4. Новые соевые добавки для масложировых продуктов / М.Л. Доморощенкова, Т.Ф. Демьяненко, Л.И. Тарасова [та ін.] // Масложировая промышленность. – М., 2008. – № 4. – С.27–30. 5. Ихно Н.П. Пищевое безлузговое ядро подсолнечника – источник белков в рационе питания населения Украины / Н.П. Ихно // Хранение и переработка зерна. – Днепропетровск, 2001. – №4. – С.35–38. 6. Ядро семян подсолнечника – новый вид сырья для изготовления пищевых продуктов / Н.П. Ихно, А.А.Котелевская, В.В. Левченко [та ін.] // Олійно-жировий комплекс. – Днепропетровск, 2003. – №2. – С.17–20. 7. Технология производства растительных масел/ [В.М. Копейковский, С.И.Данильчук, Г.И. Гарбузова и др.]; под. ред. В.М. Копейковского. – : Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 416 с. 8. Бондарь А.Г. Планирование эксперимента в химической технологии (основные положения, примеры и задачи) / А.Г. Бондарь, Г.А. Статюха. – Издательское объединение «Вища школа», 1976. – 184 с. 9. Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С.Н. Саутин. – Л., «Химия», 1975. – 48 с. 10. Пат. 85385 Україна, МПК А23J 1/14. Спосіб отримання білкового харчового концентрату з ядра соняшника / Ихно М.П., Конєв М.Д., Котелевська А.А., Лукіна О.А.; заявник і патентовласник НТУ «ХП» – № а200600171 ; заявл. 06.01.06 ; опубл. 26.01.09, Бюл. № 2, 2009 р. 11. Пат. 82195 Україна, МПК В30В 9/02, С11В 1/06. Плющильний прес Ихно / Ихно М.П.; заявник і патентовласник НТУ «ХП» – № а200500782 ; заявл. 28.01.05 ; опубл. 15.12.06, Бюл. № 12, 2006 р.

СОДЕРЖАНИЕ