

ФІЗИЧНА МОДИФІКАЦІЯ БОРОШНА ПШЕНИЧНОГО

*Хомічак Л. М.¹, член-кореспондент НААН, професор, д.т.н,
заступник директора з науково-організаційної роботи,*

<http://orcid.org/0000-0001-9003-0315>

Кузнєцова І. В.¹, д.с.-г.н., с.н.с., заст. зав. відділу,

<http://orcid.org/0000-0001-8530-2099>

Висоцька С. І.², асп., м.н.с.

<http://orcid.org/0000-0001-7686-9800>

Ткаченко С. В.¹, к.т.н., с.н.с.

<https://orcid.org/0000-0003-2897-8978>

¹Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна

²Національна академія аграрних наук України, м. Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2021-17-17>

Згідно оцінки Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО), щорічне виробництво зернових культур у світі має зрости до 3 млрд т проти сьогоднішніх 2,1 млрд тон. Україна є аграрною країною і одним із лідерів світового зернового експорту у світовому ринку зерна з експортним потенціалом - більше 40 млн тон. **Методи та методика досліджень.** В дослідженні використовували борошно отримане з пшениці м'якої сорту Асканійська і з борошна пшениці м'якої сортів: Софійка ("sweet wheat"), Білява (soft) і Чорноброва (збагащений мікро- і макроелементами). Фізичну модифікацію зразків борошна проводили конвективним способом. **Результати досліджень.** Модифікація крохмалю в сировині здійснюється у водному середовищі за дії високої температури. Насамперед це зумовлено умовами підготовки: борошняну суміш нагрівали до 98 °С і витримували. За цей час відбувався процес набухання крохмальної гранули, внаслідок чого в підготовлену сировину проникають вільні молекули води, що призводить до набухання крохмальних гранул (досягнення піку значення в'язкості). За температурного витримання відбувається часткова декструкція крохмальних гранул у сировині. Водночас, за перенесення завареної борошняної суміші в лоток для сушіння конвективним способом відбувається швидке охолодження, що призводить до часткової ретроградації крохмальних гранул. У конвективній сушарці в I зоні продукт нагрівають до 105-110 °С та витримують для видалення вільної вологи із продукту, після чого для отримання модифікованого крохмалепродукту гарантованої якості знижують температуру до 60-65 °С, що призводить до повної ретроградації крохмальних гранул та утворення розпушеної структури. **Висновки.** Обґрунтовано, що зміна структури крохмалю впливає на процес сушіння, суттєво впливає вміст макро- і мікроелементів у БП. Двоциклічне «нагрівання-охолодження» дозволяє отримати БМП, що відноситься до 2 групи резистентного крохмалю (RS2). Вивчення зміни значень кінематичних коефіцієнтів процесу сушіння усіх зразків підготовленого борошна має різьку зміну, що характеризує вплив білків і жирів, макро- та мікроелементів на процес модифікації. Аналіз значень кінематичних коефіцієнтів та похибки вимірювань показує, що найбільш точніше результати отримують в зразку, де вуглеводний комплекс має кристалічну структуру (сорт пшениці Софійка). Отже, найбільш впливою за модифікації вуглеводів пшениці є аморфна частина крохмальної гранули – амілоза.

Ключові слова: пшениця, крохмальні гранули, набухаємість, модифіковане борошно

PHYSICAL MODIFICATION OF WHEAT FLOUR

*Liubomyr Khomichak*¹, Corresponding Member of NAAS, Professor, D-r of Sciences, Technics, Deputy Director for Research and Organizational Work
<http://orcid.org/0000-0001-9003-0315>

*Inha Kuznietsova*¹, D-r of Sciences, Agriculture, Sen. Res., Dep. Head of Department,
<http://orcid.org/0000-0001-8530-2099>

*Svetlana Vysotska*², Postgraduate, Junior Researcher
<http://orcid.org/0000-0001-7686-9800>

*Sergiy Tkachenko*¹, PhD, Technics, Sen. Res.,
<https://orcid.org/0000-0003-2897-8978>

¹Institute of Food Resources NAAS, Kyiv, Ukraine

²National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://doi.org/10.31073/foodresources2021-17-17>

According to the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), annual grain production in the world should increase to 3 billion tons against today's 2.1 billion tons. Ukraine is an agricultural country and one of the leaders in world grain exports in the world grain market with an export potential of more than 40 million tons. **Research methods and methods.** The study used flour obtained from wheat of the Ascanian wheat and from wheat of the soft varieties: Sophia ("sweet wheat"), Blond (soft) and Chornobrova (enriched with micro- and macronutrients). Physical modification of flour samples was carried out in a convective manner. **Research results.** Modification of starch in raw materials is carried out in the water environment under the influence of high temperature. First of all, this is due to the conditions of preparation: the flour mixture was heated to 98 ° C and kept. During this time, the process of swelling of the starch granule took place, as a result of which free water molecules penetrate into the prepared raw material, which leads to swelling of the starch granules (reaching the peak viscosity value). At temperature, there is a partial destruction of starch granules in the raw material. At the same time, when the brewed flour mixture is transferred to the convection drying tray, rapid cooling takes place, which leads to partial retrogradation of starch granules. In the convective dryer in zone I the product is heated to 105-110 ° C and kept to remove free moisture from the product, after which to obtain a modified starch product of guaranteed quality reduce the temperature to 60-65 ° C, which leads to complete retrogradation of starch granules and the formation of loose structures. **Conclusions.** It is substantiated that the change in the structure of starch affects the drying process, significantly affects the content of macro- and microelements in the BP. Bicyclic "heating-cooling" allows to obtain BMP belonging to the 2nd group of resistant starch (RS2). The study of the change in the values of the kinematic coefficients of the drying process of all samples of prepared flour has a sharp change, which characterizes the influence of proteins and fats, macro- and microelements on the modification process. Analysis of the values of kinematic coefficients and measurement error shows that the most accurate results are obtained in the sample, where the carbohydrate complex has a crystalline structure (wheat variety Sofiyka). Thus, the most influential modification of wheat carbohydrates is the amorphous part of the starch granule - amylose.

Keywords: wheat, starch granules, swelling, modified flour

Згідно оцінки Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО), щорічне виробництво зернових культур у світі має зрости до 3 млрд т проти сьогоднішніх 2,1 млрд тон. Україна є аграрною країною і одним із лідерів світового зернового експорту у світовому ринку зерна з експортним потенціалом - більше 40 млн тон [1, 2].

Водночас, отримане борошно пшеничне має нижчі показники якості, такі як сила падіння та вміст клітковини. Хлібопекарські підприємства з такого борошна не можуть отримати хліб високої якості, а рецептури потребують вдосконалення з введенням нових компонентів таких як: клітковина пшенична і борошно пшеничне модифіковане. Переробка зернової сировини на основі крохмалю або білків шляхом екструзії створює різноманітність функціональних властивостей продукту. Модифікація крохмалю у зерновій сировині полягає в економічно ефективному виробництві відповідно до харчових законів. Технологічний процес отримання екструзійних крохмалевмісних продуктів, що включає: змішування і кондиціонування, екструдкування, сушіння, подрібнення та просіювання. Застосування борошна модифікованого пшеничного (БМП) в технологіях харчових продуктів сприяє покращенню смакових і структурних властивостей борошняних виробів, подовжує термін їх зберігання та дозволить запобігти виникненню ризиків алергійних реакцій організму людини. Отже, актуальним в умовах сьогодення є розширення асортименту борошна модифікованого шляхом застосування борошна-сировини із різною структурою крохмальних гранул та вдосконалення технології в частині термічного оброблення для створення гнучкості виробництва.

Аналіз літературних даних. Нині, достатньо відомо способів модифікації крохмалю сировини шляхом екструзії, які різняться за частотою обертання шнеку і розмір отворів матриці, а також температури процесу. Зокрема, один з відомих способів приготування екструдованого борошна полягає в змішуванні борошна й добавок, зволоження та нагрівання суміші до температури 170-180°C, екструдкування суміші під тиском 2,0-4,0 МПа. На виході з філь'єри матриці екструдера суміш піддають впливу надлишкового тиску пароповітряного середовища, яке становить 5-15% від тиску екструзії з наступним його зниженням до атмосферного тиску [3]. Недоліком способу є об'ємна, складна і енергоємна схема отримання борошна модифікованого, а також недостатньо високі його споживні властивості.

Основними чинниками якості готового продукту є вологість борошна, температура оброблення, частота обертання шнека, і розмір отворів матриці, що впливають на ступінь клейстеризації зерен крохмалю пшеничного борошна. Вологість борошна не суттєво впливає на ступінь клейстеризації крохмалю навіть при 65 і 80° С, але підвищення температури оброблення (96-110 °С) збільшує ступінь клейстеризації крохмалю за вологості борошна 18-27%. Підвищення частоти обертання шнека і збільшення площі перерізу отворів матриці зменшує ступінь клейстеризації [4]. За термічної та механічної обробки крохмалю не тільки руйнується структура гранул, але відбувається деструкція великих молекул поліцукридів, що змінює реологічні властивості крохмальних клейстерів. При цьому відбувається деполімеризація амілози і меншою мірою амілопектину. Внаслідок деструкції знижується здатність крохмалю до клейстеризації.

Встановлено, що амілопектин має більш важливу роль при так званому «вибуханні», що призводить до зниження кількості амілопектину на 10-12%. Дослідження японських вчених показали, що вологотермічне оброблення картопляного крохмалю за температури 50-52,5° С впродовж 1 год змінює його властивості: зростає температура клейстеризації і прискорюється момент досягнення максимальної в'язкості, підвищуються набухання і вологоутримуюча здатність, в'язкість клейстерів і міцність студнів [5, 6].

Вченими США показано, що екструзійна обробка борошна пшеничного, що проведена за жорстких режимів, підвищує перетравлюваність не тільки крохмалю, але й клітковини. Встановлено, що перетравлюваність харчової клітковини борошна пшеничного після екструдкування значно зростає якщо сире борошно пшеничне, що містило 40% розчинних речовин такої клітковини, то після екструзійного оброблення цей показник зростав до 75%. У всіх екструдованих продуктах виявлено більш високу кількість розчинних баластних речовин порівняно з вихідною сировиною, що пов'язано з розкладанням геміцелюлоз та пектинових речовин. Кількість целюлози та лігніну

змінюється. Вивчення впливу екструзійного теплового оброблення на харчову цінність білка борошна пшеничного та цільнозмеленого зерна показало, що ступінь збереження лізину в білку становить 63-100% [7]. На значення цього показника позитивно впливає збільшення продуктивності екструдера і негативно - підвищення частоти обертання шнеку. Біологічна цінність екструдатів борошна після обробки знижувалась, що зумовлено втратами лізину [8]. Зниження вмісту лізину і за жорстких режимів оброблення утворює відновлюючі цукри внаслідок гідролітичного розщеплення крохмалю. Адсорбція води екструдатом зростає з підвищенням температури оброблення і досягає максимуму за 180-200° С та знижується. В'язкість клейстерів крохмалю в процесі екструзії знижується. Комплекси амілози з жирними кислотами, які утворюються при екструзії, можуть негативно впливати на засвоюваність продукту, однак суттєвого значення вони не мають [9, 10]. Харчова цінність білка дещо знижується через втрати лізину, гістидину, треоніну в початковому етапі екструзії. Ці втрати можливо зменшити регулюванням температури, швидкості обертання шнеку та вмісту вологи. Із збільшенням вологості сировини знижується протеолітична активність пепсину. Ліпаза та ліпоксідаза майже повністю руйнуються [11].

Отже, модифікація крохмалю в сировині формує властивості резистентного крохмалю 2 групи.

Метою роботи було дослідження процесу фізичної модифікації борошна пшеничного.

Методика досліджень. В дослідженнях використовували борошно-сировину пшеничне із м'яких сортів пшениці з різним структурним складом крохмалю:

зразок 1 – борошно із співвідношенням у крохмальній гранулі амілоза : амілопектин як 30:70, для досліджень взято борошно, отримане з пшениці м'якої сорту Асканійське;

зразок 2 – борошно пшеничне з пшениці м'якої кондитерського напрямку має низький вміст білка (10,5-11,8%), легко розварюється, борошно крохмалисте і за питомою вагою на 20-25% легше ніж борошно хлібопекарської пшениці, що забезпечує пухкість борошняних кондитерських виробів. Борошно, отримане з такого зерна, не втрачає білизну при виходу помелу вище 70%, має низьку ВПЗ (54-55%) [12] для досліджень взято борошно, отримане з пшениці м'якої кондитерського напрямку сорту Білява;

зразок 3 – борошно пшеничне з пшениці м'якої типу «ваксі» білого кольору і має екстрависоку ВПЗ (72% і вище) [12] для досліджень взято борошно, отримане з пшениці м'якої типу «ваксі» сорту Софійка;

зразок 4 – борошно пшеничне з пшениці м'якої із співвідношенням амілоза: амілопектин як 30:70 та збагачене мікро- та макроелементами. Борошно, отримане з такого зерна, має сірувато-білий колір, висівки чорні або темно-коричневі, та має відмінні харчосмакові властивості крупи [12] для досліджень взято борошно, отримане з пшениці м'якої сорту Чорноброва

Здійснювали підготовку зразків борошна способом заварювання і сушили на експериментальному стенді конвективної сушарки в Інституті технічної теплофізики НАН України. Математичне оброблення кінетичних залежностей здійснювали за допомогою програмного забезпечення MathCad2015.

Результати досліджень. Відомі технології сушіння: конвективне, кондуктивне, сублімаційне, високочастотне, екологічно чисте інфрачервоне та для отримання певного виду крохмалепродукту – вальцеву сушарку (так звана фізична модифікація для модифікованого крохмалепродукту). Фізична модифікація крохмалю відбувається завдяки дії стикання та в якості каталізатору процесу – температури. В основі отримання таких видів крохмалю є фізичні перетворення, які не зумовлюють суттєвої деструкції крохмальних молекул. Одержують фізичномодифікований крохмаль шляхом висушування крохмальної суспензії у розпилювальній або вальцьовій сушарці (рис. 1) за температури, що перевищує температуру клейстеризації крохмалю (її температура повинна знаходитися

в межах $+63...+65^{\circ}\text{C}$). Внаслідок теплової обробки проходить часткове або повне руйнування структури зерен крохмалю. Саме якість даного компонента формує властивості тіста (його консистенцію, ВПЗ і рівень вмісту цукру), а також впливає на стан випічки.

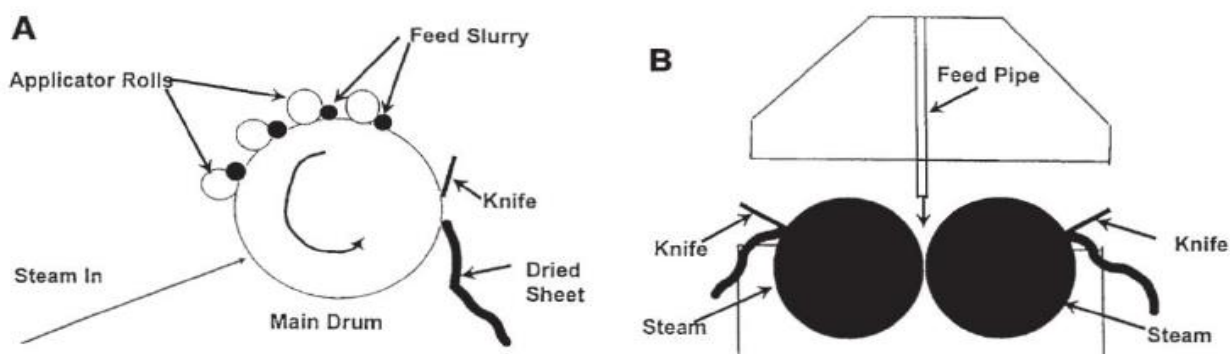


Рис. 1. Зміна структури крохмальної гранули за дії температури у водному розчині за допомогою вальцевої сушарки [13]

Вальцева сушка передбачає нанесення висококонцентрованого крохмалю на валки, які нагріваються, з наступним зняттям модифікованого крохмалю за допомогою скребка. Новий спосіб холодного набрякання крохмалю шляхом "Spray-Cooking" передбачає комбінувани процесу варіння і сушки розпиленням. При вальцевому способі крохмаль втрачає гранульовану структуру, тоді як за методом "Spray-Cooking" структура залишається зернистою і поліпшується диспергованість крохмалю [13]. Альтернативним способом отримання фізичномодифікованого крохмалю є застосування конвективної сушарки. Це сприяє гнучкості виробничого циклу підприємства та отримання продукту гарантованої якості. Не зважаючи на зростання тривалості оброблення підготовленого борошна, регулювання температурного оброблення призводить до наближених витрат енергоресурсів.

Описати процес фізичної модифікації можливо використавши сучасні уявлення та знання щодо зміни структури крохмальної гранули за зміни температурного режиму. Модифікація крохмалю в сировині здійснюється у водному середовищі за дії високої температури. Насамперед це зумовлено умовами підготовки: борошняну суміш нагрівали до 98°C і витримували. За цей час відбувався процес набухання крохмальної гранули (рис. 2), внаслідок чого в підготовлену сировину проникають вільні молекули води, що призводить до набухання крохмальних гранул (досягнення піку значення в'язкості).

За температурного витримування відбувається часткова декструкція крохмальних гранул у сировині. Водночас, за перенесення завареної борошняної суміші в лоток для сушіння конвективним способом відбувається швидке охолодження, що призводить до часткової ретроградації крохмальних гранул. У конвективній сушарці в I зоні продукт нагрівають до $105-110^{\circ}\text{C}$ та витримують для видалення вільної вологи із продукту, після чого для отримання модифікованого крохмалепродукту гарантованої якості знижують температуру до $60-65^{\circ}\text{C}$, що призводить до повної ретроградації крохмальних гранул та утворення розпушеної структури. На думку американських вчених [15] завдяки використанню декількох циклів «нагрівання – охолодження» отримують ретроградований крохмаль. Причому максимальний ступінь ретроградації досягається за нагрівання до температур 121 і 134°C . Отже, удосконалення технології отримання БМП дозволяє отримати резистентний крохмаль 2 типу (RS2). Зниження температури процесу сушіння до $60-65^{\circ}\text{C}$ сприяє додатковій ретроградації крохмальних гранул.

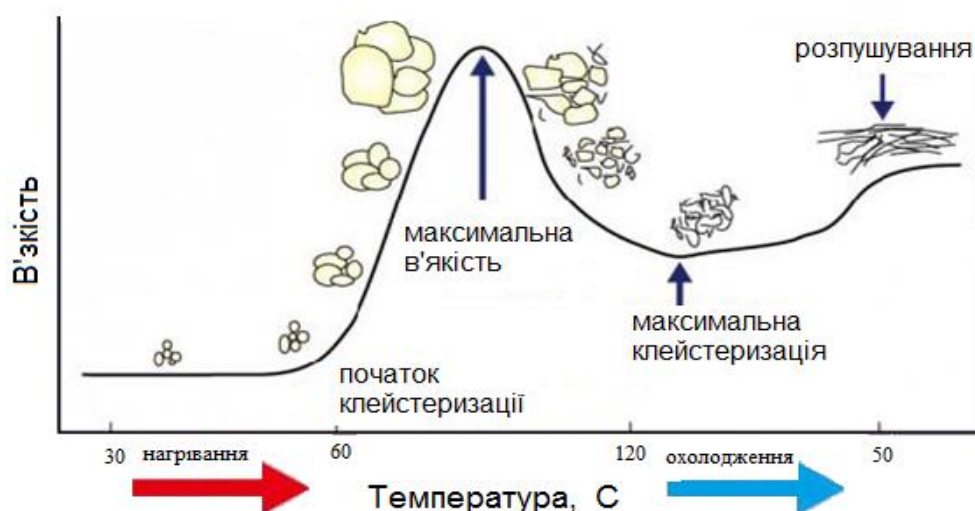


Рис. 2. Механізм ретроградації крохмальних гранул [14]

За оброблення кінетичних кривих сушіння [16] методом сіток отримали кінематичні коефіцієнти для всіх зразків БМП (табл. 1).

Таблиця 1

Кінематичні коефіцієнти сушіння зразків БМП

Зразок БМП	Асканійська		Софійка		Білява		Чорноброва	
	за темпе-ратурою	за трива-лістю	за темпе-ратурою	за трива-лістю	за темпе-ратурою	за трива-лістю	за темпе-ратурою	за трива-лістю
Кінематичні коефіцієнти								
1	0,339	-215,59	-1,243	-159,88	0,376	-106,24	0,29	-213,07
2	0,537	-42,335	-1,943	-30,944	0,568	-19,878	0,428	-38,908
3	0,398	-15,68	-1,554	-12,378	0,441	-7,711	0,388	-17,601
4	0,388	-10,192	-1,457	-7,736	0,313	-3,656	0,255	-7,72
5	0,368	-7,252	-1,36	-5,415	0,274	-2,399	0,224	-5,095
6	0,288	-4,547	-1,069	-3,404	0,245	-1,714	0,194	-3,52
7	0,219	-4547	-0,907	-2,407	0,166	-0,971	0,173	-2,625
8	0,149	-2,875	-0,518	-1,179	0,127	-0,636	0,153	-1,985
9	0,119	-1,68	-0,421	-0,179	0,085	-0,343	0,133	-1,39
10	0,108	-1,078	-0,386	-0,63	0,085	-0,305	0,099	-0,926
11	0,097	-0,871	-0,316	-0,464	0,085	-0,274	0,099	-0,834
12	0,086	-0,706	-0,281	0,375	0,085	-0,249	0,099	-0,758
13	0,086	-0,57	-0,281	-0,344	0,085	-0,228	0,088	-0,618
14	0,086	-0,523	-0,246	-0,278	0,085	-0,211	0,088	-0,57
15	0,086	-0,482	-0,246	-0,258	0,074	-0,171	0,088	-0,529
Абсолютна похибка	3,341		2,978		3,521		4,11	

При цьому, узагальнене рівняння оптимізації мало вигляд:

$$FF(\tau, m) = FBT(\tau, m)^{\lambda_1} \cdot FBM(\tau, m)^{\lambda_2} \cdot FBE(\tau, m)^{\lambda_3} \quad (1)$$

де: FBT(τ, m) - критерій оптимізації за температурою;

FBM(τ, m) - критерій оптимізації за тривалістю сушіння;

FBE(τ, m) - фактор оптимізації за зміною вологовмісту в продукті.

Таким чином, проведено математичне оброблення двофакторного експерименту за зміною температури і тривалості процесу сушіння підготовленої борошняної суміші різних зразків борошна. Аналіз значень кінематичних коефіцієнтів та похибки вимірювань показує, що найбільш точніше результати отримують в зразку, де вуглеводний комплекс має кристалічну структуру (сорт пшениці Софійка). Різька зміна значень кінематичних коефіцієнтів характеризує вплив білків і жирів на процес модифікації. Найбільші зміни значень коефіцієнтів відмічено в зразку БМП з борошна пшениці сорту Чорноброва, що вказує на вплив макро- і мікроелементів сировини на процес модифікації. Отже, найбільш впливою за модифікації вуглеводів пшениці є аморфна частина крохмальної гранули – амілоза.

Висновок. Обґрунтовано, що зміна структури крохмалю впливає на процес сушіння, суттєво впливає вміст макро- і мікроелементів у БП. Двоциклічне «нагрівання-охолодження» дозволяє отримати БМП, що відноситься до 2 групи резистентного крохмалю (RS2).

Вивчення зміни значень кінематичних коефіцієнтів процесу сушіння усіх зразків підготовленого борошна має різьку зміну, що характеризує вплив білків і жирів, макро- та мікроелементів на процес модифікації. Аналіз значень кінематичних коефіцієнтів та похибки вимірювань показує, що найбільш точніше результати отримують в зразку, де вуглеводний комплекс має кристалічну структуру (сорт пшениці Софійка). Отже, найбільш впливою за модифікації вуглеводів пшениці є аморфна частина крохмальної гранули – амілоза.

Бібліографія

- 1 Schroeder J., Delhaize E., Frommer W., Guerinot M., Harrison M., Herrera-Estrella L., Horie T., Kochian L., Munns R., Nishizawa N., Tsay Y.-F., Sanders D. Using membrane transporters to improve crops for sustainable food production. *Nature*. 2013. 497(7447): 60.
2. How to feed the world in 2050? High-level expert forum. (12-13 October 2009, Rome).
3. Литвяк В.В., Росляков Ю.Ф., Жаркова И.М., Вершинина О.Л., Гончар В.В., Оспанкулова Г.Х. Патент РФ № 2132628. С1,М. Кл. А23 Р1/12, А 23L1/18, Способ получения экструдированного продукта высокой пищевой ценности, обогащенного скорцонерой.. опубл.10.07.1999 бюл. №19.
4. Жушман А. И., Коптелова Е. К., Карпов В. Г. Экструзионная обработка крахмала и крахмалосодержащего сырья. М.: ЦНИИТЭИпищепром, 1980. Вып. 3. 36 с.
5. Жушман А. И., Коптелова Е. К., Карпов В. Г. Новое в технике и технологии производства экструзионных крахмалопродуктов. М.: ЦНИИТЭИпищепром, 1986. Вып. 2; 28 с.
6. Шульга О. С., Ковбаса В. М., Шульга С. І. Вплив процесу екструзії на крохмаль екструзійних картопле продуктів. 2011. *Харчова наука і технологія*. № 2. С. 60-62. Режим доступу: URL http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khnit_2_011_2_22

7. Onwulata C., Mulvaney S. J., Msich F., Heymann H. J. Step, chanaes in screw speed abbect extrusion temperature and pressure and extrudate characteristics. *Food Sci.* 1992, № 2, P. 512-515.
8. Гайдыш Т. Л. Двухшнековые варочные экструдеры Continua. М.: ЦНИИТЭИ пищепром, 1986. Вып. 1, 21 с.
9. Tharraulf J. F., Launay B. Extrusion-cooking of Starch products: evaluation of treatment intensity. *Suppl.* 1992. № 77. P. 32. 14.
10. Holas Pokorni J. Water adsorption on extruded cereal products Resume. 9 Condr. ent. cereales et pain, Paris, 1-5 juin 1992: Resume Sess. Posters. *Suppl.* 1992. № 77. P. 33.
11. Хейфиц И.Б., Захаренко Т.С., Платонова Е.Н., Ухартешвили М.М. Параметры обработки и структурно-механические свойства экструдатов из рисовой муки. *Пищевая пром-сть.* 1991. № 11. с. 50-51.
12. Каталог сортів Селекційно-генетичного інституту. Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення. Одеса. 2014. Ч.І. 108 с.
13. Perry P.A., Donald A.M. The effects of low temperatures on starch granule structure. 2000. *Polymer.* № 21. P.6361-6376.
14. Verde K. van De. Termal, Kiekens P. Degradation of flax: the determination of kinetic parameters with thermogravimetric analysis. *J. appl. Polym. Sci.* 2002. V.83. №2. P. 231–243.
15. Adzahan N. M. Modification on wheat, sago and tapioca starches by irradiation and its effect on the physical properties of fish cracker (keropok). *Food Technology.* 2002. Selangor, University of Putra Malaysia. Master of Science. 222 p.
16. Хомічак Л.М., Кузнецова І.В., Висоцька С.І., Ткаченко С.В. Дослідження кінетики сушіння підготовленого борошна пшеничного. *Продовольчі ресурси.* 2021. № 16. С. 212-220.

References

1. Schroeder J., Delhaize E., Frommer W., Guerinot M. et.al. (2013) Using membrane transporters to improve crops for sustainable food production. *Nature.* 497 (7447): 60.
2. *How to feed the world in 2050?* High-level expert forum. (12-13 October 2009, Rome).
3. Patent [Patent] No. 2132628. C1, M. Cl. A23 P1 / 12, A 23L1 / 18. Sposob polucheniya ekstrudirovannogo produkta vysokoj pishchevoj cennosti, obogashchennogo skorconeroj [Method of obtaining an extruded product of high nutritional value, enriched with scorzonera] / Litvyak V.V., Roslyakov YU.F., ZHarkova I.M., Vershinina O.L., Gonchar V.V., Ospankulova G.H. opubl.10.07.1999 byl No 19. [in Russian]
4. Zhushman A.I., Koptelova E.K., Karpov V.G. (1980). . Extrusion processing of starch and starch-containing raw materials [Extrusion processing of starch and starch-containing raw materials]. М. : TSNIITEIpsheprom, Vyp. [Issue]. 3.36 p. [in Russian]
5. Zhushman A.I., Koptelova E.K., Karpov V.G. (1986). New in equipment and technology for the production of extrusion starch products [New in technology and production technology of extrusion starch products]. М. : TsNIITEIpsheprom, Vyp. [Issue]. 2; 28 p. [in Russian]
6. Shulha O. S., Kovbasa V. M., Shulha S. I. (2011). Vplyv protsesu ekstruzii na krokmal ekstruziinykh kartople produktiv. [Injected into the process of extrusion on the starch of extrusion cartople products] Kharchova nauka i tekhnolohiia [Kharchova science and technology]. No. 2. p. 60-62. Access mode: URL http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khnit_2_011_2_22. [in Ukrainian]
7. Onwulata C., Mulvaney S. J., Msich F., Heymann H. J. (1992). Step, chanaes in screw speed abbect extrusion temperature and pressure and extrudate characteristics. *Food Sci.*, № 2, p. 512-515.
8. Gaidysh T.L. (1986). Dvuhshnekovye varochnye ekstrudery Continua [Continua twin screw cooking extruders]. М. : TSNIITEIpsheprom, Vyp. [Issue]. 1, 21 p. [in Russian]

9. Tharraulf J. F., Launay B. (1992). Extrusion-cooking of Starch products: evaluation of treatment intensity. *Suppl.* № 77. P. 32. 14.
10. Holas Pokorni J. (1992). Water adsorption on extruded cereal products Resume. 9 Condr. ent. cereales et pain, Paris, 1-5 juin 1992: Resume Sess. Posters. *Suppl.* № 77. P. 33.
11. Kheifits I.B., Zakharenko T.S., Platonova E.N., Ukharteshvili M.M. (1991). Parametry obrabotki i strukturno-mekhanicheskie svojstva ekstrudatov iz risovoj muki. [Processing parameters and structural and mechanical properties of rice flour extrudates]. *Pishchevaya prom-st'* [Food industry]. No. 11. p. 50-51. [in Russian]
12. Kataloh sortiv Seleksiino-henetychnoho instytutu – Natsionalnoho tsentru nasinnieznavstva ta sortovyvchennia. [Catalogue of varieties of the Selection and Genetic Institute. National Center for Research and Development of Varieties]. (2014). Odesa. [Odessa]. Part I. 108 p. [in Ukrainian]
13. Perry P.A., Donald A.M. (2000). The effects of low temperatures on starch granule structure. *Polymer.* № 21. P.6361-6376.
14. Verde K. van De. Termal, Kiekens P. (2002). Degradation of flax: the determination of kinetic parameters with thermogravimetric analysis. *J. appl. Polym. Sci.* V.83. №2. P. 231–243.
15. Adzahan N. M. (2002). Modification on wheat, sago and tapioca starches by irradiation and its effect on the physical properties of fish cracker (keropok). *Food Technology.* Selangor, University of Putra Malaysia. Master of Science. 222 p.
16. Khomichak L.M., Kuznietsova I.V., Visotskay S.I., Tkachenko S.V. (2021). Doslidzhennia kinytyky sushinnia pidhotovlenoho boroshna pshenychnoho. [Investigation of drying kinetics of prepared wheat flour]. *Prodovolchi resursy.* [Food resources]. №. 16. P. 212-220. [in Ukrainian]