

УДК 637.5:637.071

**Ощипок І. М.,**

*him1960@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-5427-3376,*

*Researcher ID F-4641-2019,*

*д.т.н., проф., завідувач кафедри харчових технологій,*

*Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів*

**Бужанська М. В.,**

*buganskam@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9251-4727,*

*Researcher ID G-2366-2019,*

*к.х.н., доц., доцент кафедри харчових технологій,*

*Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів*

## **ТЕХНОЛОГІЯ ХІМІЧНОГО СИНТЕЗУ МОДИФІКОВАНИХ КРОХМАЛІВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

**Анотація.** У статті проаналізовано впровадження інноваційних технологій у харчовій промисловості. Розглянуто альтернативні види сировини, описано сучасні способи оброблення сировини для отримання асортименту харчових продуктів підвищеної харчової цінності, з покращеними споживчими властивостями. Зокрема, розглянуто сучасні технології виробництва модифікованих крохмалів для харчової промисловості. Проведено аналіз і узагальнення методологічних, теоретичних і експериментальних досліджень отримання модифікованого крохмалю. Показана можливість отримання модифікованих харчових крохмалів різними видами хімічного, біологічного, механічного оброблення крохмальної сировини. У статті представлено доцільність модифікації природного крохмалю шляхом хімічного окиснення калій перманганатом. Запропоновано механізм хімічного окиснення нативного крохмалю. Автори наводять переваги набутих фізико-хімічних властивостей модифікованих крохмалів. Встановлено, що модифіковані види крохмалю за допомогою хімічного окиснення отримують необхідні технологічні властивості для використання їх у продуктах, де необхідно забезпечити високий вміст сухих речовин при рідких консистенціях (супи, приправи, киселі, інстант-напої), завдяки тому, що вони мають більшу розчинність та низьку в'язкість клейстерів. Представлено маркування зразків модифікованого крохмалю, які отримано з різних джерел сировини. Наведені приклади практичного застосування модифікованого крохмалю в харчовій промисловості. Доведено, що використання модифікованих крохмалів покращує технологічні властивості напівфабрикатів піноподібної структури, полегшує ведення технологічного процесу та передбачає економічну привабливість їх використання.

**Ключові слова:** нативний крохмаль, модифікований крохмаль, хімічна модифікація крохмалю, похідні крохмалю, харчові добавки.

**Oshchypok I. M.,**

*him1960@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-5427-3376,*

*Researcher ID F-4641-2019,*

*Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Food Technologies,*

*Lviv University of Trade and Economics, Lviv*

**Buzganska M. V.,**

*buganskam@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9251-4727,*

*Researcher ID G-2366-2019,*

*Ph.D., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Food Technologies,*

*Lviv University of Trade and Economics, Lviv*

## **TECHNOLOGY OF CHEMICAL SYNTHESIS OF MODIFIED STARCHES OF FOOD INDUSTRY**

**Abstract.** The article analyzes the introduction of innovative technologies in the food industry. Alternative types of raw materials are considered, modern methods of processing raw materials to obtain a range of foods of high nutritional value, with improved consumer properties are described. In particular, modern technologies

*of production of modified starches are considered. The analysis and generalization of methodological, theoretical and experimental researches of reception of the modified starch is carried out. The possibility of obtaining modified food starches by different types of chemical, biological, mechanical processing of starch raw materials is shown. The article presents the feasibility of modifying natural starch by chemical oxidation of potassium permanganate. The mechanism of chemical oxidation of native starch is offered. The authors reveal advantages of the acquired physicochemical properties of modified starches. It is determined that modified types of starch via chemical oxidation get the necessary technological properties for use in products where it is necessary to ensure a high dry matter content in liquid consistencies (soups, condiments, jellies, instant drinks), due to the fact that they have greater solubility and low viscosity of pastes. The labeling of modified starch samples obtained from different sources of raw materials is presented. Examples of practical application of modified starch in the food industry are given. It is proved that the use of modified starches improves the technological properties of semi-finished products of foam-like structure, facilitates conducting of the technological process as well as implies economic attractiveness of their use.*

**Key words:** native starch, modified starch, chemical modification of starch, starch derivatives, food additives.

**JEL Classification:** L70

**DOI:** <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2021-25-11>

**Постановка проблеми.** Сьогодні стимулює впровадження інноваційних технологій у харчовій промисловості. Лише використання нових альтернативних видів сировини, застосування сучасних способів її оброблення, вдосконалення технологічних процесів виробництва харчової продукції для отримання нового асортименту харчових продуктів підвищеної харчової цінності, з покращеними споживчими властивостями, збагаченими сировиною рослинного походження, дозволяє досягнути поставленої мети. В умовах ринкової економіки для збільшення попиту та забезпечення збуту того чи іншого виду продукції необхідно виготовити його необхідної якості, з високими споживчими властивостями, який би міг конкурувати з продукцією інших виробників. Крохмаль (нативний крохмаль) є одним із найбільш багатофункціональних сировинних продуктів харчової промисловості. Використання його базується на природних можливостях утворювати гелі та загущувачі. У харчовій промисловості крохмаль використовується для надання продуктам відповідної текстури, виду (стану), вологості, консистенції і стійкості під час зберігання. Однак нативні добавки доволі чутливі до температурних впливів та нестійкі при тривалому зберіганні, їм властиві нерозчинність у холодній воді, невисока в'язкість та низька прозорість розчинів. Саме тому сучасні технології виробництва харчових продуктів використовують модифіковані крохмалі. Їх використання дає змогу отримувати продукти із запланованою текстурою та необхідними структурно-механічними властивостями. Вищенаведене зумовлює широке

застосування в харчовій промисловості модифікованих крохмалів, а дослідників стимулює аналізувати та вдосконалювати способи синтезу та модифікації крохмалів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Природний полімер крохмалю має унікальні властивості, а його похідні в багатьох галузях застосування конкурують з іншими представниками вуглеводів. Сировинна база крохмалю в Україні доволі стійка, тобто, оцінюючи надійність та відтворюваність сировинної бази, низьку собівартість та екологічну безпечність, високі технологічні властивості крохмалю, можна впевнено вважати, що цей продукт доцільно використовувати в харчовій галузі. Останнім часом спостерігається значний інтерес зі сторони науковців до модифікації крохмалю та до його модифікованих продуктів. Шляхом хімічної модифікації крохмалю одержане велике число його простих і складних ефірів, а також співполімерів крохмалю, що мають практично цінні, а в окремих випадках і унікальні властивості [1–9].

В аналізованих працях І.П. Самойленко, І.Л. Корецької наведено аналіз властивостей модифікованих крохмалів та їх вплив на фізико-хімічні параметри емульсійних систем [4]. О.А. Редченко та співавтори проводять літературний огляд та систематизують методи модифікування крохмалю [8]. К. Neelam, S. Vijay, L. Singh пропонують актуальні методики синтезу модифікованих крохмалів, що мають високу технологічну цінність, наприклад, синтез карбоксиметильованого крохмалю, та значне застосування в різних галузях промисловості [9]. Результати

досліджень автори представляють переважно з погляду потреб харчової промисловості. Розглянуті проблеми актуальні, зацікавлюють та залишають місце для подальших наукових пошуків.

**Постановка завдання.** Підприємства харчової промисловості використовують нативний і модифікований крохмаль як загусники, стабілізатори, емульгатори та зв'язуючі речовини у виробництві різних продуктів [1]. Використання модифікованих крохмалів є перспективним, потреба в них постійно зростає. Оскільки за рахунок модифікованого крохмалю можна знижувати вміст жирів, крохмаль здатен зв'язувати між собою частинки сумішей, утримувати ароматичні компоненти і регулювати вміст вологи. Все це робить крохмаль універсальним інгредієнтом їжі. Методи синтезу мають забезпечити доступність цього продукту на ринку. Метою статті є аналіз і узагальнення методологічних, теоретичних і експериментальних досліджень отримання модифікованого крохмалю.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Сучасний процес виробництва харчових продуктів неможливо уявити без використання харчових добавок. Харчові добавки – це природні або синтезовані речовини, які вводяться до продуктів харчування з метою надання їм необхідних властивостей (наприклад, органолептичних, технологічних). Вони не вживаються самостійно у вигляді харчових продуктів або звичайних компонентів їжі. У харчовій промисловості модифіковані крохмалі застосовують як згущувачі, стабілізатори, наповнювачі й емульгатори. Ці

добавки дозволено використовувати в харчових продуктах. У табл. 1 представлено зразки модифікованого крохмалю, який отримано з різних джерел сировини.

Відповідно до визначень Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) модифікований крохмаль – це покращений харчовий крохмаль, характеристики якого змінені в результаті обробки продукту за допомогою хімічних, біохімічних, фізичних, а також комбінованих процесів. Модифікований крохмаль – це продукт, який отримують у результаті впливу на звичайний крохмаль різними хімічними реагентами з метою отримати готову сполуку з попередньо визначеними характеристиками і властивостями. У хімічній промисловості процес виробництва модифікованого крохмалю називають оцукрюванням. Існує велика кількість способів і методів отримання модифікованого крохмалю. Початковою сировиною для отримання модифікованого крохмалю вважається звичайний, всім добре відомий полісахарид амілози або крохмаль.

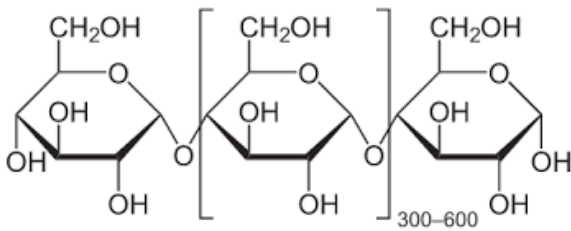
*Крохмаль* – рослинний полісахарид складної будови. До його складу входять два типи макромолекул (полімерів) – амілоза й амілопектин, що складаються з ланок  $\alpha$ -D-глюкози, пов'язаних між собою глюкозидними зв'язками. Амілоза має лінійну будову, а амілопектин – розгалужену. Особливості просторової будови амілози й амілопектину зумовлені конфігурацією глюкозидного зв'язку. У процесі утворення молекули амілози залишки глюкози зв'язуються між собою  $\alpha$ -(1-4)-глюкозидними зв'язками, тоді як для амілопек-

Таблиця 1

Харчові добавки на основі модифікованих крохмалів

Е-код	Англійська назва	Українська назва
E1400	Dextrin	Декстрин
E1401	Modified starch ((Acid-treated starch)	Крохмаль, оброблений кислотою
E1402	Alkaline modified starch	Крохмаль, оброблений лугом
E1403	Bleached starch	Крохмаль відбілений
E1404	Oxidized starch	Крохмаль окиснений
E1405	Enzyme treated starch	Крохмаль, оброблений ензимами
E1410	Monostarch phosphate	Монокрохмаль фосфат
E1411	Distarch glycerol	Дикрохмаль гліцерол (зшитий)
E1412	Distarch phosphate	Дикрохмаль фосфат
E1413	Phosphated distarch phosphate	Фосфатований крохмаль фосфат
E1414	Acetylated distarch phosphate	Ацетильований крохмаль фосфат
E1420	Acetylated starch	Ацетильований крохмаль
E1422	Acetylated distarch adipate	Ацетилкрохмаль адипат
E1440	Hydroxypropyl starch	Гідроксипропілкрохмаль
E1442	Hydroxy propyl distarch phosphate	Гідроксипропілкрохмаль фосфат
E1450	Starch sodium octenyl succinate	Крохмальнатрійоктенілсукцинат
E1451	Acetylated oxidised starch	Ацетильований окиснений крохмаль

тину характерна присутність  $\alpha$ -(1-6)-зв'язків (рис. 1, 2).



**Рис. 1. Структурна формула амілази**

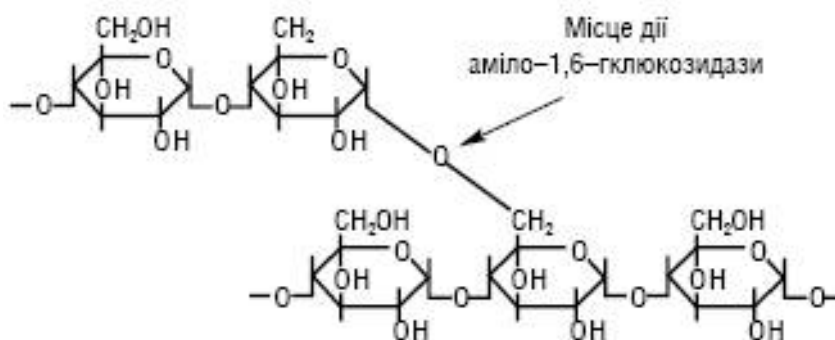
Крохмаль і його модифікації (E1401-1452) (табл. 1) в різних формах є поширеним регулятором консистенції харчових продуктів. Реологічні властивості їжі на основі крохмалевмісних продуктів включають у себе основні властивості гелю – пластичність, частіше еластичність і «механічну» міцність (текстури). Модифікація текстури і в'язкості харчових продуктів змінюють їх органолептичні властивості і тому гідроколоїдні компоненти використовуються як найважливіші харчові добавки. Технологічна модифікація крохмалю дає змогу керувати властивостями готового продукту: гідрофільністю, параметрами клейстеризації і гелеутворенням, реологічними характеристиками, що відкриває широкі можливості для молекулярного дизайну затребуваної продукції громадського харчування.

Крохмалі, властивості яких змінені в результаті спеціальної обробки, поділяють на дві великі групи: крохмалі, в процесі оброблення яких основною зміною є розщеплення полісахаридних ланцюгів – група розщеплених крохмалів, і крохмалі, властивості яких змінені в основному в результаті приєднання хімічних радикалів або в результаті спільної полімеризації з іншими високомолекулярними сполуками – група заміщених крохмалів. У промисловості найчастіше крохмалі, модифіковані кислотою, характеризують за показником плинності – величиною,

зворотною в'язкості. Кукурудзяний крохмаль, модифікований кислотою, використовують у текстильній промисловості для шліхтування основи і обробки як бавовняних, так і змішаних тканин. Крохмаль, модифікований кислотою, застосовують у паперовому виробництві при поверхневій проклейці паперу для підвищення його стійкості до зношування та поліпшення якості друку. У харчовій промисловості модифіковані крохмалі цього типу використовують для приготування желейних цукерок, східних солодоців та ін. Розщеплені крохмалі отримують шляхом термічного і механічного впливу, обробкою полісахариду кислотою, окислювачами, амілазами, деякими солями, опроміненням  $\gamma$ -променями, електронами, ультразвуком і іншими способами, що викликають деструкцію полісахаридних ланцюгів. У результаті відбувається спрямоване або хаотичне розщеплення глюкозидних, а іноді і інших валентних зв'язків. При цьому зерниста форма крохмалю залишається, як правило, незмінною. Іноді спостерігається часткове руйнування структури зерен крохмалю з утворенням вторинної структури, наприклад, у процесі клейстеризації і висушування крохмалів у вальцьових сушарках. Клейстери розщеплених крохмалів мають, як правило, знижену в'язкість, вищу прозорість і підвищену стабільність при зберіганні.

Як свідчить аналіз літературних даних, більшість запропонованих схем модифікації полісахаридів багатостадійні, складні, потребують дорогих, а часом і токсичних реагентів, що недопустимо для харчової промисловості. Усе вищеперераховане ускладнює впровадження в практику нових модифікованих похідних крохмалю. Отже, синтетичний потенціал крохмалю потребує напрацювань та вдосконалення методик синтезу.

Хімічна модифікація крохмалю забезпечує низку фізико-хімічних переваг. З трьох описаних у літературі [8] основних методів хімічної



**Рис. 2. Структурна формула амілопектину**

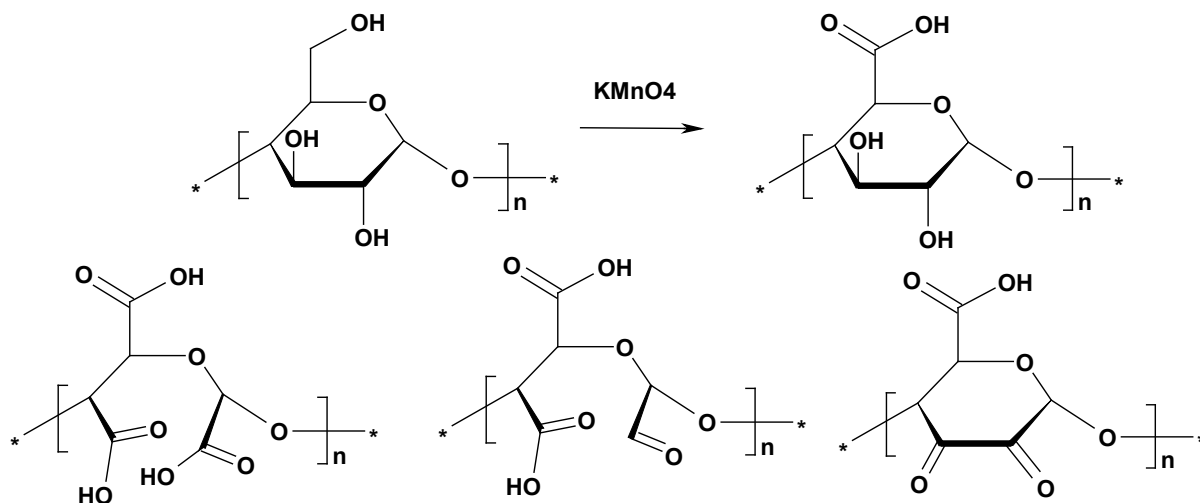


Рис. 3. Загальна схема окиснення крохмалю

модифікації (окислення, етерифікація і естерифікація) поверхнєве хімічне окиснення є найперспективнішим та ефективним методом модифікації. Поверхнєве окиснення, мабуть, є кращим методом хімічної модифікації попередньо сформованих частинок крохмалю і має найбільший потенціал для подальшого розвитку порівняно з іншими розглянутими методами хімічної модифікації. Як окисники використовують калій перманганат, натрій гіпохлорит, гідроген пероксид, персульфати тощо.

Модифіковані крохмалі окисненого типу отримують впливом на зерна крохмалю різних окиснювачів, окислення крохмалю проводять у водних розчинах при різних значеннях рН. Під час дії на крохмаль окиснювачів відбувається гідролітичне розщеплення глікозидних зв'язків з утворенням карбонільних груп, окислення спиртових груп у карбонільні, а потім у карбоксильні. Ступінь окислення залежить від витрати реагенту та умов проведення реакції. У крохмалі глікозидні залишки містять низку реакційних груп у різних вуглецевих атомах. Здатність цих груп вступати в реакції заміщення використовують для виробництва заміщених крохмалів. Наприклад, хімічний процес для виробництва окисненого крохмалю, здатного до драглеутворення, можна визначити за схемою (рис. 3). Встановлено, що спочатку окиснюються гідроксильні групи, розташовані в позиціях С-2 і С-3 глюкопіранозних ланок, потім у позиції С-6, при цьому гідроксильні групи трансформуються спочатку в карбонільні групи, а згодом – у карбоксильні [10–11].

За своїми властивостями окислені крохмалі схожі з крохмалю, модифікованими кислотою, та відрізняються здатністю до утворення

клейстерів пониженої в'язкості і стабільних при зберіганні. До окислених крохмалів належить модифікований крохмаль для драглеутворення, що готується шляхом обробки картопляного або кукурудзяного крохмалю перманганатом калію в кислому середовищі. Його використовують як драглеутворюючий компонент для деяких кондитерських виробів як стабілізатор морозива, продуктів харчоконцентратної і молочної промисловості. Залежно від способу окиснення продукція має застосування в паперовій промисловості для підвищення міцності паперу як дубильна речовина, а при низькому ступені окиснення (до 2%) – в харчовій промисловості.

За економічними показниками для виробництва модифікованих крохмалів важливим є розгляд питань:

1) можливості – постійне зростання попиту на вищевказану продукцію; інноваційний комплексний розвиток технології крохмалепатокової та супутніх галузей виробництва; розробка відповідних технічних регламентів та НТД; розробка та реалізація спеціальних програм розвитку інноваційних комплексних підприємств; розробка інноваційних продуктів із маржинальним доходом – різниця між виручкою від реалізації (без урахування ПДВ і акцизів) і змінними витратами або сума покриття – та частина виручки, яка залишається на покриття постійних витрат і формування прибутку; покращання загальних умов ведення бізнесу – інвестиційного клімату, доступності кредитів, наявності кадрів та ін.; утворення стійкого бізнесу, підвищення рівня доходності за рахунок створення відомих світових брендів;

2) сильні сторони утворення інноваційних комплексних технологій галузі – наявність

та можливості зростання зернових ресурсів з урахуванням наукових та технологічних розробок; ціни на енергетичні та водні ресурси, а також створення кваліфікованих робочих ресурсів; мінімальна кількість конкурентів;

3) недоліки – великий об'єм початкових інвестицій; висока вартість кредитних ресурсів в Україні; відсутність досвіду з розробки та втілення інноваційних продуктів та об'єктів; тривалий термін окупності проєктів; нехтування розробками вітчизняних науковців та дослідників, базою випускників вищих навчальних закладів України; подальше руйнування створення бази кваліфікованого персоналу та науково-технічної бази – повна відсутність стимуляції вітчизняних кадрів; слабка діяльність структур маркетингу та менеджменту у великотоннажних сферах промисловості і повна відсутність їх комунікації з технологіями та науково-технічними робітниками інноваційних технологій промислових комплексів тощо [12].

**Висновки і перспективи подальших досліджень у цьому напрямі.** Крохмаль – полісахарид з унікальними властивостями: швидко відновлюється за природних умов, а також розкладається (біодеструктує) у довкіллі; легко піддається хімічним перетворенням; має практично невичерпну сировинну базу (природний синтез у рослинах, короткий термін дозрівання культур), а це призводить до економічної доцільності синтезу та використання сировини у харчових продуктах. Молекули крохмалю є реакційно здатними сполуками, що активно взаємодіють з іонами металів, кислотами, поверхнево-активними й іншими речовинами. Це дає змогу досить легко модифікувати його: змінювати гідрофільні властивості, параметри клейстеризації і драглетування, а також реологічні характеристики. Під час модифікації крохмалі можуть зазнавати таких перетворень: розщеплення (деполімеризація) зі збереженням або без збереження зернистої структури; втрата зернами початкової та набуття нової структури; рекомбінація структури полісахаридних ланцюгів; поява нових функціональних груп; утворення простих і складних ефірних зв'язків за рахунок взаємодії з відповідними реагентами і т.ін. Модифіковані види крохмалю за допомогою хімічного окиснення отримують необхідні технологічні властивості для використання їх у продуктах, де необхідно забезпечити високий вміст сухих речовин при рідких консистенціях (супи, приправи, киселі, інстант-напої), завдяки тому, що вони мають більшу розчинність та низьку в'язкість

клейстерів. Як наповнювач таких продуктів, як пудинги, муси, креми, де є потреба утворення міцної структури та забезпечення вологоутримання, також доцільно використовувати модифікований крохмаль. Використання модифікованих крохмалів покращує технологічні властивості напівфабрикатів піноподібної структури, полегшує ведення технологічного процесу та передбачає економічну привабливість їх використання.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Василечко В.О., Ломницька Я.Ф., Скоробогатий Я.П., Бужанська М.В. Харчова хімія: аналіз та хімічний склад харчових продуктів : навчальний посібник. Львів : Видавництво ЛТЕУ, 2020. С. 197.
2. Державні санітарні норми та правила: Санітарні правила і норми по застосуванню харчових добавок від 23.07.96 № 222 / МОЗ України. 1996. № 222.
3. Дослідження основних фізико-хімічних властивостей набухаючих видів крохмалю / В.Я. Пічкур та ін. *Наукові праці ОНАХТ*. Одеса, 2014. Т. 2, № 48. С. 148–152.
4. Самойленко І.П., Корецька І.Л., Ковалевська Є.І. Властивості модифікованих крохмалів та їх вплив на фізико-хімічні параметри емульсійних систем. *Ukrainian Food Journal*. 2015. № 1. С. 30–33.
5. Бачурская Л.Д., Гуляев В.Н. Пищевые концентраты. Москва : Пищевая промышленность, 1976. 335 с.
6. ДСТУ 4380:2005. Крохмаль модифікований. Загальні технічні умови. [Чинний від 2005-02-28]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 20 с.
7. Крохмалепродукти. Модифіковані види крохмалю. URL: <http://pidruchniki.com/11340614/tovarovnavstvo/krohmaleprodukti>.
8. Радченко О.А., Сінельников С.І., Рябов С.В., Гончаренко Л.А. Хімічна й фізична модифікація крохмалю – сучасні тенденції. *Полімерний журнал*. 2019. Т. 41, № 2. С. 77–95. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Polimer\\_2019\\_41\\_2\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Polimer_2019_41_2_4).
9. Neelam K., Vijay S., Singh L. Various techniques for the modification of starch and the applications of its derivatives. *International research journal of pharmacy*. 2012. Vol. 3(5). P. 25–31.
10. Moad G. Chemical modification of starch by reactive extrusion. *Prog. Polym. Sci.*, 2011, 36, Issue 2: 218–237.
11. Zhang S. D., Zhang Y. R., Zhu J., Wang X. L., Yang K. K., Wang Y. Z. Modified corn starches with improved comprehensive properties for preparing thermoplastics. *Starch-Starke*, 2007, 59, Issue 6: 258-268.

12. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні тести з технології крохмалю) : підручник [текст]. 2-ге вид., доп. Ч. 2. Київ : Центр навчальної літератури, 2019. 108 с.

#### REFERENCES:

1. Vasylechko, V.O. Lomnyts'ka, Ya.F. Skorobohatyj, Ya.P. and Buzhans'ka, M.V. (2020), *Kharchova khimii: analiz ta khimichnyj sklad kharchovykh produktiv : navchal'nyj posibnyk*, Vydavnytstvo LTEU, L'viv, s. 197.

2. Derzhavni sanitarni normy ta pravyla: Sanitarni pravyla i normy po zastosuvanniu kharchovykh dobovok vid 23.07.96 № 222 (1996), MOZ Ukrainy. № 222.

3. Doslidzhennia osnovnykh fizyko-khimichnykh vlastyvostry nabukhaiuchykh vydiv krokhmaliiu, V. Ya. Pichkur ta in. (2014), *Naukovi pratsi ONAKhT*, Odesa, T. 2, № 48, s. 148–152.

4. Samojlenko, I.P. Korets'ka, I.L. and Koval's'ka, Ye.I. (2015), *Vlastyvostry modyfikovanykh krokhmaliv ta ikh vplyv na fizyko-khimichni parametry emul'sijnykh system*, *Ukrainian Food Journal*, № 1, s. 30–33.

5. Bachurskaia, L.D. and Hul'iaev, V.N. (1976), *Pyschevy kontsentraty, Pyschevaia promyshlennost'*, Moskva, 335 s.

6. DSTU 4380:2005. Krokhmal' modyfikovanyj. Zahal'ni tekhnichni umovy. [Chynnyj vid

2005-02-28] (2005), *Derzhspozhyvstandart Ukrainy*, Kyiv, 20 s.

7. Krokhmaleproduktu. Modyfikovani vydy krokhmaliiu, available at: <http://pidruchniki.com/11340614/tovaroznavstvo/krokhmaleprodukti>.

8. Radchenko, O.A. Sinel'nikov, S.I. Riabov, S.V. and Honcharenko, L.A. (2019), *Khimichna j fizychna modyfikatsiia krokhmaliiu – suchasni tendentsii. Polimernyj zhurnal*, T. 41, № 2, s. 77–95, available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Polimer\\_2019\\_41\\_2\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Polimer_2019_41_2_4).

9. Neelam K., Vijay S. and Singh L. (2012), Various techniques for the modification of starch and the applications of its derivatives, *International research journal of pharmacy*, vol. 3(5), p. 25–31.

10. Moad G. (2011), Chemical modification of starch by reactive extrusion. *Prog. Polym. Sci.*, 36, Issue 2: 218–237.

11. Zhang, S.D. Zhang, Y.R. Zhu J., Wang, X.L. Yang, K.K. and Wang, Y.Z. (2007), Modified corn starches with improved comprehensive properties for preparing thermoplastics. *Starch-Starke*, 59, Issue 6: 258–268.

12. Bukhkalov, S.I. (2019), *Zahal'na tekhnolohiia kharchovoi promyslovosti u prykladakh i zadachakh (pryklady ta testy z tekhnolohii krokhmaliiu) : pidruchnyk [tekst]*, 2 nd ed, Ch. 2, Tsentr navchal'noi literatury, Kyiv, 108 s.

*Стаття надійшла до редакції 18 січня 2021 року*