



2020

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 26 № 3

*Журнал
«Наукові праці Національного університету харчових технологій»
видається з 1938 року*

КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2020

Articles with the results of fundamental theoretical developments and applied research in the field of technical and economic sciences are published in this journal. The scripts of articles are reviewed beforehand by leading specialists of corresponding branch.

The journal was designed for professors, tutors, scientists, post-graduates, students of higher education establishments and executives of the food industry.

Journal “Scientific Works of National University of Food Technologies” is included into the list of professional editions of Ukraine of technical (specialties — 121, 126, 133, 141, 144, 151, 162, 181) and economic sciences (specialties — 051, 073, 075), category “B” (Decree of MES of Ukraine # 975 from July 11, 2019), where the results of dissertations for scientific degrees of PhD and candidate of science can be published.

The Journal “Scientific Works of National University of Food Technologies” is indexed by the following scientometric databases:

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

The Journal is recommended for publication of research results by the Ministry of Science and Higher Education of Poland.

Editorial office address:

National University of
Food Technologies
Volodymyrska str., 68,
building B, room 412
01601 Kyiv, Ukraine

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. Minutes of meeting # 10 from 03th of June, 2020

© NUFT, 2020

У журналі публікуються статті за результатами фундаментальних теоретичних розробок і прикладних досліджень у галузі технічних та економічних наук. Рукописи статей попередньо рецензуються провідними спеціалістами відповідної галузі.

Для викладачів, наукових працівників, аспірантів, докторантів і студентів вищих навчальних закладів, керівників підприємств харчової промисловості.

Журнал «Наукові праці Національного університету харчових технологій» включено в перелік наукових фахових видань України з технічних (спеціальності — 121, 126, 133, 141, 144, 151, 162, 181) та економічних наук (спеціальності — 051, 073, 075), категорія «Б» (Наказ МОН України № 975 від 11.07.2019), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

Журнал «Наукові праці Національного університету харчових технологій» індексується такими наукометричними базами:

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

Журнал рекомендовано Міністерством науки і вищої освіти Польщі для публікації результатів наукових досліджень.

Адреса редакції:

Національний університет
харчових технологій
вул. Володимирська, 68,
корпус Б, к. 412,
м. Київ, 01601

Рекомендовано вченою радою Національного університету харчових технологій. Протокол № 10 від 03 червня 2020 року

© НУХТ, 2020

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор
Editor-in-Chief

Анатолій Українець
Anatoliy Ukrainets

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food
Technologies, Ukraine

Заступник головного редактора
Deputy chief editor

Олександр Шевченко
Olexander Shevchenko

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food
Technologies, Ukraine

Відповідальний секретар
Accountable secretary

Юрій Пенчук
Yuriy Penchuk

канд. техн. наук, доц., Україна
Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Члени редакційної колегії:

Агота Гедре Райшене
Agota Giedre Raisiene

д-р екон. наук, Литва
Ph. D. Hab., Lithuanian Institute of Agrarian Economics,
Lithuania

Атанаска Тенева
Atanaska Teneva

д-р екон. наук, доц., Болгарія
Ph. D. Hab., University of Food Technolodgies, Bulgaria

Анатолій Зайнчковський
Anatoly Zainchkovskiy

д-р екон. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Анатолій Ладанюк
Anatoly Ladanyuk

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Андрій Маринін
Andrii Marynin

канд. техн. наук, ст. наук. сп., Україна
Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Брайан Мак Кенна
Brian McKenna

д-р техн. наук, проф., Ірландія
Ph. D. Hab., Prof., University College Dublin, Ireland

Валерій Мирончук
Valerii Myronchuk

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Василь Кишенько
Vasyl Kyshenko

канд. техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Василь Пасічний
Vasyl Pasichnyi

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Віктор Доценко
Victor Dotsenko

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Віктор Стабніков
Viktor Stabnikov

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Володимир Зав'ялов
Volodymyr Zavialov

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Володимир Іванов Volodymyr Ivanov	д-р. біол. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Галина Колісник Nalyna Kolisnyk	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., Uzhhorod National University, Ukraine
Галина Поліщук Nalyna Polishchuk	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Герхард Шльонінг Gerhard Schleining	д-р техн. наук, Австрія Ph. D. Hab., Prof., University of Natural Resources, Austria
Дайва Лескаускайте Daiva Leskauskaitė	д-р техн. наук, проф., Литва Ph. D. Hab., Prof., Kaunas University of Technology, Lithuania
Ірина Штулер Iryna Shtuler	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National academy of management
Кристина Сильва Cristina L.M. Silva	д-р техн. наук, проф., Португалія Ph. D. Hab., Prof., University de Catolica, Portuguesa
Лада Шірінян Lada Shirinyan	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Лариса Арсенєва Larisa Arsenyeva	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Наталія Луцька Nataliia Lutska	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Бутнік-Сіверський Oleksandr Butnik-Siverskyi	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Гавва Oleksandr Gavva	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Кургаєв Oleksandr Kurgaev	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олена Дерев'яно Olena Derevianko	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олена Стабнікова Olena Stabnikova	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Паола Піттія Paola Pittia	д-р техн. наук, проф., Італія Ph. D. Hab., Prof., University of Teramo, Italy
Володимир Ковбаса Volodymyr Kovbasa	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Світлана Бондаренко Svitlana Bondarenko	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Світлана Літвінчук Svitlana Litvynchuk	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Сергій Чумаченко Serhii Chumachenko	д-р техн. наук, ст. наук. сп., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Хууб Леліевельд Huub Lelieveld	Нідерланди Ph. D. Hab., Prof., President of the Global Harmonization Initiatives, Netherlands

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL MODES OF COLD ACID HYDROLYSIS OF POTATO STARCH

M. Alekseenko

Scientific-Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

V. Litvyak, A. Sysa

Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

E. Hrabovska, O. Galenko

National University of Food Technologies

Key words:

Starch

Potatoes

Hydrolysis

Paste

Modification

Article history:

Received 11.05.2020

Received in revised form

22.05.2020

Accepted 02.06.2020

Corresponding author:

V. Litvyak

E-mail:

besserk1974@mail.ru

ABSTRACT

As the object of study, we used native potato starch produced by the VMFA ChMP (Chernihiv, Ukraine) and acid-hydrolyzed potato starch. Acid hydrolysis was carried out for 1—24 hours at 25—55°C, in the presence of HCl at pH 0.1—0.6 N. The content of dry matter of acid-hydrolyzed starch in the supernatant of the filtrate was determined refractometrically, and a gelling ability and fluidity of the paste were also studied. The technological regimes of acid hydrolysis were optimized using the Statistica 8 application software package.

The technological modes of acid hydrolysis (acid concentration, temperature and hydrolysis time) of potato starch were optimized depending on its basic physicochemical properties (amount of dry matter in the supernatant, fluidity and gelling ability of the paste).

It was found that for potato acid-hydrolyzed starch, the minimum fluidity of the paste is at an optimum of 93.9 (processing temperature 23.6°C, processing time 7.9 hours and the concentration of HCl — 0.315 N.), the maximum gelling ability of the paste is after the transition point of 7.6 (temperature treatment time of 36.7°C, processing time of 18.9 hours and a HCl concentration of 0.65 N.), the minimum dry matter in the supernatant is after the transition point of 1.05 (treatment temperature of 39.1°C, processing time of 11.2 hours and HCl concentration 0.44 N.).

The interrelation of technological modes of acid hydrolysis of starch (temperature, acid concentration, time) with the technological characteristics of modified starch (concentration of dry matter in the supernatant of starch suspension, fluidity and gelling ability of starch paste) is found and optimal (maximum and minimum) process points are determined.

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ КИСЛОТНОГО ГІДРОЛІЗУ КАРТОПЛЯНОГО КРОХМАЛЮ

М. С. Алексєєнко

*Науково-практичний центр Національної академії наук Білорусі
з продовольства, м. Мінськ, Республіка Білорусь*

В. В. Літвяк, А. Г. Сиса

Білоруський державний університет, м. Мінськ, Республіка Білорусь

Е. В. Грабовська, О. О. Галенко

Національний університет харчових технологій

У статті як об'єкт дослідження використані нативний картопляний крохмаль виробництва ЧМП «Вітал» (м. Чернігів, Україна) і кислотногогідролізований картопляний крохмаль. Кислотний гідроліз проводили протягом 1—24 год при 25—55°C, наявності HCl при рН 0,1—0,6 н. Вміст сухих речовин кислотногогідролізованного крохмалю в надосадовій рідині фільтрату визначали рефрактометрично, також проведено дослідження на желювальну здатність і плинність клейстеру. Оптимізацію технологічних режимів кислотного гідролізу здійснювали за допомогою пакета прикладних програм Statistica 8.

Проведена оптимізація технологічних режимів кислотного гідролізу (концентрації кислоти, температури і часу гідролізу) картопляного крохмалю залежно від його основних фізико-хімічних властивостей (кількості сухих речовин у надосадовій рідині, плинності і желювальної здатності клейстеру).

Встановлено, що для картопляного кислотногогідролізованного крохмалю мінімум плинності клейстеру знаходиться в оптимумі 93,9 (температура оброблення 23,6°C, час оброблення 7,9 год і концентрація HCl 0,315 н.), Максимум желювальної здатності клейстеру досягається після точки переходу 7,6 (температура обробки 36,7°C, час обробки 18,9 год і концентрація HCl 0,65 н.), мінімум сухих речовин в надосадовій рідині — після точки переходу 1,05 (температура оброблення 39,1°C, час оброблення 11,2 год і концентрація HCl 0,44 н.).

Знайдено взаємозв'язок технологічних режимів кислотного гідролізу крохмалю (температура, концентрації кислоти, час) із технологічними характеристиками модифікованого крохмалю (концентрація сухих речовин у надосадовій рідині крохмальної суспензії, плинність і желювальна здатність крохмального клейстеру) і визначено оптимальні (максимальні і мінімальні) точки процесу.

Ключові слова: крохмаль, картопля, клейстер, модифікація, гідроліз.

Постановка проблеми. Питання удосконалення процесів отримання модифікованих крохмалів є актуальними як серед виробників, так і серед науковців, що підтверджується значною кількістю наукових статей у провідних наукових журналах [1—9].

Вперше каталітичні реакції отримання глюкози при нагріванні крохмалю з розбавленої сірчаної кислоти були відкриті в 1811 р. К. С. Кірхгофом [10]. Оп-

тимізація процесу кислотного гідролізу для вивільнення вільної глюкози із крохмалю і нині залишається актуальною науковою проблемою [11; 12].

Багато відомих на сьогодні методів кислотного гідролізу крохмалю засновані на каталітичній реакції К. С. Кірхгофа [10] і пов'язані з попередньою клейстеризацією крохмалю, тобто з руйнуванням крохмальних гранул [10—14]. Оптимізаційні аспекти крохмального гідролізу в основному визначаються як скорочення витрат на процес клейстеризації (руйнування крохмальних гранул) для подальшого розщеплення полімерних ланцюгів крохмалю за допомогою мінеральної кислоти або амілолітичного ферменту [13]. Так, наприклад, відомий спосіб гідролізу крохмалю під тиском [14].

Руйнування надмолекулярної (гранулярної) структури крохмалю, яке здійснюється при клейстеризації, суттєво змінює властивості крохмалю [2; 15]. Крохмальний клейстер не технологічний. Клейстер важко обезводити та сушити (в ньому міститься багато зв'язаної води), він володіє підвищеною адгезією (липкістю), має обмежені терміни зберігання тощо. Надмолекулярна (гранулярна) структура має значний вплив на прояв фізико-хімічних властивостей крохмалю [16]. При отриманні модифікованих крохмалів (крохмалів з цілеспрямовано зміненими фізико-хімічними властивостями) в більшості випадків необхідне збереження крохмальних гранул [1; 17; 18].

Останнім часом відомі одиничні праці, присвячені питанню зменшення молекулярної маси крохмалю зі збереженням його надмолекулярної (гранулярної) структури. Так, запропонований безперервний електролітичний гідроліз гранульованого картопляного крохмалю за допомогою індуктивної методики [19]. Однак дослідження технології холодного кислотного гідролізу крохмалю, яка здійснюється при температурах нижчих за температуру клейстеризації крохмалю (50°C та нижче), у вільному доступі практично відсутні. Так, була знайдена тільки одна наукова праця, частково присвячена вивченню холодного гідролізу крохмалю, де описується отримання наночастинок кристалічного крохмалю з використанням холодного кислотного гідролізу та ультразвуку [20].

Актуальною проблемою крохмалевиробництва є використання інноваційних технологій для повної безвідходної переробки сировини, зниження собівартості готової продукції для підвищення її конкурентоспроможності та впровадження енергозберігаючих технологій [1; 2; 4].

Мета дослідження: оптимізувати технологічні режими кислотного гідролізу (концентрації кислот, температури і часу гідролізу) картопляного крохмалю залежно від його основних фізико-хімічних властивостей (кількість сухих речовин у надосадовій рідині, плинності та желювальної здатності клейстеру).

Матеріали і методи. Як об'єкт дослідження були використані нативний картопляний крохмаль виробництва ПМП «Вітал» і кислотногогідролізований картопляний крохмаль.

Кислотний гідроліз крохмалю. До наважки крохмалю масою 60 г додавали 77 мл соляної кислоти (HCl) різної концентрації (табл. 1), суміш ретельно перемішували для рівномірного розподілу реагенту по поверхні крохмальних зерен. Процес проводили на водяній бані. Тривалість процесу змінювалася від 3 до 24 год в діапазоні температури від 25 до 55°C. Після закінчення процесу гід-

ролізу суміш нейтралізували розчином кальцінованої соди до рН 4,5—5,0. Далі до отриманого зразка додавали 50 мл спиртової суміші (25 мл C_2H_5OH + 25 мл H_2O), ретельно перемішували, а потім відокремлювали рідку фазу від крохмалю на паперовому фільтрі. Вологий крохмаль рівномірно розподіляли по поверхні фільтра і підсушували в сушильній шафі при температурі 40°C, після цього його просівали і відокремлювали крупку.

Фізико-хімічні методи. Вміст сухих речовин кислотного гідролізованого крохмалю в надосадовій рідині фільтрату визначали рефрактометрично за ISO 1743:1982 [21]. Отримані зразки кислотного гідролізованого крохмалю досліджували на желювальну здатність і плинність клейстеру [22; 23; 24].

Оптимізацію технологічних режимів кислотного гідролізу (концентрація кислоти, температура і тривалість гідролізу) картопляного крохмалю залежно від його основних фізико-хімічних властивостей (кількості сухих речовин у надосадовій рідині, плинність і желювальна здатність клейстеру) здійснювали за допомогою пакета прикладних програм Statistica 8.

У дослідженні обрано центральний композиційний ротатабельний план повного факторного експерименту 23 (ПФЕ ЦКРП 23), оскільки такий тип плану експерименту дає найбільш повну і точну картину про одержувану інформацію та рівномірно розподіляє її по всьому інтервалу факторного простору. При цьому відбувається мінімізація систематичних помилок, пов'язаних з неадекватністю представлення результатів поліномами другого порядку [14; 15].

За отриманими даними в ході проведення експериментальних досліджень складається математична модель, що являє собою відрізок полінома другого порядку:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \dots + b_k \cdot X_k + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + b_{(k-1)k} \cdot X_{k-1} \cdot X_k + b_{11} \cdot X_1^2 + \dots + b_{kk} \cdot X_k^2,$$

де Y — функція відгуку; b_0 — коефіцієнт рівняння регресії в нульовому значенні; b_1, b_2, \dots, b_k — коефіцієнти при лінійній залежності; $b_{12}, b_{23}, b_{(k-1)k}$ — коефіцієнти при парній взаємодії факторів; X_1, X_2, X_k — фактори варіювання.

Для перевірки математичної моделі на адекватність використовували F -критерій (критерій Фішера) [25; 26], адже цей метод є найбільш зручним статистичним методом для перевірки адекватності моделі і перевірка зводиться до порівняння з табличними значеннями.

Значимість кожного коефіцієнта визначали перевіркою за критерієм Стюдента [27] за формулою:

$$t = \frac{|b_j|}{S_{\{b_j\}}},$$

де b_j — коефіцієнт при факторах варіювання в рівнянні регресії; $S_{\{b_j\}}$ — квадратична помилка коефіцієнтів регресії.

Для усунення впливу на функцію відгуку систематичних помилок, викликаних зовнішніми умовами, передбачені матрицею планування (табл. 1 і 2) досліді проводилися у випадковій послідовності.

Результати і обговорення. Для кислотного гідролізу крохмалю істотне значення має дотримання технологічного режиму, зокрема таких параметрів: кон-

центрація кислоти, температура і тривалість процесу. Отримані в ході експериментальних досліджень дані дали змогу виконати оптимізацію за допомогою методів математичного моделювання.

На першому етапі були проведені експериментальні дослідження з метою визначення оптимальних меж застосування технологічних параметрів для проведення модифікації (кислотного гідролізу) крохмалю, які надають можливість отримати кислотно-модифікований крохмаль з визначеними фізико-хімічними властивостями. За результатами дослідження було встановлено рівні факторів та інтервали варіювання основних параметрів процесу (табл. 3).

Таблиця 1. Вибір необхідних досліджень за допомогою методу планування експерименту

№ дослідження	Умови проведення кислотного гідролізу			№ дослідження	Умови проведення кислотного гідролізу		
	Температура, °С	Тривалість, год	Концентрація HCl, н.		Температура, °С	Тривалість, год	Концентрація HCl, н.
1	25	3	0,2	11	37,5	1	0,35
2	50	3	0,2	12	37,5	24	0,35
3	25	22	0,2	13	37,5	13	0,1
4	50	22	0,2	14	37,5	13	0,6
5	25	3	0,5	15	37,5	13	0,35
6	50	3	0,5	16	37,5	13	0,35
7	25	22	0,5	17	37,5	13	0,35
8	50	22	0,5	18	37,5	13	0,35
9	20	13	0,35	19	37,5	13	0,35
10	55	13	0,35				

Таблиця 2. Рівні факторів та інтервали варіювання

Рівні факторів	Умови проведення кислотного гідролізу		
	Концентрація HCl, н.	Тривалість, год	Температура, °С
	X_1	X_2	X_3
Нижній рівень	0,2	3	25
Основний рівень	0,35	13	37,5
Верхній рівень	0,5	22	50
Інтервал варіювання	0,1	2	5
Рівень $-\alpha$	0,1	1	20
Рівень $+\alpha$	0,6	24	55

Друга серія дослідів полягала в дослідженні впливу технологічних умов модифікації (кислотного гідролізу) крохмалю: концентрація кислоти, температура і час обробки на властивості отриманого крохмалю. Експерименти проводили згідно з планом трифакторного експерименту другого порядку, який наведено в табл. 1.

Розв'язок задачі оптимізації передбачає розробку математичної моделі для вираження залежності показників кислотно-модифікованого крохмалю від технологічних параметрів процесу. Математичні моделі, отримані при дослідженні технологічних об'єктів, дають змогу вирішувати ряд завдань, серед яких осо-

бливе місце займає задача пошуку оптимальних параметрів проведення процесу в досліджуваному об'єкті.

Для оцінки якості отриманого модифікованого крохмалю були визначені такі властивості і параметри крохмалю: плинність і желювальна здатність клейстеру отриманого кислотногогідролізованого картопляного крохмалю, а також вміст сухих речовин у фільтраті після зневоднення кислотногогідролізованого картопляного крохмалю. Отримані результати зведені в табл. 2.

Таблиця 3. Фізико-хімічні характеристики (плинність і желювальна здатність) клейстеру кислотногогідролізованого картопляного крохмалю (кількість сухих речовин залишається у фільтраті після зневоднення кислотногогідролізованого картопляного крохмалю)

Умови кислотного гідролізу			Плинність, с	Желююча здатність
Концентрація HCl, н.	Тривалість, год	Температура, °C		
0,2	3	50	95	9
0,5	3	50	96	9
0,2	22	50	96	7
0,5	22	50	97	7
0,1	13	37	98	6
0,35	13	37	94	7
0,35	13	37	94	7
0,6	13	37	98	7
0,2	3	25	95	2
0,5	3	25	97	6
0,2	22	25	98	8
0,5	22	25	99	8
0,35	13	55	98	8
0,35	13	20	95	3
0,35	1	37	97	5
0,35	24	37	98	9
Умови кислотного гідролізу			Вміст сухих речовин у фільтраті, %	
Концентрація HCl, н.	Тривалість, год	Температура, °C		
0,2	5,5	48	0,7	
0,5	5,5	48	0,9	
0,2	19,5	48	0,6	
0,5	19,5	48	0,8	
0,15	12,5	37,5	0,1	
0,35	12,5	37,5	0,88	
0,35	12,5	37,5	1	
0,6	12,5	37,5	1	
0,2	5,5	27	0,2	
0,5	5,5	27	1	
0,2	19,5	27	0,2	
0,5	19,5	27	1,2	
0,35	12,5	55	1,4	
0,35	12,5	20	1	
0,35	1	37,5	1	
0,35	24	37,5	0,8	

У цих дослідженнях застосовувався ротатабельний план, для якого дисперсія відгуку є постійною в усіх точках, однаково віддалених від центру плану.

Використані позначення:

X_1 — концентрація соляної кислоти, н.;

X_2 — температура процесу, °С;

X_3 — тривалість процесу, год;

$Y_1(X_1, X_2, X_3)$ — плинність крохмального клейстеру;

$Y_2(X_1, X_2, X_3)$ — желювальна здатність крохмального клейстеру;

$Y_3(X_1, X_2, X_3)$ — вміст сухих речовин у надосадовій рідині крохмальної суспензії.

Результати проведеної оптимізації кислотного гідролізу картопляного крохмалу представлені на рис. 1—4.

Оптимізація за плинністю клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалу. Особливості оптимізації технологічних режимів кислотного гідролізу за плинністю клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалу представлені на рис. 1.

Узагальнене критеріальне рівняння залежності плинності клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалу від температури, тривалості обробки та концентрації кислоти має такий вигляд:

$$Y_1 = 94,4322 + 0,3199 \cdot X_1 + 0,9866 \cdot X_2 - 0,3828 \cdot X_3 + 1,2121 \cdot X_1^2 + 0,8822 \cdot X_2^2 + 1,7965 \cdot X_3^2 - 0,1956 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,0573 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1,9051 \cdot X_2 \cdot X_3.$$

Статистично значимі ефекти (рівень $p < 0,05$) мають два квадратичних члени: ТРИВАЛІСТЬ (Q) і КОНЦЕНТРАЦІЯ HCl (Q), лінійну взаємодію змінних: ТРИВАЛІСТЬ і ТЕМПЕРАТУРА (рис. 4). Отже, квадратичні члени ТРИВАЛІСТЬ (Q) і КОНЦЕНТРАЦІЯ HCl (Q) та лінійна взаємодія змінних ТРИВАЛІСТЬ і ТЕМПЕРАТУРА дають значні ефекти.

Мінімум плинності клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалу знаходиться в оптимумі (мінімум) 93,9 при температурі обробки 23,6°С, тривалості обробки 7,9 год та концентрації кислоти 0,315 н.

Оптимізація за желювальною здатністю клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалу. Особливості оптимізації технологічних режимів кислотного гідролізу желювальної здатності клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалу представлені на рис. 2.

Узагальнене критеріальне рівняння залежності желювальної здатності клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалу від температури, тривалості обробки та концентрації кислоти має такий вигляд:

$$Y_2 = 6,7184 + 0,6221 \cdot X_1 + 1,1181 \cdot X_2 + 0,9723 \cdot X_3 - 0,0181 \cdot X_1^2 - 0,5200 \cdot X_2^2 + 0,4528 \cdot X_3^2 - 0,1718 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,8307 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1,2468 \cdot X_2 \cdot X_3.$$

Статистично значимі ефекти (рівень $p < 0,05$) факторів у досліджуваному діапазоні відсутні, що підтверджується Картою Парето (рис. 4).

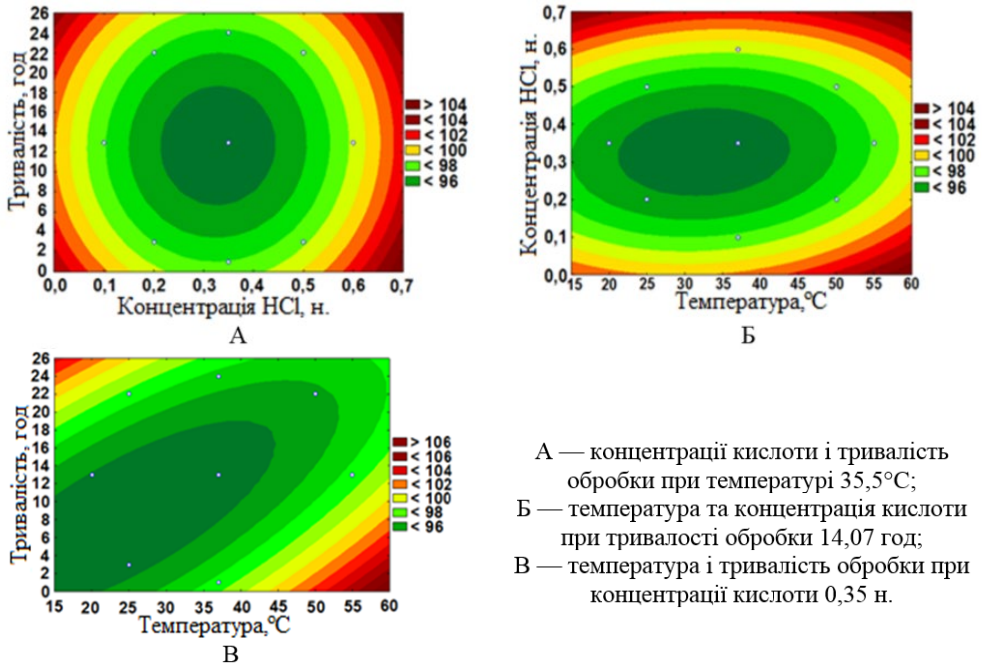


Рис. 1. Лінії рівня плинності клейстеру картопляного кислотногідролізованого крохмалю

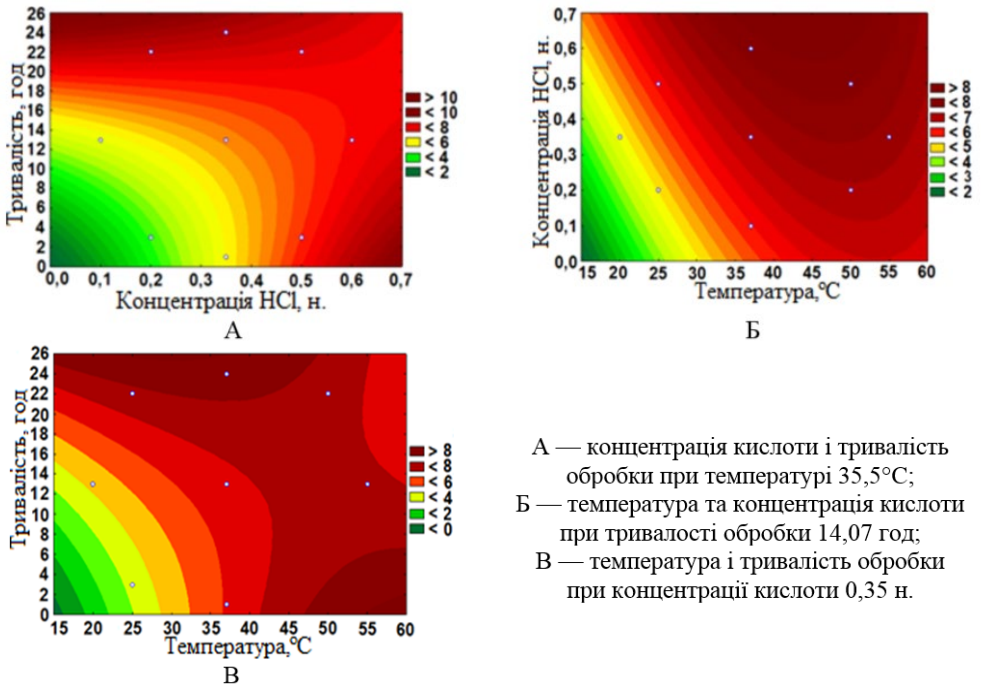


Рис. 2. Лінії рівня плинної здатності клейстеру картопляного кислотногідролізованого крохмалю

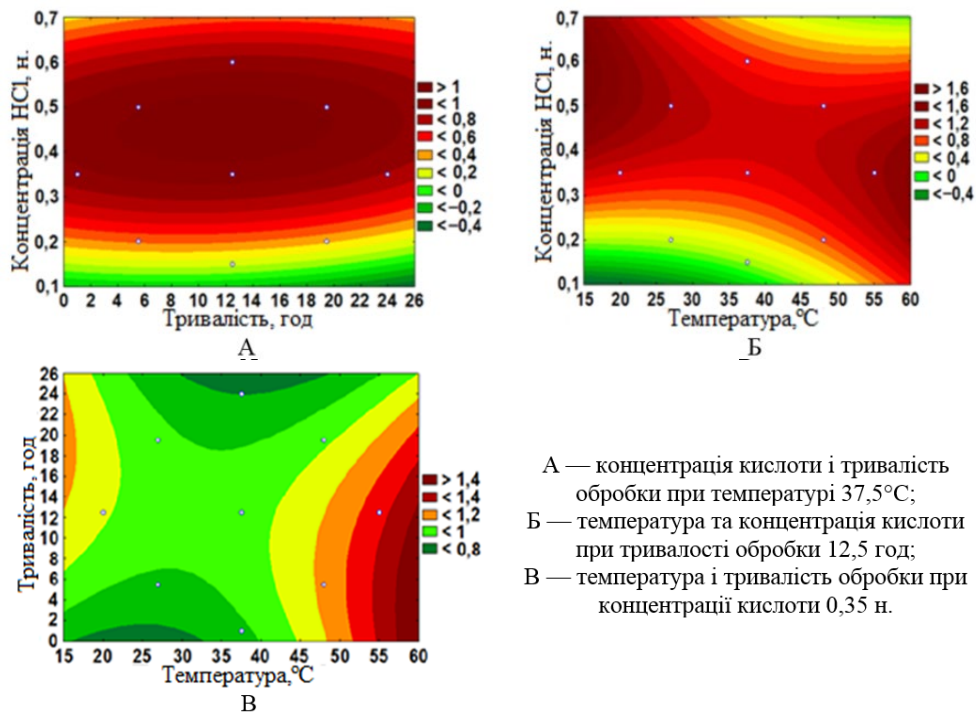


Рис. 3. Лінії рівня кількостей сухих речовин у надосадовій рідині суспензії картопляного кислотногогідролізованого крохмалю

Максимум желувальної здатності клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалю знаходиться після точки переходу 7,6 при температурі обробки 36,7°С, тривалості обробки 18,9 год і концентрації кислоти 0,65 н.

Оптимізація за кількістю сухих речовин у надосадовій рідині суспензії картопляного кислотногогідролізованого крохмалю. Особливості оптимізації технологічних режимів кислотного гідролізу за кількістю сухих речовин у надосадовій рідині суспензії картопляного кислотногогідролізованого крохмалю представлені на рис. 3.

Узагальнене критеріальне рівняння залежності вмісту сухих речовин у фільтраті картопляного кислотногогідролізованого крохмалю від температури, тривалості обробки та концентрації кислоти має такий вигляд:

$$Y_3 = 0,9510 + 0,3127 \cdot X_1 + 0,0788 \cdot X_2 - 0,0245 \cdot X_3 - 0,2257 \cdot X_1^2 + 0,0656 \cdot X_2^2 - 0,0444 \cdot X_3^2 - 0,1750 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,0250 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,0500 \cdot X_2 \cdot X_3.$$

Статистично значимі ефекти (рівень $p < 0,05$) мають лінійний член КОНЦЕНТРАЦІЯ НСІ (L), квадратичний член КОНЦЕНТРАЦІЯ НСІ (Q) та лінійну взаємодію змінних КОНЦЕНТРАЦІЯ і ТЕМПЕРАТУРА (рис. 4).

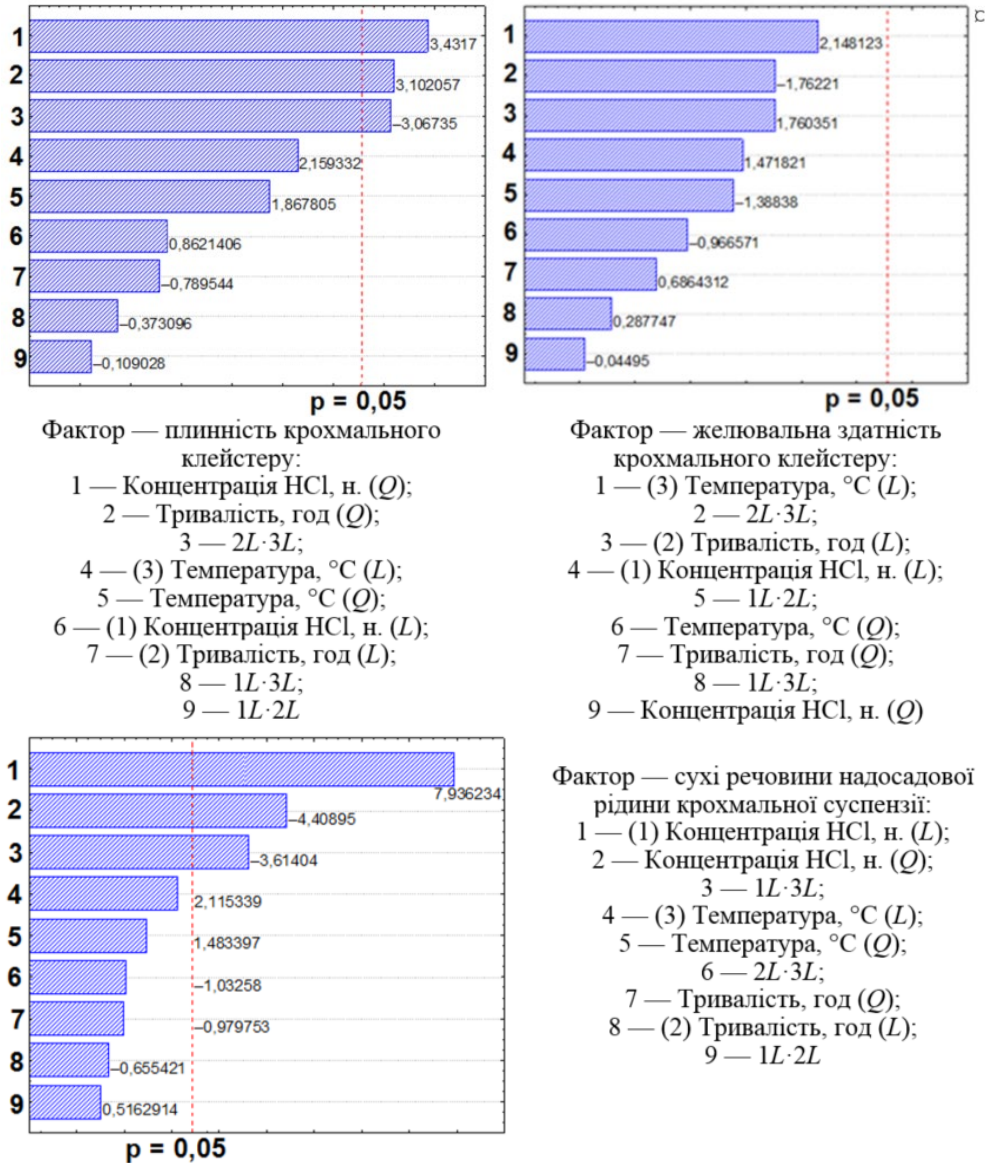


Рис. 4. Карти Парето впливу різноманітних факторів на процес крохмального гідролізу

Мінімум сухих речовин у надосадовій рідині суспензії картопляного кислотно-гідролізованого крохмалю знаходиться після точки переходу 1,05 при температурі обробки 39,1°C, тривалості обробки 11,2 год та концентрації кислоти 0,44 н.

Гідроліз крохмалю складний процес (рис. 5). Паралельно з гідролізом, що полягає в розщепленні полімерних ланцюгів крохмалю, проходить багато побічних хімічних реакцій (реакція меланоїдиноутворення, термічне руйнування глюкози, утворення фурфуролу тощо), а також здійснюється ресинтез (повторне

зшивання) полімерних ланцюгів крохмалю. При всьому різноманітті різних хімічних процесів, що відбуваються при гідролізі крохмалю, хімічну рівновагу зміщено в бік гідролітичного руйнування (1,4)- і (1,6)-глюкозидних зв'язків крохмалю.

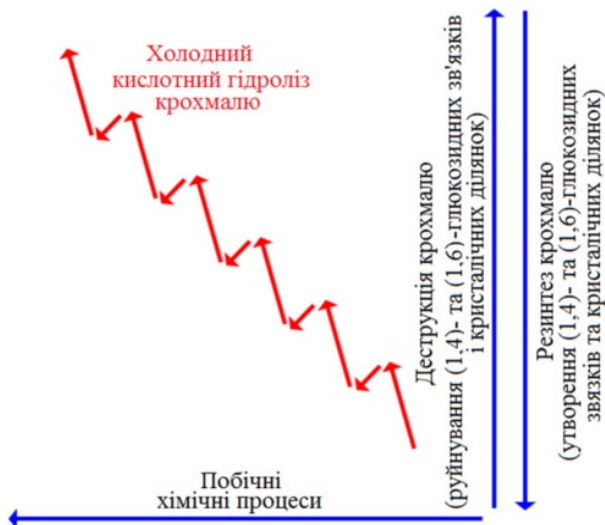


Рис. 5. Основні процеси холодного кислотного гідролізу крохмалю та їх напрямки

Висновки

Проведена оптимізація технологічних режимів кислотного гідролізу (концентрація кислоти, температура і тривалість гідролізу) картопляного крохмалю залежно від його основних фізико-хімічних властивостей (кількості сухих речовин у надосадовій рідині, плинності та желювальної здатності клейстеру).

Встановлено, що для картопляного кислотногогідролізованого крохмалю оптимум:

- мінімум плинності клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалю знаходиться в оптимумі (мінімум) 93,9 при температурі обробки 23,6°C, тривалості обробки 7,9 год та концентрації кислоти 0,315 н.;

- максимум желювальної здатності клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалю знаходиться після точки переходу 7,6 при температурі обробки 36,7°C, тривалості обробки 18,9 год і концентрації кислоти 0,65 н.;

- мінімум сухих речовин у надосадовій рідині суспензії картопляного кислотногогідролізованого крохмалю знаходиться після точки переходу 1,05 при температурі обробки 39,1°C, тривалості обробки 11,2 год та концентрації кислоти 0,44 н.

Література

1. Kaur L., Singh J. Starch: Modified Starches. Encyclopedia of Food and Health. 2016. P. 152—159.
2. Litvyak V. Size and morphological features of native starch granules of different botanical origin. *Ukrainian Food Journal*. 2018. Vol. 7. Is. 4. P. 563—576.
3. Kuk R. S., Waiga L. H., Oliveira C. S., Bet C. D., Lacerda L. G., Schnitzler E. Thermal, structural and pasting properties of brazilian ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) starch. *Ukrainian Food Journal*. 2017. V. 6. Is. 4. P. 674—685.

4. Elvers B. Ullmann's Food and Feed. Wiley-VCH, Weinheim: Verlag GmbH&Co, 2017.
5. Fan Jiang, Chunwei Du, Wenqian Jiang, Liying Wang, Shuang-kui Du. Physicochemical properties and structure of hydrothermally modified starches. *Food Hydrocolloids*. 2019. Vol. 95. P. 88—97.
6. Xiangli Kong. Chapter 7: Starches Modified by Nonconventional Techniques and Food Applications/ Starches for Food Application. 2019. P. 271—295.
7. The preparation, formation, fermentability, and applications of resistant starch / Fan Jiang, Chunwei Du, Wenqian Jiang, Liying Wang, Shuang-kui Du // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019. (In press, corrected proof, Available online 15 November 2019).
8. Maurice C. R. Franssen, Carmen G. Boeriu. Chapter 6: Chemically Modified Starch; Allyl- and Epoxy-Starch Derivatives: Their Synthesis and Characterization / Maurice C. R. Franssen, Carmen G. Boeriu // *Starch Polymers*. 2014. P. 145—184.
9. Fan Zhu. Modifications of starch by electric field based techniques. *Trends in Food Science & Technology*. 2018. Vol. 75. P. 158—169.
10. Jaime Wisniak. The History of Catalysis. From the Beginning to Nobel Prizes. *Educ. quim*. 2010. Vol. 21, No. 1. P. 60—69.
11. Ram Chavan, Kunjan Saxena, Dhananjay Tigote. Optimization of Acid Hydrolysis Process for Free Glucose Recovery From Starch IJISET — *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. 2015. Vol. 2, No. 12. P. 55—58.
12. Aborode Abdullahi Tunde. Production of Glucose from Hydrolysis of Potato Starch. *World Scientific News*. 2020. Vol. 145. P. 128—143.
13. Shujun Wang, Les Copeland. Effect of acid hydrolysis on starch structure and functionality: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*. 2015. Vol. 55, No. 8. P. 1081—1097.
14. Hunter A. S., Talle E. A. Acid hydrolysis of potatoes under pressure. *American Potato Journal*. 1950. Vol. 27. P. 425—438.
15. Starch: Chemistry and Technology. 3rd Edition, Kindle Edition by James N. BeMiller (Editor), Roy L. Whistler (Editor). *Academic Press*. 2009. 894 p.
16. Raguin A., Ebenhöf O. Design starch: stochastic modeling of starch granule biogenesis. *Biochem. Soc. Trans*. 2017. Vol. 45, No. 4. P. 885—893.
17. Жушман А. И. Модифицированные крахмалы. М.: Пищепромиздат, 2007. 236 с.
18. Martins P. C., Gutkoski L. C., Martins V. G. Impact of acid hydrolysis and esterification process in rice and potato starch properties. *Int. J. Biol. Macromol*. 2018. Vol. 120. P. 959—965.
19. Dandan Li, Na Yang, Yamei Jin, Lunan Guo, Yuyi Zhou, Zhengjun Xie, Zhengyu Jin, Xueming Xu. Continuous-flow Electro-Assisted Acid Hydrolysis of Granular Potato Starch via Inductive Methodology. *Food Chem*. 2017. Vol. 229. P. 57—65.
20. Hee-Young Kim, Dong June Park, Jong-Yea Kim, Seung-Taik Lim. Preparation of Crystalline Starch Nanoparticles Using Cold Acid Hydrolysis and Ultrasonication. *Carbohydr. Polym*. 2013. Vol. 98, No. 1. P. 295—301.
21. ISO 1743:1982. Glucose syrup — Determination of dry matter content — Refractive index method. Available at: URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:1743:ed-2:v1:en>.
22. Gülden Gökşen, Hacı İbrahim Ekiz. Pasting and gel texture properties of starch-molasses combinations. *Food Science and Technology*. 2019. V. 39. No. 1. URL: <http://dx.doi.org/10.1590/fst.27817>.
23. Штангеева Н. И., Чернявська Л. И., Рева Л. П. Методи контролю харчових виробництв: лабор. практикум: навч. посіб. Л. Київ, 2000. 240 с.
24. Черевко О. І., Крайнюк Л. М., Касілова Л. О., Димитрієвич Л. Р. Методи контролю якості харчової продукції: навч. посіб. Харків, 2005. 230 с.
25. NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, Available at: URL: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook>, Date of access: June 12, 2019.
26. Красовский Г. И., Филаретов Г. Ф. Планирование эксперимента. Минск: Изд-во БГУ, 1982. 302 с.
27. Ловкис З. В., Литвяк В. В., Петюшев Н. Н. Технология крахмала и крахмалопродуктов. Минск: Асобный. 2007. 178 с.

ЗМІСТ

Автоматизація та інформаційні технології

Ладанюк А. П., Власенко Л. О., Луцька Н. М., Смітюх Я. В., Бойко Р. О. Автоматизовані технологічні комплекси: сучасні методи, задачі аналізу та синтезу. Частина 1. Аналіз проблеми

Шишаєв А. В., Пупеня О. М. Керування життєвим циклом людино-машинних інтерфейсів

Чумаченко С. М., Мошенський А. О., Савицька Я. А., Смолій В. В. Синтез оцінки стану складної системи методами кластеризації

Качанов П. О., Євсєєнко О. М., Півненко А. М. Автоматизована система керування мікрокліматом грибною ферми

Біотехнології

Черепанський В. В., Грегірчак Н. М. Особливості технологічного процесу виробництва пробіотичного препарату на основі лактобацил

Пирог Т. П., Петренко Н. М., Палійчук О. І. Дія на мікроорганізми поверхнево-активних речовин, синтезованих *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017 на промислових відходах

Вискірко С. І., Скроцька О. І. Протипухлинна активність і деякі аспекти біотехнології мікробних протиракових метаболітів

Економіка, менеджмент і маркетинг

Мельник А. О., Поліщук М. Р., Білко М. В. Реалізація проєктів Міжнародного банку реконструкції та розвитку в Україні

Бойко С. В., Дячук Я. С. Позиція державних банків у банківській системі України: аспект рентабельності

Страшинська Л. В., Никоненко А. В. Вітчизняний ринок кондитерських виробів в аспекті загальносвітових тенденцій розвитку

Скопенко Н. С., Євсєєва-Северина І. В. Безпечність харчових продуктів як важлива складова конкурентоспроможності підприємств

Льчук М. М., Радько В. І., Дмитрук М. І., Кучеренко В. М. Розвиток виноградарства в підприємствах півдня України

Курченко К. М., Грищенко Д. Г. Фактори і проблеми, що впливають на розвиток ділової кар'єри сучасної особистості

Механічна та електрична інженерія

Буляндра О., Гапонич Л., Голенко І., Топал О. Перспективи використання палива з твердих побутових відходів на ТЕЦ цукрових заводів

CONTENTS

Automation and Information Technologies

7 *Ladanyuk A., Vlasenko L., Lutska N., Smityuh Y., Boyko R.* Automated technological complexes: modern methods and problems of analysis and synthesis. Part 1. Analysis of the problem

17 *Shyshak A., Pupena O.* Management of human-machine interface lifecycle

28 *Chumachenko S., Moshensky A., Savitskaya I., Smolii V.* Complex systems state overall estimation synthesis by clustering methods

35 *Kachanov P., Yevseienko O., Pivnenko A.* Mushroom farm automated control system

Biotechnology

44 *Cherepanyskiy V., Hrehirchak N.* Peculiarities of the technological process of manufacture of probiotic preparation on the basis of lactobacilli

60 *Pirog T., Petrenko N., Paliichuk O.* Action on microorganisms of surfactants synthesized by *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017 on industrial waste

70 *Vyskirko S., Skrotska O.* Anti-tumor activity and some aspects of biotechnology of microbial anti-cancer metabolites

Economy, Management and Marketing

84 *Melnyk A., Polishchuk M., Bilko M.* Implementation of International bank of reconstruction and development projects in Ukraine

93 *Boiko S., Diachuk Ya.* The position of state-owned banks in the banking system of Ukraine: the aspect of the rate of return

102 *Strashynska L., Nikonenko A.* Domestic market of confectionery products in the aspect of general world development trends

110 *Skopenko N., Yevsieieva-Severyna I.* Food safety as an important component of enterprise competitiveness

121 *Pchuk M., Radko V., Dmytruk M., Kucherenko V.* Viticulture development in the enterprises at the south of Ukraine

130 *Kurchenko K., Hryshchenko D.* The development of the modern personality's business career

Mechanical and Electrical Engineering

137 *Bulyandra O., Haponych L., Golenko I., Topal O.* Prospects of the use of fuel from municipal solid waste at TPP of sugar factories

- Петренко В. П., Прядко М. О., Рябчук О. М., Цьось А. Л.* 147 *Petrenko V., Pryadko M., Riabchuk O., Tsoys A.* Моделивання теплообміну у вільно стікаючих слаботорбулентних плівках рідини під час пароутворення Heat transfer modeling in a freely flowing evaporating weakly turbulent liquid film
- Стрельченко Л. В., Дубковецький І. В.* 158 *Strelchenko L., Dubkovetskyi I.* Енерго-ефективність від впровадження конвективно-терморадіаційної сушильної установки з тепловим насосом Energy efficiency from the introduction of convective-thermoradiation drying equipment with a heat pump
- Соколенко А. І., Шевченко О. Ю., Васильківський К. В., Литвинчук С. І.* 165 *Sokolenko A., Shevchenko O., Vasykivsky K., Litvinchuk S.* Оцінка перспектив використання вторинних енергетичних ресурсів варильних відділень пивзаводів Assessment of prospects for the use of secondary energy resources of breweries
- Кирик І. М., Гуринова Т. А., Кирик А. В., Селех В. І.* 177 *Kirik I., Gurinova T., Kirik A., Celech V.* Исследование технологических параметров при выпечке заварных ржано-пшеничных хлебов в параконвекционных пекарных камерах Study on technological parameters for baking fermented rye-wheat breads using combi-steam ovens

Харчові технології

- Любич В. В., Железна В. В., Єрмеєва О. А.* 185 *Liubych V., Zheliezna V., Yeremeeva O.* Якість екструдату із зерна пшениці м'якої залежно від сорту та лінії Extrudate quality of soft wheat grain depending on variety and line
- Авдієєва Л. Ю., Декуша Г. В., Жукотський Е. К.* 197 *Avdieieva L., Dekusha H., Zhukotskyi E.* Ферментативні білкові гідролізати для спеціалізованих харчових продуктів Enzymatic protein hydrolysates for specialized food products
- Москалюк О. Є., Гацук О. І., Бреус Н. М.* 205 *Moskalyuk O., Haschuk A., Breus N.* Математико-статистична оцінка досліджених показників інноваційних м'ясних паштетів Mathematical and statistical assessment of the investigated meat pates
- Пасічний В. М., Хорунжа Т. О., Полумбрик М. М.* 214 *Pasichnyi V., Khorunzha T., Polumbryk M.* Дослідження впливу пастеризації на органолептичні, реологічні та фізико-хімічні характеристики сосисок Research of the influence of pasteurization on organoleptic, rheological and physicochemical characteristics of sausages
- Алексеєнко М. С., Літвяк В. В., Суса А. Г., Грабовська Е. В., Галенко О. О.* 222 *Alekseenko M., Litvyak V., Sysa A., Hrabovska E., Galenko O.* Оптимізація технологічних режимів кислотного гідролізу картопляного крохмалю Optimization of technological modes of cold acid hydrolysis of potato starch
- Сімахіна Г. О., Камінська С. В.* 234 *Simakhina G., Kaminska S.* Стан і перспективи розвитку вітчизняного ринку заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів The state and the perspectives of development of the domestic market of frozen fruit and berry half products

Food Technology

Chemical Sciences

- Костенко Є. Є., Ганчук В. Д., Бутенко О. М.* 243 *Kostenko E., Ganchuk V., Butenko E.* Моніторинг нітратів і заходи щодо їх зменшення у рослинній продукції Monitoring of nitrates and measures for their reduction in plant products