

ІТЕ ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Щоквартальний науково-практичний журнал

1'2025

Видання засновано Харківським державним політехнічним університетом у 1998 році
(з листопада 2000 р. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»)

Держвидання
Свідоцтво Міністерства інформації України
КВ № 3427 від 18.08.1998 р.
Свідоцтво перереєстровано у Міністерстві юстиції України
КВ № 24313-ПР від 06.02.2020 р.
Ідентифікатор медіа R30-02564, згідно з рішенням Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення від 11.01.2024 №33

Журнал включений
до переліку наукових фахових видань України
(Наказ Міністерства освіти та науки України №886 від 02.07.2020)
Категорія журналу «Б»

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор
Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, член-кор. НАН України
Технічний редактор
К. О. Горбунов, канд. техн. наук, доц., зав. каф. ІТПА НТУ "ХПІ"

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ:

О. П. Арсенєва, д-р техн. наук, професор, професор каф. АКІТ ХНУМІ
В. Є. Вель, д-р техн. наук, професор, професор каф. ІТПА НТУ "ХПІ"
П. О. Некрасов, д-р техн. наук, професор, проф. каф. ТЖПБ НТУ "ХПІ"
П. О. Качанов, д-р техн. наук, професор, зав. каф. АУТС НТУ "ХПІ"
М. П. Кудненко, д-р техн. наук, професор, зав. каф. Теплотехніки та енергоефективних технологій НТУ "ХПІ"
В. В. Стариков, д-р техн. наук, доцент, зав. каф. Технічної кріофізики НТУ "ХПІ"
Г. Л. Хавін, д-р техн. наук, професор, професор НТУ "ХПІ"
А. М. Ганжа, д-р техн. наук, професор, професор каф. ТЕТ НТУ "ХПІ"
О. Б. Аніпко, д-р техн. наук, професор каф. інженерно-авіаційного забезпечення, Харківський національний університет Повітряних сил ім. І.Кожедуба
В. А. Маляренко, д-р техн. наук, професор, професор каф. СЕЕМ ХНУМІ
В. В. Лебедєв, д-р техн. наук, доцент, доцент каф. ТПМ і БАП НТУ "ХПІ"
П. О. Капустенко, канд. техн. наук, професор, акад. Академії будівництва України
Ференс Фридлер, PhD, professor, Pázmány Péter Katolikus egyetem, Budapest, Magyarország
Шарифа Рафіда Ван Алві, PhD, professor, Малайзійський університет технологій
Девид Дж. Куккулька, PhD, професор, Державний університет Нью-Йоркського коледжу у Буффало, США
Євген Кеніг, д-р техн. наук, професор, Падерборнський університет, Німеччина
Мартін Пікон-Нуньєс, PhD, professor, Університет Гуанахуато, Мексика
Петар Варбанов, старший науковий співробітник NETME Center - SPIL, Технологічний університет Брно, Чеська республіка
Майкл Уолмслі, BE, PhD ChemEng, Університет Вайкато, Окленд, Нова Зеландія
П. Стехлік, PhD, проф., Директор Технологічного університету Брно (Чеська республіка)
Панос Сеферліс, PhD., проф., університет Арістотеля в Салоніках, Греція

Журнал включений до зовнішніх інформаційних систем, у тому числі в бібліографічну базу даних OCLC WorldCat (США), індексується пошуковими системами Google Scholar і Crossref, зареєстрований у світовому каталозі періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Офіційний сайт видання: <http://ite.khpi.edu.ua>

EDITORIAL BOARD

The editor-in-chief

L. L. Tovazhnyanskyi, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, NTU "KhPI

Technical editor

K. O. Gorbunov, PhD, Assistant Professor, professor NTU "KhPI"

THE MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

O. P. Arsenyeva, Doctor of Technical Sciences, Prof., Kharkov National University of Municipal Economy named after O.M. Beketova
V. E. Ved, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
P. O. Nekrasov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
P. O. Kachanov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
M. P. Kundenko, Doctor of Technical sciences, Prof., Head of Heat engineering and energy efficient technologies department NTU "KhPI"
V. V. Starikov, Doctor of Technical sciences, Assistant Professor, Head of Technical Cryophysics Department NTU "KhPI"
G. L. Khavin, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
A. M. Hanzha, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
O. B. Anipko, Doctor of Technical Sciences, Prof., Kozhedub Kharkiv Air Force University
V. A. Malyarenko, Doctor of Technical Sciences, Prof., Kharkov National University of Municipal Economy named after O.M. Beketova
V. V. Lebediev, Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, NTU "KhPI"
P. O. Kapustenko, PhD, professor NTU "KhPI"
Ferenc Friedler, PhD, professor, Pázmány Péter Catholic University, Budapest, Hungary
Sharifah Rafidah Wan Alwi, PhD, professor, Universiti Teknologi Malaysia
David J. Kukulka, PhD., professor, State University of New York College at Buffalo, USA
Eugeniy Kenig, prof., dr.-ing., Paderborn University, Germany
Martín Picón Núñez, PhD, professor, university of Guanajuato, Mexico
Petar Sabev Varbanov, Senior Researcher, NETME Centre - SPIL, BRNO University of Technology, Czech Republic
Michael Walmsley, BE, PhD ChemEng, University of Waikato, New Zealand
Petr Stehlik, PhD., professor, Director of Institute BRNO University of Technology, Czech Republic
Panos Seferlis, PhD., professor, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:

61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2
Тел. 70-76-958

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

<i>Фик І. М., Сінкевич І. В., Минчукова Н. Ф., Мардупенко О. О., Горбунов К. О.</i> Прогресивні технології підвищення конденсації вилучення з газоконденсатних родовищ при сайклінг–процесі з застосуванням методів програмування.....	3
<i>Селіхов Ю. А., Горбунов К. О., Нагорний Е. Р., Пільник І. В., Рись В. Г.</i> Моделювання процесу енергетичної ефективності роботи теплоенергетичної установки на базі сонячних колекторів з використанням програмування у прикладному середовищі MATCAD.....	12
<i>Єгоров О. Б., Кунденко М. П., Єгорова О. Ю., Савонюк М. В., Олізаренко В. О., Демчук Є. С., Рашевський А. М.</i> Вплив конструкції обмотки статора синхронно-реактивного генератора на підвищення його енергоефективності.....	25

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

<i>Мірошніченко Д. В., Шмельцер К. О., Кормер М. В., Сагалай Д. В., Соловійов Є. Л., Литвиненко Є. І.</i> Оцінка сорбційних властивостей коксового дрібняку та його раціонального використання з метою ресурсозбереження в галузі.....	36
<i>Близнюк О. М., Осецький О. І., Мінухін В. В., Белінська А. П., Масалітіна Н. Ю., Варанкіна О. О., Беліх І. А., Школьнікова Т. В.</i> Моделювання та оптимізація процесу біотехнологічної переетерифікації жиркових систем з використанням LIPOZYME TL IM.....	53

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<i>Дерібо С. Г., Рищенко І. М., Байрачний В. Б., Тульський Г. Г.</i> Термохімічна активація поверхні вуглецевих матеріалів.....	63
<i>Шевченко К. В., Григоров А. Б.</i> Дослідження випаровуваності бензинової фракції, отриманої при піролізі полімерів після компанування з оксигенатами.....	71
<i>Шкоп А. О., Шестопалов О. В., Пономарьова Н. Г., Босюк А. С., Войтенко Д. М., Кулініч С. С.</i> Флокуляційне очищення шахтних вод від тонкодисперсних завислих часток.....	81
<i>Петік І. П., Станкевич С. В., Золотухіна О. О., Денисенко М. В., Кибенко Н. Ю., Звягінцева О. В., Самойленко С. І.</i> Аналітичний контроль та стандартизація текстурних характеристик в технології екструдювання білково-жирових систем.....	94

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

<i>Ходаков О. Л., Василик О. В., Афанасьєва Т. М., Саркісян Г. О., Мірошніченко О. М., Ватренко О. В., Всеволодов О. М.</i> Дослідження доцільності виробництва бурштинового вина з сорту іршаї олівер.....	103
<i>Тихомирова Т. С., Шестопалов О. В., Новожилова Т. Б., Босюк А. С., Чікірякін К. В.</i> Використання інструментів «КАНООТ!» в освітній діяльності для формування екологічної культури та екологічної свідомості молоді.....	119
<i>Кушніренко Н. М., Савінок О. М.</i> Ефективність використання методів визначення летальної дії для розрахунків режимів стерилізації рибних консервів.....	130
<i>Сторінка редколегії.....</i>	145

Затверджено Вченою радою НТУ «ХПІ» (протокол № 2 від 21.02.2025 р.)

Інтегровані технології та енергозбереження : Щоквартальний науково-практичний журнал. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків : НТУ «ХПІ», 2025. – № 1. – 146 с.

Журнал наукових та науково-практичних статей з питань енергозбереження та сучасних технологій різноманітних галузей промисловості.

© Національний технічний університет «ХПІ», 2025

І. П. Петік¹, к. техн. н., С. В. Станкевич², к. с.-г. н., доцент, О. О. Золотухіна³,
М. В. Денисенко⁴, Н. Ю. Кибенко², ст. викл., О. В. Звягінцева⁵, к. біол. н., доцент;
С. І. Самойленко⁵, к.техн.н., доцент

АНАЛІТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТЕКСТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ТЕХНОЛОГІЇ ЕКСТРУДУВАННЯ БІЛКОВО-ЖИРОВИХ СИСТЕМ

¹Український науково-дослідний інститут олій та жирів Національної академії
аграрних наук України, Харків

²Державний біотехнологічний університет, Харків

³Відокремлений структурний підрозділ «Харківський торговельно-економічний фаховий
коледж Державного торговельно-економічного університету»

⁴Дніпровський державний аграрно-економічний університет

⁵Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ключові слова: екструдкування, аналітичний контроль та стандартизація, білково-жирова система, шроти, крупа кукурудзяна, вміст вологи, вміст ліпідів, пористість.

Вступ

Сучасним способом переробки шротів і макухи в харчову продукцію можна назвати технології екструдкування, де сировина піддається короткочасній високотемпературній обробці під тиском. Вплив екструдкування на зміну фізико-хімічних властивостей сировини визначається насамперед її вихідним складом та режимами обробки. Основні ефекти від екструдкування включають [1]: руйнування нативної структури сировини; клейстеризацію і часткову декстринізацію крохмалю; денатурацію білка; стерилізацію сировини. Метод екструдкування, який застосовується у виробництві харчових продуктів, має ряд переваг: інактивація антиаліментарних факторів; зниження ферментативного окиснення ліпідів; підвищення розчинності некрохмалистих полісахаридів; можливість використання різної сировини і добавок (протеїнів, харчових волокон, вітамінів та ін.) для підвищення харчової цінності; гнучкість і безперервність технологічного процесу; низьку собівартість продукції [2].

Екструдовані білково-жирові системи є продуктами або інгредієнтами, які отримують шляхом екструдкування комбінації білоквмісної та ліпідвмісної сировини. Вони можуть використовуватися як складові різних продуктів харчування і є альтернативою продуктам, що містять м'ясо як джерело білка [3]. Деякі види шротів, зокрема соєвий та соняшниковий, досить широко переробляються в екструдати, які застосовуються як харчові продукти, так і корми для тварин [4]. Але існуює ряд шротів олійних культур, зокрема ріпаковий, конопляний, технологічні властивості яких під час екструдкування досліджено недостатньо. Харчова цінність означених побічних продуктів є досить високою через високий вміст білків, харчових волокон, вітамінів [5].

Доцільним є розширення асортименту сировинних компонентів в технології екструдованих білково-жирових систем таких як хлібці, снеки, сухі сніданки, корми для тварин тощо за рахунок використання шротів різних олійних культур. Як сказано вище, означені побічні продукти олієвидобувних підприємств мають високий харчовий потенціал порівняно з зерною сировиною (вівсом, кукурудзою, пшеницею), яка є тради-

ційним сировинним компонентом екструдованих систем. Використання шротів олійних культур, зокрема сої, ріпаку, коноплі, які є перспективними з точки зору харчової цінності, дозволить розширити асортимент екструдованих продуктів. Крім того, виявлення залежностей технологічних властивостей екструдованих білково-жирових систем від вмісту води та ліпідів в сировинних компонентах має сприяти раціоналізації виробництва, покращенню якості продуктів та розробці нових білково-жирових екструдованих систем. Впровадження в технологічний процес переробки шротів олійних культур результатів дослідження впливу параметрів екструдуювання означеної сировини є необхідним, оскільки це має розширити асортимент продукції переробних харчових виробництв та сприяти підвищенню їхніх ринкових можливостей.

Дослідження існуючих рішень проблеми

В дослідженні [6] розглянуто шляхи вирішення проблеми переробки відходів олієжирової промисловості, а саме шротів соняшникового та соєвого. Встановлено пропорцію сировинних інгредієнтів екструдованої системи соняшниковий шрот – 0,40 мас. частки; соєвий шрот – 0,25 мас. частки; вівсяна крупа – 0,35 мас. частки. Розробка дозволяє регулювання пористості готової продукції в залежності від співвідношення компонентів задля змін характеристик продукту згідно вимог споживача. Недоліком роботи є невизначеність впливу вмісту води і ліпідів в сировині на вказану технологічну характеристику екструдату. Варіантом подолання відповідних труднощів може бути варіювання вмісту води і ліпідів в модельних зразках суміші сировинних компонентів з визначенням пористості відповідних екструдатів.

В роботах [7–10] розроблено технології екструдатів з рослинної сировини, зокрема рисового екструдату з мікроінкапсульованими антоціанами [7], екструдату на основі сумішей кукурудзяної крупи і гречаного борошна [8], екструдату соєвого шроту [9] та екструдату макухи канолі [10]. В даних роботах дослідники обмежилися даними щодо впливу вологості сировинних компонентів на технологічні показники готової продукції і не враховували вміст ліпідів в сировині та його потенційний вплив на технологічні показники готових екструдатів.

В роботі [11], де описується раціоналізація умов екструдуювання для отримання харчових гранул (з використанням кукурудзи, знежиреного соєвого борошна, насіння кунжуту, м'якоті бананів), навпаки, відсутні відомості щодо вмісту вологості в сировині. Автори дослідження лише опосередковано фіксують вміст води в сировинних компонентах через варіації вмісту м'якоті бананів в суміші для екструдуювання. Таким чином в результаті досліджень доведено сумісний вплив вмісту ліпідів і води на коефіцієнт розширення екструдату. Щодо щільності екструдату з означеної сировини, на неї впливає лише вміст води (тобто вміст м'якоті бананів).

В дослідженнях [12, 13] описується вплив на технологічні властивості екструдатів білково-жирових систем з крупи горохової та вівсяної [12] та білкових систем з насіння конопель і клітковини вівса [13] вологості та вмісту протеїну. Автори не брали до уваги вміст жирів, який в означеній сировині є досить високим (наприклад, в гороховій крупі зазвичай – 1...2 %, в вівсяній крупі – 5...7 %, в клітковині вівса – 6...8 %). Крім того, автори дослідили ступінь зволоження сировини, що близький до критичного, і виявили, що збільшення вмісту води призводить до зменшення щільності продукту, зміни текстури та погіршення зовнішнього вигляду [12]. Зі збільшенням вмісту води було виявлено, що показники твердості та міцності на різання зменшилися [13].

Авторами роботи [14] на прикладі рисових висівок встановлено, що вміст білків, ліпідів і води вихідної сировини впливає на процес екструдуювання сировини. Зокре-

ма, збільшення вмісту вологи сприяє збільшенню плинності екструдату, його кращому формуванню і, відповідно, більш рівномірному розподілу тиску всередині екструдера. Доведено, що раціональний вміст вологи інтенсифікує теплопередачу в процесі екструзії, що є необхідним під час екструдювання термопластичних матеріалів. Показано, що надлишок вологи призводить до таких недоліків як руйнування структури екструдату та зменшення термінів зберігання. В свою чергу, вміст ліпідів в сировині для екструдювання впливає на текстуру та структурні особливості екструдованого продукту. Раціональний вміст жиру сприяє утворенню пористої структури екструдованих систем, покращує їхню пластичність. Залишаються невирішеними питання, пов'язані з дослідженням процесів екструдювання інших сировинних компонентів, зокрема шротів олійних культур.

Результати аналітичних досліджень свідчать, що вміст вологи та ліпідів в сировині істотно впливає на процес екструдювання. Якщо сировина має низький вміст вологи та ліпідів, вона може бути жорсткою, що буде ускладнювати екструдювання. Високий вміст вологи та ліпідів також негативно впливає на технологічні показники екструдатів, зокрема їхню вологість і пористість. Необхідно зазначити, що під час екструдювання різної сировини раціональний рівень вологи та ліпідів може відрізнятися, він залежить від властивостей сировини, цільових характеристик продукту та параметрів екструдювання. Існує певний брак даних щодо ефектів сумісного впливу вмісту вологи та ліпідів в сировинних компонентах екструдованих білково-жирових систем, зокрема в шротах таких олійних культур як соя, ріпак і конопля, на технологічні параметри готової продукції. Зважаючи на це, доцільним слід вважати дослідження, присвячене виявленню впливу вмісту вологи та ліпідів в шротах означених олійних культур та крохмалевмісній сировині на технологічні властивості екструдованої білково-жирової системи, зокрема пористості та вмісту вологи. Це дозволить раціоналізувати склад та покращити текстуру інноваційних екструдованих продуктів на базі означеної сировини.

Мета та основні задачі дослідження

Метою дослідження є виявлення впливу вмісту вологи та ліпідів на технологічні властивості екструдованої білково-жирової системи на основі шротів олійних культур та зернової сировини. Це дасть можливість визначити раціональний склад сировини екструдованої білково-жирової системи для покращення таких технологічних показників готового продукту як пористість і вологість.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі задачі:

- дослідити склад сировини для екструдованої білково-жирової системи;
- дослідити сумісний вплив вмісту вологи і ліпідів в модельних зразках сировини на технологічні показники екструдованої білково-жирової системи.

Матеріали та методи досліджень

Під час досліджень використано такі матеріали:

- шрот соєвий подрібнений (виробництво Україна), згідно з CAS 68308-36-1;
- шрот ріпаковий подрібнений (виробництво Україна), згідно з CAS 8002-13-9;
- шрот конопляний подрібнений (виробництво Україна), згідно з CAS 9000-70-8;
- крупа кукурудзяна подрібнена (виробництво Україна), згідно з CAS 68525-86-0.

З метою дослідження впливу вмісту вологи і ліпідів в сировині на пористість і вологість екструдованої білково-жирової системи створено ряд модельних зразків суміші сировинних компонентів, що містять різну кількість ліпідів та вологи. Вміст вологи у вихідній суміші сировинних компонентів змінювали шляхом додавання дистильованої

води, вміст ліпідів – шляхом додавання олії соняшникової рафінованої. Тривалість відволожування, тобто експозиції зволоженої і збагаченої олією сировини після гомогенізації складала 10 хвилин. Екструдкування сировини проведено на прес-екструдері ПЕ-20, який призначено для отримання спучених екструдованих продуктів. В зразках сировини та екструдованих продуктів визначено: масову частку води та летких речовин – гравіметричним методом згідно ДСТУ 7621; масову частку білку – за методом К'ельдаля згідно ДСТУ 7169; масову частку ліпідів і клітковини – методом спектроскопії в ближній інфрачервоній зоні згідно ДСТУ 7491. Визначення пористості здійснювалося за допомогою покриття зразків екструдованого матеріалу водостійким лаком. Після висихання зразки поміщали у мірну ємність, наповнену водою. Враховували масу витісненої з циліндра води обробленими екструдованим матеріалом, щоб визначити об'єм зразку екструдованого матеріалу з порами. Зразок екструдату піддавали пресуванню, після чого визначали його об'єм.

Результати дослідження

Як сировину для екструдованої білково-жирової системи обрано побічні продукти олієжирових виробництв – подрібнені шроти сої, ріпаку і коноплі, а також крупу кукурудзяну. Досліджено вміст ліпідів, води та летких речовин, сирового протеїну і клітковини зразків сировини для екструдованої білково-жирової системи. Отримані результати досліджень свідчать, що зразки сировини для екструдованої білково-жирової системи відповідають вимогам відповідної нормативної документації. Спираючись на результати досліджень щодо раціонального співвідношення білоквмісної і крохмалевмісної сировини, описані в роботі [11], проведено екструдкування суміші сировинних компонентів наступного складу: шрот соєвий – 25 %; шрот ріпаковий – 25 %; шрот конопляний – 25 %; крупа кукурудзяна – 25 %.

В результаті отримано екструдований продукт, що має наступний хімічний склад: вміст ліпідів – 1,32 %; вміст води та летких речовин – 7,20 %; вміст сирового протеїну – 29,90 %; вміст клітковини – 14,40 %. Показники складу свідчать, що в результаті екструдкування за зазначених умов (п. п. 4. 3) в отриманому продукті зменшилися: вміст води та летких речовин (на 20,0 %); вміст ліпідів (на 4,3 %); вміст сирового протеїну (на 1,6 %). Пористість отриманого екструдованого продукту становить 68 %. Викликає інтерес дослідження впливу вмісту води і ліпідів в модельних зразках сировини на склад і технологічні показники екструдованої білково-жирової системи (пористість і вологість).

Визначено вплив вмісту води (c_w) і ліпідів (c_f) в сировині (п. 5.1) в співвідношенні 1:1:1 на пористість ($P(c_w, c_f)$) і вологість ($M(c_w, c_f)$) екструдованого продукту. Вміст води в сировині варіювали в інтервалі 9,0...13,5 % з кроком 1,5 %. Вміст ліпідів в сировині варіювали в інтервалі 2,0...6,0 % з кроком 2,0 %. Отримані значення пористості екструдованої білково-жирової системи знаходилися в межах 68...135 %; вологості екструдованої білково-жирової системи – в межах 7,2...12,7 %. Поверхні отриманих залежностей представлено на рис. 1.

У вигляді рівнянь (1) і (2) представлено апроксимаційні залежності технологічних параметрів екструдованої білково-жирової системи, а саме: пористості ($P(c_w, c_f)$); вологості ($M(c_w, c_f)$) від факторів: вмісту води (c_w) в сировині; вмісту ліпідів (c_f) в сировині.

$$P(c_w, c_f) = -702,3333 + 135,2778 \cdot c_w + 13,625 \cdot c_f - 5,8148 \cdot c_w^2 + 0,4167 \cdot c_w \cdot c_f - 1,9063 \cdot c_f^2; \quad (1)$$

$$M(c_w, c_f) = 7,9917 - 0,5411 \cdot c_w + 0,1125 \cdot c_f + 0,0407 \cdot c_w^2 + 0,0233 \cdot c_w \cdot c_f \quad (2)$$

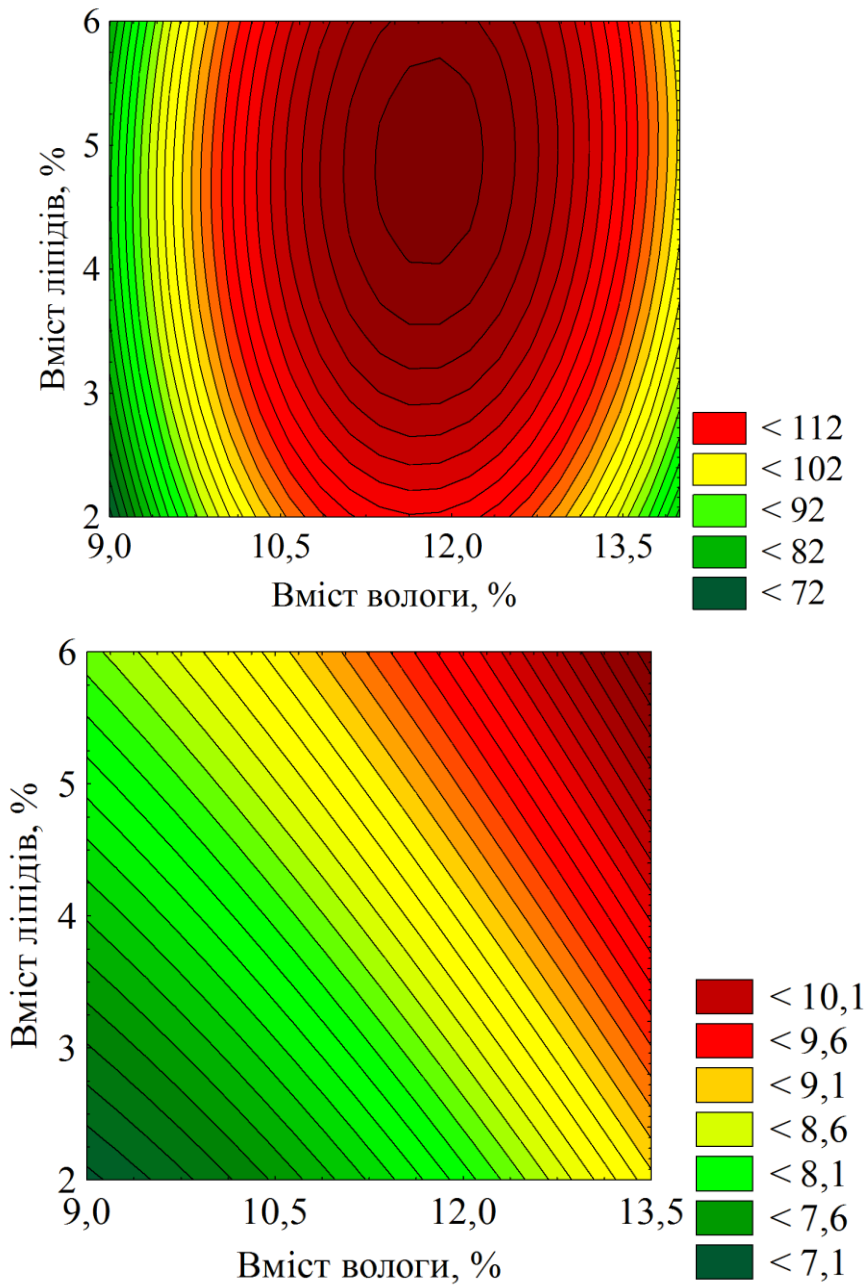


Рисунок 1 – Залежність технологічних показників екструдованої білково-жирової системи від величини вмісту вологи (c_w) і ліпідів (c_f) в сировині: а) пористості ($P(c_w, c_f)$); б) вологості ($M(c_w, c_f)$)

Необхідно зазначити, що наведені апроксимаційні залежності описують реальний процес адекватно в інтервалах вмісту вологи в сировині 9,0...13,5 % і вмісту ліпідів в сировині – 2,0...6,0 %.

Базуючись на отриманих результатах експериментів та їхній статистичній обробці, скориговано вміст вологи і ліпідів в обраній сировині для екструдування. Окреслено раціональний діапазон досліджених факторів для отримання екструдованої білково-

жирової системи задовільної пористості і вологості, а саме: величини вмісту води в сировині – 10,5...12,5 %; величини вмісту ліпідів в сировині – 3,5...5,0 %, за яких технологічні показники продукції в процесі екструзування підвищилися, а саме: пористість – 112...135 %; вологість – 8,0...9,2 %.

Варто відзначити, що підвищення вологості означеної сировини більше, ніж 10,0...12,0 %, призводить до підвищення вологості отриманого екструзованого продукту. Це, в свою чергу, вимагає додаткового сушіння, що є недоцільним з економічної (зростає собівартість продукції) та з технологічної (знижується пористість продукції) точок зору. Під час збільшення вмісту ліпідів в сировині більше, ніж 5,5 %, також знижується пористість готового продукту, з'являються незадовільні органолептичні характеристики (специфічний аромат і смак). Можна прогнозувати в такій продукції інтенсифікацію окиснювальних процесів ліпідної компоненти, що негативно відобразиться на якісних показниках готового продукту.

Висновки

1. Досліджено хімічний склад (вміст ліпідів, води, сирового протеїну та клітковини) білокмісної (шротів сої, ріпаку і коноплі) і крохмалевмісної (круп кукурудзяної) сировини для екструзованої білково-жирової системи. Зразки сировини відповідають вимогам, встановленим у відповідній нормативній документації – CAS 68308-36-1, CAS 8002-13-9, CAS 9000-70-8, CAS 68525-86-0. Менший вміст води порівняно зі встановленими нормами можна пояснити відносною свіжістю зразків, які нещодавно отримано з виробництва.

2. Досліджено вплив вмісту води і ліпідів в модельних зразках сировини на пористість і вологість екструзованої білково-жирової системи. Встановлене раціональне співвідношення вмісту води (10,5...12,5 %) і ліпідів (3,5...5,0 %) в сировині для екструдату.

Література

1. Singh, S., Gamlath, S., Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 8, 916–929.
2. Banjac, V., Vukmirovic, D., Pezo, L. & Draganovic, V. (2020). Impact of variability in protein content of sunflower meal on the extrusion process and physical quality of the extruded salmonid feed. *Journal of Food Process Engineering*, 44 (6).
3. Bajaj, S. R., Singhal, R. S. (2019). Effect of extrusion processing and hydrocolloids on the stability of added vitamin B₁₂ and physico-functional properties of the fortified puffed extrudates. *LWT – Food Science and Technology*, 101, 32–39.
4. Zhang, B., Liu, G., Ying, D., Sanguansri, L. (2017). Effect of extrusion conditions on the physico-chemical properties and in vitro protein digestibility of canola meal. *Food Research International*, 100.
5. Singh, R., Sá, A.G.A., Sharma, S. et al. (2024). Effects of Feed Moisture Content on the Physical and Nutritional Quality Attributes of Sunflower Meal-based High-Moisture Meat Analogues. *Food and Bioprocess Technology*, 17, 1897–1913.
6. Petik, I., Litvinenko, O., Kalyna, V. & Ilinska, O. (2023). Development of extruded animal feed based on fat and oil industry waste. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 122, 11, 112–120.

7. Rousta, L. K., Bodbodak, S., Nejatian, M. & Yazdi, A. P. Gh. (2021). Use of encapsulation technology to enrich and fortify bakery, pasta, and cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*, 118, A, 688–710.

8. Zhang, B., Liu, G., Ying, D., Sanguansri, L. (2017). Effect of extrusion conditions on the physico-chemical properties and in vitro protein digestibility of canola meal. *Food Research International*, 100, 1, 658–664.

9. Singh, J. P., Kaur, A., Singh, B. et al. (2019). Physicochemical evaluation of corn extrudates containing varying buckwheat flour levels prepared at various extrusion temperatures. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 2205–2212.

10. Mridula, D., Sethi, S., Tushir, S. et al. (2017). Co-extrusion of food grains-banana pulp for nutritious snacks: optimization of process variables. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 2704–2716.

11. Mazaheri Tehrani, M., Ehtiati, A. & Sharifi Azghandi, S. (2017). Application of genetic algorithm to optimize extrusion condition for soy-based meat analogue texturization. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 1119–1125.

12. Zahari, I., Purhagen, J. K., Rayner, M., Ahlström, C. (2023). Extrusion of high-moisture meat analogues from hempseed protein concentrate and oat fibre residue. *Journal of Food Engineering*, 354, 111567. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111567>.

13. do Carmo, C. S., Varela, P., Knutsen, S. H., Sahlstrom, S. (2019). The impact of extrusion parameters on physicochemical, nutritional and sensorial properties of expanded snacks from pea and oat fractions. *LWT – Food Science and Technology*, 112, 108252.

14. Rashid, M. T., Liu, K., Han, S. & Jatoi, M. A. (2023). Optimization of Extrusion Treatments, Quality Assessments, and Kinetics Degradation of Enzyme Activities during Storage of Rice Bran. *Foods*, 12, 1236.

Bibliography (transliterated)

1. Singh, S., Gamlath, S., Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 8, 916–929.

2. Banjac, V., Vukmirovic, D., Pezo, L. & Draganovic, V. (2020). Impact of variability in protein content of sunflower meal on the extrusion process and physical quality of the extruded salmonid feed. *Journal of Food Process Engineering*, 44 (6).

3. Bajaj, S. R., Singhal, R. S. (2019). Effect of extrusion processing and hydrocolloids on the stability of added vitamin B₁₂ and physico-functional properties of the fortified puffed extrudates. *LWT – Food Science and Technology*, 101, 32–39.

4. Zhang, B., Liu, G., Ying, D., Sanguansri, L. (2017). Effect of extrusion conditions on the physico-chemical properties and in vitro protein digestibility of canola meal. *Food Research International*, 100.

5. Singh, R., Sá, A.G.A., Sharma, S. et al. (2024). Effects of Feed Moisture Content on the Physical and Nutritional Quality Attributes of Sunflower Meal-based High-Moisture Meat Analogues. *Food and Bioprocess Technology*, 17, 1897–1913.

6. Petik, I., Litvinenko, O., Kalyna, V. & Ilinska, O. (2023). Development of extruded animal feed based on fat and oil industry waste. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 122, 11, 112–120.

7. Rousta, L. K., Bodbodak, S., Nejatian, M. & Yazdi, A. P. Gh. (2021). Use of encapsulation technology to enrich and fortify bakery, pasta, and cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*, 118, A, 688–710.

8. Zhang, B., Liu, G., Ying, D., Sanguansri, L. (2017). Effect of extrusion conditions on the physico-chemical properties and in vitro protein digestibility of canola meal. *Food Research International*, 100, 1, 658–664.

9. Singh, J. P., Kaur, A., Singh, B. et al. (2019). Physicochemical evaluation of corn extrudates containing varying buckwheat flour levels prepared at various extrusion temperatures. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 2205–2212.

10. Mridula, D., Sethi, S., Tushir, S. et al. (2017). Co-extrusion of food grains-banana pulp for nutritious snacks: optimization of process variables. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 2704–2716.

11. Mazaheri Tehrani, M., Ehtiati, A. & Sharifi Azghandi, S. (2017). Application of genetic algorithm to optimize extrusion condition for soy-based meat analogue texturization. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 1119–1125.

12. Zahari, I., Purhagen, J. K., Rayner, M., Ahlström, C. (2023). Extrusion of high-moisture meat analogues from hempseed protein concentrate and oat fibre residue. *Journal of Food Engineering*, 354, 111567. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111567>.

13. do Carmo, C. S., Varela, P., Knutsen, S. H., Sahlstrom, S. (2019). The impact of extrusion parameters on physicochemical, nutritional and sensorial properties of expanded snacks from pea and oat fractions. *LWT – Food Science and Technology*, 112, 108252.

14. Rashid, M. T., Liu, K., Han, S. & Jatoi, M. A. (2023). Optimization of Extrusion Treatments, Quality Assessments, and Kinetics Degradation of Enzyme Activities during Storage of Rice Bran. *Foods*, 12, 1236.

УДК 664.6:577.1

І. П. Петік, к. техн. н., С. В. Станкевич, к. с.-г. н., доцент, О. О. Золотухіна,
М. В. Денисенко, Н. Ю. Кибенко, ст. викл., О. В. Звягінцева, к. біол. н., доцент;
С. І. Самойленко, к.техн.н., доцент

АНАЛІТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТЕКСТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ТЕХНОЛОГІЇ ЕКСТРУДУВАННЯ БІЛКОВО-ЖИРОВИХ СИСТЕМ

Розглянуто шлях вирішення проблеми коригування технологічних показників, зокрема пористості та вмісту вологи в екструдованих білково-жирових системах на основі шротів соєвого, рапсового, конопляного та крупи кукурудзяної. Особливість роботи полягає в обґрунтуванні раціонального співвідношення вологи та ліпідів у сировинних компонентах екструдату, що є важливим аспектом раціоналізації складу та покращення текстури інноваційних екструдованих продуктів на базі зазначеної сировини. Об'єктом дослідження є технологічні показники, зокрема, пористість та вологість екструдованої білково-жирової системи залежно від вмісту вологи та ліпідів у сировинних компонентах. Досліджено хімічний склад (вміст ліпідів, вологи, сирого протеїну та клітковини) білокмісної (шротів сої, ріпаку і коноплі) і крохмалевмісної (крупи кукурудзяної) сировини для екструдованої білково-жирової системи. Зразки сировини відповідають вимогам, встановленим у відповідній нормативній документації. Менший вміст вологи порівняно зі встановленими нормами можна пояснити відносною свіжістю зразків, які нещодавно отримано з виробництва. Встановлено раціональне співвідношення вмісту вологи (10,5...12,5 %) та ліпідів (3,5...5,0 %) у сировині для екструдованої біл-

ково-жирової системи. Розроблена білково-жирова система обґрунтованого складу має вміст сирого протеїну (29,0 %), пористості (130,0 %). Отримані дані пояснюються тим, що використано комплекс складових, частина яких є відходами виробництва, з обґрунтованим вмістом вологи та ліпідів, що вплинуло на позитивні технологічні характеристики екструдату. Прикладним аспектом використання цього наукового результату є можливість раціоналізації процесу екструдувannya масляних шротів для досягнення бажаної текстури, пористості та стабільності ліпідної компоненти продукту.

Ключові слова: екструдувannya, аналітичний контроль та стандартизація, білково-жирова система, шроти, крупа кукурудзяна, вміст вологи, вміст ліпідів, пористість.

I. P. Petik, S. V. Stankevych, O. O. Zolotukhina, M. V. Denisenko, N. Yu. Kibenko,
O. V. Zvyagintseva, S. I. Samoilenko

ANALYTICAL CONTROL AND STANDARDIZATION OF TEXTURE CHARACTERISTICS IN THE EXTRUSION TECHNOLOGY OF PROTEIN-FAT SYSTEMS

The article considers the solution to the problem of adjusting the process parameters, in particular, the porosity and moisture content in extruded protein-fat systems based on soybean, rapeseed, hemp meals and corn grits. The peculiarity of the work is to substantiate the rational ratio of moisture and lipids in the raw material components of the extrudate, which is an important aspect of rationalizing the composition and improving the texture of innovative extruded products based on the specified raw materials. The object of the study is process parameters, in particular, the porosity and moisture content of the extruded protein-fat system depending on the moisture and lipid content in the raw material components. The chemical composition (lipid, moisture, crude protein and fiber content) of protein-containing (soybean, rapeseed and hemp meal) and starch-containing (corn grits) raw materials for the extruded protein-fat system was investigated. The raw material samples meet the requirements established in the relevant regulatory documentation. The lower moisture content compared to the established standards can be explained by the relative freshness of the samples, which were recently received from production. A rational ratio of moisture content (10.5 ... 12.5 %) and lipids (3.5 ... 5.0 %) in the raw material for the extruded protein-fat system was established. The developed protein-fat system of a substantiated composition has a crude protein content of (29.0 %), porosity (130.0 %). The obtained data are explained by the fact that a set of components was used, some of which are production waste, with a reasonable content of moisture and lipids, which affected the positive technological characteristics of the extrudate. An approximate aspect of using this scientific result is the possibility of rationalizing the process of extruding oil cakes to achieve the desired texture, porosity and stability of the lipid component of the product.

Keywords: extrusion, analytical control and standardization, protein-fat system, meals, corn grits, moisture content, lipid content, porosity.

Наукове видання

Щоквартальний науково-практичний журнал

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

1'2025

Технічний редактор *К. О. Горбунов*

Підп. до друку 28.03.2025 р. Формат 60 × 84 1/8. Папір офсетний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 8,2. Наклад 300 пр. 1-й з-д 1–20.
Зам. № . Ціна договірна.

Видавець і виготовлювач
Видавничий центр НТУ «ХПІ»,
вул. Кирпичова, 2, м. Харків-2, 61002

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від 21.08.2017 р.