



# Зберігання та переробка продукції

УДК 665.11: 636.085.57

© 2024

## РОЗРОБЛЕННЯ ЕКСТРУДОВАНОГО КОРМУ ДЛЯ ТВАРИН НА ОСНОВІ ВІДХОДІВ ОЛІЄЖИРОВОГО ВИРОБНИЦТВА

*І.П. Петік<sup>1</sup>, О.В. Щербак<sup>2</sup>, О.В. Хареба<sup>3</sup>,  
Л.С. Мироненко<sup>4</sup>, В.М. Боровкова<sup>5</sup>, Н.Ю. Кібенко<sup>6</sup>*

*<sup>1,4</sup> кандидати технічних наук*

*<sup>2,3</sup> доктори сільськогосподарських наук*

*<sup>5</sup> кандидат ветеринарних наук*

*<sup>1</sup>Український науково-дослідний інститут олій та жирів*

*Національної академії аграрних наук України*

*проспект Дзюби, 2а, м. Харків, 61019, Україна*

*<sup>2, 4-6</sup>Державний біотехнологічний університет*

*вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002, Україна*

*<sup>3</sup>Національна академія аграрних наук України*

*вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 9, м. Київ, 01010, Україна*

*e-mail: <sup>1</sup>belinskaja.a.p@gmail.com, <sup>2</sup>elenasherbak@ukr.net, <sup>3</sup>lena1060725@gmail.com,*

*<sup>4</sup>fox-phenek@ukr.net, <sup>5</sup>vika\_borovkova@ukr.net, <sup>6</sup>svetakibenko@btu.kharkov.ua*

*ORCID: <sup>1</sup>0000-0001-5645-6304, <sup>2</sup>0000-0002-4265-3355, <sup>3</sup>0000-0002-6763-1988,*

*<sup>4</sup>0000-0002-7345-6450, <sup>5</sup>0000-0002-3422-9394, <sup>6</sup>0000-0002-9414-6811*

Надійшла 05.07.2024

**Мета.** Обґрунтувати доцільність розроблення екструдованого корму для тварин на основі відходів олієжирового виробництва. **Методи.** Процес екструдювання сумішей шротів олійних культур та зернової сировини досліджували на прес-екструдері ПЕ-20. Масову частку вологи та летких речовин у зразках відходів олієжирового виробництва, крохмалевмісної сировини та екструдованих кормів визначали гравіметричним методом, масову частку білка — за методом К'ельдаля, масову частку ліпідів та клітковини — екстракційним методом, вміст вуглеводів — поляриметричним методом, вміст золи — методом спалювання з подальшим прокалюванням мінерального залишку, амінокислотний склад білка — методом іонообмінної колонкової хроматографії, скор амінокислот зразків — методом порівняння вмісту кожної незамінної амінокислоти у білку сировини, що досліджується, із вмістом цієї самої амінокислоти в «ідеальному» еталонному білку. Щоб визначити пористість зразків екструдованого матеріалу, їх покривали водостійким лаком, після висихання поміщали в мірний циліндр із водою,

**з урахуванням маси витісненої з циліндра води визначали об'єм зразка екструдованого матеріалу з порами. Для обробки отриманих результатів застосовували математичні методи і використовували програмні пакети Microsoft Office Excel 2003 і Statistica. Результати. Визначено хімічний (вміст вологи, білка, ліпідів, вуглеводів, клітковини та золи) й амінокислотний (вміст незамінних амінокислот) склад сировини як основи екструдованого корму для тварин. Встановлено, що відходи олієжирового виробництва (соняшниковий та соєвий шроти), а також крохмалевмісна сировина (вівсяна крупа) відповідають вимогам, визначеним у відповідній нормативній документації. Застосувавши дані про залежність пористості екструдованої маси від співвідношення її складових, відомості про вміст білка в сировинних компонентах та їхню вартість, встановили раціональне співвідношення складових основи екструдованого корму. Розроблений авторами корм відповідає комерційному аналогу за пористістю та вартістю, але перевищує його за вмістом білка в 3,2 раза, а за вмістом незамінних амінокислот у 2,9 раза. Висновки. Одержані результати свідчать про можливість використання відходів олієжирового виробництва (соняшниковий та соєвий шроти) як сировини для виготовлення екструдованого корму для тварин.**

**Ключові слова:** екструдований корм, соняшниковий шрот, соєвий шрот, вівсяна крупа, амінокислотний склад, пористість.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202409-07>

Обсяги переробки олійного насіння у світі постійно зростають: виробництво соняшнику як основної олійної культури у 2021/22 р. досягло рекордного показника — 57,2 млн т. Згідно з даними Держстату, і українські аграрії в умовах збройної агресії з боку росії у сезоні 2021/22 р. зібрали безпрецедентний врожай олійних культур: соняшнику — 16,4 млн т, сої — 3,4, ріпаку — 2,96 млн т. Загалом виробництво соняшнику в Україні становить 31% від світового обсягу [1].

Під час перероблення олійного насіння крім цільового продукту — олії утворюються вторинні оліє- і білковмісні продукти (зокрема, шрот), які за відсутності можливості повторного промислового використання направляють на зберігання або утилізацію [2, 3]. Перероблення вторинних продуктів олієжирового виробництва дає змогу знизити витрати на зберігання/утилізацію, отримати додатковий дохід з реалізації нової продукції, а також

покращити екологічний стан навколишнього середовища [4].

Шрот є вторинним продуктом олієжирового виробництва, який одержують у процесі перероблення олійних культур способом екстракції. Здебільшого шрот використовують як добавку до раціону харчування сільськогосподарських тварин, а також як складову комбікормів. Шрот має високу гігроскопічність, а тому тривалому зберіганню не підлягає. Одним із способів застосування шроту олійних культур є виготовлення з нього білкових продуктів із заданими структурно-механічними властивостями. Варто зазначити, що білки шротів олійних культур мають високу біологічну цінність, проте містять у своєму складі антиаліментарні сполуки, зокрема інгібітори протеолітичних ферментів [5, 6].

Для оптимізації олієжирового виробництва, зменшення кількості відходів та виготовлення нових кормових продуктів слід удосконалити технологію перероблення

шротів олійних культур у білковий продукт. Це дасть можливість не лише зменшити кількість відходів виробництва, а й розширити сировинну базу для виготовлення білкових кормових продуктів.

Раціон харчування тварин складається переважно з білків і жирів рослинного та тваринного походження за відносно незначної кількості рослинних вуглеводів. Для покращення харчування тварин до складу раціонів вводять різноманітні мікроелементи, білково-вітамінні добавки тощо [7]. Вдосконалення існуючих та створення нових видів кормів для тварин з високою поживною і біологічною цінністю є актуальним завданням.

До складу шроту входять протеїни (34–46%), ліпіди (до 2%), клітковина (до 20%); вміст води в ньому становить 8–10%. Білки, що містяться в насінні, під час переробки перетворюються на білки протеїнової групи, до складу якої входять важливі амінокислоти — метіонін, триптофан, цистин та низка інших [4, 8]. Недоліками шроту як сировинного джерела рослинних білків вважають [9]: непостійний хімічний склад; нетривалий термін зберігання, що може призводити до гниття сировини і окиснення олії; низький вміст лізину; неповна інактивація антиаліментарних сполук, що може викликати отруєння тварин. До того ж тривале використання у раціоні тварин шротів може призвести до отруєння гексаном, який застосовується під час екстракції олії.

Обмеженням для застосування шроту з соняшнику є наявність у ньому хлорогенової (близько 1,5%) та хінної (близько 0,5%) кислот, здатних виступати в ролі інгібіторів трипсину і ліпази. У складі соєвого шроту також наявні інгібітори трипсину. Соєвий шрот має низький вміст клітковини, кількість якої в 1 кг продукту становить лише 72 г (у соняшниковому шроті цей показник досягає 152 г, а в плянному — 145 г). Соєвий шрот вирізняється високим умістом легкоперетравлюваного білка (до 42%) та його повноцінності. У соєвих кормах наявні всі необхідні тваринам замінні амінокислоти. В разі повної

інактивації антиаліментарних сполук шрот із сої за своєю поживною цінністю і вмістом протеїну прирівнюється до м'ясного та рибного борошна [9, 10].

Одним зі способів виготовлення сухих кормів для тварин є екструдвання. За короткий проміжок часу сировина встигає пройти кілька видів обробки: теплової обробки, подрібнення та змішування, часткове зневоднення, стабілізацію, текстурізацію, стерилізацію та знезараження. В результаті покращуються санітарні показники та смакові якості, відбувається розрив макромолекул, що веде до підвищення поживної цінності кормів. Завдяки такій комплексній обробці отримують екструдат з приємним хлібним смаком та запахом [11, 12].

Загалом екструдвання полягає у подрібненні та перемішуванні вихідної сировини. Впродовж нетривалого часу (5–7 с) на сировину діє температура 120–190 °C та тиск 25–50 атм, що дає можливість повністю її знезаразити. Сформовані у такий спосіб пористі гранули на заключному етапі висушують і покривають стабілізованими антиоксидантами, жирами тваринного чи рослинного походження, додають необхідний набір вітамінів. Оскільки обробка сировини є короткочасною, поживні речовини, зокрема вітаміни, зберігаються, у той час як патогенна мікрофлора та плісняві гриби знищуються. Завдяки такій обробці покращуються смакові якості готового продукту. Термін придатності сухого екструдованого корму становить 10–12 міс., деяких його низькожирних видів — 12–18 міс. [12].

Автори праці [13] до складу експериментального комбікорму включали сировину в екструдованій формі. Трав'яне борошно замінювали на трав'яну різку, соняшниковий шрот — на кормові боби. Одночасно з цим для збагачення комбікорму протеїном використовували горох. Кормові боби і горох перебували в екструдованій формі. Низький рівень у комбікормі пшениці компенсували за рахунок жита (тритикале) та багатої на крохмаль кукурудзи. Для врегулювання рівня протеїну і поповнення нестачі фосфору

до складу експериментального комбікорму додатково вводили діамонійфосфат, а для усунення дефіциту натрію та сірки — глауберову сіль. Щоб врегулювати співвідношення вуглеводів і протеїнів у раціоні дослідної групи, до складу комбікорму включали дещо більшу кількість меляси. Цей корм оптимізували за вмістом фосфору, сірки і натрію, міді, цинку, марганцю, кобальту, йоду, селену, вітамінів А, D, Е. Недолік запропонованого способу виготовлення корму полягає в неможливості отримати дані про вплив вибраних компонентів на технологічні показники отриманого екструдованого продукту, зокрема на пористість.

У праці [11] розглянуто вплив екструзійної обробки на засвоюваність злаково-бобових кормів: вона зростає до 85–90%. Відзначено збільшення у 5–8 разів кількості розчинних речовин у сировині. Заміна неекструдованого соєвого шроту в раціонах годування тварин на екструдований комбікорм підвищила показники їхньої маси. Витрати корму на 1 кг приросту живої маси зменшилися на 100 г. За такого способу екструзії злаково-бобові суміші містять у своєму складі всі незамінні амінокислоти та є аналогами білка тваринного походження. Недоліком розробки є низька кількість лізину та метіоніну в рецептурі корму.

Відомий спосіб отримання білкового корму у вигляді шроту соняшникового із використанням озону [14], що дає змогу підвищити тривалість зберігання від 3 до 6 міс. зі збереженням первісної якості. Отриманий білковий корм після знезараження озono-повітряною сумішшю стає нешкідливим. Його згодування тваринам сприяє підвищенню продуктивності, конверсії корму та резистентності організму. Серед недоліків цього способу — збереження есенціальних антиаліментарних сполук у нативному вигляді за вказаних умов оброблення. Це призводить до зниження поживної цінності корму.

Автори праці [15] за використання у раціонах зернових екструдованих кормів оцінювали показники продуктивності

поросят на дорощуванні. Встановлено, що екструзія зернових складових на 11,5–12,7% збільшує інтенсивність приросту живої маси поросят та на 14,5% знижує витрати корму на 1 кг приросту тварин. На жаль, у праці немає даних про вплив на інтенсивність приросту маси тварин використання у раціоні екструдованих відходів олієжирового виробництва.

В праці [16] як основу для виробництва комбікорму використовували готову рецептуру комбікорму: пшениця подрібнена (58%), шрот соєвий (18,6%), соя екструдована (12%), олія соняшникова (6%), вапняк (1,2%), монокальційфосфат (0,7%), премікс (3,5%). Частину пшениці в рецептурі замінили на білково-вітамінний коагулят люцерни (5,4%), суміш піддали екструзії. Якість комбікорму підвищувалася внаслідок збагачення вітамінами, незамінними амінокислотами та рослинним білком за додавання білково-вітамінного коагуляту люцерни. Але авторами не розкрито питання щодо раціоналізації технологічних показників у контексті розширення компонентного складу комбікорму.

В іншому дослідженні розглянуто можливість використання нетрадиційних видів сировини для виготовлення комбікормів для цінних видів риб, режими технології виробництва експериментальних комбікормів методом екструдування та встановлення термінів їх зберігання [17]. З'ясовано, що найперспективнішими джерелами сировини для цінних видів риб є соєві й горохові ізоляти та концентрати, пшеничний і кукурудзяний глютен, шрот та макуха (соєва, лляна, ріпакова). В результаті поживність розробленого комбікорму зросла у 1,2–1,5 раза, до його складу додатково було введено вітаміни, мінеральні речовини. Недоліком цього способу виробництва комбікорму є складність технології та багатокомпонентність розроблених рецептур (до 18 складових).

Вплив на організм риб екструдованого комбікорму, що містить комплексний препарат із наночастинками

металів досліджували автори праці [18]. Компонентами комбікорму були: борошно рибне (20%), борошно м'ясо-кісткове (6%), шрот соняшниковий (25%), шрот соєвий (35%), олія рослинна (5%), борошно пшеничне (8%), премікс (1%). Технологія виробництва комбікорму включала змішування компонентів комбікорму з наночастинками металів методом ступінчастого змішування та власне екструдювання. Встановлено, що використання для годування холоднокровних тварин екструдованого комбікорму з наночастинками металів сприяє підвищенню інтенсивності росту. Але в дослідженні не обґрунтовано склад комбікорму, а також немає даних про біологічну цінність його сумарного білка.

Отже, існує певний дефіцит наукових даних щодо особливостей перероблення відходів олієжирової промисловості, а саме шротів олійного насіння, на білкові продукти для харчування тварин. Немає даних щодо раціонального співвідношення складових основи екструдованого корму для тварин з фізіологічного погляду, залежності технологічних показників екструдованої маси, зокрема пористості, від співвідношення її складових. Зважаючи на це, необхідне вдосконалення технології перероблення відходів олійноекстракційного виробництва (шроту) з отриманням сировини для екструдованого корму. Що стосується біологічної цінності корму, то важливим є визначення вмісту білка і незамінних амінокислот у готовому продукті. Це сприятиме розв'язанню проблеми накопичення відходів виробництва, екологізації олійноекстракційного виробництва та оптимізації раціонів для багатьох сільськогосподарських тварин.

**Мета досліджень** — обґрунтувати доцільність розроблення екструдованого корму для тварин з використанням відходів олієжирового виробництва. Для досягнення поставленої мети потрібно визначити хімічний склад сировини, що використовуватиметься як основа екструдованого корму для тварин; встановити раціональне співвідношення складових

основи корму; порівняти склад і технологічні показники розробленого екструдованого корму з комерційним аналогом.

**Матеріали і методи досліджень.** Під час досліджень використовували такі матеріали:

- соняшниковий шрот подрібнений (виробництво Україна), згідно з ДСТУ 4638 / CAS 68937-99-5;
- соєвий шрот подрібнений (виробництво Україна), згідно з ДСТУ 4230 / CAS 68308-36-1;
- вівсяна крупа подрібнена (виробництво Україна), згідно з ДСТУ 7698 / CAS 97-56-3.

Масову частку вологи і летких речовин у зразках відходів олієжирового виробництва, крохмалевмісної сировини та екструдованих кормів визначали гравіметричним методом згідно з ДСТУ 7621, масову частку білка — за методом К'ельдаля згідно із ДСТУ 7169, масову частку ліпідів та клітковини — екстракційним методом згідно із ДСТУ 7491, вміст вуглеводів — поляриметричним методом згідно із ДСТУ ISO 6493, а вміст золи у зразках відходів олієжирового виробництва та крохмалевмісної сировини — методом спалювання з подальшим прокалюванням мінерального залишку за температури 450–600 °C згідно із ДСТУ ISO 5984.

Амінокислотний склад білка у зразках відходів олієжирового виробництва, крохмалевмісної сировини та екструдованих кормів визначали методом іонообмінної колонкової хроматографії згідно із ДСТУ ISO 13903. Амінокислотний аналіз проведено на амінокислотному аналізаторі LKB 4151 «Альфа Плюс» (Швеція). Наважку подрібнювали, проводили гідроліз білка хлористоводневою кислотою в термостаті за температури 110 °C протягом 24 год. Хлоридну кислоту випаровували, отриману пробу нейтралізували та сушили в ексикаторі з додаванням NaOH. Пробу розчиняли в буферному розчині (рН 2,2) і фільтрували, а потім вводили до колонки з іонообмінною смолою. Через іонообмінну колонку послідовно пропускали буферні розчини з різним значенням

pH для розділення амінокислоти досліджуваної проби. Елюат, що виходив з іонообмінної колонки, вступав у якісну реакцію з нінгідрином. Отриману суміш направляли до фотометра для кількісної ідентифікації амінокислот через вимірювання оптичної густини розчинів. Концентрація та вид амінокислот реєструвалися автоматично.

Основним показником біологічної цінності білка є амінокислотний скор — відношення масової частки певної незамінної амінокислоти в досліджуваному білку до значення частки цієї амінокислоти в еталонному білку (за амінокислотною шкалою Продовольчої та сільськогосподарської організації Об'єднаних Націй (ФАО) [19]). Скор амінокислот зразків визначали методом порівняння вмісту кожної незамінної амінокислоти у білку досліджуваної сировини та вмісту цієї самої амінокислоти в «ідеальному» еталонному білку. Амінокислотний скор (С) незамінних амінокислот обчислювали за формулою:

$$C_i = (AA_i / AA_i^{\text{stand}}) \cdot 100, \quad (1)$$

де  $C_i$  — амінокислотний скор  $i$ -ої незамінної амінокислоти білка, %;  $AA_i$  — вміст незамінної амінокислоти білка, що досліджується, г/100 г білка;  $AA_i^{\text{stand}}$  — вміст незамінної амінокислоти в еталонному білку, г/100 г.

Зразки екструдованого матеріалу покривали водостійким лаком і після висихання поміщали в мірний циліндр із водою. З урахуванням маси витісненої з циліндра води визначали об'єм зразка

екструдованого матеріалу з порами. Далі зразок екструдату пресували, після чого знову заміряли його об'єм. Пористість екструдованих кормів (%) розраховували за формулою:

$$P = (1 - V_p / V_w) \cdot 100, \quad (2)$$

де  $V_p$  — об'єм екструдату з порами, мм<sup>3</sup>;  $V_w$  — об'єм екструдату після пресування зразка, мм<sup>3</sup>.

Для планування експерименту використовували симплекс-ґратчастий план Шефе. Кожний дослід проводили з трикратним повторенням. Отримані дані та побудовані графічні залежності опрацьовували з використанням пакета Stat Soft Statistica v 6.0. Статистичну модель залежності визначали через апроксимацію експериментальних даних методом побудови лінії тренду.

**Результати досліджень.** Визначено хімічний склад дослідних зразків відходів олієжирового виробництва, а також крохмалевмісної сировини, що були обрані як основа екструдованого корму для тварин (табл. 1).

Згідно з результатами досліджень, зразки відходів олієжирового виробництва, а також крохмалевмісної сировини відповідають вимогам, зазначеним у нормативній документації — ДСТУ 4638/CAS 68937-99-5, ДСТУ 4230/CAS 68308-36-1, ДСТУ 7698/CAS 97-56-3. Згідно з даними табл. 1, соняшниковий і соевий шроти є цінним джерелом білка (39,8% і 43,1% відповідно) та мінеральних речовин (7,8% і 4,6%). Крім того, соняшниковий шрот містить значну кількість клітковини (15,1%). Вівсяна крупа

### 1. Хімічний склад зразків відходів олієжирового виробництва та крохмалевмісної сировини, що використовувалися як основа екструдованого корму

Сировина	Вміст, %					
	вологи та летких речовин	білка	ліпідів	вуглеводів	клітковини	золи
Соняшниковий шрот	10,1	39,8	1,7	24,2	15,1	7,8
Соевий шрот	9,5	43,1	1,2	34,7	5,4	4,6
Вівсяна крупа	12,0	12,6	6,1	59,0	8,0	1,8

**2. Вміст незамінних кислот у відходах олієжирового виробництва та крохмалевмісній сировині**

Незамінні амінокислоти	Еталон ФАО*	Соняшниковий шрот		Соевий шрот		Вівсяна крупа	
		Вміст, мг/100 г білка	C <sub>a</sub> , %	Вміст, мг/100 г білка	C <sub>a</sub> , %	Вміст, мг/100 г білка	C <sub>a</sub> , %
Валін	5000	1056	21,1	2244	44,9	938	18,8
Лейцин	7000	1292	18,5	3662	52,3	1283	18,3
Ізолейцин	4000	794	19,9	2181	54,5	695	17,4
Лізин	5500	735	13,4	2992	54,4	704	12,8
Метіонін+цистин	3500	844	24,1	1324	37,8	717	20,5
Фенілаланін+тирозин	6000	1377	23,0	4046	67,4	1471	24,5
Триптофан	1000	363	36,3	655	65,5	233	23,3
Треонін	4000	832	20,8	1950	48,8	577	14,4

\* Згідно з Codex Alimentarius Commission (CAC) [19].

є джерелом вуглеводів — крохмалю і пентозанів (їх сумарний вміст становить 59%), дає змогу регулювати технологічні характеристики екструдованої суміші, зокрема пористість.

Інформація про вміст незамінних кислот і якість (за амінокислотним скором (C<sub>a</sub>, %)) білка у відходах олієжирового виробництва та крохмалевмісній сировині наведена в табл. 2.

Розраховані значення амінокислотного скору зразків відходів олієжирового виробництва та крохмалевмісній сировині свідчать про те, що обрана сировина є цінним джерелом незамінних

амінокислот. Розбіжність у значеннях амінокислотного скору незамінних амінокислот є досить низькою у білку соняшникового шроту і вівсяної крупы та дещо вищою — в білку соєвого шроту, що впливає на його біологічну цінність. Тому викликає інтерес створення комбінованих екструдованих продуктів на основі обраних складових. Згідно з табл. 2, до білкового комплексу обраних відходів олієжирового виробництва входять різні перша та друга лімітуючі амінокислоти (лізин + лейцин для соняшникового шроту і метіонін+цистин для соєвого шроту). Це робить доцільним їх сумісне

**3. Залежність пористості екструдованої маси від співвідношення її складових**

Зразок	Вміст складових у суміші, мас. частки			Пористість екструдованої маси, P (c <sub>sf</sub> , c <sub>sb</sub> , c <sub>om</sub> ), %	
	Соняшниковий шрот, c <sub>sf</sub>	Соевий шрот, c <sub>sb</sub>	Вівсяна крупа, c <sub>om</sub>	Експериментальні значення	Розрахункові значення
1	1	0	0	60	59,1
2	0	1	0	68	67,3
3	0	0	1	85	85,1
4	0,66	0,33	0	63	63,7
5	0,33	0,66	0	67	66,5
6	0	0,66	0,33	72	72,1
7	0	0,33	0,66	80	78,9
8	0,66	0	0,33	66	66,8
9	0,33	0	0,66	76	75,3
10	0,33	0,33	0,33	73	71,2

використання в технології екструдованих кормів для тварин, оскільки дає змогу збалансувати амінокислотний склад готового продукту.

Для визначення раціонального співвідношення складових основи екструдованого корму досліджували залежність від них пористості екструдованої маси суміші. Подане нижче рівняння описує апроксимаційну залежність пористості екструдованої маси від співвідношення соняшникового шроту ( $c_{sf}$ , масова частка), соєвого шроту ( $c_{sb}$ , масова частка) та вівсяної крупи ( $c_{om}$ , масова частка):

$$P(c_{sf}, c_{sb}, c_{om}) = 59,0571 \cdot c_{sf} + 67,3429 \cdot c_{sb} + 85,0571 \cdot c_{om} + 11,5714 \cdot c_{sf} \cdot c_{sb} - 1,2857 \cdot c_{sf} \cdot c_{om} + 2,5714 \cdot c_{sb} \cdot c_{om} \quad (3)$$

Матрицю планування експерименту, а також експериментальні та розрахункові значення пористості екструдованої маси залежно від співвідношення її складових

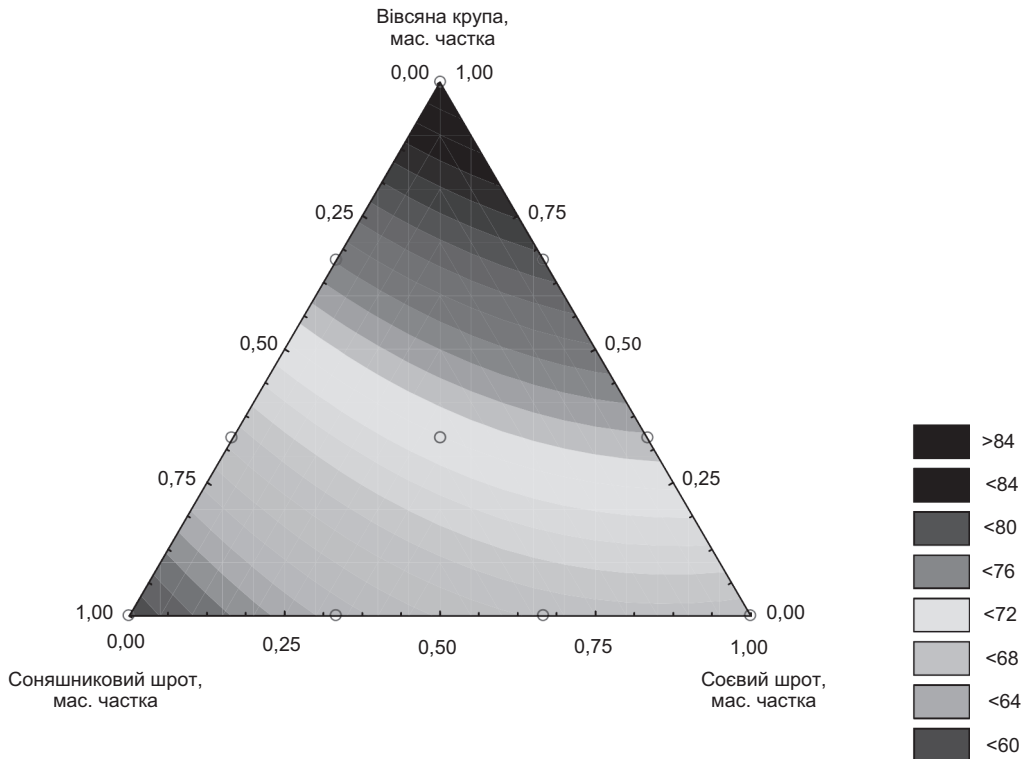
наведено у табл. 3. Розрахункові значення функції відгуку одержано з використанням рівняння регресії (3).

Поверхню отриманої залежності пористості екструдованої маси від співвідношення складових подано на рис. 1.

Варто зазначити, що наведені апроксимаційні залежності адекватно описують пористість екструдованої маси в інтервалах співвідношення складових 0–100%. Встановлено діапазон співвідношень сировинних компонентів, за яких пористість екструдованої маси становить 70–75%:

- соняшниковий шрот — 0,35–0,50 мас. частки;
- соєвий шрот — 0,25–0,80 мас. частки;
- вівсяна крупа — 0,20–0,45 мас. частки.

Збільшення масової частки вівсяної крупи в суміші зумовлює підвищення пористості екструдованої маси. Соняшниковий шрот в екструдованій масі негативно впливає на її пористість порівняно з соєвим шротом (пористість



**Рис. 1. Залежність пористості екструдованої маси від співвідношення її складових**

екструдованого соняшникового шроту — близько 60%, соєвого — близько 68%).

Ґрунтуючись на результатах досліджень, зокрема на даних про пористість екструдованої маси, вміст білка в сировинних компонентах та їхню вартість, автори визначили раціональне співвідношення складових корму:

- соняшниковий шрот — 0,40 мас. частки;
- соєвий шрот — 0,25 мас. частки;
- вівсяна крупа — 0,35 мас. частки.

Екструдована маса на основі відходів олієжирового виробництва та крохмалевмісної сировини означеного складу містить 31,1% білка, її пористість становить 72%, а вартість вихідної суміші — близько 285 дол. США/т.

Визначено склад і технологічні показники розробленого екструдованого корму. Отримані результати співставили з такими ж показниками комерційного аналога (задекларований виробником склад: екструдована суміш кукурудзи, ячменю, пшениці), який було обрано як контрольний зразок. Вартість комерційного аналога становить близько 273 дол. США/т [20]. Хімічний склад досліджених зразків екструдованих кормів наведено в табл. 4.

Інформацію про вміст незамінних амінокислот і якість (за амінокислотним скором,  $C_a$ , %) білка розробленого екструдованого корму і комерційного аналога наведено в табл. 5.

Згідно з табл. 4 та 5, розроблений екструдований корм за вмістом вологи

#### **4. Хімічний склад розробленого екструдованого корму для тварин і комерційного аналога**

Склад	Зразки екструдованих кормів	
	розробленого	комерційного аналога
Вміст води, %	3,9	4,1
Вміст ліпідів, %	3,1	1,8
Вміст клітковини, %	9,8	8,8
Вміст білка, %	31,1	9,6

практично не відрізняється від комерційного, отриманого із зернових культур (3,9% проти 4,1%). Подібна закономірність спостерігається за вмістом ліпідів (3,1% проти 1,8%) та клітковини (9,8% проти 8,8%). Проте між дослідженими зразками встановлена суттєва різниця щодо складу білка і незамінних амінокислот. Так, вміст білка в розробленому екструдованому кормі перевищує його вміст у контрольному в 3,2 раза (31,1% проти 9,6%), а вміст незамінних амінокислот — у 2,9 раза (9971 мг/100 г білка проти 3454 мг/100 г білка). Необхідно зазначити, що пористість розробленого екструдованого корму лише на 4% нижча, ніж у контрольного (72% і 76% відповідно).

Результати досліджень свідчать про можливість більш ефективно використовувати в технології екструдованих кормів для тварин такі відходи

#### **5. Вміст незамінних кислот розробленого екструдованого корму і комерційного аналога**

Незамінні амінокислоти	Еталон FAO	Розроблений екструдований корм		Комерційний аналог	
		Вміст, мг/100 г білка	$C_a$ , %	Вміст, мг/100 г білка	$C_a$ , %
Валін	5000	1307	26,1	409,0	8,2
Лейцин	7000	1876	26,8	888,0	12,7
Ізолейцин	4000	1115	27,9	381,0	9,5
Лізин	5500	1285	23,4	374,0	6,8
Метіонін + цистин	3500	926	26,5	250,0	7,1
Фенілаланін + тирозин	6000	2065	34,4	750,0	12,5
Триптофан	1000	390	39,0	93,0	9,3
Треонін	4000	1007	25,2	309,0	7,7

олієжирового виробництва, як соняшниковий та соевий шроти. Отримані авторами дані та апроксимаційна залежність (3) сприятимуть раціональнішому використанню соняшникового і соєвого шротів як складових екструдованих кормів, а також їх обґрунтованому комбінуванню з крохмалевмісними зерновими компонентами.

Варто означити перспективні напрями подальших досліджень щодо використання відходів олієжирового виробництва як сировини для екструдованого корму для тварин. Це насамперед визначення залежності технологічних характеристик готового продукту від вмісту вологи та вмісту жиру в сировині, що екструдуються.

## **Висновки**

Визначено хімічний (вміст вологи, білка, ліпідів, вуглеводів, клітковини та золи) й амінокислотний (вміст незамінних амінокислот) склад основи екструдованого корму для тварин. Досліджені зразки відходів олієжирового виробництва (соняшниковий та соевий шроти), а також крохмалевмісної сировини (вівсяна крупа) відповідають вимогам, встановленим у нормативній документації — ДСТУ 4638/CAS 68937-99-5, ДСТУ 4230/CAS 68308-36-1, ДСТУ 7698/CAS 97-56-3. Аналіз залежності пористості екструдованої маси від співвідношення її складових, отримані дані про вміст білка в сировинних

компонентах та їхню вартість дали змогу визначити раціональне співвідношення складових основи екструдованого корму для тварин: соняшниковий шрот — 0,40 мас. частки, соевий шрот — 0,25 мас. частки, вівсяна крупа — 0,35 мас. частки.

Зразок корму запропонованого складу відповідає показникам комерційному аналогу за пористістю (72 і 76%) та вартістю (285 і 273 дол. США/т відповідно), але перевищує комерційний аналог за вмістом білка в 3,2 раза (31,1% проти 9,6%), а за вмістом незамінних амінокислот у 2,9 раза (9971 мг/100 г білка проти 3454 мг/100 г білка).

**Petik I.<sup>1</sup>, Shcherbak O.<sup>2</sup>, Khareba O.<sup>3</sup>, Myronenko L.<sup>4</sup>, Borovkova V.<sup>5</sup>, Kibenko N.<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Ukrainian Research Institute of oils and fats of NAAS, 2A Dziuba Ave., Kharkiv, 61019, Ukraine; <sup>2,4-6</sup>State University of Biotechnology, 44 Alchevskykh Str., Kharkiv, 61002, Ukraine;

<sup>3</sup>National Academy of Agricultural Sciences of Ukraine, 9 Mykhailo Omelyanovich-Pavlenko Str., Kyiv, 01010, Ukraine; e-mail: <sup>1</sup>belinskaja.a.p@gmail.com, <sup>2</sup>elenasherbak@ukr.net, <sup>3</sup>lena1060725@gmail.com, <sup>4</sup>fox-phenek@ukr.net,

<sup>5</sup>vika\_borovkova@ukr.net, <sup>6</sup>svetakibenko@btu.kharkov.ua; ORCID: <sup>1</sup>0000-0001-5645-6304,

<sup>2</sup>0000-0002-4265-3355, <sup>3</sup>0000-0002-6763-1988,

<sup>4</sup>0000-0002-7345-6450, <sup>5</sup>0000-0002-3422-9394,

<sup>6</sup>0000-0002-9414-6811

### **Development of extruded feed for animals based on oil and fat production waste**

**Goal.** To substantiate the expediency of developing extruded feed for animals based on oil and fat production waste. **Methods.** The process of extruding mixtures of oilseed meal and grain raw materials was studied on a PE-20 press-extruder.

The mass fraction of moisture and volatile substances in samples of oil and fat production waste, starch-containing raw materials and extruded feed was determined by the gravimetric method, the mass fraction of protein by the Kjeldal method, the mass fraction of lipids and fiber by the extraction method, the carbohydrate content by the polarimetric method, the ash content by the method of burning with subsequent cination of the mineral residue, amino acid composition of the protein — by the method of ion exchange column chromatography, amino acid score of the samples — by the method of comparing the content of each essential amino acid in the protein of the raw material under investigation with the content of the same amino acid in the «ideal» reference protein. To determine the porosity of extruded material samples, they were covered with waterproof varnish, after drying they were placed in a measuring cylinder with water, taking into account the mass of water displaced from the cylinder, the volume of the extruded material sample with pores was determined. Mathematical methods were used to

process the obtained results and Microsoft Office Excel 2003 and Statistica software packages were used. **Results.** The chemical (content of moisture, protein, lipids, carbohydrates, fiber, and ash) and amino acid (content of essential amino acids) composition of raw materials as the basis of extruded animal feed was determined. It was established that the waste of oil and fat production (sunflower and soybean meal), as well as starch-containing raw materials (oat groats) met the requirements defined in the relevant regulatory documentation. Using the data on the dependence of the porosity of the extruded mass on the ratio of its components, information on the protein content of the raw components, and their cost,

a rational ratio of the components of the base of the extruded feed was established. The feed developed by the authors corresponded to the commercial analog in terms of porosity and cost but exceeded it in protein content by 3.2 times, and by 2.9 times in essential amino acid content. **Conclusions.** The obtained results indicate the possibility of using waste oil and fat production (sunflower and soybean meal) as raw materials for the production of extruded animal feed.

**Key words:** extruded feed, sunflower meal, soybean meal, oat groats, amino acid composition, porosity.

**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202409-07>

## Бібліографія

1. Олійні в умовах війни: посів, залишки, переробка, умови зберігання. 2022. URL: <https://latifundist.com/spetsproekt/963-olijni-v-umovah-vijni-posiv-zalishki-pererobka-umovi-zberigannya>
2. Petik I., Litvinenko O., Stankevych S. et al. Determination of the cellulose- and lipid-containing components influence on the extrudate technological indicators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. 2(6 (128)). P. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.301843>
3. Papchenko V., Matveeva T., Bochkarev S. Development of amino acid balanced food systems based on wheat flour and oilseed meal. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. 3 (11 (105)). P. 66–76. doi:10.15587/1729-4061.2020.203664
4. Belinska A., Bochkarev S., Varankina O. & Rudniev, V. Research on oxidative stability of protein-fat mixture based on sesame and flax seeds for use in halva technology. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 5/11 (101). P. 6–14. doi:10.15587/1729-4061.2019.178908
5. Papchenko V., Stepankova G., Karatieieva O. et al. Determining the effect of raw materials moisture and lipid content on the technological properties of the extruded protein-fat system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. 4 (11 (124)). P. 37–46. doi:10.15587/1729-4061.2023.285132
6. Rahman M. A. U., Rehman A., Chuanqi X. et al. Extrusion of feed/feed ingredients and its effect on digestibility and performance of poultry: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2015. 4 (4). P. 48–61. Available at: <http://surl.li/rqamn>
7. Duplessis M., Lapierre H. & Girard Ch. L. Biotin folic acid, and vitamin B12 supplementation given in early lactation to Holstein dairy cows: Their effects on whole-body propionate, glucose, and protein metabolism. *Animal Feed Science and Technology*. 2022. 282. P. 115441. doi:10.1016/j.anifeedsci. 2022. 115441.
8. Draganovic V., van der Goot A. J., Boom R., Jonkers J. Assessment of the effects of fish meal, wheat gluten, soy protein concentrate and feed moisture on extruder system parameters and the technical quality of fish feed. *Animal Feed Science and Technology*. 2011. 165 (3–4). P. 238–250.
9. Zhang B., Liu G., Ying D. et al. Effect of extrusion conditions on the physico-chemical properties and in vitro protein digestibility of canola meal. *Food Research International*. 2017. 100. P. 658–664.
10. Leonard W., Zhang P., Yin D., Fang Z. Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019. 19 (1). P. 218–246. doi:10.1111/1541-4337.12514
11. de Oliveira F.C., Coimbra J.S. dos R., de Oliveira E.B. et al. Food Protein-polysaccharide Conjugates Obtained via the Maillard Reaction: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2014. 56 (7). P. 1108–1125.
12. Bajaj S. R., Singhal R. S. Effect of extrusion processing and hydrocolloids on the stability of added vitamin B12 and physico-functional properties of the fortified puffed extrudates. *LWT*. 2019. 101. P. 32–39. doi:10.1016/j.lwt.2018.11.011
13. Banjac V., Vukmirovic D., Pezo L. & Draganovic V. 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*. 2020. 44 (6). doi:10.1111/jfpe.13640

14. Rahman M. A. U., Rehman A., Chuanqi X. et al. Extrusion of feed/feed ingredients and its effect on digestibility and performance of poultry: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2015. 4(4). P. 48–61.

15. Malomo S.A., Aluko R.E. Conversion of a low protein hemp seed meal into a functional protein concentrate through enzymatic digestion of fibre coupled with membrane ultrafiltration. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2015. 31. P. 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.08.004>

16. Benavides P. Th., Cai H., Wang M. & Bajjalieh N. Life-cycle analysis of soybean meal, distiller-dried grains with solubles, and synthetic amino acid-based animal feeds for swine and poultry production. *Animal Feed Science and*

*Technology*. 2022. 268. 114607. doi:10.1016/j.anifeedsci.2020.114607

17. Wadhwa M., Bakshi M.P. Application of Waste-Derived Proteins in the Animal Feed Industry. Protein Byproducts. *Transformation from Environmental Burden Into Value-Added Products*. 2016. 10. P. 161–192. doi:10.1016/B978-0-12-802391-4.00010-0

18. Rahmani M., Azadbakht M., Dastar B., Esmaeilzadeh E. Production of animal feed from food waste or corn? Analyses of energy and exergy. *Bioresource Technology Reports*. 2022. 20. 101213. doi:10.1016/j.biteb.2022.101213

19. Heilandt T., Mulholland C.A., Younes M. Involved in Food Safety: FAO/WHO Codex Alimentarius Commission (CAC). *Encyclopedia of Food Safety*. 2014. 4. P. 345–353. doi:10.1016/B978-0-12-378612-8.00006-8

20. Корма екструдовані (2022). URL: <https://flagma.ua/korma-ekstrudirovannye-o3536414.html>