

## ІНЖИНІРИНГ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЕКСТРУДОВАНИХ КОРМОВИХ ДОБАВОК

**К. В. Костецька**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

**ORCID ID:** 0000-0003-2387-5400

**Researcher ID:** M-7359-2019

**І. Ф. Улянич**, кандидат технічних наук

**ORCID ID:** 0000-0003-2342-188X

**В. В. Желєзна**, кандидат сільськогосподарських наук

**ORCID ID:** 0000-0002-1874-2155

**Researcher ID:** AAL-5479-2020

Уманський національний університет садівництва

**М. І. Голубєв**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

*Метою роботи було розширити асортимент кормів для тварин та удосконалити технологію виробництва екструдованої кормової суміші. Технологія полягає у попередній підготовці сировини: очищенні, подрібненні, її дозуванні відповідно до складу рецепту, змішуванні та спеціальній обробці для покращення технологічних властивостей і підвищення кормової цінності з процесами: попереднього змішування, відлежування та екструдування суміші, охолодження та подрібнення продукту залежно від призначення корму.*

**Ключові слова:** зерно, плодоовочева сировина, кормові добавки, технологія екструдування, інжиніринг.

**Постановка проблеми.** Інновація – це процес застосування передових технологій, виробів, або результат вивчення у вигляді нових методів, продукції, технологічних процесів тощо. Інноваційний інжиніринг у технології виробництва кормових добавок здійснюється через удосконалення технології кормових добавок з використанням плодоовочевої сировини, відлежування та екструдування кормових сумішей відповідно до складу рецепту, охолодження та подрібнення екструдату.

В Україні постійно накопичуються досить великі запаси плодоовочевої сировини, що все ще недостатньо використовуються у кормовиробництві. Водночас, поліпшення споживання та збільшення ефективності використання кормів, а також отримання максимальної тваринницької продуктивності все частіше забезпечується використанням природних кормових добавок у складі корму. Саме тому, виробництво кормів із екологічно чистої сировини, як перехід на альтернативні технології, є одним із найбільш ефективних способів збільшення обсягів кормів зі зниженням економічних витрат на їх виробництво. На сьогодні у приватних

господарствах населення відсутні технології екструдування суміші зернової і плодоовочевої сировини як натурального екологічного та безпечного корму для відгодівлі тварин.

Для покращення раціону харчування тварин і поліпшення якості кормів, у тому числі і у особистих селянських господарствах населення, актуальним є внесення до рецептурного складу корму плодоовочевої сировини.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для забезпечення успішного розвитку високопродуктивного тваринництва необхідно постійно розширювати сировинну базу та асортимент продукції комбікормового виробництва [1].

Кормові добавки застосовують, щоб збалансувати кормові раціони за нестачі тих чи інших поживних речовин, поліпшити споживання основних кормів, підвищити перетравність і засвоюваність поживних речовин корму та застосовують як профілактику стресового стану сільськогосподарських тварин тощо [2, 3]. До основних кормових добавок відносять небілкові азотисті речовини, енергетичні, мінеральні, вітамінні речовини, а також антибіотики,

пробіотики, ферменти, антиокислювачі, органічні кислоти тощо.

Способи виробництва кормових добавок різні, та залежать від підприємств, що їх виробляють, та від фізико-технологічних властивостей сировини. Підготовка добавок до введення у комбікорми проходить за окремими технологічними лініями залежно від варіанту технологічного процесу, наприклад, мінеральні, вітамінні речовини, антибіотики, пробіотики, ферменти, антиокислювачі, органічні кислоти вводять до складу преміксів за однойменними лініями; подача на виробництво – по лінії подачі білкової та мінеральної сировини [4-6].

**Мета роботи** – розширити асортимент комбікормів для тварин шляхом удосконалення технології екструдуння суміші зернової сировини з плодоовочевими компонентами.

Методи визначення фізико-технологічних властивостей компонентів комбікормів. Відбір проб і виділення наважки з екструдованої суміші проводили згідно з ДСТУ ISO 6497:2005 «Корми для тварин. Методи відбирання проб» (ISO 6497:2002, IDT) та ДСТУ ISO 6498:2006 Корми для тварин. Готування проб для дослідження (ISO 6498:1998, IDT), що були прийняті на заміну ГОСТ 13496.0-80 «Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы отбора проб».

Модуль крупності зерна визначали за результатами вивчення залишків на ситах (ГОСТ 13496.8-92). Для цього використовували лабораторний класифікатор і сита з круглими отворами діаметром 5,0; 4,0; 3,0; 2,0; 1,0 мм. З проби подрібненого продукту відбиралася наважка вагою 100 г. Потім на лабораторному класифікаторі проводили його розсів протягом 5 хв. На вагах марки PS/X2 «Radwag» зважували залишки з кожного сита і збірного дна з точністю до 0,01 г.

Модуль крупності (M) подрібненого продукту визначається за формулою:

$$M = \frac{d_1 P_1 + d_2 P_2 + \dots + d_n P_n}{100} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i P_i}{100};$$

де  $d_1$  – середній розмір отворів двох сусідніх сит, мм;  $P_1$  – масовий вихід фракції (залишок на кожному ситі), %;  $n$  – кількість фракцій, на які розділилася наважка.

Ступінь подрібнення коренеплодів визначали аналогічно як і зерна. Але враховуючи, що подрібнені овочі мають низьку сипкість, методика дещо відрізняється.

Визначення дисперсності мезги (метод ВНШКОПа). Розмір частинок і їх кількість визначають за допомогою ситового аналізу.

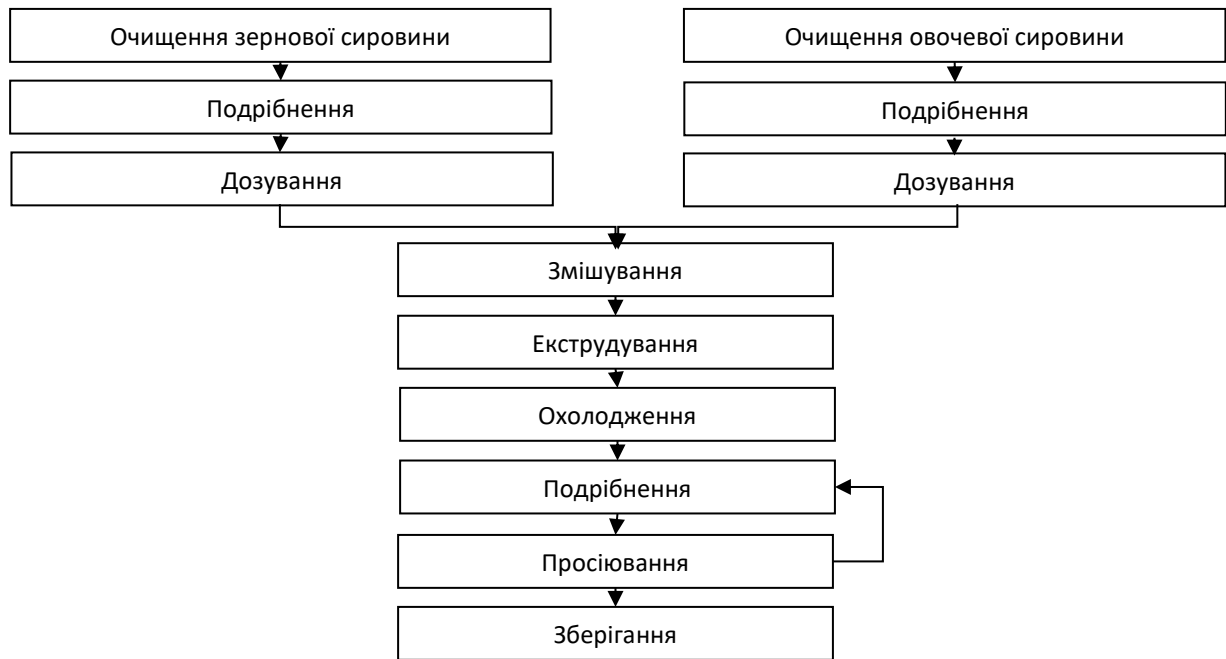
Апаратура: набір сит металевих із перфорацією від 5 до 3 мм; хімічний стакан на 300 мл; ваги технічні на 200 г; капронове сито № 18.

**Методика визначення.** З середньої проби мезги після ретельного перемішування відважують в хімічній склянці 150 г на технічних вагах. Промокають паперовими серветками для відбору залишкової вологи. Набір сит збирають так, щоб перфорація їх поступово зменшувалася. На нижнє сито з перфорацією 3 мм надягають капронове сито з нижньої сторони. У склянку з пробєю наливають майже доверху воду, обережно розмішують і суміш виливають на верхнє сито. Мезгу злегка розрівнюють на поверхні сита і весь набір сит з перфорацією 5,0, 3,0 мм і капронової сіткою, не розбираючи, підносять до водопровідного крану під спокійний струмінь води. Промивання проводять протягом 5 хв., повільно обертаючи сито так, щоб струменем води рівномірно промивалася вся маса на ситі. По закінченні промивання частинки мезги ретельно збирають з кожного сита в серветку з двох шарів марлі і віджимають вручну до припинення виділення води. Потім кожену фракцію ретельно збирають з марлі на фільтрувальний папір, промокають з двох сторін фільтрувальним папером і зважують на технічних вагах з точністю до 0,1 г.

**Результати дослідження.** Для підвищення смакових і поживних якостей кормів використовують плодоовочеві культури. В якості дослідних зразків нами вибрано стандартної якості овочеві коренеплоди: буряк столовий, морква столова, пастернак, картопля, плодів: вичавки виноградні та екструдовані продукти із їхніх сумішей із зерновими культурами.

Органолептична оцінка плодоовочевих культур виявила повну відповідність ознак даних рослин певним видам. Фізичні властивості плодоовочевих культур свідчать про можливість та сприятливі передумови їх використання на усіх етапах технологічного процесу [11].

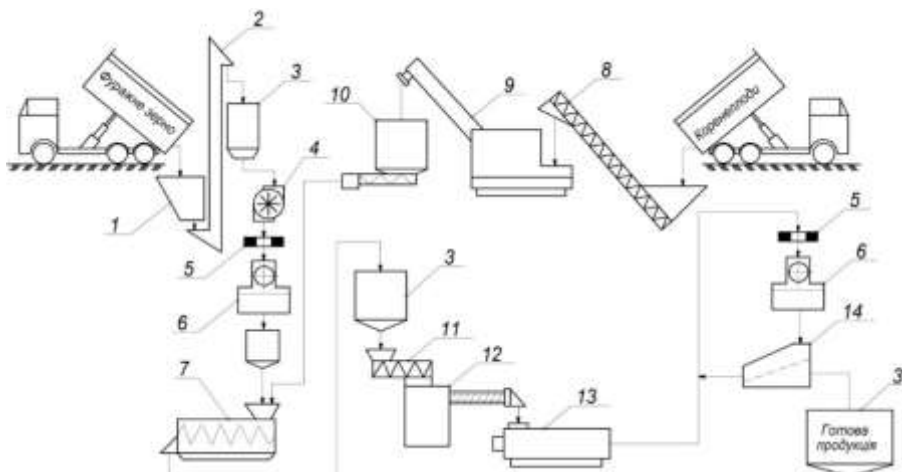
Проведений аналітичний огляд літератури з вивчення асортименту, поживності комбікормів і засобів для покращення смаку корму [1-3, 6], а також дослідження фізико-технологічних властивостей плодоовочевої сировини – буряку столового, моркви, пастернаку, картоплі [11] свідчать про можливість використання цих рослин при виробництві кормових добавок. Саме тому наступним етапом роботи стало удосконалення технології виробництва кормових добавок з використанням плодоовочевої сировини – буряку столового, моркви, картоплі, пастернаку та виноградних вичавок (рис. 1).



**Рис. 1. Блок-схема удосконаленої технології екструдуювання**

Одним з етапів вивчення процесу стало екструдуювання в лабораторних умовах УНУС на прес-екструдері українського виробництва марки КМЗ-2М. Проводили також дослідження на лабораторному екструдері ПЭК-40х5В в Національному університеті харчових технологій [7].

Зерно подрібнювали на молотковій дробарці (марки ДМ-03), використовуючи сита з різним діаметром отворів (6,0; 4,0; 3,0 мм). Отримали продукт з різною крупністю помелу і різним гранулометричним складом. Овочеві компоненти очищували від ґрунтових та інших домішок шляхом сортування та миття.



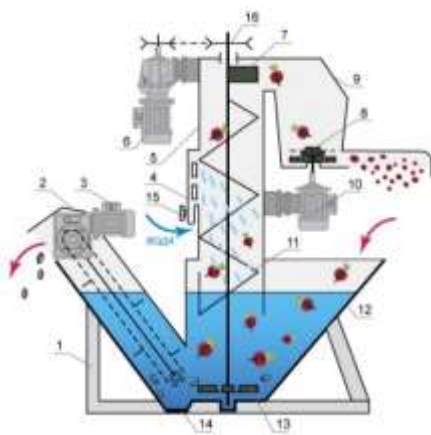
**Рис. 2. Удосконалена технологічна схема виробництва екструдованих кормових добавок з використанням плодовоовочевої сировини:** 1 – бункер завальний; 2 – транспортер-норія; 3 – бункер-накопичувальний; 4 – дозатор; 5 – магнітний уловлювач; 6 – молоткова дробарка; 7 – змішувач; 8 – транспортер; 9 – мийка-подрібнювач коренеплодів; 10 – бункер-дозатор подрібнених коренеплодів; 11 – живильник екструдера; 12 – екструдер; 13 – охолоджувач; 14 – просіювач

Суміші з додаванням до зерна овочевих компонентів у нативному вигляді створювали вручну, шляхом змішування різних співвідношень компонентів. Подачу продукту в екструдер здійснювали вручну та за допомогою віброживильника. Під час процесу екструдуювання реєстрували показники амперметра, термометра і

фіксували час. Продукт після екструдуювання охолоджували при кімнатній температурі і відносній вологості 60%. Після охолодження зразки продукту пакували в окрему герметичну тару, частину з якого попередньо подрібнювали.

Удосконалена нами технологічна схема виробництва кормових добавок з використанням плодовоовочевої сировини представлена на рис. 2.

Виробництво високоякісного продукту на великотоннажному виробництві передбачає проведення попереднього очищення зернової сировини від сторонніх домішок на двокамерному пневматичному сепараторі СА-4, продуктивністю до 6 т/год, який не вимагає підключення до електромережі, бо працює за рахунок потоку повітря, створюваного дробаркою. Далі зерно направляється пневмотранспортом для подрібнення на молотковій дробарці ДКР-5Д продуктивністю до 5 т/год. Необхідна крупність подрібнення задається розмірами отворів сит на дробарці.



Подрібнений продукт пневмотранспортом розвантажуються в наддозаторний бункер ємністю 3 т, а далі дозується у змішувач для створення суміші необхідного складу.

Очищення коренеплодів – буряку столового, моркви, пастернаку, картоплі від сторонніх домішок проходить на установці ИКМ–5 (рис. 3), що одночасно очищає і подрібнює сировину. Перед початком роботи ванну наповнюють водою. Необхідний рівень води у ванні підтримується зливним патрубком, розташованим на кожусі транспортера. Обертальний рух води у ванні створює крильчатка, закріплена на валу шнека.

- 1 – Рама;
- 2 – транспортер-каменеуловлювач;
- 3, 6, 10 – електродвигуни;
- 4 – розпилювач води;
- 5 – кожух;
- 7 – виштовхувач;
- 8 – подрібнювач;
- 9 – кришка подрібнювача;
- 11 – шнек мийки;
- 12 – ванна;
- 13 – крильчатка;
- 14 – люк;
- 15 – вентиль подачі води;
- 16 – шків приводу шнека.

**Рис. 3. Подрібнювач овочів ИКМ–5**

Коренеплоди, що завантажуються в ванну, під дією обертового потоку води знаходяться в підвішеному стані, підхоплюються шнеком і направляються до подрібнювача. Частково відмиті коренеплоди у ванні додатково домиваються струменем води у корпусі шнека. Каміння та інші важкі предмети опускаються на дно ванни і відкидаються крильчаткою у транспортер-каменеуловлювач. Після очищення коренеплоди подрібнюються горизонтальними ножами і надходять на нижній диск, де остаточно подрібнюються вертикальними ножами. Для отримання тонкого подрібнення продукт проходить додатково через деку. Подрібнений продукт вивантажується через лоток за допомогою лопаток нижнього диска.

Очищення і подрібнення зерна проводять, використовуючи режими, які наведені у „Правилах організації і ведення технологічного процесу виробництва комбікормової продукції” [9].

Підготовлена таким чином сировина подається у ваговий дозатор періодичної дії, де дозується у визначених співвідношеннях. Дозована суміш надходить у змішувач, де відбувається рівномірне

перемішування компонентів, потім подається в бункер для відлежування перед екструдуванням ємністю 5 т.

Суміш подрібненого зерна і вологих компонентів подається на екструдер КМЗ-2М або іншої марки, продуктивністю при переробці зерна 380 кг/год. Одержаний продукт охолоджують у вертикальному або горизонтальному охолоджувачі до температури, що не перевищує температуру навколишнього середовища більше, ніж на 15–18°C, за необхідності подрібнюють на молоткових дробарках і просіюють на сепараторах із застосуванням сит, що забезпечують необхідну крупність, передбачену стандартом. Екструдування і охолодження суміші проводять, використовуючи режими, встановлені «Правилами організації і ведення технологічного процесу виробництва комбікормової продукції» [10].

Нами проведено розрахунок процесу охолодження суміші екструдованого зерна з плодовоовочевою сировиною після обробки в екструдерах КМЗ-2М і ПЭК-40х5В.

Вихідні дані: температура суміші на виході з екструдера,  $Q_1 = 120^\circ\text{C}$ ; вологість екструдованої суміші,  $W_1 = 11,0\%$ ; продуктивність екструдера КМЗ-2М по вологому продукту  $G_1 = 430$  кг/год; екструдера ПЕК-40х5В по вологому продукту  $G_1 = 30$  кг/год; кількість екструдерів – по 1 шт.; температура екструдованої суміші після охолодження,  $Q_2 = 28^\circ\text{C}$ ; вологість екструдату після охолодження,  $W_2 = 10,0\%$ ; температура повітря,  $t_1 = 15^\circ\text{C}$ ; відносна вологість повітря,  $\phi_1 = 67\%$ ; температура відпрацьованого повітря,  $t_2 = 25^\circ\text{C}$ ; відносна вологість відпрацьованого повітря,  $\phi_2 = 40\%$ .

Кількість вологи, що випаровується при охолодженні екструдованої суміші:

$$W = G_1 (W_1 - W_2 / 100 - W_2), \text{ кг/год,}$$

для КМЗ-2М:

$$W = 430(11,0 - 10,0 / 100 - 10,0) = 4,8 \text{ кг/год;}$$

для ПЕК-40х5В:

$$W = 30(11,0 - 10,0 / 100 - 10,0) = 0,33 \text{ кг/год.}$$

Середня продуктивність екструдера по сухій суміші  $G_2 = G_1 - W$ , кг/год:

$$\text{для КМЗ-2М: } G_2 = 430 - 4,8 = 425,2 \text{ кг/год;}$$

$$\text{для ПЕК-40х5В: } G_2 = 30 - 0,33 = 29,67 \text{ кг/год.}$$

Кількість тепла, що внесено в охолоджувальну установку гарячою сумішшю  $q_{пр} = (G_2 / W) * C(Q_1 - Q_2)$ , кДж/кг випареної вологи.

Питома теплоємність в суміші в середньому становить  $1,927$  Дж/(кг\*град):

для КМЗ-2М:

$$q_{пр} = (425,2 / 4,8) * 1,927(120 - 28) = 15704 \text{ кДж/кг}$$

випареної вологи;

для ПЕК-40х5В:

$$q_{пр} = (29,67 / 0,33) * 1,927(120 - 28) = 15939 \text{ кДж/кг}$$

випареної вологи.

Різниця між кількістю внесеного тепла в охолоджувач разом з екструдованою сумішшю і винесеною її кількістю з охолоджувальної установки становить  $\Delta \text{охл.} = q_{пр} + (Q_1 - q_{н. сер})$ , кДж/кг випареної вологи:

для КМЗ-2М:

$$\Delta \text{охл.} = 15704 + (120 - 0) = 15824, \text{ кДж/кг}$$

випареної вологи;

для ПЕК-40х5В:

$$\Delta \text{охл.} = 15939 + (120 - 0) = 16059, \text{ кДж/кг}$$

випареної вологи.

По I-d діаграмі вологого повітря визначаємо питомі витрати повітря на охолодження екструдованої суміші, яке становить  $l = 555$  сухого повітря/кг випареної вологи.

Загальні вагові витрати повітря на охолодження екструдованої суміші:

$$L = l * W, \text{ кг/год,}$$

для КМЗ-2М:  $L = 555 * 4,8 = 2664$  кг/год;

для ПЕК-40х5В:  $L = 555 * 0,33 = 183$  кг/год.

Об'ємні витрати вологого повітря на вході в охолоджувальну установку:

$$V_B = L * V_0, \text{ м}^3/\text{год}$$

$$\text{для КМЗ-2М: } V_B = 2664 * 0,8421 = 2243, \text{ м}^3/\text{год;}$$

$$\text{для ПЕК-40х5В: } V_B = 183 * 0,8421 = 154, \text{ м}^3/\text{год}$$

при  $t_1 = 15^\circ\text{C}$ ,  $\phi = 67\%$ ,  $V_0 = 0,8421$  м<sup>3</sup>/год сухого повітря.

Кількість повітря на виході з охолоджувальної установки:

$$\text{для КМЗ-2М: } V_{вих} = 2664 * 0,9727 = 2591 \text{ м}^3/\text{год;}$$

$$\text{для ПЕК-40х5В: } V_{вих} = 154 * 0,9727 = 150 \text{ м}^3/\text{год,}$$

при  $t_1 = 25^\circ\text{C}$ ,  $\phi = 40\%$ .

Питомі витрати повітря в охолоджувальній установці:

$$\text{для КМЗ-2М: } 2243 / 430 = 5,22 \text{ (м}^3/\text{год)/кг}$$

суміші;

$$\text{для ПЕК-40х5В: } 154 / 30 = 5,13, \text{ (м}^3/\text{год)/кг}$$

суміші.

Згідно з наведеними розрахунками, питомі витрати повітря в охолоджувальній установці повинні становити  $5,1 - 5,2$  (м<sup>3</sup>/год)/кг суміші.

На заключній стадії виробництва готовий продукт проходить перевірку в магнітних сепараторах на наявність металоманітної домішки, зважується на автоматичних вагах і направляється на пакування та зберігання. Можливе також використання кормової добавки в якості сировини для виробництва комбікормів для сільськогосподарських тварин.

Для з'ясування поведінки рослинної сировини в процесі змішування, нами проведено дослідження з визначення ефективності процесу змішування на основі статистичної характеристики сумішей, до складу яких було введено овочеву сировину. Такою характеристикою є коефіцієнт варіації (неоднорідності) розподілення ключового компоненту в суміші. Дослідженням встановлено, що коефіцієнт варіації розподілення ключового компоненту становить  $4,6...5,4\%$ , що свідчить про добре розподілення ключового компоненту – солі. Тому можна зробити висновок, що й інші компоненти кормових добавок добре розподілені у суміші.

Традиційна технологічна схема виробництва комбікормів передбачає такі основні лінії: лінію зернової сировини; лінію відокремлення плівок; лінію борошністої сировини; лінію розсипного трав'яного борошна; лінію пресованої і шматкової сировини; лінію кормових продуктів харчових виробництв; лінію шротів; лінію підготовки солі; лінію підготовки крейди та іншої мінеральної сировини; лінію оброблення затареної сировини та лінію введення преміксів [10].

За результатами проведених досліджень введення кормових добавок до складу комбікормів рекомендуємо проводити на лінії шротів. Технологічна лінія введення кормових добавок включена до технологічної схеми, яка наведена на рис. 2.

шротів. Технологічна лінія введення кормових добавок включена до технологічної схеми, яка наведена на рис. 2.

- 1 – Магнітний захист;
- 2 – просіювач;
- 3 – дробарка;
- 4 – бункери;
- 5 – ваговий дозатор,
- 6 – змішувач.

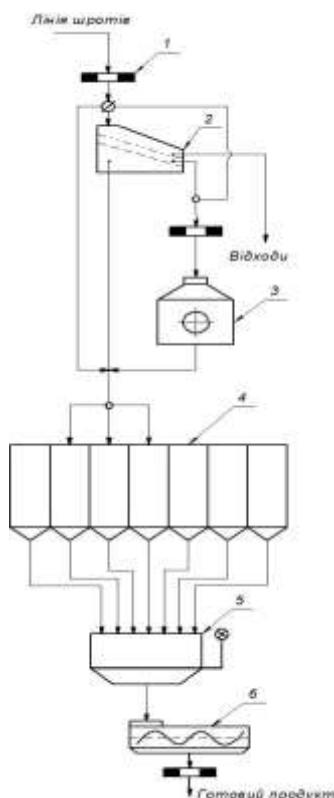


Рис. 4. Технологічна схема лінії введення екструдованої сировини

Згідно з наведеною технологічною схемою (рис. 4), кормові добавки подаються у бункер, звідки на просіювач (2) для видалення випадкових домішок. Для цього передбачено встановлення ситових рам № 100 з розмірами отворів діаметром 10 мм чи № 8 з чарунками розміром 8×8 мм, які використовуються для відокремлення випадкових домішок великих розмірів. Прохід з цього сита направляється крізь магнітний сепаратор (1) у наддозаторні бункери.

Очищення від сторонніх домішок проводять, застосовуючи режими, встановлені «Правилами організації і ведення технологічного процесу виробництва комбікормової продукції» [10].

Виходячи з того, що макромолекули екструдатів упаковані досить нещільно, між молекулами часто утворюються порожнини, в які потрапляє вода, то в результаті відбувається збільшення об'єму та ступеня набухання. Фізичні показники сумішей зерна кукурудзи з овочевими коренеплодами різної концентрації наведено у табл. 1.

Так, у екструдованому зерні кукурудзи з овочевими коренеплодами ступінь набухання складає 8,53 мл/г, тоді як у необробленому вигляді лише 4,17 мл/г (табл. 1).

Збільшення кількості овочевих коренеплодів у кормосуміші з кукурудзи знижувало набухання суміші. Так, ступінь набухання суміші з концентрацією компонентів 2,5% залежно від коренеплоду становила 8,43-8,49 мл/г. У свою чергу, підвищення вмісту овочевих коренеплодів до 10% викликало зниження показника до 7,40-7,77%, а 15% овочевих добавок – знижувало ступінь набухання до 6,07-6,65%. Збільшення ж концентрації овочевих коренеплодів у суміші до 22,5% знижувало набухання до рівня 4,43-4,56%.

Таким чином, набухання суміші зерна кукурудзи з овочевими коренеплодами різної концентрації показало, що з підвищенням кількості овочевого компоненту істотно знижується набухання екструдованого продукту, що свідчить про зменшення здатності суміші з високими концентраціями компонентів вбирати воду.

Кут природного нахилу у вихідній сировині становив 32 градуси. Збільшення концентрації овочевих складових у кормовій суміші сприяло поступовому збільшенню кута природного нахилу до 45-46 градусів. Екструдування сприяло підвищенню даного показника на 1-9 градусів. Показники необробленої суміші та готового екструдату вирівнювалися за кількості овочевих

коренеплодів 22,5%, а кут природного нахилу становив 45-46 градусів. В свою чергу, зі збільшенням концентрації овочевих складових, сипкість продукції змінювалася у бік зменшення. Суттєві зміни відмічено у величині спучення матеріалу, що пов'язано з прямою залежністю з об'ємною масою. Так, коефіцієнт спучення екструдованої кукурудзи становив 3,23. В

екструдованої суміші кукурудзи з буряком столовим, у міру збільшення його концентрації, коефіцієнт мав тенденцію до зниження від 3,06 за вмісту 2,5% до 1,02 за вмісту 22,5%. Натомість, у екструдованої суміші кукурудзи з морквою столовою, зі збільшенням її концентрації, коефіцієнт спучення мав тенденцію до зниження від 3,19 за вмісту 2,5% до 0,97 за вмісту 1,03%.

Таблиця 1

**Фізичні показники суміші зерна кукурудзи з овочевими коренеплодами залежно від їхньої концентрації (n=3, P ≥ 0,95)**

Суміш зерна кукурудзи з овочевими коренеплодами		Об'ємна маса, кг/м <sup>3</sup>	Набухання, мл/г	Кут природного укосу, град	Сипкість, см/с	Коефіцієнт спучення	
Буряк столовий							
Концентрація овочевого компоненту, %	0 (К)	вихідна	637,1	4,17	32	22	-
		екструдована	138,4	8,53	41,4	3,7	3,23
	2,5	вихідна	654,9	4,13	34,6	20	-
		екструдована	149,5	8,43	41,3	3,5	3,06
	5,0	вихідна	668,7	4,07	36,7	19	-
		екструдована	157,2	8,23	42,7	3,0	2,63
	10,0	вихідна	692,4	3,98	39,8	17	-
		екструдована	198,3	7,42	43,2	2,7	1,73
	15,0	вихідна	732,1	3,89	41,5	15	-
		екструдована	240,8	6,07	43,8	2,5	1,53
	22,5	вихідна	778,7	3,74	46,4	13	-
		екструдована	270,9	4,43	45,4	2,3	1,02
	Морква столова						
	Концентрація овочевого компоненту, %	0 (К)	вихідна	625,2	4,17	32,0	22
екструдована			135,6	8,50	41,4	3,7	3,23
2,5		вихідна	667,7	4,12	34,6	20	-
		екструдована	142,3	8,49	41,5	3,5	3,19
5,0		вихідна	700,4	4,06	36,2	19	-
		екструдована	152,5	8,43	42,6	3,0	2,28
10,0		вихідна	700,4	3,92	39,3	17	-
		екструдована	193,8	7,77	41,2	2,7	1,65
15,0		вихідна	733,1	3,83	42,4	15	-
		екструдована	245,2	6,65	43,9	2,5	1,34
22,5		вихідна	774,3	3,73	45,9	13	-
		екструдована	258,5	4,56	45,2	2,3	1,05

У технологічній схемі виробництва комбікормів передбачено встановлення додаткової лінії екструдуювання для проведення спеціального теплового оброблення суміші зернових культур і отримання екструдованої

кормосуміші.

Технологічні показники обробки суміші зерна кукурудзи з овочевими коренеплодами в екструдері у передматричній зоні екструдера наведено в табл. 2.

Таблиця 2

**Технологічні показники обробки зерно-овочевої суміші в екструдері**

Вміст та вид овочів, %	(К)	Буряк, %					Морква, %				
		2,5	5,0	10,0	15,0	22,5	2,5	5,0	10,0	15,0	22,5
Продуктивність кг/год.	27	28	27	25	23	18	27	25	23	20	17
Навантаження на двигун екструдера	6,4	5,8	5,2	4,8	4,5	4,3	5,7	5,4	4,7	4,4	4,2
Питома витрата ел. енергії, кВт•год/т	117	102	94	93	95	115	104	103	98	105	120
Температура, °С	171	164	158	147	139	132	166	159	146	139	133

Примітки: К – контроль, кукурудза 100 %

Продуктивність за додавання 2,5 % подрібненого буряку до зерна кукурудзи збільшилася на 1 кг/год. При збільшенні концентрації овочів до 22,5% продуктивність зменшується до 15-17 кг/год.

Питома витрата електроенергії при екструдванні зерна кукурудзи становить 117 кВт•год/т, а за додавання плодоовочевої сировини зменшується при 2,5% до 102-104 кВт•год/т. Процес зниження триває до концентрації 10,0 % і становить 93-96 кВт•год/т. Подальше підвищення концентрації плодоовочевої сировини викликало підвищення питомої витрати електроенергії до 115-120 кВт•год/т.

Загалом енерговитрати на екструдвання сумішей з морквою були більші, ніж за додавання буряку і відрізнялися на 2-5 кВт•год/т.

Суттєвої різниці у параметрах екструдвання сумішей зерна кукурудзи з морквою та буряком не спостерігається.

**Висновки.** Удосконалена технологія виробництва кормосуміші полягає у попередній підготовці сировини: очищені, подрібнені, її дозуванні відповідно до складу рецепту, змішуванні та спеціальній обробці для покращення технологічних властивостей за процесами: попереднього змішування, відлежування та екструдвання суміші, охолодження та подрібнення продукту залежно від призначення корму.

Встановлено, що зі збільшенням концентрації овочевих коренеплодів в екструдованій суміші поліпшуються фізичні властивості корму, зокрема, підвищуються об'ємна маса суміші з концентрацією овочевих коренеплодів до 15% з одночасним зниженням сипкості та коефіцієнту спучення екструдованої суміші.

### Список використаних джерел:

1. Кучер М. І. Виробництво комбікормів на підприємствах ДАК «Хліб України»: стан, проблеми, перспективи. *Ефективне птахівництво та тваринництво*. 2003. №2. С. 5-7.
2. Дурст Л., Виттман М. Кормление сельскохозяйственных животных: Пер. с нем., под ред. И. И. Ибатулина, Г. В. Проваторова. Винница: Нова книга, 2003. 384 с.
3. Ибрагимов А. Вкусовые и ароматические добавки в кормах животных. *Комбикорма*. 2003. №5. С. 63.
4. Улянич І. Ф., Костецька К. В., Голубев М. І. Розроблення рецептів комбікормів. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2017. № 91. С. 121-129.
5. Костецька К. В., Улянич І. Ф., Голубев М. І. Хімічний склад екструдованого продукту суміші зерна кукурудзи, ячменю з плодоовочевими складовими. *Збірник наукових праць Уманського НУС*, 2018. № 92. С. 109-119.
6. Егоров Б., Тарахтий А., Кузнецов М., Тищенко Я. Производство комбикормов и премиксов на Украине. *Комбикорма*. 1999. №2. С. 10-11.
7. Костецька К. В. Оптимальний діаметр отвору матриці екструдера під час виробництва екструдованих кормосумішей: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології у рослинництві: проблеми та їх вирішення». Житомир, 2018. С. 301-304.
8. Osokina N. M., Kostetska K. V. Physical and mechanical properties and quality indicator of barley. *Вісник Уманського НУС*. 2016. № 2. С. 48-51.
9. Мартыненко Я. Ф. Промышленное производство комбикормов. М.: Колос, 1975. 216 с.
10. Правила організації і ведення технологічного процесу виробництва комбікормової продукції. К., 1990. 20 с.
11. Шаповаленко О. І. Євтушенко О. О., Улянич І. Ф. Екструдвання зерна з додаванням овочевих компонентів корму. *Хранение и переработка зерна*. 2012. №11. С. 62-64.

### Е. В. Костецкая, И. Ф. Улянич, В. В. Железная, М. И. Голубев. Инжиниринг в технологии производства экструдированных кормовых добавок

Целью работы было расширить ассортимент кормов для животных и усовершенствовать технологию производства экструдированной кормовой смеси. Технология заключается в предварительной подготовке сырья: очищении, измельчении, ее дозировке соответственно в состав рецепта, смешивании и специальной обработке для улучшения технологических свойств и повышения кормовой ценности с процессами: предварительного смешивания, отлеживания и экструдирования смеси, охлаждения и измельчения продукта в зависимости от назначения корма.

**Ключевые слова:** зерно, сырье плодоовощное, кормовые добавки, технология экструдирования, инжиниринг.



K. Kostetska, I. Ulianych, V. Zheliezna, M. Holubiev. **Engineering in the technology of manufacture of extruded feed additives**

*The aim of the work was to expand the range of animal feed and improve the technology of production of extruded feed mixture. Technology of use of preliminary preparation of raw materials: cleaning, reduction of quantity, its dosing according to the recipe, change and special means for improvement of technological authorities and increase of fodder value from processes: preliminary mixing, settling and extrusion of the mixture, cooling and grinding of the product depending on the purpose of the fodder*

**Keywords:** *grain, fruit and vegetable raw materials, feed additives, extrusion technology, engineering.*