



К.В. Костецька,
кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри технології зберігання і переробки зерна Уманського національного університету садівництва м. Умань, Україна
E-mail: kostetskakateryna@gmail.com



В.В. Железна,
кандидат технічних наук, ст. викладач кафедри технології зберігання і переробки зерна Уманського національного університету садівництва м. Умань, Україна
E-mail: valieria.vozian07@gmail.com



І.Ф. Улянич,
кандидат технічних наук, ст. викладач кафедри технології зберігання і переробки зерна Уманського національного університету садівництва м. Умань, Україна
E-mail: i.ulianych@gmail.com



М.І. Голубев,
кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри годівлі тварин та технології кормів ім. П. Д. Пшеничного Національного університету біоресурсів і природокористування України м. Київ, Україна
E-mail: golubev.mon@gmail.com

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРУДУВАННЯ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ

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.

Зі збільшенням концентрації овочевих коренеплодів у екструдованій суміші покращуються фізичні властивості кормів, зокрема, збільшується об'ємна маса суміші до концентрації овочевих коренеплодів не більше 15 %. Знижується кут природного укусу на 1–3 градуси, сипкість на 20–23 % та коефіцієнт спучення екструдованої суміші в два рази.

Доведено, що на комбікормових заводах екструдовані кормові суміші можна вводити використовуючи лінію шротів, якщо вони надходять на підприємство від інших виробників, і лінію екструдування, якщо вона передбачена на підприємстві.

Удосконалено технологію кормових добавок з використанням плодоовочевої сировини: буряку столового, моркви, пастернаку, картоплі. Оптимізація технології виробництва кормових добавок полягає у попередній підготовці зернових і овочевих культур: очищення, подрібнення, дозування, змішування, відлежування та екструдування сумішей відповідно до складу рецепту, охолодження та подрібнення екструдату.

Розроблено спосіб введення овочевої сировини у комбікорми, який включає очищення овочевої сировини в мийних машинах, вилучення соку з одночасним подрібненням, змішування вичавок у кількості 5–10 % із зерном та водо-теплове оброблення суміші методом екструзії.

Найвагомішим визначено вплив фактору "вміст овочевої добавки". Деяко менший вплив мав фактор "модуль крупності подрібненого зерна", "товщина подрібнених овочевих компонентів". Фактор "час відлежування" найменше впливав на якість спучення екструдату, та виявився невагомим.

Ключові слова: зерно, плодоовочева сировина, кормові добавки, фізичні показники, наукове дослідження, оптимізація, інжиніринг.

K.V. Kostetska,

PhD of Agricultural Sciences, Associate Professor Uman National University of Horticulture (Uman), Ukraine

I.F. Ulianych,

PhD of Technical Sciences, Senior Teacher Uman National University of Horticulture (Uman), Ukraine

V.V. Zheliezna,

PhD of Agricultural Sciences, Senior Teacher Uman National University of Horticulture (Uman), Ukraine

M.I. Holubiev,

PhD of Agricultural Sciences, Associate Professor National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv), Ukraine

OPTIMIZATION OF THE EXTRUSION PROCESS DURING THE PRODUCTION OF COMPOUND FEEDS

The aim of the article was to expand the range of animal feed. The article presents data on the improvement of the technology of developed feed mixtures from grain and a number of components of fruits and vegetables.

Work was carried out in the laboratories of the Department of Technology of Storage and Processing of Grain and the Department of Biology of Uman National University of Horticulture as well as the Department of Storage and Processing of Grain of National University

of Food Technologies.

The technology of extruded feed mixture production has been improved. The technology consists in preliminary preparation of raw materials: cleaned, crushed, its dosage according to the composition, mixing and special processing to improve technological properties and increase feed value with processes: premixing, aging and extrusion of the mixture, cooling and grinding depending on feed purpose. As the concentration of vegetable roots in the extruded mixture increases, the physical properties of the feed improve, in particular, the volume weight of the mixture increases to a concentration of vegetable roots of not more than 15%. The angle of natural slope is reduced by 1–3 degrees, flowability by 20–23% and the coefficient of swelling of the extruded mixture is doubled.

The production methods of feed additives are different and depend on the enterprises that produce and on the physical and technological properties of raw materials. It has been proven that in feed mills, extruded feed mixtures can be introduced using a meal line if they come to the plant from other producers, and an extrusion line if it is provided at the plant.

The technology of feed additives using fruit and vegetable raw materials has been improved: beets, carrots, parsnips, and potatoes. Optimization of the technology for the production of feed additives consists in the preliminary preparation of grain and vegetable crops: cleaning, grinding, dosing, mixing, tracking and extruding mixtures in accordance with the composition of the recipe, cooling and grinding the extrudate.

A method for introducing vegetable raw materials into compound feeds has been developed, which includes cleaning vegetable raw materials in washing machines, extracting juice with simultaneous grinding, mixing 5–10 % of pomace with grain and wet-heat treatment of the mixture by extrusion.

The most important is the influence of the factor "vegetable supplement content". The factor "modulus of size of crushed grain" had a slightly smaller influence, "thickness of crushed vegetable components". The "aging time" factor had the least effect on the quality of extrudate swelling and proved to be a weightless.

Key words: grain, fruit and vegetable raw materials, feed additives, physical indicators, scientific research, optimization, engineering.

Постановка проблеми. Для забезпечення успішного розвитку високопродуктивного тваринництва необхідно постійно розширювати сировинну базу та асортимент продукції комбікормового виробництва [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кормові добавки застосовують, щоб збалансувати кормові раціони за нестачі тих чи інших поживних речовин, покращити 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 азотвмісні 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 і 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 у складі преміксів за однойменними лініями. Подача на виробництво – по лінії подачі білкової та мінеральної сировини [4–6].

Метою роботи було оптимізувати технологію екструдуювання суміші зернової сировини з плодоовочевими компонентами.

Методика проведення дослідження. Дослідження проводили у лабораторних умовах УНУС на прес-екструдері українського виробництва марки КМЗ-2М і лабораторному екструдері ПЭК-40х5В у Національному університеті харчових технологій [7].

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

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

Продукт після екструдуювання охолоджували за кімнатної температури і відносної вологості 60 %. Після охолодження зразки продукту пакували в окрему герметичну тару, частину з якого попередньо подрібнювали.

Відбір проб і виділення наважки з екструдованої суміші проводили відповідно до ДСТУ ISO 6497:2005 «Корми для тварин. Методи відбирання проб» (ISO

6497:2002, IDT) і ДСТУ ISO 6498:2006 Корми для тварин. Готування проб для дослідження (ISO 6498:1998, IDT).

Визначення зовнішнього вигляду проводили візуально, запаху та кольору – за ГОСТ 10967-90 «Зерно. Методи определения запаха и цвета», зараженості шкідниками хлібних запасів – за ГОСТ 13496.13-75 «Комбікорма. Методи определения запаха, зараженности вредителями хлебных запасов».

Вологість зерна та готової продукції визначали методом висушування у сушильній шафі СЕШ-3М за температури 130 °С впродовж 40 хв. з моменту встановлення температури за ДСТУ ISO 6496:2005 Корми для тварин. Визначення вмісту вологи та інших летких речовин (ISO 6496:1999, IDT).

Об'ємну масу та кут природного нахилу визначали за ГОСТ 28254-89 «Комбікорма, сырье. Методы определения объемной массы и угла естественного откоса».

Сипкість визначали методом, який характеризується швидкістю витікання продукту крізь отвір певного діаметру та розраховували за такою формулою:

$$V_c = \frac{V}{S \cdot t} \quad (1)$$

де V_c – об'єм матеріалу, який проходить крізь вихідний отвір в одиницю часу, см³; S – площа поперечного перерізу вихідного отвору, см²; t – час, за який проходить продукт крізь отвір, с.

Ступінь подрібнення (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 відбиралась 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 визначали за такою 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_i – середній розмір отворів двох сусідніх сит, мм; P_i – масовий вихід фракції (залишок на кожному ситі), %; n – кількість фракцій, на які розділилась наважка.

Ступінь подрібнення коренеплодів визначали подібно до зерна. Але враховуючи, що подрібнені овочі мають низьку сипкість, методика дещо відрізнялась. Визначення дисперсності мезги (метод ВНІКОПа). 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. Із середньої проби мезги після ретельного перемішування відважували в хімічну склянку 150 г продукту. Промокали паперовими серветками для відбору залишкової вологи. Набір сит збирали так, щоб перфорація їх поступово зменшувалася. На нижнє сито з перфорацією 3 мм надягали капронове сито з нижньої сторони. У склянку з пробєю наливали 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 крапу під спокійний струмінь води. Промивання проводили упродовж 5 хв, повільно обертаючи сито так, щоб струменем води рівномірно промивалася вся маса на ситі. Після закінчення промивання частинки мезги ретельно збирали з кожного сита в серветку з двох шарів марлі і віджимали вручну до припинення виділення води. Потім кожну фракцію ретельно збирали з марлі на фільтрувальний папір, промокали з двох сторін фільтрувальним папером і зважували на технічних вагах з точністю до 0,1 г.

Об'ємну масу визначали відношенням маси продукту до об'єму за формулою (3), який він вільно займав у пурці. Метод визначення об'ємної маси ґрунтується на властивості продуктів займати певний об'єм:

$$\gamma = \frac{m}{V}, \text{ г/л, (3)}$$

де m – маса продукту, г; V – стандартний об'єм пурки (1 л).

Коефіцієнт розширення визначали як відношення площі поперечного перерізу екструдату до площі поперечного перерізу отвору фільтри.

Продуктивність процесу визначали, зважаючи охолодження екструдат, який утворився за певний проміжок часу.

Кут природного нахилу визначали транспортером, встановленим біля основи конуса, який утворився під час вільного витікання продукту на пласку горизонтальну поверхню.

Математичні методи обробки експериментальних даних. Визначення технологічних показників об'єктів дослідження проводили у 5–8 повтореннях, фізичних і хімічних показників – у 2–4 повтореннях. Для визначення істинних значень дослідних величин і проведення кореляційного аналізу здійснювали математично-статистичну обробку експериментальних даних [8]. Оброблення цифрових даних, і графічне зображення результатів здійснювали, застосовуючи StatSoft Statistica 10 і MS Office Excel. Для визначення оптимальної кількості зернових компонентів у суміші, що підлягає екструдванню, застосовували методи експериментально-статистичного моделювання (ЕСМ). Для цього використовували плани експерименту з взаємозалежними змінними. Коефіцієнти рівнянь регресії розраховували методом найменших квадратів [9, 10]. Для обробки експериментальних даних були застосовані наступні статистичні критерії: перевірка однорідності дисперсій – критерій Кохрена, значимість коефіцієнтів рівнянь регресії – критерій Стюдента. Аналіз адекватності отриманих рівнянь проводили згідно з основними положеннями дисперсійного аналізу за критерієм Фішера [9, 10]. Отримані математичні моделі можуть бути використані для оптимізації технологічних процесів. Зокрема – для визначення максимуму і мінімуму критерію оптимальності та відповідних їм значень вхідних змінних; для прогнозування якості продукту та корегування значень керованих факторів процесу.

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

Продукція овочевих і плодкових культур має велику кількість цінних поживних речовин, яку можна раціонально використати у приватних господарствах різної форми власності для відгодівлі тварин. Тому, завданням було дослідити фізико-технологічні властивості та хімічний склад овочевих і плодкових культур для подальшого використання й виготовлення екструдованих комбікормів. Результати дослідження фізико-технологічних показників сировини наведено в табл. 1.

Фізико-технологічні властивості овочевих і плодкових культур
($n=5$, $P \geq 0,95$)

Таблиця 1

Показник	Овочеві коренеплоди				Вичавки виноградні
	Буряк столовий	Морква столова	Пастернак	Картопля	
Колір	Темно-червоний	Жовто-оранжевий	Сірий	Світло-сірий	Світло-коричневий
Запах	Специфічний, притаманний даній рослині, без сторонніх запахів				Кислуватий
Вологість, %	92,1±0,2	87,7±2	77,4±2	82,1±2	48,6±2
Об'ємна маса, кг/м ³	570±5	530±5	465±5	660±5	860±5
Фізична густина, кг/м ³	1075±5	1080±5	995±5	1130±5	1170±5
Шпаруватість, %	47±0,5	51±0,5	53±0,5	42±0,5	26±0,5
Здатність до сти-скання, %	17±1	18±1	19±1	14±1	17±1
Кут природного нахилу, град.	48±2	45±2	52±2	43±2	64±2

Аналіз табл. 1 показав, що органолептична оцінка плодоовочевих культур виявила повну відповідність ознак даних рослин певним видам. Використана сировина овочевих і плодкових культур характеризуються показниками

фізичної густини у межах 995–1170 кг/м³, що характерно для плодоовочевої продукції. Фізична густина овочевих коренеплодів буряку столового, моркви столової, пастернаку відповідає значенням 995–1080 кг/м³, картоплі –

1130 і виноградних вичавок – 1170 кг/м³. За густиною картоплі можна судити про вміст крохмалю в бульбах. Чим вища густина картоплі, тим більший вихід крохмалю у процесі переробки, тим краще вони зберігаються, тому що в них менша частка вологи.

Для овочів шпаруватість знаходиться на рівні 42–53 %. Шпаруватість картоплі становить 42 %, буряків столових 47, моркви 51 %. Відомо, що чим більший розмір коренеплоду і бульби, тим більша шпаруватість і навпаки. Але чим більша шпаруватість, тим менша об'ємна маса, тобто маса плодоовочевої продукції в одиниці об'єму при вільній (з порожнечами) укладці. Шпаруватість слід враховувати під час зберігання зерна та плодоовочевої сировини, його вентиляванні, газациї, дегазації. Від цього показника залежить склад повітря насипної маси, щільність укладки, оскільки шпарини становлять значну частину об'єму овочевої маси та істотно впливають на фізичні властивості й фізіологічні процеси, що відбуваються в ній.

Встановлено, що за кут природного нахилу усі культури мають нормальну сипкість 43–52 %, крім вичавок виноградних, кут нахилу яких становив 64 град. Здатність до стискання залежно від продукту знаходилася у коренеплодів у межах 14–19 %, що менше 20 % і під час зберігання не утворюють загрози створення завалів.

Низькі показники об'ємної маси та фізичної густини, кута природного нахилу та здатності до стискання свідчать про властивості продукту, який у статичному стані матиме добру сипкість, а у динамічному буде вільно переміщуватися під час транспортування самопливами,

транспортними механізмами і під час розвантажування з місткостей для його зберігання. Проте виноградні вичавки не сипкі та потребують примусового транспортування.

Отже, фізичні властивості плодоовочевих культур свідчать про можливість і сприятливі передумови їх використання на усіх етапах технологічного процесу.

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 (табл. 1) свідчать про можливість використання цих рослин за виробництва 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.

Традиційна технологічна схема виробництва комбікормів: лінія зернової сировини; лінія відокремлення плівок; лінія борошністої сировини; лінія розсипного трав'яного борошна; лінія пресованої і шматкової сировини; лінія кормових продуктів харчових виробництв; лінія шротів; лінія підготовки солі; лінія підготовки крейди та іншої мінеральної сировини; лінія оброблення затареної сировини та лінію введення преміксів [11].

Визначення основних фізичних показників суміші зерна ячменю та кукурудзи з овочевими компонентами, таких як об'ємна маса, набубнявіння, кут природного укосу, показало, що зміна показників залежить від концентрації (табл. 2–3).

Фізичні показники зерна ячменю у суміші з овочевими компонентами залежно від їхньої концентрації

Таблиця 2

Суміш ячменю з овочевими коренеплодами		Об'ємна маса, кг/м ³	Набубнявіння, мл/г	Кут природного укосу, град	Сипкість, см ³ /с	Коефіцієнт спучування		
Ячмінь + буряк столовий, %	100	вихідна	675,5	-	44	15,6	-	
		екструдована	135,6	8,6	45	17,3	3,97	
	97,5+2,5	вихідна	692,0	-	41	14,8	-	
		екструдована	147,7	8,4	43	16,4	3,57	
	95,0+5,0	вихідна	703,3	-	43	14,2	-	
		екструдована	156,4	8,2	44	15,9	3,08	
	90,0+10,0	вихідна	658,3	-	33	-	-	
		екструдована	198,7	7,4	35	15,7	2,03	
	85,0+15,0	вихідна	715,7	-	40	-	-	
		екструдована	242,8	6,0	41	15,1	1,78	
	77,5+22,5	вихідна	753,7	-	38	-	-	
		екструдована	272,1	4,6	40	13,4	1,10	
	Ячмінь + морква столова, %	100	вихідна	675,5	-	44	15,6	-
			екструдована	135,6	8,6	45	17,3	3,97
97,5+2,5		вихідна	688,9	-	41	14,7	-	
		екструдована	145,3	8,6	42	16,3	3,72	
95,0+5,0		вихідна	697,0	-	44	14,1	-	
		екструдована	151,5	8,0	45	15,9	2,66	
90,0+10,0		вихідна	712,2	-	36	13,8	-	
		екструдована	194,0	7,3	38	15,6	1,93	

85,0+15,0	вихідна	718,8	-	39	-	-
	екстурдована	245,2	6,2	41	15,4	1,57
77,5+22,5	вихідна	741,5	-	39	-	-
	екстурдована	262,7	4,4	40	13,5	1,05

Отримані дані табл. 2 вказують, що із збільшенням концентрації овочевих компонентів збільшується об'ємна маса ячмінної суміші від 658,5 до 753,7 кг/м³ у вихідній сировині та від 135,6 до 272,1 кг/м³ в екстурдованій. Кут природного укусу змінювався у вихідній сировині в бік зменшення із збільшенням концентрації овочевих складових від 44 до 33 град. Процес екстурдування сприяв незначному підвищенню показника на 1–3 град.

Аналіз даних табл. 2 показав, що у екстурдованому зерні ячменю набубнявіння складає 8,6 мл/г. Додавання до ячменю овочевих коренеплодів у різній концентрації знижувало набубнявіння суміші. Так, за концентрації компонентів 2,5 % набубнявіння залежно від коренеплоду і становило 8,4–8,6 мл/г. Підвищення концентрації до 10 % викликало зниження показника до 7,3–7,4 %, а підвищення до 15 % викликало зниження набубнявіння до 6,0–6,2 %. Подальше збільшення концентрації овочевих компонентів у суміші до 22,5 % викликало зниження набубнявіння суміші до 4,4–4,6 %.

Сипкість характеризує здатність частинок суміші взаємно переміщатися під дією зовнішніх сил або власної

ваги. Значний вплив на цей показник має вологість матеріалу. Сипкість продукції змінювалася у сторону зменшення зі збільшенням концентрації овочевих компонентів. Екстурдований подрібнений продукт має кращу сипкість ніж вихідна суміш. Тому слід врахувати цей момент при подачі сировини до екстурдера і бажано використати шнековий розвантажувач з бункера.

Отже, набубнявіння суміші ячменю з овочевими компонентами залежно від концентрації показало, що зі збільшенням кількості доданого компоненту істотно знижується набубнявіння екстурдованого продукту, що свідчить про зниження здатності суміші з високою концентрацією коренеплодів поглинати воду.

Коефіцієнт спучування екстурдованого ячменю становив 3,9. У екстурдованій суміші ячменю з буряком столовим у міру збільшення вмісту коренеплоду у суміші коефіцієнт мав тенденцію до зниження від 3,6 за вмісту 2,5 % до 1,1 за вмісту 22,5 %. У екстурдованій суміші ячменю з морквою столовою у міру збільшення вмісту коренеплоду у суміші коефіцієнт мав тенденцію до зниження від 3,7 за вмісту 2,5 % до 1,1 за вмісту 22,5 %.

Таблиця 3

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

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

15,0	вихідна	733,1	3,83	42,4	15	-
	екстурдована	245,2	6,65	43,9	2,5	1,34
22,5	вихідна	774,3	3,73	45,9	13	-
	екстурдована	258,5	4,56	45,2	2,3	1,05

Аналіз даних табл. 3 показав, що в екстурдованому зерні кукурудзи з овочевими коренеплодами ступінь набубнявіння складає 8,53 мл/г, тоді як у необробленому вигляді – 4,17 мл/г. Додавання до кормосуміші з кукурудзи овочевих коренеплодів у різній концентрації знижувало набубнявіння суміші. Так, за концентрації компонентів 2,5 % ступінь набубнявіння залежно від коренеплоду становила 8,43–8,49 мл/г. Підвищення вмісту овочевих коренеплодів до 10 % викликало зниження показника до 7,40–7,77 %, а підвищення до 15 % – сприяло зниженню ступеню набубнявіння до 6,07–6,65 %. Подальше збільшення концентрації овочевих компонентів у екстурдованій суміші до 22,5 % привело до зниження набубнявіння до рівня 4,43–4,56 %.

Отже, набубнявіння суміші кукурудзи з овочевими коренеплодами залежно від концентрації показало, що зі збільшенням кількості добавленого компоненту істотно знижується набубнявіння екстурдованого продукту, що свідчить про зниження здатності суміші з високими концентраціями компонентів вбирати воду.

Кут природного нахилу у вихідній сировині досягав 32 град. Із збільшенням концентрації овочевих складових він поступово збільшувався до 45–46 град. Процес екстурдування сприяв підвищенню показника на 1–9 град. За вмісту овочевих коренеплодів 22,5 % показники необробленої суміші та готового екстурдату вирівнювалися і кут природного нахилу становив 45–46 град. Сипкість продукції змінювалася у сторону зменшення зі збільшенням концентрації овочевих складових. Більш істотні зміни відмічені у величині спучення матеріалу, пов'язане прямою залежністю з об'ємною масою.

Дослідження фізичних якостей розроблених кормових добавок (табл. 2 і 3) дозволяють стверджувати, що їх можна віднести до класу борошністої сировини, макухи і шротів за рахунок схожих їхніх фізичних властивостей [8].

Моделювання процесу екстурдування зерна ячменю з плодовоовочевими компонентами за допомогою дробного факторного експерименту типу $2^{(4-1)}$. За основу взяті попередні результати досліджень. Багатофакторні експерименти було проведено з метою розробки і впровадження у виробництво технологічного процесу екстурдування зерна з плодовоовочевими компонентами. У якості об'єкта дослідження був прийнятий технологічний процес екстурдування зерна з плодовоовочевими компонентами.

При розгляді кожного об'єкта дослідження розрізняють вхідні дії, що впливають на систему, і відповідні реакції системи. Параметри впливу на систему називають факторами, реакцію системи на зовнішній вплив називають відкликом, параметром або критерієм оптимізації. До функції відклику і факторів оптимізації пред'являються певні вимоги.

При плануванні, проведенні та обробці результатів багатофакторного експерименту із застосуванням методу повного факторного експерименту постановка і розв'язання оптимізаційної задачі зводиться до наступних етапів:

1. Вибір критерію (параметра) оптимізації (функції відклику).
2. Вибір факторів, що впливають на об'єкт дослідження.
3. Кодування факторів і вибір інтервалів їх варіювання.
4. Визначення числа повторностей дослідів.
5. Рендомізація дослідів.
6. Складання матриці планування.

7. Проведення експерименту.

8. Оброблення результатів експериментальних досліджень, одержання коефіцієнтів регресії і математичної моделі екстурдування зерна з овочевими компонентами.

9. Аналіз отриманої математичної моделі.

В експерименті використовували такі складові: овочева добавка буряк столовий (x_1).

Для визначення оптимального складу суміші використано математичне моделювання і оптимізація процесу екстурдування ячменю з плодовоовочевими компонентами.

За критерій оптимальності обрали коефіцієнт спучення екстурдату.

У результаті розрахунків отримано рівняння регресії (4):

$$Y=2,22-0,06x_1+0,34x_3-0,18x_4 \quad (4)$$

Зроблено наступні висновки:

- 1) фактори x_1 , x_3 , x_4 , є вагомими;
- 2) фактор x_2 виявився не вагомим;
- 3) рівняння регресії лінійне.

Для наочного відображення значущості коефіцієнтів регресії було побудовано діаграму Парето, яку представлено на рис. 1.

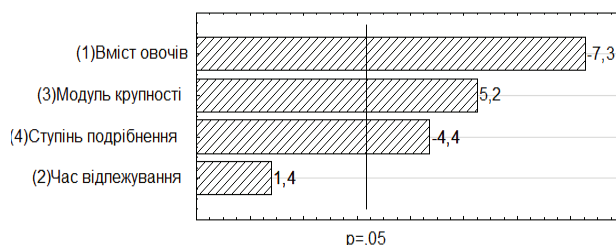


Рис. 1 Діаграма Парето

Таким чином, з діаграми (рис. 1) видно, що найвагомим є вплив фактора 1 – вміст овочевої добавки. Дещо менший вплив мав фактор 3 – модуль крупності подрібненого зерна. За ним слідує фактор 4 – товщина подрібнених овочевих компонентів. Фактор 2 – час відлежування найменше впливав на якість спучення екстурдату та виявився невагомим, тому що не перевищує довірчий рівень.

Висновки. Моделювання процесу екстурдування зерна ячменю з плодовоовочевими компонентами за допомогою дробного факторного експерименту показало, що найвагомим є вплив фактору "вміст овочевої добавки". Встановлено, що із збільшенням концентрації овочевих коренеплодів в екстурдованій суміші покращуються фізичні властивості кормів, зокрема, збільшується об'ємна маса суміші до концентрації овочевих коренеплодів не більше 15 %. Знижується кут природного укосу на 1–3 град, сипкість на 20–23 % і коефіцієнт спучення екстурдованої суміші в два рази.

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 і підвищення кормової цінності з процесами: попереднього змішування, відлежування та екстурдування суміші, охолодження і подрібнення продукту залежно від призначення корму.

Література

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. Васильева Т. В. Экструзионные продукты. Пищевая промышленность. 2003. № 12. С. 6–9.
9. Братчиков С. В., Капустин И. В. Обоснование выбора новой техники для обработки и переработки зерна. Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. № 8. С. 41–42.
10. Афанасьев В. А. Теория и практика специальной обработки зерновых компонентов в технологии комбикормов. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2002. 296 с.
11. Правила організації і ведення технологічного процесу виробництва комбікормової продукції. К., 1990. 20 с.

References

1. Kucher, M. I. Production of compound feeds at the enterprises of SJSC "Bread of Ukraine": state, problems, prospects. Effective poultry and livestock. 2003. No. 2. Pp. 5–7. (Ukrainian).
2. Durst, L., Vittman, M. Feeding farm animals: Translated from German, edited by I. I. Ibatulin, G. V. Provatorov. Vinnytsia: Nova Knyha, 2003. 384 p. (Russian).
3. Ibragimov, A. Flavoring and aromatic additives in animal feed. Compound feed. 2003. No. 5. Pp. 63. (Russian).
4. Ulyanych, I. F., Kostetska, K. V., Holubiev, M. I. Development of compound feed recipes. Collected Works of Uman NUH. 2017. No. 91. Pp. 121–129. (Ukrainian).
5. Kostetska, K. V., Ulyanych, I. F., Holubiev, M. I. Chemical composition of the extruded product of a mixture of corn grain, barley with fruit and vegetable components. Collected Works of Uman NUH, 2018. No. 92. Pp. 109–119. (Ukrainian).
6. Yegorov, B., Tarahtii, A., Kuznyetsov, N., Tyschenko, Ya. Production of compound feed and premixes in Ukraine. Compound feed. 1999. No. 2. Pp. 10–11. (Russian).
7. Kostetska, K. V. The optimal diameter of the hole of the die of the extruder during the production of extruded feed mixtures: materials of the international scientific-practical conference "Innovative technologies in crop production: problems and their solutions". Zhytomyr, 2018. Pp. 301–304. (Ukrainian).
8. Vasyleva, T. V. Extrusion products. Food industry. 2003. No. 12. Pp. 6–9. (Russian).
9. Bratchykov, S. V., Kapustyn, Y. V. Substantiation of the choice of new equipment for grain processing and processing. Storage and processing of agricultural raw materials. 2003. No. 8. Pp. 41–42. (Russian).
10. Afanasev V. A. Theory and practice of special processing of grain components in compound feed technology. Voronezh: Voronezh State University, 2002. 296

p. (Russian).

11. Rules for organizing and maintaining the technological process of production of mixed feed products. K., 1990. 20 p. (Ukrainian).