

УДК 631.363.285:[633.1+633.3]

**Братішко В.**, зав. відділу, канд. техн. наук, старший науковий співробітник (Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»)

## Результати досліджень процесу гранулювання зерново-стеблової кормосуміші гранулятором гвинтового типу

*На основі лабораторних досліджень процесу виробництва кормових гранул із зерново-стеблової кормосуміші за допомогою гранулятора гвинтового типу отримано адекватні емпіричні рівняння, що характеризують вплив параметрів складу кормосуміші, її вологості та частоти обертання гвинта гранулятора на показники продуктивності та питомої енергоємності процесу гранулювання. Також було встановлено, що отримані гранули відрізняються значною міцністю – показник подрібнюваності гранул не перевищував 4% для кормосумішей із вмістом сіна до 40%.*

**Ключові слова:** гвинт, гранулятор, кормосуміш, подрібнюваність, сіно.

**Суть проблеми.** Світові тенденції свідчать, що запорукою успішного функціонування галузі тваринництва є запровадження годівлі тварин однотипними раціонами протягом усього технологічного циклу, що запобігає появі кормового стресу та зниженню продуктивності тварин. Згодовування комбікормів у вигляді гранул дозволяє уникнути вибіркового поїдання кормів та забезпечити збалансованість раціону. Підвищити ефективність споживання гранульованого корму можна шляхом уведення до його вмісту відповідно до зоотехнічних вимог грубих кормів, зокрема сіна, що дозволить покращити фізіологічний стан травної системи тварин, підвищити ефективність використання корму та збільшити рівень білка в раціоні шляхом використання сіна бобових трав.

Одним з недоліків поширених вальцьових грануляторів кормів з кільцевою матрицею є технологічна необхідність подрібнення грубих кормів до фракцій сінного борошна, що призводить до надмірних витрат енергії на подрібнення, втрат кормової сировини та не відповідає фізіологічним потребам травної системи деяких видів тварин, зокрема молодняку та відгоді-

вельного поголів'я великої рогатої худоби. Також спостерігається ненадійна робота таких грануляторів з кормовою сумішшю підвищеної вологості. Гранулятори кормів гвинтового типу позбавлені наведених недоліків. Проте через відсутність широкого виробництва таких грануляторів вітчизняними підприємствами, питання їх ефективного використання, зокрема щодо впливу складу і параметрів кормових сумішей на показники ефективності процесу гранулювання, потребують дослідження.

**Аналіз публікацій на тему досліджень.** Під час гранулювання кормів в процесі термопластичного формування, що в більшій мірі притаманне грануляторам гвинтового типу, здійснюється часткове «варення» (термін за [1]) складових частин кормосуміші, підвищується поживність корму та засвоюваність його складових, що прискорює процес травлення у тварин. Дослідженнями [2] встановлено, що гранулювання та екструдкування кормових сумішей із вмістом стеблового компонента – трав'яної різки – позитивно впливає також на збереження каротину в кормі у порівнянні з гранульованим трав'яним борошном.

Для великої рогатої худоби, овець та інших жуйних тварин суттєве значення має розмір часточок подрібненого грубого корму; при величині часточок менше 6,5 мм [3] знижується перетравність поживних речовин, оскільки збільшується швидкість проходження корму через багатоканальний шлунок жуйних тварин. В роботі [4] підтверджується, що критична величина розміру часточок подрібненої соломи та трав'яної різки, яка впливає на зниження вмісту жиру в молоці, становить 6,5 мм. Наявність більших часточок грубого корму в гранулах позитивно впливає на жирність молока, оскільки забезпечує кращі умови для збродування корму у передшлунках корів та утворення летких жирних кислот як попередників молочного жиру.

За рецептами повнораціонних гранульованих кормосумішей для годівлі різних груп свиней, вміст грубих кормів (люцерни) у складі корму може становити [1] від 5% для поросят на дорощуванні, до 14,7% для поросят на відгодівлі та до 15 і 20% – для підсисних та супоросних свиноматок відповідно, оскільки (за даними Інституту свинарства та агропромислового виробництва НААН [5]) у разі згодовування свиноматкам лише одного комбікорму не відбувається об'ємного насичення тварин, що не дозволяє після опоросу швидше збільшувати об'єм раціону.

Однак, незважаючи на значну кількість досліджень, що підтверджують ефективність застосування гранульованих зерново-стеблових кормів, питання їх виробництва грануляторами гвинтового типу залишається ще недостатньо вивченим. Як бачимо, наведені переваги використання грубих кормів у раціонах тварин можуть бути реалізовані за допомогою грануляторів саме гвинтового типу. З огляду на це, в рамках координованих ННЦ «ІМЕСГ» програм наукових досліджень НААН було розроблено кілька конструкцій гвинтових грануляторів кормів (рис. 1).

**Мета дослідження** полягає у встановленні емпіричних закономірностей впливу складу та вологості зерново-стеблової кормосуміші, а також частоти обертання гвинта гранулятора на показники продуктивності та питомої енергоємності останнього.

**Об'єкт і методика досліджень.** Оскільки основною зерновою складовою раціонів є ячмінь, а стебловою – сіно бобових трав [6], як вихідну сировину для проведення досліджень використовували модельну двокомпонентну зерново-стеблову кормосуміш, яка

складалася з подрібненого ячменю та сіна люцерни.

Вихідна сировина мала такі характеристики: вихідна вологість подрібненого сіна – 15,5%; вихідна вологість подрібненого ячменю – 11,2%; середньозважена довжина часточок сіна – 7,8 мм; модуль помелу ячменю – 1,2 мм. Маса однієї порції кормосуміші для кожної повторності досліду становила 5 кг (вихідної вологості). Підготовка кормосуміші (змішування та зволоження) відбувалася за 2 години до початку гранулювання.

Діаметр отворів матриці гранулятора кормів становив 6,5 мм.

Дослідження проводили за методикою планування багатофакторних експериментів [7] із застосуванням варіювання факторів на трьох рівнях. Первинна обробка даних зводилася до обчислення середнього арифметичного значення вимірювань, знаходження середньої квадратичної похибки та перевірки однорідності дисперсій за критерієм Кохрена.

Для аналізу результатів експериментальних досліджень використовували програму RegMod «Методика моделювання нормативів методом регресійного аналізу», розроблену в ННЦ «ІМЕСГ» канд. техн. наук. Босим М.А., яка реалізує відомі методи кореляційного та регресійного аналізу [8].

За результатами експерименту складали математичні моделі – рівняння регресії. З метою вивчення поверхні відгуку отриманих моделей будували відповідні поверхні за допомогою програмного комплексу Wolfram Mathematica.

Перелік досліджуваних факторів та рівні їх варіювання наведено в таблиці.

Досліджувані фактори та рівні їх варіювання

Рівень варіювання фактора	Фактор		
	Вологість суміші, $x_1$	Вміст сіна в суміші, $x_2$	Частота обертання гвинта, $x_3$
Верхній рівень (+)	35%	40%	100 об./хв
Основний рівень (0)	25%	25%	70 об./хв
Нижній рівень (-)	15%	10%	40 об./хв
Інтервал варіювання	10%	15%	30 об./хв

Під час проведення досліджень критеріями слугували: продуктивність гранулятора ( $Q$ , кг/год) та питома енергоємність процесу гранулювання ( $E_Q$ , кВт·год/т).

Визначення подрібнюваності гранул виконували відповідно до вимог ГОСТ 23513-79 «Брикеты и гранулы кормовые. Технические условия». Для цього застосовували створений пристрій для визначення подрібнюваності гранул (рис. 2), основою якого був ящик розміром 300×300×450 мм, обтягнутий металеву



Рис. 1 – Гвинтові гранулятори кормів: а – конструкції ННЦ «ІМЕСГ», б – конструкції НВО «Селта» ННЦ «ІМЕСГ»



Рис. 2 – Пристрій для визначення подрібнюваності гранул

сіткою з розміром отворів  $1 \times 1$  мм.

Для визначення подрібнюваності відбирали 1 кг гранул, які очищали від борошна, крихт, дрібних рослинних включень тощо. Потім виділяли наважку масою 500 г, яку поміщали в пристрій. Ящик з гранулами обертали протягом 10 хвилин зі швидкістю 50 обертів на хвилину. Після цього гранули зважували. Подрібнюваність гранул  $X$  (у відсотках) визначали за формулою:

$$X = \frac{m - m_1}{m} 100, \quad (1)$$

де  $m$  – маса гранул до випробування, г;  $m_1$  – маса гранул після випробування, г.

**Результати досліджень.** Після оброблення результатів трифакторного експерименту було отримано залежності критеріїв оптимізації від досліджуваних факторів – рівняння регресії у вигляді степеневих функцій та полінома другого порядку.

Для критерію продуктивності процесу гранулювання отримана модель має вигляд:

$$Q = 0,0224515w^{1,69139}s^{-0,311364}n^{0,461304}, \quad (2)$$

де  $w$  – вологість кормосуміші, %;  $s$  – вміст сіна, %;  $n$  – частота обертання гвинта гранулятора, об./хв.

Для залежності (2), яка є адекватною на 90% довірчої вірогідності, коефіцієнт множинної детермінації становить  $D = 0,905037$ , коефіцієнт множинної кореляції  $R = 0,951334$ . Значення критерію Фішера  $F = 34,9448$ ; ймовірність  $F$ -критерію  $P = 0,999979$ .

Для критерію питомої енергоємності процесу гранулювання отримана модель має вигляд:

$$E_Q = 522,678 - 40,4729w + 15,1063s + 0,6965w^2 - 0,316917ws + 0,0424266wn - 0,0584678sn. \quad (3)$$

Для залежності (3), яка є адекватною на 90% довірчої вірогідності, коефіцієнт множинної детермінації становить  $D = 0,961037$ , коефіцієнт множинної кореляції  $R = 0,980325$ . Значення критерію Фішера  $F = 32,8872$ ; ймовірність  $F$ -критерію  $P = 0,999988$ . Всі коефіцієнти моделі є значущими на рівні довірчої вірогідності не менше 93%.

Графічні інтерпретації отриманих залежностей наведені на рисунках 3-6.

Як видно з рисунків 4-6, зростання вмісту сіна в кормосуміші призводить до деякого зменшення продуктивності та збільшення питомої енергоємності гранулювання, а збільшення вологості вихідної кормосуміші суттєво зменшує питому енергоємність процесу гранулювання та дещо збільшує його продуктивність. Зміна ж частоти обертання гвинта гранулятора суттєво не впливає на питому енергоємність процесу гранулювання та сприяє збільшенню його продуктивності. Варто також зазначити, що жодна поверхня відгуку не має виразного оптимуму в межах досліджуваних значень факторів. За результатами досліджень було встановлено, що найменші питомі витрати енергії на виробництво 1 тонни гранул становлять  $47,3$  кВт·год/т за умови вмісту сіна у кормосуміші на рівні 10% і вологості суміші 35% та  $51,4$  кВт·год/т при вмісті сіна 40% і такій самій вологості. Причому отримані значення питомих енерговитрат не перевищують відповідно показники роботи грануляторів з кільцевою матрицею. Однак, знижен-

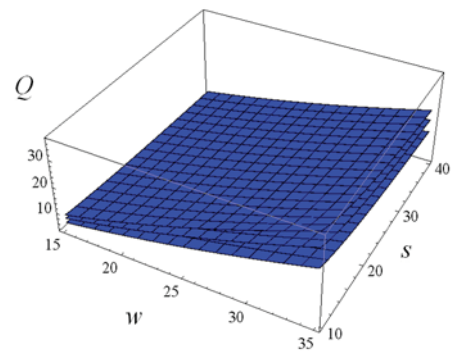


Рис. 3 – Вплив вологості кормосуміші  $w$  та вмісту сіна у кормосуміші  $s$  (%) на продуктивність процесу гранулювання  $Q$  (кг/год) за частоти обертання гвинта  $n$  на рівні 40 об./хв., 70 об./хв., 100 об./хв (відповідно – нижня, середня та верхня поверхні)

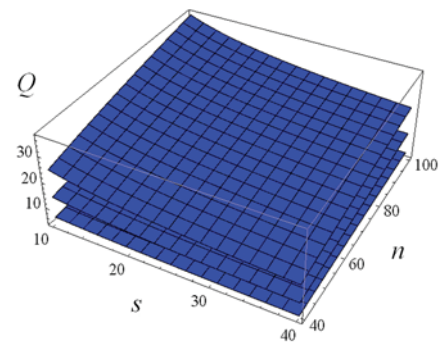


Рис. 4 – Вплив вмісту сіна у кормосуміші  $s$  (%) та частоти обертання гвинта  $n$  (об./хв) на продуктивність процесу гранулювання  $Q$  (кг/год) за вологості кормосуміші  $w$  на рівні 15%, 25%, 35% (відповідно – нижня, середня та верхня поверхні)

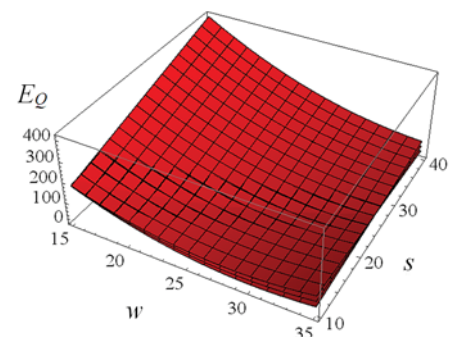


Рис. 5 – Вплив вологості кормосуміші  $w$  (%) та вмісту сіна в кормосуміші  $s$  (%) на питому енергоємність процесу гранулювання  $E_Q$  (кВт·год/т) за частоти обертання гвинта  $n$  на рівні 40 об./хв., 70 об./хв., 100 об./хв (відповідно – нижня, середня та верхня поверхні)

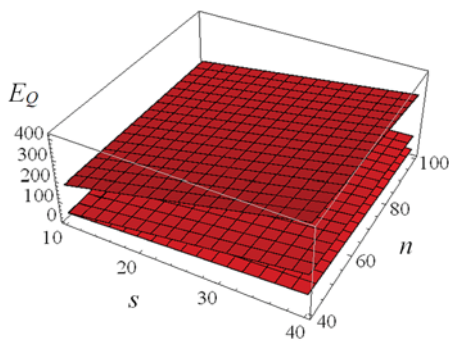


Рис. 6 – Вплив вмісту сена в кормосуміші  $s$  (%) та частоти обертання гвинта  $n$  (об./хв.) на питому енергоємність процесу гранулювання  $E_o$  (кВт·год/т) за вологості кормосуміші  $w$  на рівні 15%, 25%, 35% (відповідно – верхня, середня та нижня поверхні)

збільшенням вмісту грубих кормів у складі кормосуміші та зменшенням її вологості. Отримані значення подрібнюваності гранул виявилися суттєво нижчими від вимог ГОСТ22834-87 «Комбикорма гранулированые. Общие технические условия», згідно з якими цей показник має становити 20%.

**Висновки.** 1. В результаті лабораторних досліджень процесу гранулювання зерново-стеблової ячмінно-люцернової кормосуміші були отримані рівняння регресії у вигляді степеневі функції та полінома другого порядку, які характеризують, відповідно, вплив складу та вологості кормосуміші, а також частоти обертання гвинта гранулятора на продуктивність та питому енергоємність процесу гранулювання. Аналіз поверхонь відгуків показав відсутність оптимумів для всіх досліджуваних факторів.

2. Найменші питомі витрати енергії на гранулювання становили 47,3 кВт·год/т за умови 10%-го вмісту сена у кормосуміші та вологості суміші 35%.

3. Гранули, отримані з використанням гвинтового гранулятора, мають добру міцність – подрібнюваність гранул не перевищує 4%.

### Список літератури

1. Ладан П.Е., Густун М.И. Полнорационный корм в гранулах. – М.: Колос, 1974. – 160 с.
2. Хоренжий Н.В. Розробка технології виробництва комбикормової продукції з використанням кормових трав для великої рогатої худоби: дис... канд. техн. наук; спец. 05.18.02 «Технологія зернових, бобових, круп'яних продуктів та комбикормів» / Н.В. Хоренжий. – Одеса, 2006. – 192 с.
3. Кучинскас З.М. и др. Оборудование для сушки, гранулирования и брикетирования кормов / З.М. Кучинскас, В.И. Особов, Ю.Л. Фрегер. – М.: Агропромиздат, 1988. – 208 с.: ил.

4. Щеглов В.И. Использование полнорационных гранулированных кормов лактирующими коровами // Производство и использование полнорационных гранулированных и брикетированных кормов в животноводстве / В.И. Щеглов, В.Ф. Ковалев, Е.С. Воробьев, Л.Н. Антипина, Л.В. Пахунова; редкол.: Л.К. Эрнст и др. – Отделение животноводства ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1975. – С. 44-50.

5. Гетья А.А. Сучасні технології годівлі свиней : рекомендації / А.А. Гетья, В.Ф. Петриченко, В.Н. Тимченко [та ін.]. – 7-ме вид., перероб. та доповн. – Полтава: ІС НААН, 2010. – 84 с.

6. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справочное пособие; под ред. А. П. Калашникова, В. И. Фисинина, В. В. Щеглова, Н. И. Клейменова. 3-е изд. перераб. и дополн. – М., 2003. – 456 с.

7. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 276 с.

8. Ферстер Э. Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа: Руководство для экономистов / Перев. с нем. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 302 с.

**Аннотация.** На основе лабораторных исследований процесса производства кормовых гранул из зерново-стебельной кормосмеси с помощью гранулятора винтового типа были получены адекватные эмпирические зависимости, характеризующие влияние параметров состава кормосмеси, ее влажности и частоты вращения винта гранулятора на показатели производительности и удельной энергоемности процесса гранулирования. Также было установлено, что полученные гранулы отличаются значительной прочностью – показатель крошимости гранул не превышал 4% для кормосмесей с содержанием сена до 40%.

**Summary.** Based on laboratory studies of the process of production of feed grains from grain-stem mixed forage using screw type pellet was received adequate empirical equation describing the influence of parameters of mixed forage composition, its humidity and speed of rotor granulator for productivity and specific energy granulation process. It was also found that the obtained granules differ highly durability – crumbling properties index of grains did not exceed 4% for hay fodder blends containing up to 40%.

Стаття надійшла до редакції 4 квітня 2014 р.