INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE CHARACTERISTICS OF THE DAMP FEED ON THE PARAMETERS OF THE TRANSFERABLE FUNCTION OF THE CONTROL OBJECT

V. Miroshnik

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

N. Kiktev

National University of Food Technology

Key words:

*Mathematical model
Duct feed line
Transfer function
Temperature mode*

Article history:

Received 10.11.2017
Received in revised form
29.11.2017
Accepted 27.12.2017

Corresponding author:

N. Kiktev

E-mail:

nkiktev@ukr.net

ABSTRACT

The mathematical and simulation models of the control object, the wet feed pipeline, and simulation model in the Simulink MATLAB medium have been developed. The effect of the type of feed and the content of moisture in it on the main characteristics of the object in terms of management has been studied. The research of the mathematical model of the pipeline for feeding the wet feed mixture to animals was performed to determine its effect on the dynamic characteristics of the object of control of moisture content in the mixture. The simulation model for calculating the technological characteristics of the feed uses the Korm subroutine, which is created using the Create subsystem editing function.

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-6-13

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВОЛОЖЕНОГО КОРМУ НА ПАРАМЕТРИ ПЕРЕДАТНОЇ ФУНКЦІЇ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

В.О. Мірошник

Національний університет біоресурсів і природокористування України

М.О. Кіктьєв

Національний університет харчових технологій

У статті розроблено математичну та імітаційну моделі об'єкта керування, трубопроводу зволоженого корму, а також імітаційну модель у середовищі Simulink MATLAB. Досліджено вплив виду корму та вмісту вологи в ньому на основні характеристики об'єкта з точки зору керування. Виконано дослідження математичної моделі трубопроводу для подачі вологої кормової суміші тваринам для визначення впливу на динамічні характеристики об'єкта керування вмісту вологи в суміші. На імітаційній моделі для розрахунку технологічних характеристик корму використовується підпрограма Korm, створена за допомогою функції редагування Create subsystem.

Ключові слова: математична модель, трубопровід зволоженого корму, передатна функція, температурний режим.

Постановка проблеми. На рис. 1 показана поточна лінія транспортування і розподілу вологих кормових сумішей [1], в яку входить: змішувач кормів 1, перехідна камера 2, одnogвинтовий насос 3, запірний шибер 4, поліетиленовий кормопровід 5, 7, 13; пробкові крани 6, трубопровід стислого повітря 8, роздавач кормів 9, електродвигун насоса 10, манометр 11, компресор 12, кульовий розділювач 14, соленоїдний вентиль 15 і центральний пульт керування 16. З двох боків знаходяться камери для уловлювання кульового розділювача, система управління має звукову і світлову сигналізацію, дистанційне керування насосами і вентилями подачі стислого повітря. Очищення кормопроводу виконується за допомогою стислого повітря кульовим розділювачом.

Продуктивність такої лінії може бути від $18 \text{ м}^3/\text{год}$, для відгодівлі 12 тис. порослят на рік при довжині лінії транспортування корму до 150 метрів, і діаметра труби 90—100 мм, при вологості кормової суміші від 65, 70% в залежності від складу суміші. Питомі енергетичні витрати складають на транспортування $0,28 \text{ кВт год}/\text{м}^3$, а на транспортування і очищення $0,95 \text{ кВт год}/\text{м}^3$.

Рис. 1. Технологічна схема поточної лінії транспортування і розподілу вологих кормових сумішей

Залежно від складу кормової суміші змінюються фізичні властивості корму, які впливають на характеристики транспортування. За технологічним регламентом вологість корму не повинна перевищувати 75%. Складові і властивості деяких вологих кормових сумішей показано в табл. 1

Таблиця 1. Властивості вологих кормових сумішей

№ раціону	Компоненти сумішей по поживності, %				Густина, $\text{кг}/\text{м}^3$	Початкова вологість, %
	Концен-тракти	Картопля	Мука з трави	Зелена маса		
1	70,0	30,0	—	—	1060	67,3
2	65,0	28,0	7	—	1040	65,9
3	100,0	—	—	—	1084	62,2
4	78,4	—	—	21,6	1073	68,8
5	69,2	18,0	—	12,8	1067	70,1

На густину корму незначно і на пластичну в'язкість значною мірою впливає вологість суміші. Залежність пластичної в'язкості від вологості і склад кормової суміші для сумішей, вказаних у табл. 1, відображено на рис. 2.

Для розробки системи автоматизації необхідно вивчити на моделі динамічні характеристики об'єкта, на які впливають якісні і кількісні характеристики корму.

Рис. 2. Залежність пластичної в'язкості кормової суміші від вмісту води

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні в науковому середовищі багато уваги приділяється впровадженню сучасних інформаційних та автоматизованих систем у сільськогосподарській галузі, зокрема в кормовиробництві. В статті [3] запропоновано алгоритмічне та програмне забезпечення автоматизованої підсистеми обліку кормів агропромислового об'єкта — свиноферми. В [4] розглядається організація зв'язку системи керування технологічним процесом виготовлення кормів з системою верхнього рівня — АСУ виробництвом кормів.

Мета дослідження: розробити імітаційну модель трубопроводу зволоженого корму в середовищі Simulink MATLAB, яка дасть змогу дослідити вплив виду корму та вмісту води в ньому на основні характеристики об'єкта з точки зору керування, а також алгоритми керування витратними характеристиками трубопроводу для різних видів корму.

Викладення основних результатів дослідження. Розробку математичної моделі переміщення вологих продуктів по трубопроводу починаємо з опису динаміки переміщення рідких продуктів у трубопроводі, яка описується матеріальним балансовим рівнянням:

$$S_{\text{тр}} \cdot \frac{dP}{d\tau} = G_{\text{пр1}} - G_{\text{пр2}}$$

або

$$S_{\text{тр}} \cdot \frac{dP}{d\tau} = G_{\text{пр1}} - \frac{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot S_p \cdot \rho}{32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta} P, \quad (1)$$

де P — тиск на виході трубопроводу, Па; $S_{\text{тр}}$, $d_{\text{тр}}$, $l_{\text{тр}}$ — поперечний перетин, діаметр і довжина кормової труби м^2 , м, м; S_p — площа поперечного перетину

регулюючого органу (шибера), м^2 ; $G_{\text{пр1}}$ — продуктивність насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; ρ і η — густина і пластична в'язкість корму, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\text{Па}\cdot\text{с}$; $g = 9,81$ — прискорення земного тяжіння, $\text{м}/\text{с}^2$.

Вхідними параметрами (неконтрольованими, залежними збуреннями) є (рис. 3): $S_{\text{тр}}$, $d_{\text{тр}}$, $l_{\text{тр}}$ — поперечний перетин, діаметр і довжина кормової труби, ρ і η — густина і пластична в'язкість корму; вихідний, керований параметр: P — тиск на виході трубопроводу; Збурення (контрольоване): S_p — площа поперечного перетину регулюючого органу (шибера); керуючий параметр: $G_{\text{пр1}}$ — продуктивність насоса.

Будемо вважати вхідні параметри постійними (при дослідженні об'єкта на моделі вони можуть змінюватися, наприклад, ρ і η корму залежно від вмісту вологи W).

Решта параметрів вважаємо змінними, це: P , $G_{\text{пр1}}$ і S_p . Їх ми представимо з урахуванням відхилень і номінальних (початкових) значень P_0 , $G_{\text{пр0}}$ і S_{p0} :

$$P = P_0 + \Delta P, \quad S_p = S_{p0} + \Delta S_p, \quad G_{\text{пр1}} = G_{\text{пр0}} + \Delta G_{\text{пр}}. \quad (2)$$

Після підстановки в (1) і спрощення, відкидаючи незначні члени рівняння, де добутками є відхилення, отримаємо:

$$S_{\text{тр}} \cdot \frac{d\Delta P}{d\tau} = (G_{\text{пр0}} + \Delta G_{\text{пр}}) - \frac{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho}{32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta} \cdot (S_{p0} \cdot P_0 + S_{p0} \cdot \Delta P + \Delta S_p \cdot P_0). \quad (3)$$

Рис. 3. Інформаційна схема об'єкта керування трубопроводу зволоженого корму

Оскільки у статичному режимі $G_{\text{пр0}} = \frac{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho}{32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta} \cdot S_{p0} \cdot P_0$, то рівняння (3)

після підстановки матиме вигляд:

$$S_{\text{тр}} \cdot \frac{d\Delta P}{d\tau} + \frac{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho \cdot S_{p0}}{32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta} \cdot \Delta P = \Delta G_{\text{пр}} - \frac{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho}{32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta} \cdot \Delta S_p \cdot P_0. \quad (4)$$

Приведемо рівняння (4) до безрозмірної форми. Для цього кожен змінну розділимо на її номінальне значення і введемо нові позначення:

$$y = \frac{\Delta P}{P_0}; \quad x = \frac{\Delta G_{\text{пр}}}{G_{\text{пр0}}}; \quad z = \frac{\Delta S_p}{S_{p0}};$$

що дасть

$$S_{\text{тр}} \cdot P_0 \cdot \frac{dy}{d\tau} + \frac{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho \cdot S_{\text{р0}} \cdot P_0}{32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta} \cdot y = G_{\text{пр0}} \cdot x - \frac{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho \cdot S_{\text{р0}} \cdot P_0}{32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta} \cdot z. \quad (5)$$

Розділимо рівняння (5) на коефіцієнт біля у і отримаємо рівняння динаміки об'єкта керування:

$$\frac{S_{\text{тр}} \cdot 32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta}{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho \cdot S_{\text{р0}}} \cdot \frac{dy}{d\tau} + y = \frac{32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta \cdot G_{\text{пр0}}}{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho \cdot S_{\text{р0}} \cdot P_0} \cdot x - z. \quad (6)$$

Таким чином, постійну часу об'єкта можна порахувати за формулою:

$$T = \frac{S_{\text{тр}} \cdot 32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta}{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho \cdot S_{\text{р0}}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot 32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta}{4 \cdot g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho \cdot S_{\text{р0}}} = \frac{8 \cdot \pi \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta}{g \cdot \rho \cdot S_{\text{р0}}}. \quad (7)$$

Час запізнення об'єкта керування, який визначається часом по переміщенню корму від регулюючого вентиля до годівниць, визначаємо:

$$\tau_z = \frac{V_{\text{тр}}}{G_{\text{пр1}}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot l_{\text{тр}}}{4 \cdot G_{\text{пр1}}}. \quad (8)$$

Коефіцієнт передачі об'єкта каналом керування дорівнює:

$$K_x = \frac{32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta \cdot G_{\text{пр0}}}{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho \cdot S_{\text{р0}} \cdot P_0}, \text{ а каналом збурення } K_z = -1.$$

Виконаємо дослідження математичної моделі трубопроводу для подачі вологої кормової суміші тваринам для визначення впливу на динамічні характеристики об'єкта керування вмісту води в суміші. Параметрами дослідження є характеристики передатної функції об'єкта: постійна часу і коефіцієнт передачі об'єкта і напір на виході трубопроводу.

Для розрахунків беремо корм з раціону № 5 (табл. 2) густиною $\rho = 1067 \text{ кг/м}^3$ при початковій вологості $W_0 = 70,1\%$. Залежність пластичної в'язкості η , (Па·с) від вмісту води показана на рис. 2. Характеристики трубопроводу такі: діаметр кормової труби $d_{\text{тр}} = 90 \text{ мм}$; довжина кормової труби $l_{\text{тр}} = 105 \text{ м}$. Витрати насоса на перекачування корму складають $G_{\text{пр1}} = 20, \text{ м}^3/\text{год}$. Прискорення земного тяжіння $g = 9,807 \text{ м/с}^2$. Розрахунки виконаємо з використанням пакетів MathCad і Simulink MATLAB.

Таблиця 2. Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Значення
Діаметр труби, м	$D: = 0,09$
Довжина труби, м	$L: = 105$
Початкова вологість суміші, %	$W_0: = 70,1$
Густина кормової суміші, кг/м^3	$\rho C: = 1\,067$
Прискорення земного тяжіння, м/с^2	$g: = 9,807$
Витрати насоса, $\text{м}^3/\text{с}$	$F_n: = 20/3600 = 0,00556$
Тиск на вході трубопроводу, Па	$P_0: = 100\,000$

Отримаємо рівняння для визначення густини корму залежно від вмісту вологи. Визначимо густину сухої частини корму, приймаючи, що густина води 998 кг/м³:

$$\rho_{CP} := \frac{\rho_C \cdot 100 - W_0 \cdot 998}{100 - W_0} \rho_{CP} = 1228,769,$$

тоді

$$f_p(W) := \frac{\rho_{CP} \cdot (100 - W) + 998 \cdot W}{100}. \quad (9)$$

Динамічну в'язкість суміші знімаємо з графіка на рис. 2 у вигляді масиву даних, кг/(м*с) або Па*с, разом з даними про вміст вологи:

$$i := 0 \dots 3;$$

$$\mu_C := (5,2 \ 4,15 \ 3,35 \ 2,75)^T; \ W := (70 \ 72 \ 74,2 \ 76,2)^T.$$

Використовуючи метод найменших квадратів, знайдемо рівняння залежності динамічної в'язкості кормової суміші від вмісту вологи в ній:

$$A := \begin{bmatrix} 4 & \sum w & \sum w^2 \\ \sum w & \sum w^2 & \sum w^3 \\ \sum w^2 & \sum w^3 & \sum w^4 \end{bmatrix} \quad B := \begin{bmatrix} \sum \mu_C \\ \sum_i \mu_C i \\ \sum_i \mu_C i \cdot (W_i^2) \end{bmatrix}$$

$$A := A^{-1} \cdot B \quad a := (175,479 \ -4,308 \ 0,027)$$

$$f_\mu(W) := a_0 + a_1 \cdot W + a_2 \cdot W^2. \quad (10)$$

Розрахуємо запізнення по об'єкту керування трубопроводу корму, с:

$$\tau_z := \frac{L}{Fn} \cdot \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \tau_z = 120,237.$$

Порахуємо вплив вмісту вологи в кормах на постійну часу та коефіцієнт передачі об'єкта керування, с. Попередньо порахуємо площу поперечного перетину регулюючого органу при 0,9 м². Вміст вологи змінюємо від початкового вмісту вологи в суміші до 75% через 0,5%:

$$Sp0 := 1,1 \cdot \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) Sp = 0,007.$$

Таким чином, волога змінюється від початкової:

$$J := 0,8 \ W := (71 \ 71,5 \ 72 \ 72,5 \ 73 \ 73,5 \ 74 \ 74,5 \ 75)^T.$$

Постійна часу об'єкта матиме значення, с:

$$T_j := \frac{8 \cdot \pi \cdot f_\mu(W_j) \cdot L}{g \cdot f_p(W_j) \cdot Sp0}$$

$$T^T := (168,198 \ 159,511 \ 151,289 \ 143,535 \ 136,25 \\ 129,435 \ 123,092 \ 117,223 \ 111,828).$$

Коефіцієнт передачі об'єкта по каналу керування матиме значення:

$$K_j := \frac{32 \cdot L \cdot f_{\mu}(W_j) \cdot F_n}{g \cdot D^2 \cdot f_p(W_j) \cdot Sp0 \cdot P0};$$

$$T^T := (0,00147 \ 0,00139 \ 0,00132 \ 0,00125 \\ 0,00119 \ 0,00113 \ 0,00107 \ 0,00102 \ 0,00098).$$

Рис. 4. Залежність постійної часу об'єкта керування від вологості корму

Рис. 5. Залежність коефіцієнта передачі ОК від вологості корму

Таким чином, передатна функція об'єкта керування, трубопроводу корму при вмісті води в корму $W = 71\%$ матиме вигляд:

$$W(p) = \frac{0.00147}{168.2 \cdot p + 1} \cdot e^{-120.24 p}.$$

Рис. 6. Імітаційна модель об'єкта керування, трубопроводу корму

Для дослідження впливу вмісту води в кормі на характеристики об'єкта створимо за формулою (1) і формулами для розрахунку густини і динамічної в'язкості (9) і (10) імітаційну модель об'єкта (рис. 6).

На імітаційній моделі для розрахунку технологічних характеристик корму використовується підпрограма Korm, створена за допомогою функції редагування Create subsystem з меню Edit (рис. 7).

Рис. 7. Підпрограма Korm імітаційної моделі об'єкта керування

Підпрограма дає змогу вивчати перехідну характеристику трубопроводу за значенням тиску на виході трубопроводу при різних значеннях: 71 і 75% вмісту води в кормі W (рис. 8).

Рис. 8. Перехідна характеристика трубопроводу за значенням тиску на виході трубопроводу при значеннях $W = 71$ і $W = 75\%$

Висновки

Створено структурну схему трубопроводу рідкого корму і на основі дослідження розроблено математичну та імітаційну моделі об'єкта керування, яка базується на системі диференціальних рівнянь, що описують динаміку процесу транспортування корму. Зазначена модель дасть змогу розробити алгоритми керування витратними характеристиками трубопроводу для різних видів корму.

Література

1. *Короткевич В.А.* Комплексная механизация в свиноводстве. — Минск : Ураджай, 1989. — 136 с.
2. Інтенсифікація та моделювання технологічних об'єктів. Навчальний посібник. / В. Лисенко, С. Чернишенко, В. Решетюк, В. Мірошник, Н. Засць, І. Цигульов. — Київ : Аграр-МедіаГруп, 2016. — 476 с.
3. *Кіктев М.О.* Алгоритмічне та програмне забезпечення автоматизованої підсистеми обліку кормів агропромислового об'єкта / М.О. Кіктев, І.І. Веклинець // Східно-європейський журнал передових технологій. — Харків : технологічний центр, 2013. — № 3/10(63). — С. 15—21.
4. *Киктев Н.А.* Информационные технологии в решении задач управления производством комбикормов // Инновации в сельском хозяйстве. Электронный журнал ВНИИЭСХ, Москва, 2015. — № 3(13). — С. 45—52.
5. *Батоврин В.К.* LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий. Учебное пособие для вузов / В.К. Батоврин, А.С. Бессонов, В.В. Мошкин, В.В. Папуловский. — Москва : ДМК Пресс, 2005. — 206 с.