УДК 636.084

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МОБІЛЬНОГО ЗМІШУВАЧА-КОРМОРОЗДАВАЧА ПОТОКОВОГО ТИПУ

І.А. Шевченко, доктор технічних наук,
член-кореспондент НААН України
С.О. Доруда, аспірант*
Л.С. Воронін, інженер
Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

Визначені емпіричні залежності впливу конструктивно-режимних параметрів змішувача-кормороздавача потокового типу на процес змішування та видачі кормових сумішей. Проведено аналіз впливу взаємодій факторів на критерії оцінки процесу.

***Аналіз, змішувач-кормороздавач, потокове змішування, експериментальні залежності, кормові суміші, конструктивно-режимні параметри, критерії оцінки*.**

Постановка проблеми. Необхідність використання для годівлі ВРХ повнораціонних кормосумішей зазначалась раніше [1]. Процес приготування кормових сумішей являється процесом точного дозування компонентів та їх рівномірного змішування [1]. Саме змішування являється останньою і найважливішою операцією в процесі приготування кормових сумішей, адже від нього залежить наскільки якісну кормосуміш отримають тварини. Окрім цього змішувач-кормороздавач повинен забезпечувати рівномірність видачі кормових сумішей до годівниць, щоб при прив'язному способі утримання тварини отримували однакову кількість кормів. Цю вимогу також повинен виконувати змішуючий елемент, який являтиметься і вивантажувальним. Всі вищеназвані вимоги стосуються і мобільного змішувача-кормороздавача потокового типу, створеного в Інституті механізації тваринництва НААН [2], який і повинен забезпечувати якісне змішування та рівномірну видачу кормових сумішей до годівниць чи на кормовий стіл.

Аналіз останніх досліджень. Для проведення експериментальних досліджень процесу змішування та видачі кормосумішей була створена експериментально-дослідна установка на базі експериментального зразка змішувача-кормороздавача потокового типу (рис. 1).

*Науковий керівник – доктор технічних наук І.А. Шевченко

© І.А. Шевченко, С.О. Доруда, Л.С. Воронін, 2013

Рис. 1. Експериментально дослідна установка на базі змішувача-кормороздавача потокового типу: 1 – бункер-дозатор стеблових кормів; 2 – бункер-дозатор концкормів; 3 – лопатевий змішувач; 4 – стрічковий транспортер; 5 – блок керування електродвигуном та вимірювання споживаної потужності; 6 – щиток керування електродвигунами.

Дослідження процесу потокового змішування кормових компонентів проводились за насиченим точним D-оптимальним планом [3]. Фактори, їх рівні та матрицю плану експерименту представлено в табл. 1. Критеріями оцінки процесу приготування та видачі кормових сумішей прийняті однорідність змішування, нерівномірність видачі та енергоємність процесу.

Мета досліджень. Визначити експериментальні залежності впливу конструктивно-режимних параметрів змішувача-кормороздавача на процес змішування та видачі кормових сумішей.

Результати досліджень. Однорідність змішування визначалась по методу роздільної ознаки – вологості кормосуміші. Нерівномірність вологості визначалась за коефіцієнтом варіації:

$$\upsilon_{w^3} = \frac{t_a \sigma_{wi}}{W_i} 100\%, \qquad (1)$$

де u_{wi} – коефіцієнт варіації вологості кормосуміші у досліді;

t_α – рівень значущості для рівня імовірності оцінки;

σ_{wi} – середньоквадратичне відхилення вологості в серії порцій кормосуміші у досліді;

w_i – середньоарифметичне значення вологості в серії порцій кормосуміші у досліді.

Однорідність змішування $\Theta_{змі}$ визначалась за формулою:

$$\Theta_{змі} = 100 - u_{wi,} \%. \qquad (2)$$

1. Матриця плану експерименту та рівні варіацій факторами.

Рівні варіацій факторів, матриця досліду	Досліджувані фактори			
	Частота обертів лопатей, хв$^{-1}$	Кут атаки лопатів, град	Продуктивність подачі стеблового корму, т/год	Продуктивність подачі комбікорму, т/год
	x_1	x_2	x_3	x_4
Верхній рівень (+)	200	55	24	4,8
Основний рівень (0)	175	45	18	4,2
Нижній рівень (-)	150	35	12	3,6
Інтервал варіацій	25	10	6	0,6
Матриця плану експериментальних досліджень				
1	1	-1	0	-1
2	-1	1	-1	-1
3	-1	-1	1	-1
4	-0,25	1	0,25	-0,25
5	1	1	1	-1
6	0	-0,25	-1	-1
7	0	-1	1	1
8	1	1	-1	-0,5
9	-1	1	1	1
10	1	-0,25	1	0
11	-1	-0,25	0	1
12	1	-1	-1	1
13	-1	-1	-1	0
14	-0,5	1	-1	1
15	1	1	0,5	1

Нерівномірність видачі кормосуміші розраховувалась за коефіцієнтом варіації маси порцій кормосуміші по формулі:

$$\upsilon_{\text{ві}} = \frac{t_a \sigma_{\text{мі}}}{M_i} 100\%, \qquad (3)$$

де $u_{ві}$ – коефіцієнт варіації маси порцій кормосуміші у досліді;

t_α – рівень значущості для рівня імовірності оцінки;

$\sigma_{мі}$ – середньоквадратичне відхилення маси порцій кормосуміші у досліді;

M_i – середньоарифметичне значення маси порцій кормосуміші у досліді.

Енергоємність процесу змішування та видачі кормосуміші розраховувалась по формулі:

$$q_i = N_i / Q_i , \qquad (4)$$

де q_i – питомі витрати енергії на виконання процесу змішування-видачі кормосуміші у досліді, кВт·год/т;

N_i – споживана потужність на виконання процесу, кВт;

Q_i – продуктивність процесу, т/год.

Кут атаки лопатей змішувача встановлювався за допомогою спеціального шаблону.

Частота обертів лопатевого змішувача встановлювалась за допомогою частотного перетворювача Danfoss.

Продуктивність подачі стеблового корму регулювалась швидкістю повздовжнього транспортера кормороздавача (зміною положення куліси механізму приводу).

Продуктивність подачі концкорму регулювалась шириною щілини дозатора (зміною положення регулювальної заслінки).

Споживана потужність реєструвалась цифровим ватметром Satek PM 130 E.

Отримано математичну модель впливу досліджуваних факторів на однорідність змішування (θ, %), яка має вигляд:

$$\begin{aligned}\theta = {} & 88{,}5551 + 0{,}3721\,x_1 - 0{,}5604\ \mathrm{x}_1^2 - 0{,}2365\ \mathrm{x}_2 + 0{,}0003\,\mathrm{x}_1\mathrm{x}_2 + \\ & + 2{,}2108\ \mathrm{x}_2^2 - 0{,}3876\ \mathrm{x}_3 - 0{,}2015\,\mathrm{x}_1\mathrm{x}_3 - 0{,}3530\,\mathrm{x}_2\mathrm{x}_3 - 0{,}0132\,\mathrm{x}_3^2 - \\ & - 0{,}6675\mathrm{x}_4 - 0{,}6728\mathrm{x}_1\mathrm{x}_4 - 0{,}1911\mathrm{x}_2\mathrm{x}_4 + 0{,}2346\mathrm{x}_3\mathrm{x}_4 + 1{,}0271\mathrm{x}_4^2\end{aligned} \quad (5)$$

Для цього рівняння на 95% рівні довірчої ймовірності за значенням критерію Кохрена дисперсії однорідні.

За розрахованими значеннями коефіцієнтів кореляції та критерію Стьюдента значущими на рівні довірчої ймовірності більше 95% є коефіцієнти при таких членах рівняння: $\mathrm{x}_1, \mathrm{x}_1^2, \mathrm{x}_2, \mathrm{x}_2^2, \mathrm{x}_3, \mathrm{x}_1\mathrm{x}_3, \mathrm{x}_2\mathrm{x}_3, \mathrm{x}_4, \mathrm{x}_1\mathrm{x}_4, \mathrm{x}_2\mathrm{x}_4, \mathrm{x}_3\mathrm{x}_4, \mathrm{x}_4^2$.

З урахуванням значущості коефіцієнтів рівняння регресії (5) прийме вигляд:

$$\begin{aligned}\theta = {} & 88{,}5551 + 0{,}3721\,x_1 - 0{,}5604\ \mathrm{x}_1^2 - 0{,}2365\ \mathrm{x}_2 + 2{,}2108\ \mathrm{x}_2^2 - \\ & - 0{,}3876\ \mathrm{x}_3 - 0{,}2015\,\mathrm{x}_1\mathrm{x}_3 - 0{,}3530\,\mathrm{x}_2\mathrm{x}_3 - 0{,}6675\mathrm{x}_4 - 0{,}1911\mathrm{x}_2\mathrm{x}_4 + \\ & + 0{,}2346\mathrm{x}_3\mathrm{x}_4 + 1{,}0271\mathrm{x}_4^2\end{aligned} \quad (6)$$

У розкодованому вигляді математична модель (6) має вигляд:

$$\begin{aligned}\theta = {} & 117{,}318 + 0{,}5413\,n - 0{,}0009\ n^2 - 1{,}7739\ \alpha + 0{,}0221\ \alpha^2 + \\ & + 0{,}1747\ \mathrm{Q_C} - 0{,}0013\,n\cdot\mathrm{Q_C} - 0{,}0059\,\alpha\cdot\mathrm{Q_C} - 16{,}9693\cdot\mathrm{Q_k} - \\ & - 0{,}0449n\cdot\mathrm{Q_k} - 0{,}0319\cdot\alpha\cdot\mathrm{Q_k} + 0{,}0652\cdot\mathrm{Q_C}\cdot\mathrm{Q_k} + 2{,}8531\cdot\mathrm{Q_k}^2\end{aligned} \quad (7)$$

де θ – однорідність змішування, %;

n – частота обертів ворушилки, хв$^{-1}$;

α – кут атаки лопатей змішувача, °;

Q_c – продуктивність подачі стеблового корму, т/год;

$Q_к$ – продуктивність подачі комбікорму, т/год.;

Отримана математична модель впливу досліджуваних факторів на нерівномірність видачі кормосуміші (N, %) має вигляд:

$$N = 4{,}0991 - 0{,}0067\ x_1 - 0{,}0134\ x_1^2 - 1{,}0976\ x_2 + 0{,}0238\ x_1 x_2 + \\ + 2{,}0915\ x_2^2 - 0{,}0059\ x_3 - 0{,}0238 x_1 x_3 + 0{,}0064\ x_2 x_3 - 0{,}0489 x_3^2 - \\ - 0{,}0051 x_4 + 0{,}0042 x_1 x_4 - 0{,}0192 x_2 x_4 + 0{,}0015 x_3 x_4 + 0{,}0042 x_4^2 \quad (8)$$

Для цього рівняння на 95% рівні довірчої ймовірності за значенням критерію Кохрена дисперсії однорідні.

За розрахованими значеннями коефіцієнтів кореляції та критерію Стьюдента значущими на рівні довірчої ймовірності більше 95% є коефіцієнти при таких членах рівняння: $x_1^2, x_2, x_1 x_2, x_2^2, x_1 x_3, x_3^2, x_2 x_4$.

На основі цього рівняння регресії (8) прийме вигляд:

$$N = 4{,}0991 - 0{,}0134\ x_1^2 - 1{,}0976\ x_2 + 0{,}0238\ x_1 x_2 + \\ + 2{,}0915\ x_2^2 - 0{,}0238 x_1 x_3 - 0{,}0489 x_3^2 - 0{,}0192 x_2 x_4 \quad (9)$$

У розкодованому вигляді емпірична модель (9) має вигляд:

$$N = 69{,}7 + 0{,}0003\ n^2 - 1{,}8670\ \alpha - 0{,}0004\ n \cdot \alpha + \\ + 0{,}0215\ \alpha^2 + 0{,}0005 \cdot n \cdot Q_C - 0{,}0021 \cdot Q_C{}^2 - 0{,}0198 \alpha \cdot Q_k \quad (10)$$

де N – нерівномірність видачі кормосуміші, %.

Математична модель впливу досліджуваних факторів на енергоємність процесу (E, кВт год/т) має вигляд:

$$E = 0{,}0796 + 0{,}0029\ x_1 - 0{,}0064\ x_1^2 - 0{,}0034\ x_2 - 0{,}0044\ x_1 x_2 + \\ + 0{,}0129\ x_2^2 + 0{,}0060\ x_3 - 0{,}0007\ x_1 x_3 + 0{,}0021\ x_2 x_3 - 0{,}0114 x_3^2 - \\ - 0{,}0029 x_4 - 0{,}0012 x_1 x_4 - 0{,}0006 x_2 x_4 - 0{,}0018 x_3 x_4 - 0{,}0033 x_4^2 \quad (11)$$

Для цього рівняння на 95% рівні довірчої ймовірності за значенням критерію Кохрена дисперсії однорідні.

За розрахованими значеннями коефіцієнтів кореляції та критерію Стьюдента значущими на рівні довірчої ймовірності більше 95% є коефіцієнти при таких членах рівняння: $x_1, x_1^2, x_2, x_1 x_2, x_2^2, x_3, x_2 x_3, x_3^2, x_4, x_1 x_4, x_3 x_4, x_4^2$.

На основі цього рівняння регресії (11) прийме вигляд:

$$E = 0{,}0796 + 0{,}0029\ x_1 - 0{,}0064\ x_1^2 - 0{,}0034\ x_2 - 0{,}0044\ x_1 x_2 + \\ + 0{,}0129\ x_2^2 + 0{,}0060\ x_3 + 0{,}0021\ x_2 x_3 - 0{,}0114 x_3^2 - 0{,}0029 x_4 - \\ - 0{,}0012 x_1 x_4 - 0{,}0018 x_3 x_4 - 0{,}0033 x_4^2 \quad (12)$$

У розкодованому вигляді математична модель (11) має вигляд:

$$E = -0{,}4834 + 0{,}0050\ n - 0{,}00001\ n^2 - 0{,}0091\ \alpha - 0{,}00002\ n \cdot \alpha + \\ + 0{,}0001\ \alpha^2 + 0{,}0139\ Q_C + 0{,}00003\ \alpha \cdot Q_C - 0{,}0003 \cdot Q_C{}^2 + \\ + 0{,}0989 \cdot Q_k - 0{,}00008 \cdot n \cdot Q_k - 0{,}0005 \cdot Q_C \cdot Q_k - 0{,}0091 \cdot Q_k{}^2 \quad (13)$$

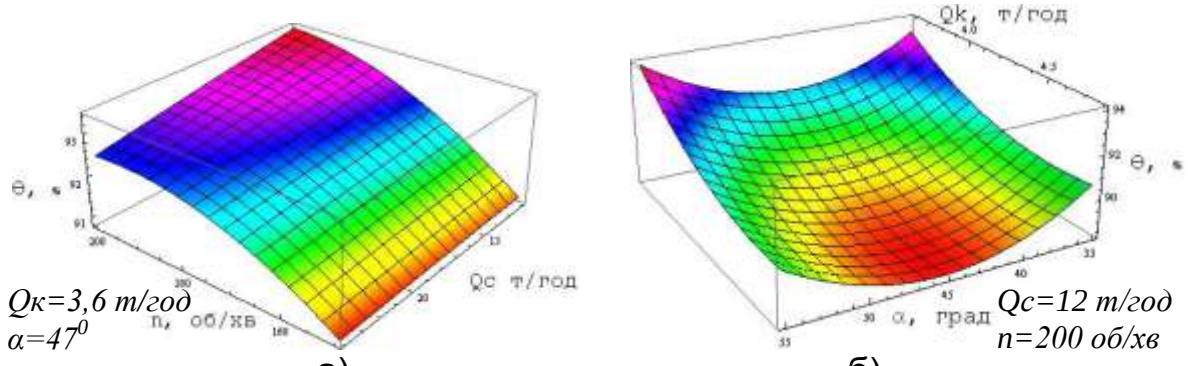
де E – енергоємність процесу, кВт год/т.

Враховуючи те, що в реальних умовах роботи змішувача-кормороздавача прийняті нами фактори – продуктивність подачі

силосу (Q_c) та продуктивність подачі комбікорму (Q_k) будуть змінюватися у відповідності із типовими раціонами годівлі, то і аналіз рівнянь та поверхонь взаємодії буде проводитись по всьому діапазону для вищеназваних факторів. Для інших факторів необхідно визначати оптимум.

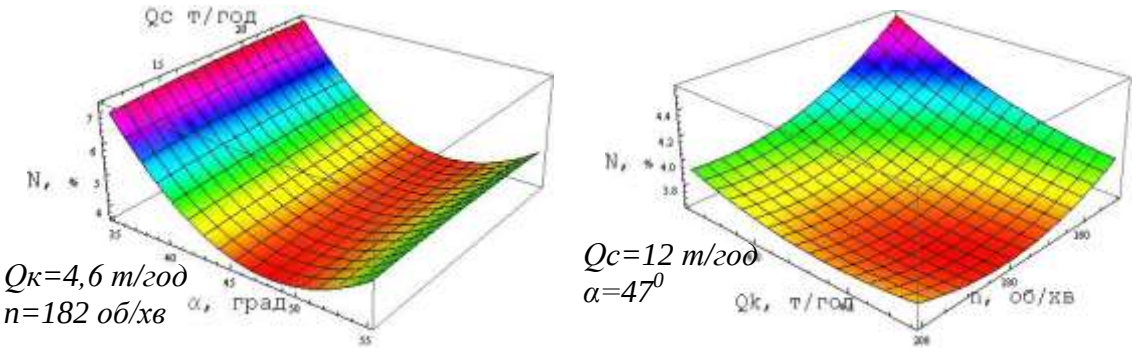
Аналізуючи рівняння (7), яке графічно представлене на рис. 2, можна стверджувати, що на однорідність змішування кормосуміші впливають всі вище зазначені фактори. При цьому зі зменшенням продуктивності подачі на змішування стеблового корму та продуктивності подачі на змішування комбікорму однорідність кормосуміші дещо підвищується, але в межах всього діапазону варіювання знаходиться на достатньо високому рівні (значно вищому за мінімальні зоотехнічні вимоги). При збільшенні частоти обертів змішувача однорідність суміші також збільшується, а от кут атаки лопатей змішувача дає найкращі результати однорідності змішування в двох крайніх положеннях, для найбільшого є найкращими. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що за критерієм однорідності змішування значення кута атаки лопатей повинне дорівнювати 55°, а частота обертів змішувача – 200 об/хв.

За рівнянням (10) та графічною інтерпретацією (рис. 3) досліджувані фактори суттєво впливають на нерівномірність видачі кормосуміші. При цьому кут атаки лопатей змішувача показує найкращі результати при значенні 48°, а частота обертів дає найменшу неоднорідність при значенні 180 об/хв. Фактори продуктивності подачі на змішування силосу та продуктивності подачі на змішування комбікорму в межах всього діапазону їх варіювання забезпечують низький показник нерівномірності видачі кормосуміші, при цьому найкраща нерівномірність видачі спостерігається на верхньому та нижньому рівні їхнього варіювання.



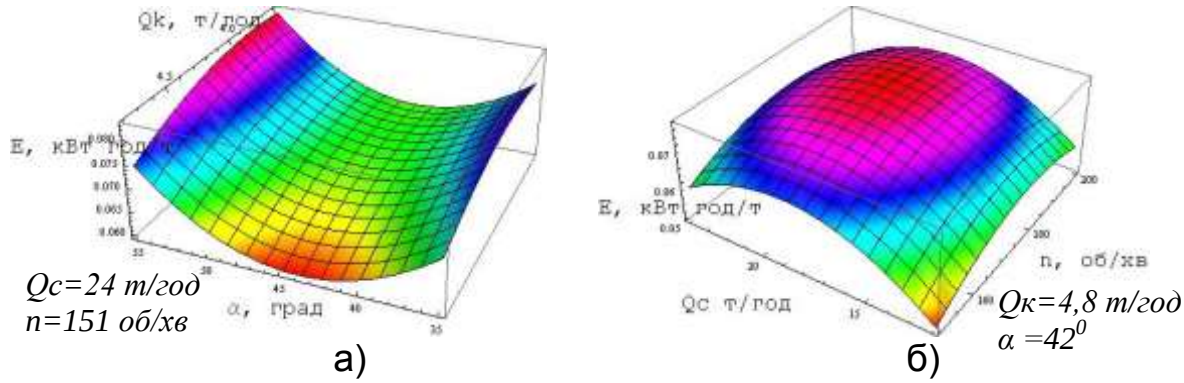
а) б)

Рис. 2. Вплив досліджуваних факторів на однорідність змішування кормових компонентів: а – частоти обертів змішувача та продуктивності подачі на змішування стеблового корму; б – продуктивності подачі на змішування комбікорму та встановленого кута атаки лопатей змішувача.



а) б)

Рис. 3. Вплив досліджуваних факторів на нерівномірність видачі кормосуміші: а – продуктивності подачі на змішування стеблового корму та встановленого кута атаки лопатей змішувача; б – частоти обертів змішувача та продуктивності подачі на змішування комбікорму.



а) б)

Рис. 4. Вплив досліджуваних факторів на енергоємність процесу змішування та видачі кормосуміші: а – продуктивності подачі на змішування комбікорму та встановленого кута атаки лопатей змішувача; б – частоти обертів змішувача та продуктивності подачі на змішування стеблового корму.

Аналіз рівняння (13) за взаємодією досліджуваних факторів із графічною інтерпретацією (рис. 4) свідчать, що на енергоємність процесу змішування та видачі кормосуміші впливають всі вище зазначені фактори. При цьому кут атаки лопатей змішувача має оптимум на всіх парних взаємодіях, а збільшення частоти обертів змішувача призводить до збільшення енергоємності. Слід відмітити, що взаємодія факторів продуктивності подачі на змішування силосу та продуктивності подачі на змішування комбікорму при збільшенні останнього призводить до зменшення енергоємності процесу змішування-видачі. А загалом розбіжність між найбільшою та найменшою енергоємністю дуже незначна, це поширює діапазон прийняття рішень щодо досліджуваних факторів за визначеним критерієм оптимізації.

Висновки

1. За експериментальними дослідженнями отримано математичні рівняння регресії, що адекватно визначають вплив частоти обертів змішувача, кута атаки лопатей змішувача, продуктивності подачі силосу на змішування, продуктивності подачі комбікорму на змішування на обрані параметри оптимізації - однорідність змішування, нерівномірність видачі кормосуміші та енергоємність процесу змішування-видачі для кормороздавача потокового типу перемішування.

2. За встановленими критеріями оптимізації визначені раціональні конструктивно-режимні параметри кормороздавача потокового типу: кут атаки лопаток змішувача – 55°, частота обертів змішувача – 200 об/хв., продуктивність подачі силосу на змішування в межах 12-24 т/год., продуктивність подачі комбікорму на змішування в межах 3,6-4,8 т/год.

3. На всіх рівнях варіювання досліджуваних факторів енергоємність процесу змішування-видачі практично не змінювалась і була на досить низькому рівні у порівнянні з іншими типами кормороздавачів, що підтверджує правильність вибору потокового принципу перемішування. Це дає можливість змінювати склад кормосуміші для різних статевовікових груп тварин, не погіршуючи якісні показники процесу, безпосередньо під час роздачі корму.

Список літератури

1. *Доруда С.О.* Аналіз результатів експериментальних досліджень бункера-дозатора концкормів для кормороздавача змішувача потокового типу / *С.О. Доруда* // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х., 2012. – Вип. 186. – С. 87–93.

2. *Патент* України на корисну модель МПК (2011.01) А01К 5/00. Кормороздавач-змішувач / *І.А. Шевченко, Л.С. Воронін, С.О. Доруда* ; Заявник і патентовласник Інститут механізації тваринництва Національної академії аграрних наук України. – № 60062 ; заявл. 18.11.2010 ; опубл. 10.06.2011. Бюл. №11, 2011 р.

3. *Красовский Г.И.* Планирование эксперимента / *Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов*. – Минск. Издательство БГУ им. В.И. Ленина, 1982. – С. 222–223.

Определены экспериментальные зависимости влияния конструктивно-режимных параметров смесителя-кормораздатчика потокового типа на процесс смешивания и выдачи кормовых смесей. Проведен анализ влияния взаимодействий факторов на критерии оценки процесса.

Анализ, смеситель-кормораздавач, потоковое смешивание, экспериментальные зависимости, кормовые смеси, конструктивно-режимные параметры, критерии оценивания.

Determined experimental depending on influence of constructive and operating parameters mixer-cattle-feeder of stream type to process mixing and deliveries of forage mixtures. The analysis of influence of co-operations of factors is conducted on criterion of estimation of process.

Analysis, mixer-kormorazdavach, data-flow blending, experimental associations, fodder mixtures, constructive-regime parametres, criteria of marking.

УДК 631.520.2

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ПУСКУ МЕХАНІЗМУ ПОВОРОТУ СТРІЛОВОГО КРАНА ЗА КРИТЕРІЄМ СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНОГО ЗНАЧЕННЯ РУШІЙНОГО МОМЕНТУ

В.С. Ловейкін, доктор технічних наук
В.В. Мельніченко, аспірант*

В статті розглянуто спосіб усунення коливань вантажу під час роботи механізма повороту стрілових кранів. Оптимізація режиму пуску механізма повороту крана проводиться за допомогою методів варіаційного числення. В роботі використано критерій середньоквадратичного значення рушійного моменту приводу, котрий підлягає мінімізації. За керуючий параметр обрано зусилля, яке діє на механізм повороту зі сторони приводного механізма.

Коливання вантажу, оптимізація, перехідний режим руху.

Постановка проблеми. Відомо [5], що при роботі стрілових кранів спостерігаються маятникові коливання вантажу, котрі викликають нерівномірний рух ланок механізмів, створюють додаткові навантаження на силові елементи, що знижує їхню надійність і приводить до незручностей при їх експлуатації , а також збільшують ризик виникнення аварійних ситуацій.

Вирішення проблеми зменшення коливань вантажу на гнучкому підвісі забезпечить більш ефективну експлуатацію кранового обладнання.

Аналіз останніх досліджень. Проблемі усунення коливань вантажу на гнучкому підвісі вже декілька десятків років. Останні дослідження, присвячені даній проблемі, ґрунтуються на

*Науковий керівник – доктор технічних наук В.С. Ловейкін

© В.С. Ловейкін, В.В. Мельніченко, 2013