



УДК 631.363.7

## РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПІДГОТОВКИ КОРМОСУМІШІ ДО ГРАНУЛЮВАННЯ

Братішко В.В., к. т. н.

*Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН України*

Тел.: (04571) 3-27-91, email: vbratishko@gmail.com

**Анотація** - наведено теоретичні передумови та результати експериментальних досліджень впливу технологічних параметрів приготування двокомпонентної зерново-стеблової кормосуміші на показники якості та часу її приготування.

**Ключові слова** – зволоження, змішування, кормосуміш, час, якість змішування.

*Постанова проблеми.* Однією із основних задач при обґрунтуванні параметрів процесу підготовки кормосуміші до гранулювання є встановлення операційного часу, потрібного для забезпечення необхідних значень якісних показників процесу – нерівномірності змішування та нерівномірності зволоження кормосуміші.

Численні дослідження щодо змішування різнокомпонентних сумішей дозволяють зробити припущення, що процес перемішування відноситься до групи процесів, нарівні з очищенням матеріалу, сушінням [1], зневодненням тощо, де визначальний показник процесу асимптотично наближається до якогось певного значення зі зростанням часу виконання процесу, причому, інтенсивність зміни цього показника знижується зі зростанням функції часу [2, 3].

Аналіз подібного роду залежностей, на нашу думку, дозволяє зробити висновок про такий фізичний зміст її складових:

$$v_{zm} = v_{zm}^0 e^{-ct}, \quad (1)$$

$$v_{zv} = v_{zv}^0 e^{-ct}, \quad (2)$$

де  $v_{zm}$ ,  $v_{zv}$  – показники нерівномірності змішування та зволоження кормосуміші, %, причому,  $v_{zm}$ ,  $v_{zv} \in [0; 100]$ ;

$v_{zm}^0$ ,  $v_{zv}^0$  – початкові значення показників неоднорідності змішування та зволоження кормосуміші, при підготовці кормосуміші за допомогою одного технічного засобу,

який реалізує одну технологічну операцію  
 $v_{3М}^0 = v_{3Б}^0 = 100\%$ ;

$c$  – деякий емпіричний коефіцієнт, що характеризує вплив конструкційно-технологічних параметрів на процес підготовки кормосуміші;

$t$  – час підготовки кормосуміші (змішування та зволоження), с.

При підстановці до залежностей (1), (2) деяких нормативних або заданих значень показників неоднорідності змішування та зволоження кормосуміші  $v_{3М}^n$ ,  $v_{3Б}^n$  можемо записати вирази для визначення розрахункового часу підготовки кормосуміші:

$$t = \frac{1}{c} \ln \left( \frac{v_{3М}^0}{v_{3М}^n} \right), \quad (3)$$

$$t = \frac{1}{c} \ln \left( \frac{v_{3Б}^0}{v_{3Б}^n} \right). \quad (4)$$

Причому часу підготовки кормосуміші відповідає більше значення параметру  $t$ , знайдене за залежностями (3), (4).

Графіки залежностей (3), (4) наведено на рисунку 1.

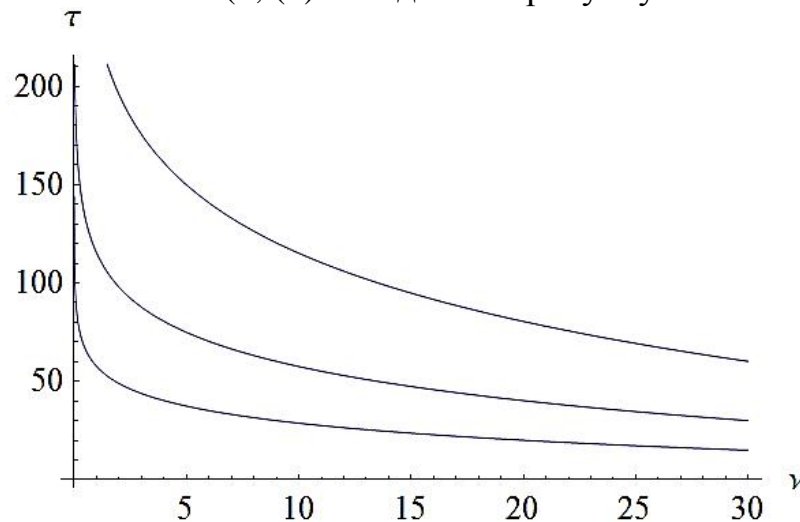


Рис. 1. Вплив заданої нерівномірності підготовки кормосуміші  $v$ , % на час її підготовки  $t$  (для якості та зволоження) за умов:  $v^0 = 100\%$ ;  $c = 0,02$  (верхня крива);  $c = 0,04$  (середня крива);  $c = 0,08$  (нижня крива).

Як видно, наведені на рисунку 1 дані дозволяють зробити висновок про зміну тривалості підготовки кормосуміші в залежності від заданої якості змішування та зволоження, а також конструкційно-технологічних параметрів процесу підготовки кормосуміші, заданих за допомогою коефіцієнту  $c$ , який потребує емпіричного визначення.

*Формулювання мети статті.* Метою аналітичних та експериментальних досліджень процесу підготовки кормосуміші до гранулю-

вання було встановлення раціональних значень технологічних параметрів процесу змішування та зволоження кормосуміші із зернових та стеблових компонентів.

*Методика досліджень.* Оскільки основною зерною складовою раціонів є ячмінь, а стебловою – сіно бобових трав [4], в якості вихідної сировини при проведенні досліджень використовували модельну двокомпонентну зерново-стеблову кормосуміш, яка складалася із подрібненого ячменю та сіна люцерни. Фізико-механічні властивості матеріалів визначалися відповідно до чинних нормативних документів та загальноприйнятих методик [5, 6, 7].

Для проведення експериментальних досліджень використовувався лабораторний змішувач кормів зі спіральним робочим органом та вертикальною віссю обертання (Рис. 2). Частота обертання валу змішувача складала 60 об./хв.



Рис. 2. Робоча камера лабораторного змішувача кормів.

Лабораторний змішувач мав такі конструкційні параметри: висота робочої камери (робочого органу) – 570 мм; діаметр робочої камери – 490 мм; крок витка спірального робочого органу – 500 мм; ширина стрічки робочого органу – 50 мм; діаметр спіралі (по зовнішньому краю) – 450 мм.

Подачу води при змішуванні та зволоженні кормосуміші здійснювали шляхом її вільного витікання через отвір визначеного діаметру (відповідно до заданої кількості рідини та часу зволоження). Місце подачі води знаходилось над робочим органом на відстані половини радіуса робочої камери змішувача від осі обертання його валу.

Експериментальні дослідження проводилися з використанням методики планування багатофакторних експериментів [8, 9] із застосуванням варіювання факторів на трьох рівнях [10]. На основі попере-

днього аналізу для проведення експериментальних досліджень було відібрано такі фактори (наведені в таблиці 1), які найбільше впливають на процес приготування кормосуміші: час змішування ( $x_1$ ), вміст сіна ( $x_2$ ), вміст вологи ( $x_3$ ), час зволоження ( $x_4$ ).

Таблиця 1 – Фактори та рівні їх варіювання

Рівні варіювання факторів	Фактори			
	Час змішування, $x_1$	Вміст сіна, $x_2$	Вміст вологи, $x_3$	Час зволоження, $x_4$
Верхній рівень (+)	180 с	60%	40%	60 с
Основний рівень (0)	120 с	40%	30%	40 с
Нижній рівень (-)	60 с	20%	20%	20 с
Інтервал варіювання	60 с	20%	10%	20 с

При проведенні досліджень час початку зволоження відповідав часу початку змішування.

Експериментальні критерії – коефіцієнти нерівномірності змішування та нерівномірності зволоження – визначали для кожного досліду. При цьому відбиралося п'ять проб, для кожної з яких визначалася вологість та вміст контрольних компонентів (Рис. 3), в якості яких виступали фарбовані зерна вівса.

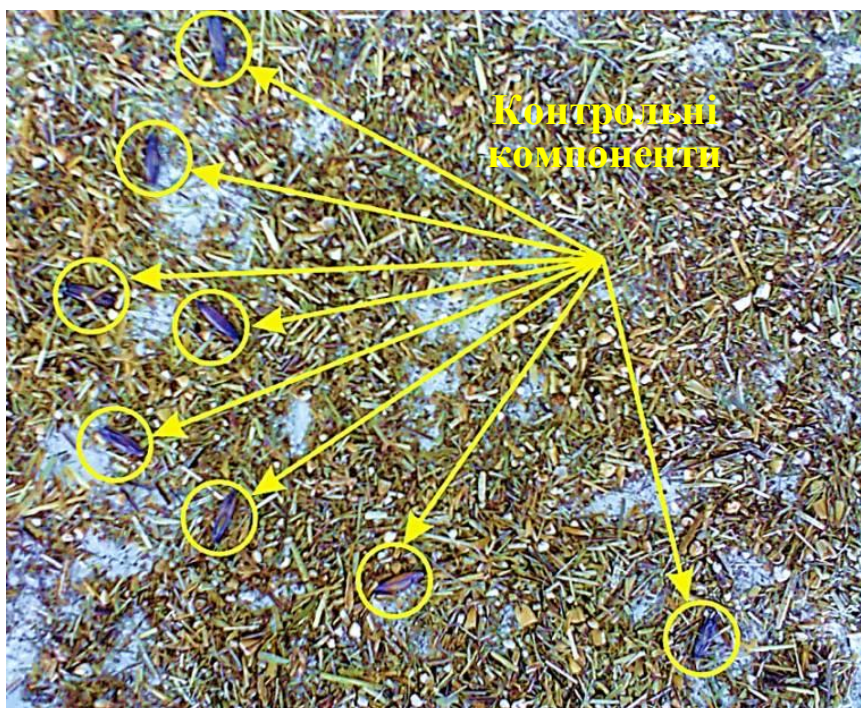


Рис. 3. Розбирання проби та підрахунок кількості контрольних компонентів.

Для аналізу результатів експериментальних досліджень використовувалась програма RegMod «Методика моделювання нормативів методом регресійного аналізу», розроблена в ННЦ «ІМЕСГ» к.т.н. Босим М.А., яка реалізує відомі методи кореляційного та регресійного аналізу [11, 12].

За результатами експерименту будували математичні моделі – рівняння регресії у вигляді поліномів другого порядку.

З метою вивчення функції відгуку отриманих моделей будувалися відповідні поверхні за допомогою програмного комплексу WolframMathematica.

*Результати досліджень.* Після оброблення результатів чотирифакторного експерименту було отримано залежності критеріїв оптимізації від досліджуваних факторів у вигляді рівнянь регресії другого порядку.

Для коефіцієнту неоднорідності змішування отримана модель мала вигляд:

$$\begin{aligned} v_{zm} = & 13,2704 - 11,7627x_1 + 5,11952x_1^2 + 3,69024x_2 - \\ & - 1,95912x_1x_2 + 1,90212x_2^2 + 2,37989x_3 - 1,70801x_1x_3 + \\ & + 1,37087x_3^2 - 1,46888x_4 + 1,08755x_1x_4 - 1,21466x_3x_4. \end{aligned} \quad (5)$$

Та у розкодованому вигляді:

$$\begin{aligned} v_{zm} = & 44,6154 - 0,422893t + 0,00142209t^2 - 0,0016326ts - \\ & - 0,00284668tw + 0,000906288t\tau + 0,0047553s^2 + \\ & + 0,0137087w^2 - 0,00607329w\tau. \end{aligned} \quad (6)$$

де  $t$  – час змішування, с;

$s$  – вміст сіна, %;

$w$  – вологість кормосуміші, %;

$\tau$  – час зволоження, с.

Для залежності (5), (6), яка є адекватною на 95% рівні довірчої вірогідності, коефіцієнт множинної детермінації становить  $D = 0,986501$ . Всі наведені коефіцієнти моделі є значущими на рівні довірчої вірогідності не менше 95%.

Для коефіцієнту неоднорідності зволоження отримана модель мала вигляд:

$$\begin{aligned} v_{ze} = & 14,4325 - 12,5004x_1 + 7,21062x_1^2 + 2,83411x_2 - \\ & - 0,953938x_1x_2 + 3,76213x_2^2 + 2,68958x_3 - 1,04101x_1x_3 + \\ & + 1,52649x_2x_3 + 2,57794x_4 + 0,859314x_3x_4. \end{aligned} \quad (7)$$

Та у розкодованому вигляді:

$$v_{36} = 68,6845 - 0,6052t - 0,7443s + 0,00200295t^2 - \\ - 0,000794948ts - 0,00173502tw + 0,00940532s^2 + \\ + 0,00763245sw + 0,00429657w\tau. \quad (8)$$

Для залежності (7), (8), яка є адекватною на 92% рівні довірчої вірогідності, коефіцієнт множинної детермінації становить  $D = 0,981838$ . Всі наведені коефіцієнти моделі є значущими на рівні довірчої вірогідності не менше 92%.

Розв'язання отриманих залежностей (6) та (8) відносно часу  $t$  дозволяє отримати залежності для визначення потрібного часу для забезпечення заданої якості (нерівномірності) змішування або зволоження кормосуміші.

Проте, оскільки параметр  $t$  у вихідних рівняннях (6) та (8) є аргументом функції нерівномірності, при значеннях нерівномірності, які не відповідають отриманим в результаті експерименту значенням критеріїв, використання розв'язаних відносно параметру  $t$  залежностей не дає змогу визначити час змішування або зволоження. Функція часу не є неперервною для усіх значень параметрів процесу підготовки кормосуміші, які відповідають полю дослідів, тобто для деяких значень  $s$ ,  $w$ ,  $\tau \in [-1;1]$   $t \notin \mathcal{R}$ .

З огляду на це, з використанням (1)-(4) можемо записати:

$$c_{3M} = \frac{1}{t} \ln \left( \frac{v_{3M}^0}{v_{3M}} \right), \quad (9)$$

$$c_{36} = \frac{1}{t} \ln \left( \frac{v_{36}^0}{v_{36}} \right). \quad (10)$$

На основі отриманих даних чотирифакторного експерименту (5)-(8) із використанням виразів (9), (10) розраховали нові функції відгуку – значення емпіричних коефіцієнтів, що характеризують вплив конструкційно-технологічних параметрів процесу підготовки кормосуміші на час та неоднорідність змішування ( $c_{3M}$ ) і зволоження ( $c_{36}$ ).

Опрацювання отриманих даних за допомогою програми RegMod дало можливість отримати рівняння регресії у вигляді поліномів другого порядку, які адекватно описують вплив параметрів процесу підготовки кормосуміші на значення емпіричних коефіцієнтів  $c_{3M}$  та  $c_{36}$ .

Для емпіричного коефіцієнту  $c_{3M}$  отримана модель мала вигляд:

$$c_{3M} = 0,0314636 - 0,000147325t + 1,82943 \cdot 10^{-7} t^2 + \\ + 7,83282 \cdot 10^{-7} ts + 1,37976 \cdot 10^{-6} tw - 4,15675 \cdot 10^{-7} t\tau - \\ - 2,38311 \cdot 10^{-6} s^2 - 6,58687 \cdot 10^{-6} w^2 + 2,83483 \cdot 10^{-6} w\tau. \quad (11)$$

Для залежності (11), яка є адекватною на 92% рівні довірчої вірогідності, коефіцієнт множинної детермінації становить  $D = 0,966508$ . Всі наведені коефіцієнти моделі є значущими на рівні довірчої вірогідності не менше 92%.

Для емпіричного коефіцієнту  $c_{36}$  отримана модель мала вигляд:

$$\begin{aligned} c_{36} = & 0,0151591 - 8,15708 \cdot 10^{-5} t + 0,00022525 \cdot 8s + \\ & + 0,00053167 \cdot 7w + 3,19517 \cdot 10^{-7} ts + 9,31893 \cdot 10^{-7} tw - \\ & - 3,33 \cdot 10^{-6} s^2 - 1,94296 \cdot 10^{-6} sw - 1,0209 \cdot 10^{-5} w^2 - \\ & - 1,74783 \cdot 10^{-6} w\tau. \end{aligned} \quad (12)$$

Для залежності (12), яка є адекватною на 93% рівні довірчої вірогідності, коефіцієнт множинної детермінації становить  $D = 0,955588$ . Всі наведені коефіцієнти моделі є значущими на рівні довірчої вірогідності не менше 93%.

Для знаходження залежності часу підготовки кормосуміші від заданого показника якості змішування або зволоження із використанням залежностей (1), (2) та поліномів (11), (12) можемо записати вираз для визначення часу підготовки кормосуміші, необхідного для забезпечення заданої якості змішування  $v_{3m}^n$ :

$$\begin{aligned} \frac{1}{t} \ln(100/v_{3m}^n) = & 0,0314636 - 0,000147325t + 1,82943 \cdot 10^{-7} t^2 + \\ & + 7,83282 \cdot 10^{-7} ts + 1,37976 \cdot 10^{-6} tw - 4,15675 \cdot 10^{-7} tt - \\ & - 2,38311 \cdot 10^{-6} s^2 - 6,58687 \cdot 10^{-6} w^2 + 2,83483 \cdot 10^{-6} w\tau, \end{aligned} \quad (13)$$

та вираз для визначення часу, необхідного для забезпечення заданої якості зволоження  $v_{36}^n$  кормосуміші:

$$\begin{aligned} \frac{1}{t} \ln(100/v_{36}^n) = & 0,0151591 - 8,15708 \cdot 10^{-5} t + 0,00022525 \cdot 8s + \\ & + 0,00053167 \cdot 7w + 3,19517 \cdot 10^{-7} ts + 9,31893 \cdot 10^{-7} tw - \\ & - 3,33 \cdot 10^{-6} s^2 - 1,94296 \cdot 10^{-6} sw - 1,0209 \cdot 10^{-5} w^2 - \\ & - 1,74783 \cdot 10^{-6} w\tau. \end{aligned} \quad (14)$$

Графічні інтерпретації розв'язання залежностей (13) та (14) відносно функції часу представлені на рисунках 4 та 5.

Як видно з аналізу рисунків 4 та 5 характер впливу факторів вмісту сіна та вологості кормосуміші на значення показника часу приготування кормосуміші в залежності від заданих значень нерівномірності змішування та зволоження відмінний. Тому для забезпечення заданої якості кормосуміші для практичного використання слід застосовувати більше значення часу приготування кормосуміші, знайдене за залежностями (13) та (14). Для перевірки адекватності та порівняння отриманих в результаті чотирифакторного експерименту залежностей (7)-(8) та запропонованих для визначення часу підготовки кормосумі-

ші аналітично-емпіричних залежностей (13) та (14) здійснимо їх спільний графічний аналіз (рисунки 6 та 7).

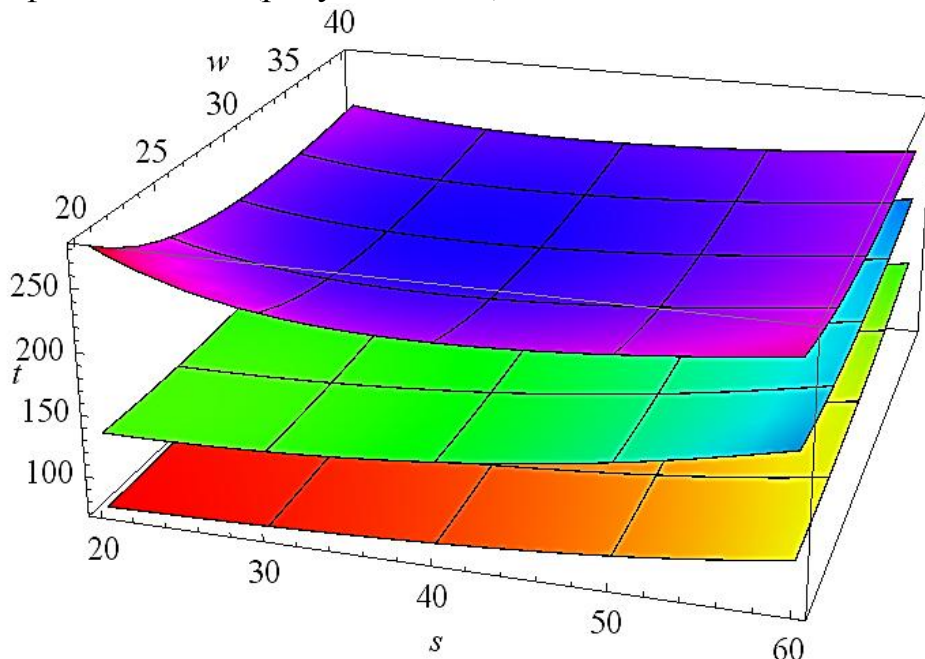


Рис. 4. Вплив вмісту сіна  $s$  та вологості кормосуміші  $w$  на час її приготування  $t$  для заданої нерівномірності змішування кормосуміші  $v_{zm}^n = 5\%$  (верхня поверхня),  $v_{zm}^n = 10\%$  (середня поверхня),  $v_{zm}^n = 20\%$  (нижня поверхня) при часі зволоження  $\tau = 40$  с ( $x_4 = 0$ ).

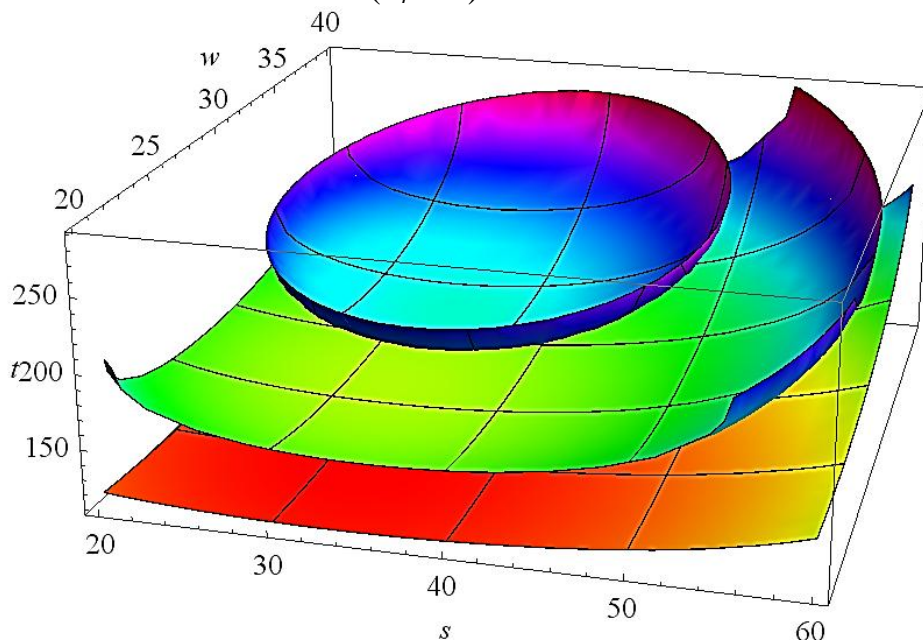


Рис. 5. Вплив вмісту сіна  $s$  та вологості кормосуміші  $w$  на час її приготування  $t$  для заданої нерівномірності зволоження кормосуміші  $v_{zv}^n = 7,5\%$  (верхня поверхня),  $v_{zv}^n = 10\%$  (середня поверхня),  $v_{zv}^n = 15\%$  (нижня поверхня) при часі зволоження  $\tau = 40$  с ( $x_4 = 0$ ).



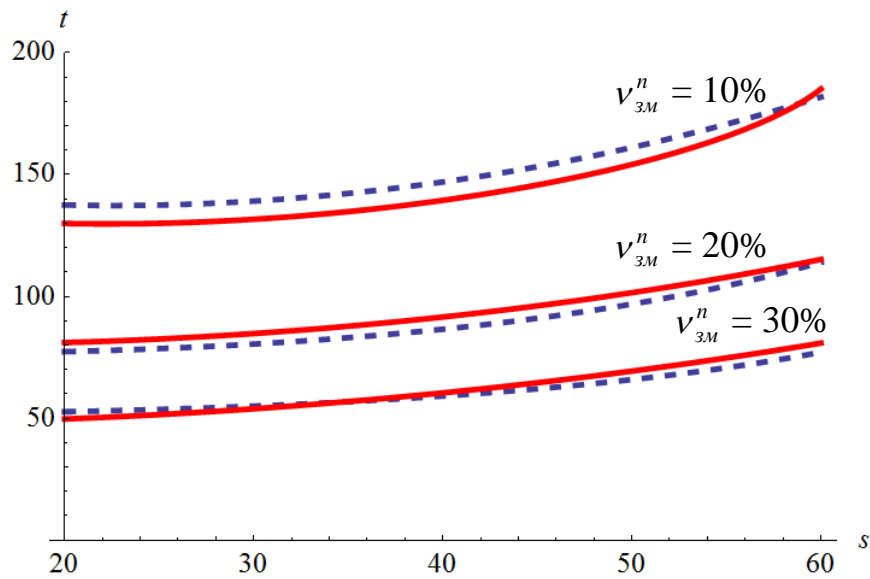


Рис. 6. Вплив вмісту сіна  $s$  на час приготування кормосуміші  $t$  при вологості кормосуміші  $w = 30\%$  ( $x_3 = 0$ ) та часу зволоження  $\tau = 40$  с ( $x_4 = 0$ ): експериментальні дані – суцільна лінія, пропонувана модель – пунктирна лінія.

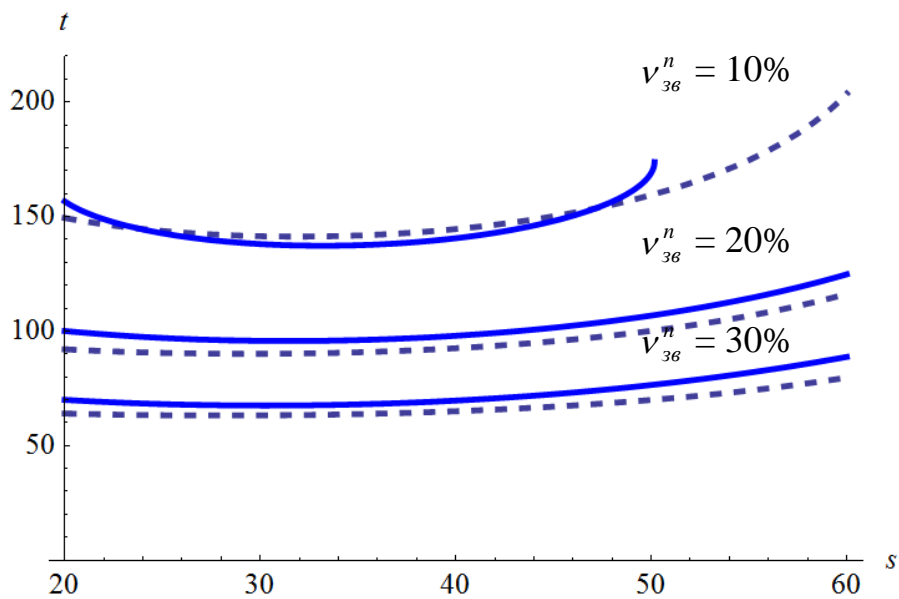


Рис. 7. Вплив вмісту сіна  $s$  на час приготування кормосуміші  $t$  при вологості кормосуміші  $w = 30\%$  ( $x_3 = 0$ ) та часу зволоження  $\tau = 40$  с ( $x_4 = 0$ ): експериментальні дані – суцільна лінія, пропонувана модель – пунктирна лінія.

Як видно з рисунків 6 та 7 запропонована аналітично-емпірична модель (13), (14) для визначення часу приготування кормосуміші добре відповідає отриманим емпіричним даним, як за характером, так і за розрахунковими значеннями часу, і може бути використана при прак-

тичних розрахунках параметрів технологічної операції підготовки кормосуміші до гранулювання.

*Висновки.* В результаті теоретичних та експериментальних досліджень процесу підготовки модельної двокомпонентної зерново-стеблової кормосуміші до гранулювання (змішування та зволоження компонентів) було запропоновано адекватну аналітично-емпіричну модель для визначення операційного часу приготування кормосуміші із врахуванням заданих значень показників якості її приготування – нерівномірності змішування та зволоження.

#### *Література*

1. *Расев А.И.* Сушка древесины. Учебник для проф.-техн. училищ. / *А.И. Расев.* – М.: Высшая школа, 1980. – 181 с.
2. *Бунин М.В.* Создание и эксплуатация строительных машин при вариационном выборе технических решений. / *М.В. Бунин, В.В. Ничке, И.Г. Кириченко, А.А. Богомолов* – К.: УМК ВО, 1992. – 196 с.
3. *Братішко В.В.* Математична модель процесу очищення матеріалу / *В.В. Братішко, Д.О. Мілько* // Праці ТДАТУ. – Вип. 11. – Том 2. – Мелітополь– 2011. – С. 133-140.
4. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. 3-е издание переработанное и дополненное / Под ред. *А.П. Калашникова, В.И. Фисинина, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова.* – М. 2003. – 456 с.
5. ГОСТ 27262-87 Корма растительного происхождения: Методы отбора проб.
6. ГОСТ 27548-97 Корма растительные. Методы определения содержания влаги.
7. ГСТУ 46.007-2000 Машини та обладнання для приготування кормів. Методи функціональних випробувань.
8. *Адлер Ю.П.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. / *Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский* – М.: Наука, 1976. – 276 с.
9. *Зажигаев Л.С.* Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента. / *Л.С. Зажигаев, А.А. Китьян, Ю.И. Романников* – М.: Атомиздат, 1978. – 232 с.
10. *Мельников С.В.* Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. / *С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Роцин* - Л.: Колос, 1972.- 200 с.
11. *Драйпер Н.* Прикладной регрессионный анализ / *Н. Драйпер, Г. Смит* //Перев. с англ. – М.: Статистика, 1973, – 550 с.
12. *Корн Г.* Справочник по математике для научных работников и инженеров / *Г. Корн, Т. Корн* //Перев. с англ. М.: Наука, 1984. – 875 с.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОДГОТОВКИ КОРМОСМЕСИ К ГРАНУЛИРОВАНИЮ**

В.В. Братишко

*Аннотация* – приведены теоретические предпосылки и результаты экспериментальных исследований влияния технологических параметров приготовления двухкомпонентной зерно-стеблевой кормосмеси на показатели качества и времени ее приготовления.

## **RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE MIXED FORAGE PREPARATION FOR PELLETING**

V. Bratishko

### *Summary*

**In this article shows the theoretical background and experimental results of the influence of technological parameters of preparation of binary grain and stem mixed forage on its quality and the time of its preparation.**