

УДК 677.051:677.312

## РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ УДОСКОНАЛЕНОГО РОТОРНОГО КАВІТАЦІЙНОГО ДИСПЕРГАТОРА

*П. Луц, к. т. н., А. Січкарь, к. т. н., С. Доруда, н. с., В. Лиходід, к. т. н.,  
В. Забудченко, с. н. с., І. Ковальов, с. н. с.  
Запорізький науково-дослідний центр механізації  
тваринництва ННЦ «ІМЕСГ» НААН*

**Постановка проблеми.** На сьогодні набуває спрямованості розвиток нанотехнологій кормоприготування, що передбачає не тільки фізико-механічне перетворення кормової сировини, а й її структурну зміну на клітинному рівні [1]. Таким є кавітаційний спосіб, що базується на новітніх технічних засобах для диспергаційно-кавітаційної обробки кормів [2–4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існуючі технічні засоби для кавітаційної обробки вологих кормових продуктів мають деякі недоліки, такі як нестійкий кавітаційний ефект, висока енергоємність робочого процесу, недостатній ступінь подрібнення компонентів кормової суміші в процесі їх диспергації тощо [5]. Зважаючи на це, існує необхідність у розробці нових чи удосконаленні існуючих конструкцій технічних засобів подібного типу.

**Постановка завдання.** Завдання дослідження – визначити експериментальні залежності впливу конструктивно-технологічних та режимних параметрів роторного кавітаційного диспергатора на процес кавітаційної обробки кормових компонентів.

**Виклад основного матеріалу.** Для проведення експериментальних досліджень була створена експериментально-дослідна установка на базі експериментального зразка роторного кавітаційного диспергатора РоКаДі-2 з допрацьованими робочими органами (рис. 1). Досліджуваними матеріалами були зерно, пивна дробина, зелена маса та вода.



а) експериментально-дослідна установка  
б) пристрій для ущільнення потоку рідини

Рис. 1. Експериментально-дослідна установка на базі роторного кавітаційного диспергатора РоКаДі-2.

Дослідження процесу кавітаційної обробки кормових компонентів проводили за оптимальним планом Бокса-Бенкіна [6; 7]. Фактори та їх рівні показано в таблиці. Критеріями оцінки досліджуваного процесу прийняті валова енергія корму та енергоємність процесу.

Таблиця

Фактори експериментальних досліджень та рівні їх варіювання

Показник	Кодоване значення	Частота обертів ротора, об./хв X1	Тривалість диспергації, хв. X2	Положення конуса (відстань від кришки диспергатора), мм X3	Частка зеленої маси в суміші X4
Верхній рівень	1	3000	60	120	0,5
Основний рівень	0	2500	40	80	0,4
Нижній рівень	-1	2000	20	40	0,3
Інтервал варіювання	$\epsilon$	500	20	40	0,1

Валову енергію корму визначали за формулою [8]:

$$BE = 23,95 \cdot cП + 39,77 \cdot cЖ + 20,05 \cdot cК + 17,46 \cdot БЕР, \text{ кДж}, \quad (1)$$

де  $BE$  – валова енергія корму, кДж;  
 $cП$  – сирий протеїн, г;  
 $cЖ$  – сирий жир, г;  
 $cК$  – сира клітковина, г;  
 $БЕР$  – безазотисті екстрактивні речовини, г.

Енергоємність процесу кавітаційної обробки кормових компонентів розраховували за формулою

$$q = N / Q, \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{кг}, \quad (2)$$

де  $q$  – питомі витрати енергії на виконання процесу у досліді, Вт·год/кг;  
 $N$  – споживана потужність на виконання процесу, Вт;  
 $Q$  – продуктивність процесу, кг/год.

Частоту обертів ротора диспергатора встановлювали за допомогою частотного перетворювача електричного струму Danfoss.

Тривалість процесу диспергації реєстрували за допомогою електронного секундоміра.

Положення ущільнювального конуса встановлювали закручуванням чи викручуванням гвинта на необхідну відстань.

Споживану потужність реєстрували цифровим ватметром Satek PM 130 E.

**Результати експерименту.** Отримано математичну модель впливу досліджуваних факторів на показник валової енергії корму ( $BE$ , кДж). Після підтвердження адекватності моделі та її скорочення вона у розкодованому варіанті має вигляд:

$$BE = 1,99 - 0,000056 \cdot n - 0,0025 \cdot t - 0,000008 \cdot t^2 - 0,0006 \cdot П - 0,000003 \cdot П^2 + 0,127 \cdot Ч + 0,000075 \cdot n \cdot Ч + 0,0029 \cdot t \cdot Ч + 0,002 \cdot П \cdot Ч - 0,733Ч^2, \quad (3)$$

де  $BE$  – валова енергія корму, кДж;  
 $n$  – частота обертів ротора диспергатора, об./хв;  
 $t$  – тривалість процесу диспергації, хв;  
 $П$  – положення ущільнювального конуса (відстань від кришки диспергатора), мм;  
 $Ч$  – частка зеленої маси в суміші.

Математична модель впливу досліджуваних факторів на енергоємність процесу ( $E$ , Вт год/кг), після її обробки, має вигляд:

$$E = 148,74 - 0,0585 \cdot n + 0,1845 \cdot t - 0,004 \cdot t^2 - 1,1967 \cdot П + 0,0049 \cdot t \cdot П + 0,0045 \cdot П^2 - 197,777 \cdot Ч + 0,06 \cdot n \cdot Ч - 0,2214 \cdot t \cdot Ч - 0,0879 \cdot П \cdot Ч + 93,31 \cdot Ч^2, \quad (4)$$

де  $E$  – енергоємність процесу, Вт год/кг.

Аналізуючи рівняння (3), яке графічно зображене на рис. 2, можна стверджувати, що на валову енергію корму впливають всі вищезазначені фактори.

При цьому зі зменшенням показників усіх факторів спостерігається підвищення значення даного критерію. Виходячи з цього можна зробити висновок, що оптимальні значення досліджуваних факторів за даним критерієм становлять:  $n = 2000$  об./хв;  $t = 20$  хв;  $\Pi = 40$  мм;  $\Psi = 0,3$ .

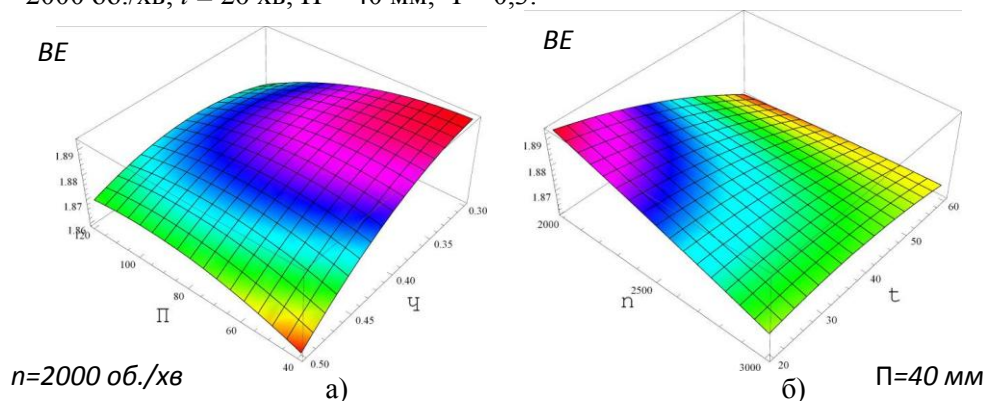


Рис. 2. Вплив досліджуваних факторів на валову енергію корму:  
 а – положення ущільнювального конуса та частки зеленої маси в суміші;  
 б – частоти обертів ротора диспергатора та тривалості процесу диспергації.

Аналіз рівняння (4) за взаємодією досліджуваних факторів із графічною інтерпретацією (рис. 3) свідчить, що на енергоємність процесу кавітаційної обробки кормових компонентів впливають усі фактори експерименту. При цьому положення ущільнювального конуса при взаємодії з фактором частки зеленої маси в суміші має оптимум, а збільшення частоти обертів ротора диспергатора та тривалості процесу диспергації призводить до збільшення енергоємності. Для цього критерію оптимальними значеннями досліджуваних факторів є:  $n = 2000$  об./хв;  $t = 20$  хв;  $\Pi = 76,11$  мм;  $\Psi = 0,47$ .

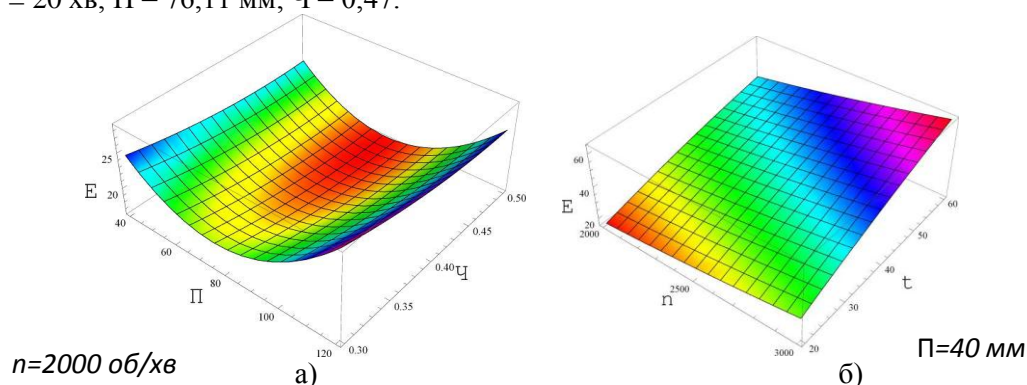


Рис. 3. Вплив досліджуваних факторів на енергоємність процесу кавітаційної обробки кормових компонентів: а – положення ущільнювального конуса та частки зеленої маси в суміші; б – частоти обертів ротора диспергатора та тривалості процесу диспергації.

Розв'язання компромісної задачі проводили за допомогою пакету програмного забезпечення “Mathematica”, у результаті чого було отримано оптимальні параметри досліджуваних факторів для всіх критеріїв оптимізації процесу обробки різних компонентів кормосуміші на удосконаленому зразку роторного кавітаційного диспергатора, які становлять: частота обертів ротора диспергатора  $n = 2000$  об./хв; тривалість процесу диспергації  $t = 20$  хв; положення пристрою для ущільнення потоку рідини  $\Pi = 40$  мм; частка зеленої маси в суміші  $\text{Ч} = 0,4$ .

**Висновки.** 1. За експериментальними дослідженнями отримано математичні рівняння регресії, що адекватно визначають вплив частоти обертів ротора диспергатора, тривалості процесу диспергації, положення пристрою для ущільнення потоку рідини, частки зеленої маси в суміші на обрані параметри оптимізації – валову енергію корму та енергоємність процесу – для удосконаленого роторного кавітаційного диспергатора.

2. За встановленими критеріями оптимізації визначені раціональні конструктивно-технологічні та режимні параметри удосконаленого роторного кавітаційного диспергатора: частота обертів ротора диспергатора  $n = 2000$  об./хв; тривалість процесу диспергації  $t = 20$  хв; положення пристрою для ущільнення потоку рідини  $\Pi = 40$  мм; частка зеленої маси в суміші  $\text{Ч} = 0,4$ .

3. На всіх рівнях варіювання досліджуваних факторів енергоємність процесу кавітаційної обробки кормових компонентів була на досить низькому рівні порівняно з іншими типами диспергаторів.

#### **Бібліографічний список**

1. Биохимические и биофизические предпосылки для внедрения технологий углубления переработки сырья при производстве комбикормов / В. А. Шаршунов, А. В. Червяков, С. В. Курзенев [и др.] // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. – 1999. – № 2. – С. 6-10.
2. Скрыль И. И. Кавитационная технология и оборудование для производства жидких кормов [Электронный ресурс] / И. И. Скрыль, А. Н. Ковальчук // Проблемы современной аграрной науки : материалы Междунар. заоч. науч. конф., 15 окт. 2011 г. / Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск : КГАУ, 2011. – Режим доступа : <http://www.kgau.ru/img/konferenc/2011/d3.doc>.
3. Использование технологий гидродинамического кавитационного диспергирования для производства пастообразных питательных кормов для животных: инновационный проект [Электронный ресурс] / ООО «НПП ЭКО-БИОН», ООО «БАСМ». – Воронеж, 2012. – Режим доступа : <http://alltrend.ru/content/article/43-selskohozyajstvennoe-proisvodstvo/63-proisvodstvo-kormov-dlya-zhivotnyh.html>.
4. Кормоприготовительные агрегаты серии «Мрия» [Электронный ресурс] / ООО «Научно-производственный внедренческий центр Академии инженерных наук Украины» // Официальный сайт ООО НПЦ АИНУ. – Режим доступа : <http://agrokorm.info/ru/kormoagregat/1/>.
5. Аналіз конструкцій технічних засобів для виробництва високозасвоєваних кормів / І. А. Шевченко, В. М. Павліченко, В. В. Лиходід, В. М. Забудченко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодержав. міжвідом. наук.-техн. зб. – Кіровоград : КНТУ, 2013. – Вип. 43, ч. 1. – С. 179-184.

6. Красовский Г. И. Планирование эксперимента / Г. И. Красовский, Г. Ф. Филаретов. – Мн. : Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.
7. Зажигаев Л. С. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента / Л. С. Зажигаев, А. А. Кишьян, Ю. И. Романиков. – М. : Атомиздат, 1978. – 232 с.
8. Справочник по качеству кормов / [сост. В. И. Гноевой] ; под ред. А. А. Омеляненко. – К. : Урожай, 1985. – 192 с.

**Луц П., Січкарь А., Доруда С., Лиходід В., Забудченко В., Ковальов І. Результати експериментальних досліджень удосконаленого роторного кавітаційного диспергатора**

Визначені емпіричні залежності впливу конструктивно-технологічних та режимних параметрів роторного кавітаційного диспергатора на процес кавітаційної обробки вологих кормових сумішей. Проведено аналіз впливу взаємодій факторів на критерії оцінки процесу. Обґрунтовано раціональні параметри процесу обробки вологих кормових сумішей.

**Ключові слова:** аналіз, роторний кавітаційний диспергатор, процес кавітаційної обробки, вологі кормові суміші, експериментальні залежності, критерії оцінки, конструктивно-режимні параметри.

**Luts P., Sichkar' A., Doruda S., Lykhodid V., Zabudchenko V., Kovalyov I. Results experimental study enhanced rotary cavitation disperser**

Designated empirical dependence influence structural and operational parameters of the rotary cavitation disperser on cavitation process dispersant in wet processing feedstuff. The analysis of influence factors on the interaction process of evaluation criteria. Grounded rational processing options moist feed mixtures.

**Key words:** analysis, rotor cavitation dispersant, cavitation treatment process, wet feed mixtures, depending on experimental benchmarks, constructive and regime parameters.

**Луц П., Сичкарь А., Доруда С., Лиходед В., Забудченко В., Ковалёв И. Результаты экспериментальных исследований усовершенствованного роторного кавитационного диспергатора**

Определены эмпирические зависимости влияния конструктивно-технологических и режимных параметров роторного кавитационного диспергатора на процесс кавитационной обработки влажных кормовых смесей. Проведен анализ влияния взаимодействий факторов на критерии оценки процесса. Обоснованы рациональные параметры процесса обработки влажных кормовых смесей.

**Ключевые слова:** анализ, роторный кавитационный диспергатор, процесс кавитационной обработки, влажные кормовые смеси, экспериментальные зависимости, критерии оценки, конструктивно-режимные параметры.