

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ВОЛОГИХ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ КОРМОВИХ СУМІШЕЙ

Павліченко В. М., к. б. н., Лиходід В. В., к. т. н., Луц П. М., к. т. н.,  
Ковальов І. І., інж. Забудченко В. М., інж.

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

*Представлено результати експериментальних досліджень з кавітаційної обробки вологих кормових сумішей на основі зеленої маси гороху, пивної дробини, зерна ячменю та їх сумішей на роторно-кавітаційному диспергаторі. Обґрунтовано раціональні параметри та режими обробки вологих кормових сумішей в залежності від тривалості виробничого циклу та частоти обертання ротора диспергатора за показниками зміни потужності, температури, енергоспоживання та коефіцієнта кавітації.*

**Постанова проблеми.** Основою збільшення продуктивності сільськогосподарського устаткування і зниження енерговитрат на переробку рослинної сировини може служити створення і впровадження ефективного технологічного устаткування з малою питомою енергоємністю і матеріаломісткістю, високим ступенем дії на оброблювану сировину. Саме таку спрямованість набуває в сучасних умовах розвиток нанотехнологій кормоприготування, що передбачає не тільки фізико-механічне перетворення кормової сировини, але і її структурну зміну на клітинному рівні [1].

Одним із перспективних способів обробки рослинних матеріалів у водному середовищі є кавітаційний спосіб, який забезпечує дезінтеграцію високомолекулярних сполук природних компонентів рослин в низькомолекулярні, більш доступні для продуктивної ферментації в організмі тварин.

Такий підхід, що базується на відносно простому способі й новітніх технічних засобах для диспергаційно-кавітаційної обробки кормів, зараз набуває широкого розповсюдження в Росії, Україні та Білорусі [2-4].

Відомі на теперішній час технічні засоби для кавітаційної обробки вологих кормових продуктів мають суттєві технічні або технологічні недоліки: нестійкий кавітаційний ефект, висока енергоємність робочого процесу, недостатня ступінь подрібнення компонентів кормової суміші в процесі їх диспергації та ін. [5]. Тому доцільним є продовження досліджень щодо розроблення новітніх та удосконалення існуючих конструкцій подрібнювачів подібного типу.

**Мета досліджень.** Визначити вплив конструктивно-технологічних параметрів роторного кавітаційного диспергатора (частота обертання ротора, тривалість виробничого циклу) на показники якості та ефективності виконання робочого процесу кавітаційної обробки кормових компонентів (зміни

температури кормової суміші, енергоспоживання та коефіцієнтів кавітації ) на базі рідкого середовища.

**Матеріал і методи досліджень.** Дослідження проводилися на спеціальному стенді, оснащеному комплексом вимірювальних приладів. Основою стенду є експериментальний зразок роторного кавітаційного диспергатора РоКаДі-2 з чотирма ступенями подрібнення компонентів кормової суміші (рис. 1). В якості досліджуваного матеріалу використано зелену масу гороху, пивну дробину, зерно ячменя та суміш цих компонентів.



а) конструкційна схема

б) загальний вигляд

Рисунок 1 – Роторний кавітаційний диспергатор РоКаДі – 2 (розробка Відділу ННЦ «ІМЕСГ» НААН)

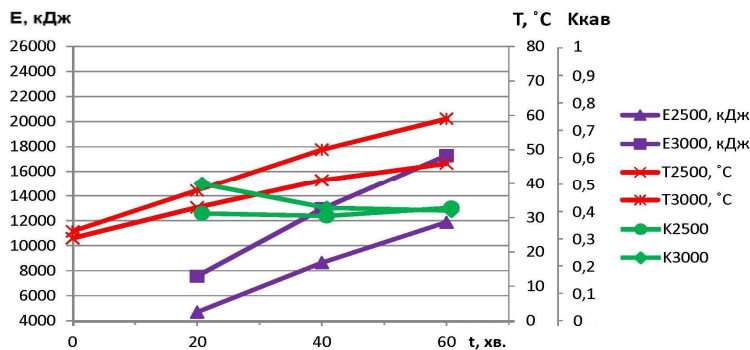
**Результати досліджень.** За результатами попередніх досліджень [6] встановлено, що основними показниками якості виконання робочого процесу диспергації рослинної біомаси є такі параметри: зміна фракційного складу сировини (модуль помелу), температура середовища, коефіцієнт кавітації, затрати енергії на реалізацію робочого процесу та споживана потужність в залежності від частоти обертання ротора і тривалості обробки компонентів кормової суміші.

За результатами досліджень отримано залежності зміни температури, енергоспоживання та коефіцієнта кавітації від тривалості виробничого циклу та частоти обертання ротора (досліджуваний діапазон 2500 та 3000 об/хв.) диспергатора при різних заданих композиціях органічних компонентів (пивна дробина, зерно ячменю, зелена маса кормових трав, суміш кормових компонентів) рідкої кормової суміші (рис. 2).

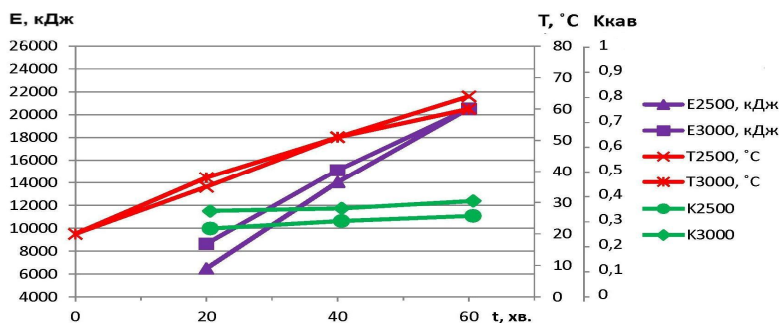
Аналіз одержаних результатів свідчить, що затрати енергії  $E$  та температура суміші  $T$  при обробці кормів диспергатором, суттєво залежать, як від тривалості виробничого циклу оброблення, так і від частоти обертання ротора диспергатора. Так, при початковій температурі  $T_n$  вологої пивної дробини 24-26 °C і частоті обертання ротора 2500 та 3000 об/хв.(рис. 2а), температура суміші  $T_i$  за 60 хв. зростає відповідно до 46 °C (2500 об/хв.) та

60 °C (3000 об/хв.). Затрати енергії  $E$  при цих же параметрах за 60 хв. зростають до 11800 кДж (2500 об/хв.) та 17280 кДж (3000 об/хв.).

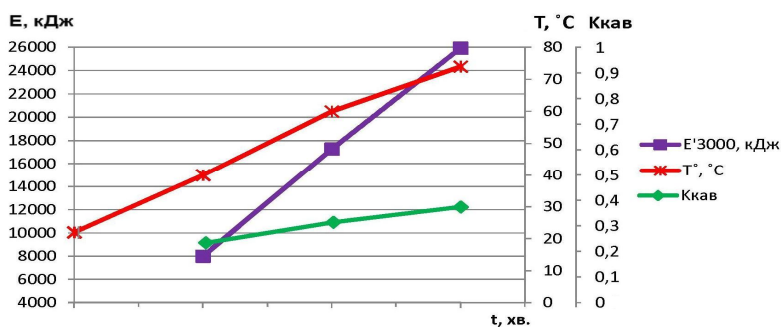
При тривалості виробничого циклу 20 і 40 хв. та збільшенні частоти обертання ротора з 2500 до 3000 об/хв. коефіцієнт кавітації  $K$  зростає з 0,4 і 0,39 до 0,51 і 0,42 відповідно.



а) пивна дробина



б) зерно ячменю



в) кормова суміш:  
(зелена маса + пивна дробина + зерно = 2:2:1)

Рисунок 2 - Залежності затрат енергії  $E$ , температури  $T$  та коефіцієнта кавітації  $K$  від частоти обертання ротора диспергатора та часу виконання виробничого циклу при обробці: а) пивної дробини, б) зерна, в) суміші кормових компонентів (зелена маса + пивна дробина + зерно 2:2:1)

Для суміші зерна (рис. 2б) енергоспоживання  $E$  при частоті обертання ротора 2500 та 3000 об/хв. і зростанні тривалості часу виробничого циклу мало відрізняються. Так при тривалості циклу 60 хв. та частоті обертання 2500 та 3000 об/хв. температура  $T$  відрізняється на 4 °C (60 та 64 °C), а енергоспоживання  $E$  знаходиться на рівні – 20520 кДж. Енергоспоживання  $E$  відрізняється тільки при тривалості 20 та 40 хв. Коефіцієнт кавітації  $K$  також залежить від тривалості виробничого циклу диспергатора та частоти обертання ротора.

Зростання коефіцієнта кавітації  $K$  з часом диспергування пов'язано зі зменшенням теплових ефектів гідродинамічної дії потоків рідини, які зменшуються в процесі поступового подрібнення кормових частинок.

Дослідження ефективності кавітаційної обробки кормової суміші (вода + пивна дробина + зерно + зелена маса) показали, що енергоспоживання на диспергацію залежить не тільки від тривалості виробничого циклу та частоти обертання, але й від співвідношення компонентів, які входять в кормову суміш (рис. 2(в)). Так енергозатрати на диспергацію та температура суміші кормових компонентів зростають при внесенні в якості компонента кормової суміші зеленої маси трав, що має високий вміст пружної клітковини.

Для оцінки енергетичних перетворень, на основі яких зіставляється енергетика механічних, хімічних та термічних факторів, встановлено співвідношення теплового та кавітаційного факторів, що пов'язані із трансформацією споживаної енергії у досліджуваному кавітаційному пристрої роторного типу.

За результатами досліджень встановлено закономірності зміни теплового та кавітаційного коефіцієнтів залежно від ступеню кавітації, що пов'язано зі структурою потоку (табл. 1).

Таблиця 2 – Техніко-технологічні параметри роторного кавітаційного диспергатора РоКаДі-2

Досліджувана сировина	Частота обертання ротора, хв-1	Модуль помелу, мм	К <sub>кав</sub>	К <sub>т</sub>	t <sub>0</sub> , оС	Питомі витрати енергії, ΔN	
						Вт.ч/кг	кДж/кг
Зерно ячменя + вода (1:3)	Вихідна маса	3,5			20		
	2500 об./хв.- 20'	1,0	0,28	0,72	38	22,50	81
	2500 об./хв.- 40'	0,60	0,31	0,69	54	48,75	175,5
	2500 об./хв.- 60'	0,46	0,33	0,67	65	71,25	256,5
	3000 об./хв.- 20'	0,86	0,35	0,65	38	30,00	108
	3000 об./хв.- 40'	0,54	0,36	0,64	51	52,50	189
	3000 об./хв.- 60'	0,51	0,39	0,61	60	71,25	256,5
Пивна дробина + вода (1:2)	Вихідна маса	1,67			20		
	2500 об./хв.- 20'	1,54	0,40	0,60	33	16,39	59
	2500 об./хв.- 40'	1,17	0,39	0,61	41	30,28	109
	2500 об./хв.- 60'	0,94	0,42	0,58	46	41,67	150
	3000 об./хв.- 20'	1,32	0,51	0,49	38	26,58	95,7
	3000 об./хв.- 40'	1,18	0,42	0,58	50	45,56	164,0
	3000 об./хв.- 60'	1,13	0,41	0,59	59	60,75	218,7
Зелена маса гороху (ЗМ) + вода 1:4	Вихідна маса	2,56			24		
	2500 об./хв.- 20'	2,0	0,59	0,41	69	118,60	427
	2500 об./хв.- 40'	1,56	0,64	0,36	85	189,72	683
	3000 об./хв.- 20'	1,98	0,67	0,33	62	138,33	498
	3000 об./хв.- 40'	1,60	0,70	0,30	85	277,22	854
Кормова суміш:	Вихідна маса	2,89			22		

зелена маса,	3000 об./хв.- 20'	1,33	0,42	0,58	40	18,75	67,5
пивна дробина,	3000 об./хв.- 40'	1,13	0,33	0,67	60	37,50	135
зерно ячменя, вода (1:3)	3000 об./хв.- 60'	1,02	0,40	0,60	74	90,00	324

На основі аналізу результатів досліджень відмічено, що співвідношення коефіцієнтів розподілу енергії на теплові та кавітаційні ефекти залежать від тривалості виробничого циклу. Так при тривалості виробничого циклу диспергації до 20 хв. переважають теплові ефекти (подрібнення компонентів кормосуміші ножами, гідроудар, утворення сил дисипативного тертя, подрібнення компонентів кормосуміші різанням їх при проходженні отворів ротора та статора) коефіцієнт кавітації низький, а при 40 – 60 хв., де переважають кавітаційні ефекти, коефіцієнт кавітації високий. Крім того підвищення частоти обертання ротора диспергатора підвищує коефіцієнт кавітації (рис. 2, табл.1).

Аналіз залежностей модуля помелу ( $M$ ), питомих затрат енергії ( $q$ ) від часу проходження виробничого циклу ( $t$ ) при заданій частоті обертання ротора диспергатора (2500 та 3000 об/хв.) свідчить, що питомі затрати енергії та модуль помелу при обробці кормів диспергатором, суттєво залежать від тривалості виробничого циклу обробітку, від частоти обертання ротора диспергатора і співвідношення компонентів, які входять в кормову суміш.

Так для кормосуміші (пивна дробина + вода = 1:2) при модулі помелу  $M=0,94-1,13$  і тривалості виробничого циклу 60 хв. збільшення частоти обертання ротора диспергатора з 2500 до 3000 об/хв. веде до зростання питомих затрат енергії з 41,67 Вт·год/кг до 61 Вт·год/кг.

Дослідження показали, що питомі затрати енергії залежать як від структури сировини, що входять в кормову суміш, так і частоти обертання ротора диспергатора: при тривалості виробничого циклу 40 хв. та частоті обертання ротора диспергатора 2500 – 3000 об/хв. питомі затрати енергії становлять відповідно: зелена маса – 189,72 – 277,22 Вт·год/кг; зерно – 48,75 – 52,5 Вт·год/кг; пивна дробина – 30,28 – 45,56 Вт·год/кг; суміш компонентів – 37,5 – 56,3 Вт·год/кг.

Встановлено, що при диспергації зеленої маси витрати енергії значно більші ніж для зерна та пивної дробини. Це пояснюється тим, що в зеленій масі високий вміст міцної клітковини, тому питомі витрати для кормової суміші, в яку входять всі три компоненти знаходяться в проміжку між витратами на зелену масу та пивну дробину.

Для визначення порівняльних характеристик досліджуваного варіанта удосконаленого роторного кавітаційного диспергатора з найбільш близьким аналогом типу АКГСМ «Мрія» було використано результати досліджень, проведених авторами в аналогічних умовах (табл. 2).

Одержані результати свідчать, що за ефективністю подрібнення аналог і дослідний зразок забезпечують практично однакові результати. За коефіцієнтом кавітації ( $K_{\text{кав}}$ ), який характеризує динаміку, граничні швидкості та тиск потоків рідини в камерах кавітації, дослідний зразок має більш низькі значення:

0,28 – 0,51 проти 0,45 – 0,73, що доводить про більш досконале конструктивне створення умов для проходження ефектів гідродинамічної кавітації в оброблюваних кормових системах. За температурним режимом аналог і дослідний зразок забезпечують підвищення температури зразків за 20 – 60 хв. практично однаково.

Розрахунки питомих витрат енергії на одиницю оброблюваної сировини свідчать, що дослідний зразок за витратами енергії на виконання процесу диспергації більш економічний. Питомі витрати енергії ( $\Delta N$ , кДж/кг) на переробку зерна в 1,6 – 2,5 разу менші, ніж аналога (типу АКГСМ «Мрія»), по пивній дробині – менші в 2,6 – 4,3 разу, по сумішах – в 3,2 – 3,8 разу.

Таблиця 2 – Порівняльні техніко-технологічні показники роботи роторно-кавітаційних диспергаторів: аналога – типу АКГСМ «Мрія» і дослідного зразка РоКаДі-2

Варіанти		Модуль помелу, мм		$K_{\text{кав}}$		$t^{\circ}, ^{\circ}\text{C}$		$\Delta N$ , кДж/кг	
досліджуваний матеріал	технічні параметри	аналог	дослідний	аналог	дослідний	аналог	дослідний	аналог	дослідний
Зерно ячменя + вода (1:3)	Контроль	3,4	3,5			20	20		
	2500 об./хв. - 20'	0,61	1,0	0,45	0,28	40	38	144	81
	2500 об./хв. - 40'	0,60	0,60	0,54	0,31	54	54	288	175,5
	2500 об./хв. - 60'	0,47	0,46	0,65	0,33	58	65	432	256,5
	3000 об./хв. - 20'	0,63	0,86	0,51	0,35	47	38	216	108
	3000 об./хв. - 40'	0,43	0,54	0,61	0,36	54	51	432	189
	3000 об./хв. - 60'		0,51	0,73	0,39	64	60	648	256,5
Пивна дробина + вода (1:2)	Контроль	1,66	1,67			25	20		
	2500 об./хв. - 20'	1,32	1,54	-	0,40	-	33	-	59
	2500 об./хв. - 40'	1,05	1,17	0,63	0,39	67	41	432	109

	2500 об./хв. - 60'	1,15	0,94	0,72	0,42	73	46	648	150
	3000 об./хв. - 20'	1,04	1,32	0,45	0,51	56	38	216	95,7
	3000 об./хв. - 40'	1,09	1,18	0,60	0,42	70	50	432	164,0
	3000 об./хв. - 60'	1,1	1,13	-	0,41	-	59	-	218,7
Суміш зеленої маси, пивної дробин и, зерна ячменю , вода	Контроль	3,05	2,89			22	22		
	3000 об./хв. - 20'	1,31	1,33	0,50	0,42	55	40	216	67,5
	3000 об./хв. - 40'	1,09	1,13	0,64	0,33	70	60	518	135
	3000 об./хв. - 60'		1,02		0,40		74		324

**Висновки:** 1 Запропонований експериментальний зразок роторного кавітаційного диспергатора РоКаДі-2 забезпечує виконання стійкого ефекту кавітації та диспергації компонентів кормової суміші в водному середовищі з коефіцієнтом кавітації 0,28-0,51.

2 Експериментально встановлено, що зі збільшенням тривалості виробничого циклу від 20 до 60 хв. на роторному кавітаційному диспергаторі відповідно зростають загальні витрати енергії від 22,5 до 237,2 Вт год. / кг на реалізацію процесу диспергації та підвищується температура самої кормової суміші до 60-85 °С. При цьому знижуються модуль помелу з 3,5 до 0,46 та зростає потужність диспергатора з 1530 до 9360 Вт.

3 В процесі досліджень встановлено, що енергоспоживання на реалізацію процесу диспергації компонентів кормової суміші залежить не тільки від тривалості виробничого циклу та частоти обертання ротора, але й від співвідношення самих компонентів, які входять в кормову суміш. Причому енергозатрати та температура кормової суміші зростають при введенні в її склад зеленої маси.

4 Визначено, що співвідношення коефіцієнтів розподілу енергії на теплові та кавітаційні ефекти залежить від тривалості виробничого циклу. Так при тривалості виробничого циклу диспергації до 20 хв. переважають теплові ефекти і коефіцієнт кавітації низький. При збільшенні тривалості виробничого циклу з 20 до 60 хв. – переважають кавітаційні ефекти і коефіцієнт кавітації збільшується.

5 За результатами досліджень встановлено, що оптимальним режимом оброблення компонентів кормової суміші є частота обертання ротора 2500-3000 об./хв. при тривалості виробничого циклу оброблення 20-30 хв.

6 За результатами порівняльної оцінки встановлено, що розроблена нанотехнологія та створений для її реалізації роторний кавітаційний диспергатор РоКаДі-2 є менш енергоємними у порівнянні з відомими в Україні зразками кормоготувальних агрегатів типу АКГСМ «Мрія»: питомі витрати енергії (17 – 277 Вт год/кг) на переробку зерна в 1,6 – 2,5 разу менші, ніж аналога, по півній дробині в 2,6 – 4,3 разу, по кормових сумішах в 3,2 – 3,8 разу.

## Список літератури

1 Шаршунов В. А. 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. [Интернет ресурс]/ И. И. Скрыль, А. Н. Ковальчук // Материалы международной заочной научной конференции «Проблемы современной аграрной науки», 15 октября 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 [Интернет 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» [Интернет ресурс] / Общество с ограниченной ответственностью Научно-Производственный Внедренческий Центр Академии Инженерных Наук Украины // Официальный сайт ООО НПЦ АИНУ. – Режим доступа: <http://agrokorm.info/ru/kormoagregat/1/>

5 Шевченко І. А. Аналіз конструкцій технічних засобів для виробництва високозасвоєваних кормів / І. А. Шевченко, В. М. Павліченко, В. В. Лиходід, В. М. Забудченко // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник КНТУ «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин» – Вип. 43. – Ч.1. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С.179-184.

6 Павліченко В. М. Обґрунтування техніко-технологічних основ енергоощадного виробництва кормової добавки на основі рослинної сировини / В. М. Павліченко, О. О. Троїцька, В. В. Лиходід // Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві: зб. наук. праць / Ін-т мех.



## **Аннотация**

### **Результаты исследований процесса кавитационной обработки влажных кормовых смесей**

Павличенко В. Н., Лиходед В. В., Луц П. М., Ковалёв И. И., Забудченко В. Н.

*Представлены результаты экспериментальных исследований процесса кавитационной обработки влажных кормовых смесей на основе зеленой массы гороха, пивной дробины, зерна ячменя та их смесей на роторном кавитационном диспергаторе. Обосновано рациональные параметры и режимы обработки влажных кормовых смесей в зависимости от длительности производственного цикла и частоты вращения ротора диспергатора по показателям изменения мощности, температуры, энергопотребления и коэффициента кавитации.*

## **Abstract**

### **Results of investigations the cavitation processing blend of wet feed**

V. Pavlichenko, V. Lykhodid, P. Luts, I. Kovalyov, V. Zabudchenko

*Results of experimental investigations of the cavitation treatment of wet feed mixtures on the basis of green weight of peas, beer pellet, barley and their mixtures on the disperser. Substantiated rational parameters and modes of processing wet feed mixtures depending on extension of the production cycle and the rotor speed disperser*