

УДК 66.063.62:532.528

**В.М. Павліченко, канд. біол. наук, В.В. Лиходід, канд. техн. наук,  
П.М. Луц, канд. техн. наук, А.В. Січкарь, канд. техн. наук, С.О. Доруда, інж.**  
*Запорізький науково-дослідний центр з механізації тваринництва, Запоріжжя*

## Обґрунтування оптимальних режимів роботи удосконаленого зразка роторно-кавітаційного диспергатора при подрібненні рослинних кормів

Представлено результати експериментальних досліджень процесу диспергації компонентів кормових сумішей та відображено оптимальне поєднання факторів, які суттєво впливають на критерії оптимізації. Отримано математичні моделі другого порядку, які адекватно описують процес диспергації компонентів кормової суміші. Обґрунтовано оптимальні режими роботи удосконаленого зразка роторно-кавітаційного диспергатора та встановлено їх вплив на якісні та енергетичні показники робочого процесу подрібнення рослинних кормів при різноманітній їх композиції.

**рослинні корми, роторно-кавітаційний диспергатор, удосконалений зразок, подрібнення, оптимальні режими, обґрунтування**

**В.Н. Павличенко, канд. біол. наук, В.В. Лиходед, канд. техн. наук, П.М. Луц, канд. техн. наук,  
А.В. Сичкарь, канд. техн. наук, С.А. Доруда, інж.**

*Запорожский научно-исследовательский центр по механизации животноводства, Запорожье*

**Обоснование оптимальных режимов работы усовершенствованного образца  
роторно-кавитационного диспергатора при измельчении растительных кормов**

Представлено результати експериментальних досліджень процесу диспергації компонентів кормових смесей і отобразено оптимальне поєднання факторів, які переважно впливають на критерії оптимізації. Отримано математичні моделі другого порядку, які адекватно описують процес диспергації компонентів кормових смесей. Обґрунтовано оптимальні режими роботи удосконаленого зразка роторно-кавітаційного диспергатора і встановлено їх вплив на якісні та енергетичні показники робочого процесу измельчення рослинних кормів при різноманітній їх композиції.

**растительные корма, роторно-кавитационный диспергатор, усовершенствованный образец, измельчение, оптимальные режимы, обоснование**

**Постановка проблеми.** В сучасних умовах виробництва тваринницької продукції, як втім і завжди, найважливішою складовою успіху є створення міцної кормової бази на основі постійного вдосконалення технологій і технічних засобів для кормозабезпечення галузі тваринництва.

Тваринництво, зокрема органічне тваринництво, яке набуло в останні роки особливої уваги, передбачає використання екологічно чистих кормових компонентів, які доцільно доставляти тваринам в підготовленому вигляді, в тому числі через застосування нанотехнологій переробки й обробки кормів, в основі яких лежать процеси дезінтеграції біохімічних кормових компонентів в низькомолекулярні сполуки природного походження, позбавлені дії природних бар'єрів захисту накопичених рослинами запасів високомолекулярних поживних речовин. Одним з ефективних методів дезінтеграції та інтенсифікації хіміко-технологічних процесів в рідинних системах є дія кавітації на оброблюване середовище.

У промисловості для виникнення кавітаційних явищ в рідких середовищах використовуються гідродинамічні, електродинамічні, п'єзоелектричні, магнітострикційні і механічні генератори кавітації. Для виконання кавітаційної обробки, подрібнення та змішування рослинних матеріалів найбільше розповсюдження отримали гідродинамічні машини. Такі роторно-імпульсні гідродинамічні кавітаційні апарати найкраще реалізують гідродинамічну і акустичну дію розвиненої турбулентності, пульсацій тиску, ударних хвиль та швидкості потоку рідини [1].

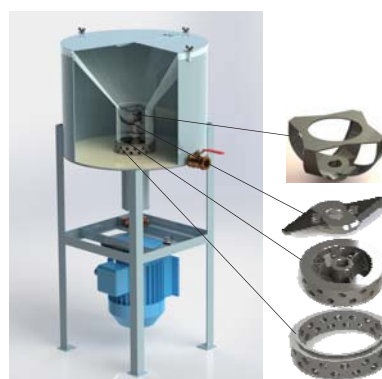
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На підставі аналізу роботи відомих різноманітних типів та конструкцій гідродинамічних роторно-кавітаційних апаратів [2-5] виявлено, що на їх ефективну роботу впливає цілий ряд параметрів, таких як: число і розмір отворів в статорі і роторі; частота обертання ротора; пропускна здатність ступеня; початковий розмір частинок матеріалу, що поступають на доподрібнення; тиск гідроудару; достатність імпульсів для резонансного руйнування часток; величина розрідження в статорі і стиснення в роторі. Під час роботи роторно-кавітаційного диспергатора при обертанні ротора, його канали періодично поєднуються з каналами статора. За рахунок цього швидкість потоку рідини в каналі статора є змінною величиною. При розповсюдженні в каналі статора імпульсу надмірного тиску, слід за ним виникає короткочасний імпульс зниженого тиску. Інерційні сили створюють розтягуючу напругу в рідині, що викликає кавітацію, яка й руйнує оброблюваний матеріал.

**Формування цілей.** З метою обґрунтування конструкційних особливостей роторно-кавітаційного диспергатора, що покращують роботу та забезпечують достатню кавітаційну дію на оброблювану сировину виконані теоретичні дослідження (розрахунки), за результатами яких встановлено основні конструктивні параметри машини: кількість і розмір отворів в статорі й роторі, відстані між отворами та залежні від них показники тиску і пропускної здатності розробленого кавітаційного диспергатора.

**Виклад основного матеріалу.** За результатами теоретичних досліджень та аналізу конструкцій технічних засобів для виробництва високозасвоєваних кормів [6] розроблено та створено удосконалений зразок роторно-кавітаційного диспергатора (рис. 1).



а) загальний вигляд



б) конструкційна схема

Рисунок 1 – Удосконалений зразок роторно-кавітаційного диспергатора

Основою пропонованого диспергатора є роторний робочий орган з чотирма ступенями подрібнення компонентів кормової суміші, в якому ротор з вертикальною віссю обертання має два ряди ножів, радіальні лопаті й два ряди наскрізних отворів, зовні якого розміщений статор у вигляді двох коаксіально розміщених кілець з двома рядами радіально встановленими в них гідравлічними кавітаційними пристроями у вигляді насадок Вентурі та Борда.

Для визначення оптимальних режимів роботи удосконаленого зразка роторно-кавітаційного диспергатора було створено експериментальний стенд (рис. 2) та проведено експериментальні дослідження процесу подрібнення (диспергації) компонентів кормових сумішей на базі рідкого середовища.



Рисунок 2 – Стенд для експериментальних досліджень

За результатами лабораторних досліджень та аналізу літературних джерел відібрано 2 фактори, що значуще впливають на робочий процес подрібнення компонентів кормової суміші (табл. 1).

Таблиця 1 – Перелік факторів, що значуще впливають на процес подрібнення компонентів кормової суміші

Рівні і інтервали варіювання	Кодоване значення	Фактори і їх позначення	
		Тривалість процесу оброблення $t$ , хв.	Частота обертання ротора $n$ , об/хв.
Верхній рівень	+ 1	60	3000
Основний рівень	0	40	2500
Нижній рівень	- 1	20	2000
Інтервал варіювання	$\epsilon$	20	500

При плануванні експериментальних досліджень використано матрицю (табл. 2) повного факторного експерименту другого порядку для двох факторів [7].

Таблиця 2 – Матриця повного факторного експерименту

№ досліджу	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Фактор	X	-1	-1	-1	0	0	0	+1	+1	+1
	Y	-1	0	+1	-1	0	+1	-1	0	+1

Важливою частиною досліджень при обґрунтуванні оптимальних значень режимних параметрів удосконаленої конструкції диспергатора є вибір критеріїв оптимізації, які дозволяють проводити порівняльну оцінку впливу досліджуваних факторів на його якісні та енергетичні показники роботи.

За критерії оптимізації прийнято:

-  $M$  - модуль помелу, [мм], який характеризує ступінь подрібнення матеріалу, за яким можливо оцінити тонину помелу (тонкий, середній або крупний) [8];

- $K_{кав}$  - коефіцієнту кавітації, що відображає інтенсивність процесів кавітації й призводить до біохімічного поліпшення і знезараження кормової суміші [9];
- $T$  - температура суміші, [°C], яка свідчить про інтенсивність проходження хімічних та біологічних процесів, що протікають в оброблюваній суміші та обумовлює необхідні границі впливу на оброблювану сировину;
- $q$  - питомі витрати енергії, [Вт·год/кг], наглядний показник питомих витрат енергії на реалізацію робочого процесу.

Для більш об'єктивної оцінки якості виконання робочого процесу диспергації та представлення широких можливостей використання роторно-кавітаційного диспергатора, при проведенні експериментальних досліджень було взято декілька різноманітних композицій кормової суміші: зерно ячменя + вода (у співвідношенні 1:3); пивна дробина + вода (1:2); суміш зеленої маси, пивної дробини, зерна ячменя та води (у співвідношенні 2:2:1 з гідромодулем 1:3).

За результатами експериментальних досліджень виконано аналіз та проведено статистичну обробку даних, яка дозволила виявити залежності якісних показників роботи диспергатора від зміни критеріїв оптимізації. Дані, отримані в результаті вимірів, відповідають центральній граничній теоремі та розподіляються по нормальному закону [10]. Побудовані поверхні відгуку впливу досліджуваних факторів на обрані критерії оптимізації (рис. 3, 4, 5) та складені рівняння регресії.

Рівняння регресії залежності модулю помелу ( $M$ ), коефіцієнту кавітації ( $K_{кав}$ ) та питомих витрат енергії ( $q$ ) від тривалості часу оброблення ( $t$ ) при заданій частоті обертання ротора диспергатора ( $n$ ) для кормосуміші: зерно ячменя + вода (1:3) має вигляд:

$$\begin{aligned} M &= 3,362 - 0,056x - 0,001y + 0,0004x^2 + 5,25 \cdot E^{-6}xy + 1,2 \cdot E^{-7}y^2; \\ K_{кав} &= -1,08 + 0,0097x + 0,0008y - 3,75 \cdot E^{-5}x^2 - 2 \cdot E^{-6}xy - 1 \cdot E^{-7}y^2; \\ q &= -36,7306 + 1,5785 \cdot x + 0,0173 \cdot y - 0,005 \cdot x^2 - 2,875E^{-5} \cdot x \cdot y - 1,5667E^{-6} \cdot y^2. \end{aligned} \quad (1)$$

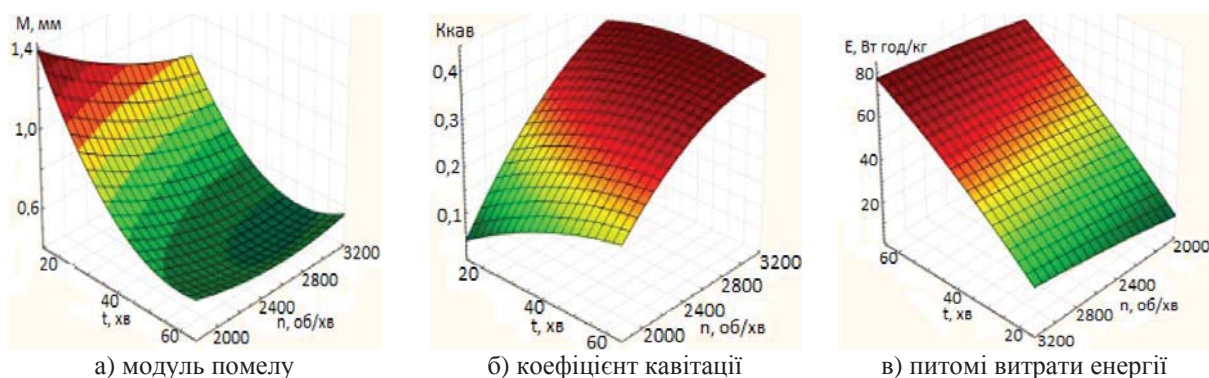


Рисунок 3 – Залежність критеріїв оптимізації від тривалості оброблення при заданій частоті обертання ротора диспергатора для кормової суміші: зерно ячменя + вода (1:3)

Рівняння регресії залежності модулю помелу ( $M$ ), коефіцієнту кавітації ( $K_{кав}$ ) та питомих витрат енергії ( $q$ ) від тривалості оброблення ( $t$ ) при заданій частоті обертання ротора диспергатора ( $n$ ) для кормової суміші: пивна дробина + вода (1:2) має такий вигляд:

$$\begin{aligned} M &= 5,119 - 0,031x - 0,0023y + 0,0001x^2 + 4 \cdot E^{-6}xy + 3,8667 \cdot E^{-7}y^2; \\ K_{кав} &= -0,075 - 0,0001x + 0,0003y + 6,25 \cdot E^{-5}x^2 - 2,25 \cdot E^{-6}xy - 2 \cdot E^{-8}y^2; \\ q &= 120,9 + 0,0615x - 0,1029y - 0,0038x^2 + 0,0004xy + 2,15 \cdot E^{-5}y^2. \end{aligned} \quad (2)$$



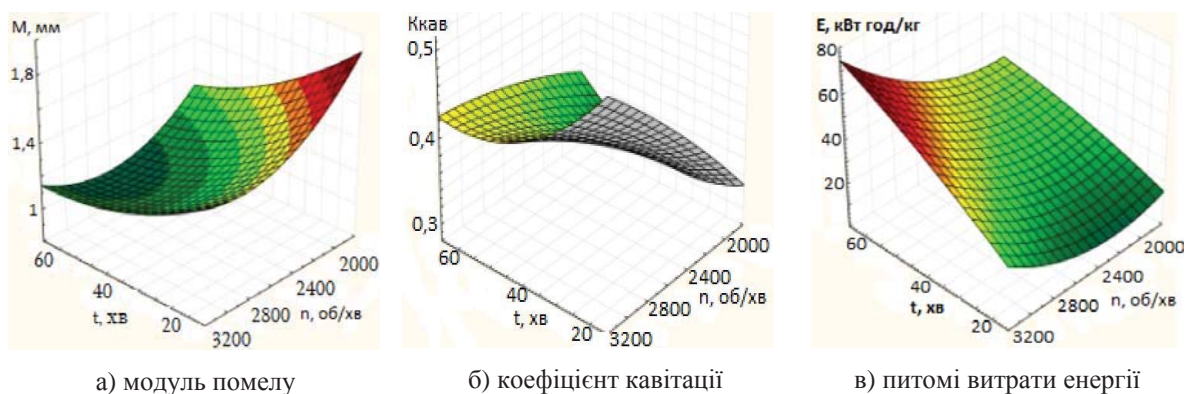


Рисунок 4 – Залежність критеріїв оптимізації від тривалості оброблення при заданій частоті обертання ротора диспергатора для кормової суміші: пивна дробина + вода (1:2)

Рівняння регресії залежності модулю помелу ( $M$ ), коефіцієнту кавітації ( $K_{кав}$ ) та питомих витрат енергії ( $q$ ) від зміни часу оброблення ( $t$ ) та температури кормової суміші: зелена маса + пивна дробина + зерно ячменя (2:2:1) + вода (1:3) має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} M &= 1,35 - 0,04x + 0,028y + 0,0004x^2 - 9,225 \cdot E^{-5}xy - 0,0002y^2; \\ K_{кав} &= 0,517 - 0,0052x - 0,0027y + 4,834 \cdot E^{-5}x^2 + 1,81 \cdot E^{-5}xy + 3,07 \cdot E^{-5}y^2; \\ q &= -3,45 \cdot E^{-11} + 0,938x + 2,76 \cdot E^{-12}y - 2,26 \cdot E^{-14}x^2 + 7,101 \cdot E^{-14}xy - 5,54 \cdot E^{-14}y^2. \end{aligned} \quad (3)$$

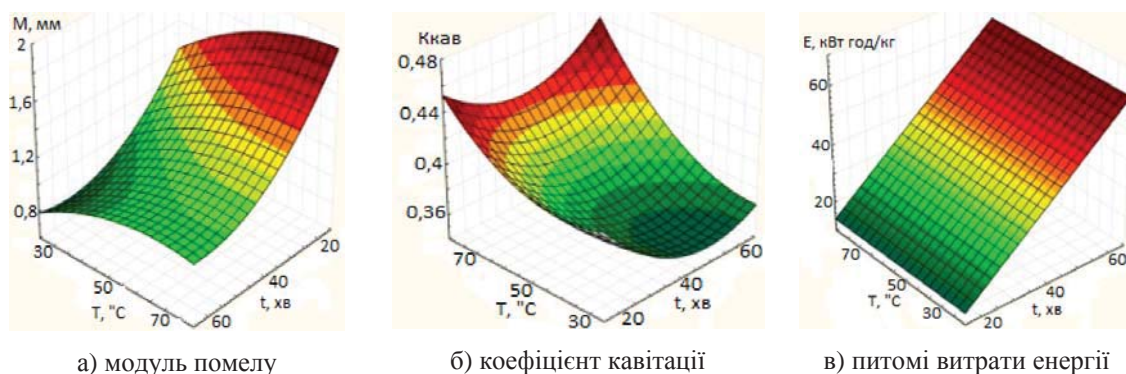


Рисунок 5 – Залежність критеріїв оптимізації від тривалості оброблення та температури для кормової суміші: зелена маса + пивна дробина + зерно ячменя (2:2:1) + вода (1:3)

Для знаходження оптимальних значень частоти обертання ротора удосконаленого диспергатора та тривалості процесу оброблення вирішено компромісну задачу пошуку оптимальних значень досліджуваних факторів на параметри оптимізації. Умова компромісної задачі має вигляд:

$$\begin{cases} M(t, n) \rightarrow \min; \\ q(t, n) \rightarrow \min; \\ 20 \leq t \leq 60; \\ 2000 \leq n \leq 3000; \\ T \leq 60; \\ K_{кав} \leq 1. \end{cases}$$

Вирішуючи цю систему з використанням програмного пакету Mathematica, визначено діапазон оптимальних значень показників: частота обертання ротора диспергатора  $n = 2810 \dots 2960$  об/хв. при тривалості робочого процесу подрібнення

$t = 24...28$  хв. При цих параметрах температура суміші ( $T$ ) не перевищує  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Результати досліджень приведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Критерії оптимізації для різних кормових сумішей при оптимальних значеннях режимів роботи удосконаленого роторно-кавітаційного диспергатора

Кормосуміш	зерно ячменя + вода (1:3)	пивна дробина + вода (1:2)	зелена маса гороху + пивна дробина + зерно ячменя (2:2:1) + вода (1:3)
Модуль помелу $M$ , мм	0,735...0,628	1,293...1,241	1,437...1,349
Коефіцієнт кавітації $K_{\text{кав}}$	0,454...0,488	0,492...0,497	0,390...0,388
Питомі витрати енергії $q$ , Вт·год/кг	32,58...38,65	27,78...36,59	22,51...26,25

Аналіз рівнянь (1-3) та побудованих на їх основі поверхонь відгуку (рис. 3-5) дозволяє наочно оцінити кількісний внесок кожного з досліджуваних факторів і визначити їх оптимальне значення.

**Висновки.** За результатами експериментальних досліджень робочого процесу подрібнення (диспергації) компонентів кормових сумішей на базі рідкого середовища:

- отримано математичні моделі другого порядку, які адекватно описують робочий процес диспергації компонентів кормової суміші, та проведено їх аналіз;

- визначено оптимальні режими роботи удосконаленого зразка роторно-кавітаційного диспергатора: частота обертання ротора  $n=2810...2960$  об/хв. при тривалості робочого процесу  $t = 24...28$  хв.

## Список літератури

1. Промтов. М. А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов // Вестник ТГТУ. – 2008. – Том 14. – № 4. – С. 861-869.
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/component/content/article/43-selskohozyajstvennoe-proizvodstvo/63-proizvodstvo-kormov-dlya-zhivotnyh.html>
4. Пат. 74084 Российская Федерация, МПК В06В1/20. Кавитационный гидроударный диспергатор [Текст] / Мозговой В. Г., Алтухов А. М.; заявитель и патентообладатель Мозговой В. Г., Алтухов А. М. – № 2008107489/22; заявл. 26.02.08; опубл. 20.06.08, Бюл. № 17. – 3 с.
5. Кормоприготовительные агрегаты серии «Мрия» [Интернет ре-сурс] / Общество с ограниченной ответственностью Научно-Производственный Внедренческий Центр Академии Инженер-ных Наук Украины // Официальный сайт ООО НПЦ АИНУ. – Режим доступа : <http://agrokokorm.info/ru/kormoagregat/1/>
6. 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.
7. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рощин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.
8. ГОСТ 13496.8-72. Комбикорма. Методы определения крупности размола и содержания неразмолотых семян культурных и дикорастущих растений; введ. 01.01.73; с Изм. № 1, 2, 3, 4. – 68 с.

9. Шаршунов В. А. Методика определения ударного давления кавитационных пузырьков в роторном измельчителе - диспергаторе // В. А. Шаршунов, А. В. Червяков, П. Ю. Крупенин // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. –2011. – № 2. – С. 67–72.
10. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. / В.Боровиков. - 2-е изд. (+CD). - СПб.: Питер, 2003. - 688 с.: ил.

**Valentina Pavlichenko, Viktor Lykhodid, Pavel Lutz, Andrey Sichkar, Sergii Doruda**

*Zaporozh'ye research center of Mechanization of animal husbandry, Zaporozh'ye*

**Justification of optimal operating modes of advanced design rotary cavitation dispersant during the grinding plant feed**

Justification of optimal operating modes of created improved sample of rotary cavitation dispersant during the grinding plant feed.

Presented the results of experimental studies of the process of grinding (dispersion) component of feed mixtures and displays the optimum combination of factors that significantly affect the optimization criteria. Obtained mathematical models of the second order, which adequately describe the process of dispersion component of feed mixture. Proved optimal modes of advanced sample of rotary cavitation dispersant and established their influence on the quality and energy performance of working crushing process plant feed at a variety of their composition.

The results of experimental research is the foundation for further improvement work of the existing structures of dispersants of similar purpose.

**plant foods, rotary-cavitation dispersant, an improved sample, grinding, optimal modes, justification**

Одержано 29.09.14

**УДК 620.193.95**

**І.С. Павлюченко, асист.**

*Миколаївський національний аграрний університет*

## **Дослідження ефекту самозагострення монометалевих і зміцнених двушарових лез прорізаючого робочого органу**

Наведено проблему забезпечення підвищення надійності агрегатів прямого посіву. Розглянуто використання різних видів зміцнення лез прорізаючого робочого органу. Визначено методику дослідження процесу зношування. Наведено результати випробування дослідних зміцнених зразків зубів прорізаючого робочого органу. Охарактеризовано умови досягнення явища самозагострення лез.

**зношування, зміцнення, лезо, експлуатація, самозагострення, затуплення**

**И.С. Павлюченко, ассист.**

*Николаевский национальный аграрный университет*

## **Исследование эффекта самозатачивания монометаллических и укрепленных двушаровых лезвий прорезающего рабочего органа**

Приведена проблема обеспечения повышенной надежности агрегатов прямого посева. Рассмотрено использование различных видов укрепления лезвий прорезающего рабочего органа. Определена методика исследования процесса износа лезвий прорезающего рабочего органа. Приведены результаты испытания опытных упрочненных образцов зубов прорезающего рабочего органа. Охарактеризованы условия достижения явления самозатачивания лезвий.

**износ, укрепление, лезвие, эксплуатация, самозатачивание, затупление**

© І.С. Павлюченко, 2014