

В. Б. Тарельник, д.т.н., проф., О. А. Саржанов, к.т.н., доц., О. О. Соларьов, к.т.н., доц.,  
Б. О. Саржанов, аспірант (Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна)

## Екологічно безпечна технологія збільшення експлуатаційного періоду молоткової дробарки

У даній статті проаналізовані етапи зносу молотків кормових дробарок, які використовуються у тваринницькій галузі. Від процесу приготування корму залежить кількість продукції, яку ми в подальшому отримувемо, тому це питання є досить актуальним. Одним з найбільш ефективних способів підвищити термін експлуатації кормових дробарок є удосконалення молотків, тому що з усіх елементів машин найшвидше виходять з ладу. Аналіз методів зміцнення молотків молоткових дробарок показав, що найбільш перспективною, в даному випадку, може бути технологія електроіскрового легування (ЕІЛ). Перевагою ЕІЛ є екологічна безпека процесу, висока міцність зчеплення легованого шару і матеріалу основи, можливість нанесення на зміцнювальну поверхню будь-яких струмопровідних матеріалів, низька енергоємність процесу, простота виконання технологічної операції. В якості матеріалу легування, на основі проведених порівняльних випробувань, обрали твердий сплав Т15К6.

**Ключові слова:** кормова дробарка, молоток, подрібнення, електроерозійне легування.

В данной статье проанализированы этапы износа молотков кормовых дробилок, которые используются в животноводческой отрасли. От процесса приготовления корма зависит количество продукции, которую мы в дальнейшем получаем, поэтому этот вопрос является весьма актуальным. Одним из наиболее эффективных способов повысить срок эксплуатации кормовых дробилок является усовершенствование молотков, потому что из всех элементов машин быстро выходят из строя. Анализ методов укрепления молотков молотковых дробилок показал, что наиболее перспективной, в данном случае, может быть технология электроискрового легирования (ЭИЛ). Преимуществом ЭИЛ является экологическая безопасность процесса, высокая прочность сцепления легированного слоя и материала основания, возможность нанесения на укрепляющую поверхность любых токопроводящих материалов, низкая энергоёмкость процесса, простота выполнения технологической операции. В качестве материала легирования, на основе проведенных сравнительных испытаний, выбрали твердый сплав Т15К6.

**Ключевые слова:** кормовая дробилка, молоток, измельчения, электроэрозионное легирование.

In this article, the stages of the demolition of feeder crushers used in the livestock sector are analyzed. From the process of preparing food depends on the quantity of products that we receive in the future, so this question is very relevant. One of the most effective ways to increase the lifespan of feed crushers is to improve the hammer, because of all the machine elements are fastest failing. An analysis of methods for strengthening hammer hammer crushers showed that the most promising, in this case, may be the technology of electroerosive doping (EIL). The advantage of EIL is the environmental safety of the process, the high strength of the adhesion of the alloyed layer and the material of the base, the ability to apply any reinforcement to the reinforcing surface of any conductive materials, low power consumption of the process, the ease of carrying out the technological operation. As a doping material, based on the comparative trials, a solid T15K6 alloy was selected.

**Keywords:** feed crusher, hammer, grinding, electroerosive doping.

### Вступ

До найважливіших заходів, спрямованих на розвиток тваринництва і прискорення науково-технічного прогресу належить виведення, з урахуванням вимог машинних технологій, нових і поліпшенню існуючих порід тварин, удосконалення способів їх утримання та впровадження високоефективних типів годівлі і структури кормових раціонів.

Усі ці заходи повинні забезпечувати на тваринницьких фермах умови, які позитивно впливають на стан здоров'я і зростання продуктивності тварин, виключають псування продукції, сприяють раціональному використанню всіх ресурсів, пов'язаних з виробництвом продукції. Завдяки механізації та автоматизації створюються передумови для значного зменшення затрат праці на виробництво, зберігання і приготування кормів.

Природно-кліматичні та економічні умови дають можливість розвивати в Україні молочне скотарство, але на жаль, данні останніх років невтішні: виробництво молока та молочних продуктів в господарствах різних форм власності зменшується, а в більшості підприємств молочне скотарство збиткове. Основною причиною є недостача якісних кормів.

Подрібнення – найбільш поширена та важлива операція в технологічному процесі приготування кормів до

годівлі сільськогосподарським тваринам, обумовлена вимогами фізіології їх годування. Так як поживні речовини засвоюються організмом тварини лише в розчинному виді, то швидкість обробки частинок корму шлунковим соком прямо пропорційна площині їх поверхні. У результаті подрібнення кормів утворюється багато частинок з великою загальною площею поверхні, що сприяє прискоренню травлення та підвищенню засвоєння поживних речовин.

Подрібнення кормів можна характеризувати як процес утворення додаткових поверхонь матеріалу, що є дуже корисним для підвищення ефективності молочного скотарства та інших галузей тваринництва. Таким чином, роботи, направлені на вирішення проблем, пов'язаних з підвищенням надійності та довговічності машин, задіяних в процесі подрібнення, є актуальними.

### Аналіз основних досягнень і публікацій

В [1] на підставі результатів аналітичних досліджень подрібнювачів зернових кормів запропонована гіпотеза створення нової конструкції подрібнювача. В результаті реалізації запропонованої гіпотези розроблена нова конструкція подрібнювача, в якій процес подрібнення буде здійснюватися різанням і енергетичні витрати будуть направлені тільки на процес подрібнення, що безумовно приведе до зниження загальних енергетичних витрат на подрібнення зернових кормів і

підвищення якості продуктів подрібнення.

Для подрібнення зерна застосовують різні типи подрібнювачів. Найбільше розповсюдження отримали молоткові дробарки, які найбільш повно задовольняють вимогам, пропонованим до машин, що подрібнюють і мають цілий ряд переваг у порівнянні з іншими машинами того ж призначення. Але молоткові дробарки мають суттєвий недолік. В конструкції молоткових дробарок закладені принципи подрібнення зерна, що обумовлюють переподрібнення значної частини маси. Потрапляючи в зону молотків, великі частки, маючи більшу інерційність, розміщаються на периферії шару на верхній решета. Вони закривають вихід більш дрібним часткам, які відтискуються до центра обертання ротора й додатково подрібнюються, що веде до зниження якості одержуваного продукту та підвищенню енерговитрат [2].

В [3] авторами запропонований спосіб вдосконалення процесу подрібнення зерна, який полягає в тому, що для одержання максимальної однорідності подрібненого матеріалу необхідно застосовувати подачу зерна на подрібнення з попередньою сепарацією на фракції за фізико-механічними властивостями, здійснювати руйнування його прямим ударом і видалення подрібнених часток із дробильної камери в міру їхнього утворення за рахунок їх сепарації крізь щілинні та жалюзійні сепаратори. Цим вимогам відповідає розроблений спосіб подрібнення зерна прямим ударом з попередньою його сепарацією та дробарка прямого удару з вдосконаленою системою сепарування зерна та продуктів подрібнення, новизна технічного рішення якою захищена чотирма патентами України на винахід №76556, №86897, №93312, №95435 та чотирма деклараційними патентами на корисні моделі №61505А, №3304, №11099, №50426. Використання робочого органу подрібнення у вигляді тонких металевих пальців (стрижнів) з системою попередньої сепарації зерна та сепарації продуктів подрібнення дозволяє знизити питому енергоємність для отримання модуля помелу  $M=1,4...2,0$  мм більш ніж удвічі з 6,62...8,35 у молотковій дробарці до 2,78...3,55 кВт год./т у пропонуемій дробарці прямого удару.

Огляд літературних джерел показав, що на сьогоднішній день на тваринницьких фермах існує досить велика кількість обладнання з різною будовою та параметрами роботи, яке використовується для подрібнення та змішування корму, яке має досить різні будову та параметри роботи [4-9].

Молоткові дробарки складають 90 % всіх технологічних ліній по приготуванню корму в тваринницькій галузі. Вони досить ефективно та якісно виконують процес подрібнення і, таким чином, задовольняють потреби цього процесу. Молоткові дробарки складають окрему групу високошвидкісних машин ударної дії [10].

Однією з найрозповсюдженіших причин виходу з ладу молоткової дробарки є надмірне зношення поверхонь молотків, які безпосередньо контактують з сировиною (зерно, грубі корми). В свою чергу це призводить до ряду негативних факторів, таких як різке зменшення продуктивності дробарки, збільшення фракції подрібненого матеріалу, а також збільшення вібрації та виходу з ладу підшипників валу.

На рис. 1 зображено графік часу роботи основних вузлів молоткової дробарки. Час роботи молотків найменший і складає майже 95 % основних причин виходу з ладу обладнання. Тому збільшення часу експлуатації молотків повинен суттєво підвищити строк безвідмовної експлуатації дробарки у цілому [11].

Для збільшення терміну експлуатації молоткових дробарок використовують наступні методи: зміна конструкції рухомих частин з метою

зменшення вібрацій під час процесу подрібнення; вдосконалення параметрів роботи молоткової дробарки; збільшення експлуатаційного терміну шляхом зменшення контактуючих поверхонь молотків з сировиною.

В [12] описано спосіб зміцнення граней молотків дробарки шляхом наварювання чавуну. Це потребує подальшого їх балансування. Але збільшення маси незбалансованих рухомих деталей викликає вібрації та додаткові навантаження на підшипники.

Існують різні способи поверхневого зміцнення деталей, підвищення їх корозійної стійкості і зниження тертя сполучених поверхонь, що труться. До них відносяться: поверхнева термічна та хіміко-термічна обробки, гальванічне нанесення покриття і т. д. Але ці способи сприяють забрудненню навколишнього середовища через застосування шкідливих речовин (наприклад, аміак при азотуванні, ціаністі солі при ціануванні тощо).

До числа сучасних методів поверхневої обробки металевих поверхонь відноситься електроіскрове легування (ЕІЛ), що дозволяє отримувати поверхневі структури з унікальними фізико-механічними і трибологічними властивостями. Перевагою ЕІЛ є екологічна безпека процесу, висока міцність зчеплення легованого шару і матеріалу основи, можливість нанесення на зміцнювальну поверхню будь-яких струмопровідних матеріалів, низька енергоємність процесу, простота виконання технологічної операції [13].

В [14-16] відмічається, що при електроіскровому легуванні протікають наступні процеси: перенесення матеріалу на поверхню деталі з легуючого електрода з утворенням механічних сумішей, твердих розчинів, хімічних сполук; надшвидкісне гартування, при короткочасному нагріванні розрядом електричного струму до високої температури, а потім миттєве охолодження; пластичне деформування при локальній дії на матеріал імпульсного тиску; азотування, цементація, оксидування і т.д., що відбуваються при взаємодії з навколишнім середовищем.

Процес ЕІЛ екологічно чистий і безпечний, тому що здійснюється при напрузі 20-100 В і тривалості імпульсних розрядів  $10^{-6}$ - $10^{-3}$  с. При цьому товщина формованих шарів з твердих сплавів становить ~0,01-0,15 мм, а з пластичних і більш легкоплавких матеріалів шар покриття може досягати  $\geq 0,3$ -0,5 мм.

Таким чином, на підставі проведених досліджень, встановлено, що найбільш перспективним та екологічно безпечним методом зміцнення поверхонь молотків молоткових дробарок є метод ЕІЛ.

**Метою** дійсної роботи є підвищення надійності та довговічності роботи молоткової дробарки, за рахунок зміцнення методом електроіскрового легування молотків та вибору, шляхом проведення в умовах виробництва порівняльних випробувань, найкращого матеріалу електрода.

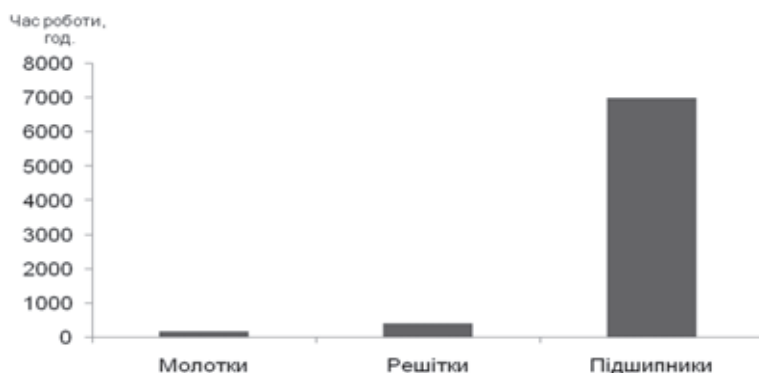


Рис. 1. Деталі дробарок, які найшвидше виходять з ладу.

### Методика досліджень

Для зміцнення молотків молоткової дробарки використовували установку електроерозійного легування моделі «Елітрон-22А», яка призначена для зміцнюючо-легуючої електроіскрової обробки поверхонь деталей машин, штампів, ріжучого інструмента та ін. (рис. 2). Вона відрізняється простотою в використанні, компактними габаритними розмірами та невеликою масою, достатньою продуктивністю, зручна в транспортуванні і пристосована для роботи в будь-яких виробничих умовах.



Рис. 2. Установка „Елітрон – 22А”.

На якісні параметри покриттів впливає обраний режим роботи установки. Режими роботи установки моделі «Елітрон 22А» приведені в табл. 1.

На підставі літературного огляду, та з досвіду попередніх досліджень, для ЕІЛ молотків молоткових дробарок вибираємо 5-й режим роботи установки, при якому енергія розряду  $W_p$ , складає 0,39 Дж.

Для проведення досліджень і визначення найбільш раціонального матеріалу легуючого електрода використовували матеріали з різними фізико-механічними властивостями (табл. 2): хром та тверді сплави ВК8 і Т15К6.

Для порівняльних випробувань використовували дробарку КДУ-2 українського виробництва з розмірами молотка 110×50×5 мм. Молоток (рис. 3) виготовлений зі сталі 65Г з наступною термічною обробкою на твердість поверхні 50-55 HRC.

Робоче місце оператора оснащується місцевим ви-

світленням і місцевою проточно-втяжною вентиляцією для видалення виділень, які утворюються при ЕЕЛ. При висвітленні лампами накаливання, освітленість на рівні робочого місця повинна бути не менш 150 Лк, при висвітленні люмінесцентними лампами ДСТ 6825-74 - не менш 300 Лк. Робочий верстат оператора повинний бути обладнаний лещатами з губками з м'якого металу. Процес ЕІЛ робочих поверхонь молотків відбувається наступним чином:

- спочатку поверхню молотків, на яку наносили зміцнююче покриття, знежирюють (обробляють ацетоном, уайт-спіритом, спиртом та ін.);
- молоток закріплюють в лещатах під кутом 70°, що є оптимальним для кращого нанесення матеріалу електрода і зчеплення з основою;
- закріплюють електрод  $\varnothing 3$  мм та довжиною 40 мм в ручний вібратор, та починають ЕІЛ.

Товщина прирощеного шару вимірялась мікрометром по найбільш виступаючих нерівностях. Середнє арифметичне відхилення нерівностей профілю поверхні (Ra), мкм - визначалось за допомогою профілографо-профілометра моделі 201 заводу «Калібр». Приблизна оцінка суцільності виконується за допомогою лупи 4-7 кратного збільшення за ГОСТ 25706.

Після нанесення покриттів молотки встановлювали на дробарку КДУ-2 і випробували в умовах виробництва. В процесі проведення випробувань через кожні 50 годин проводили зупинку дробарки і замір величини зносу робочих граней молотків по передній та по задній поверхні (рис. 4).

На рис. 4 з показані етапи зношування та найбільш вразливі ділянки зношування молотка зернової дробарки.

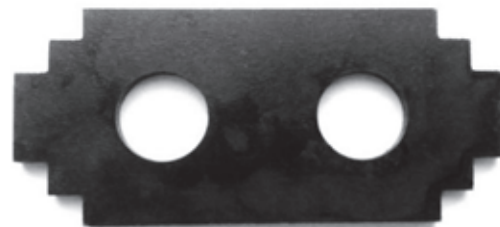


Рис. 3. Области зносу молотка дробарки КДУ.

Таблиця 1. Режими роботи установки моделі «Елітрон 22А»

№ режиму	Напруга холостого ходу $U_{х.х.}$ , В	Робочий струм $I_p$ , А	Ємність накопичувального конденсатора С, мкФ	Енергія розряду $W_p$ , Дж
1	15	0,4-0,7	360	0,02
2	22	0,7-0,8		0,05
3	35	0,9-1,3		0,13
4	50	1,4-1,8		0,27
<b>5</b>	<b>60</b>	<b>1,9-2,3</b>		<b>0,39</b>
6	70	2,4-2,8		0,52

Таблиця 2. Фізико-механічні властивості матеріалів, застосовуваних при ЕЕЛ як анод (легуючого електрода).

Марка матеріалу	Температура плавлення, °С	Твердість	Теплопровідність, Вт/(м·К)	Коефіцієнт лінійного розширення, $10^{-6}$ град <sup>-1</sup>
Твердий сплав ВК8	-	88,5 HRA	5,0	5,1
Твердий сплав Т15К6	-	90,2 HRA	12,5	5,6
Хром	1860	52 HRA	88,6	6,2
65Г*	1563	269 HB	115	11,1

\* матеріал виготовлення молотків дробарки.

Знос поверхонь замірявся за допомогою інструментального мікроскопу МІМ-9. Для нормальної роботи дробарки критерієм зносу є знос поверхні на величину яка не повинна перевищувати 4мм.

#### Викладення основного матеріалу досліджень

Одержання покриттів методом ЕІЛ є складним фізичним процесом, залежним від багатьох факторів. Поверхня яка зміцнюється піддається термічному і механічному впливу, дії навколишнього середовища. При електроерозійному розряді відбувається ерозія матеріалу і відкладення його на поверхні катода.

При зближенні електродів напруженість електричного поля збільшується. На деякій відстані між електродами вона стає достатньою для виникнення електричного розряду. Через виникаючий канал наскрізної провідності пучок електронів вдаряється об тверду металеву поверхню аноду (електроду). Енергія руху зупинених електронів виділяється в поверхневих шарах аноду. У зв'язку з тим, що в даний момент система стрибкоподібно звільняє накопичену енергію, щільність струму значно перевершує критичні значення. У результаті цього від аноду відокремлюється крапля розплавленого металу, що рухається до катода (деталі), випереджаючи анод, що також рухається.

У процесі відділення від анода крапля, що летить, устигає нагрітися до високої температури, закипає або „вибухає”. Ланцюг струму переривається, стискальні зусилля електромагнітного поля зникають і тому частки, що утворилися, летять широким фронтом. Так як перегріта крапля і частки знаходилися у контакті з газом (навколишнє середовище), то по складу і властивостям вони можуть відрізнятися від вихідного матеріалу анода. Розплавлені частки, досягнувши катода, зварюються з ним і частково упродовжуються в його поверхню. Слідом за частками рухається електрод, включений у систему, що встигла знову нагромадити енергію. Через розпечені частки, що лежать на катоді, проходить другий імпульс струму, що супроводжується механічним ударом рухомого електрода. На наступному етапі при механічному контакті електродів частки зварюються між собою і прогрівається тонкий шар поверхні катода. При цьому, крім дифузійного масопереносу, під дією електричного струму в тілі катода відбуваються хімічні реакції між частками, що наносяться, і матеріалом катода. Механічний удар електрода по розпеченій масі матеріалів покриває отримане покриття, що значно збільшує його однорідність і щільність. Далі анод рухається нагору, а на поверхні катода залишається міцно з'єднаний з ним шар матеріалу анода.

В табл. 3 приведені усереднені значення шорсткості сталі 65 Г в залежності від матеріалу легуючого електрода, та режиму легування.

Аналіз залежності шорсткості поверхні сталі 65Г від режиму легування показує, що з зростанням режиму ле-

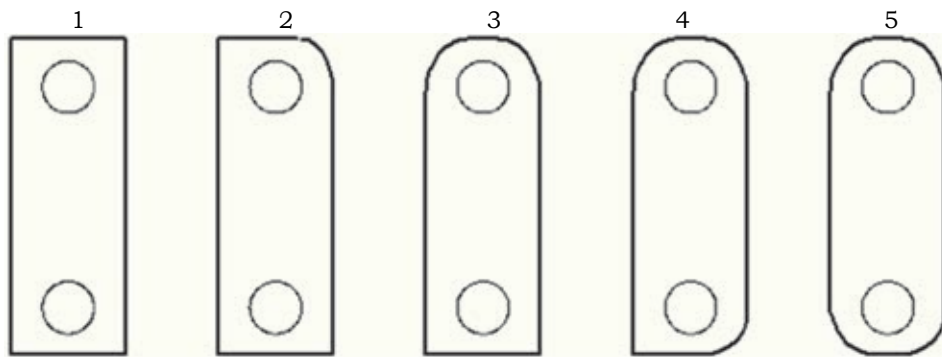


Рис. 4. Етапи та ділянки зношування молотка зернової дробарки.

гування шорсткість поверхні збільшується. На наш погляд найбільш прийнятним буде 5-й режим легування, який дозволить перенести достатню кількість легуючого матеріалу і при цьому зберегти достатньо невелику шорсткість поверхні Ra=7,9 мкм.

В табл. 4 та на рис. 5 приведені результати порівняльних випробувань молотків при подрібненні зерна.

З приведених результатів видно, що при застосуванні хрому в якості легуючого елемента ми отримали збільшення строку використання молотків приблизно в 1,8 рази, твердого сплаву ВК8 – в 2,3 рази, а твердого сплаву Т15К6 – 3,5 рази в порівнянні з строком використання без обробки.

Таким чином, в результаті проведених випробувань і аналізу отриманих даних, ми можемо вибрати найбільш ефективний матеріал легуючого електрода – твердий сплав Т15К6, завдяки якому строк використання молотків виріс приблизно у 3,5 рази.

Таким чином, в результаті проведених досліджень можна зробити наступні **висновки**:

Таблиця 3. Шорсткість поверхні сталі 65 Г після ЕІЛ хромом, твердим сплавом ВК8 та Т15К6

Матеріал основи	Матеріал електрода	Шорсткість, Ra, мкм			
		Режим ЕІЛ			
		1	3	5	6
Сталь	Хром	2,9	3,5	4,8	6,5
65 Г	ВК8	3,9	5,6	7,9	7,9
	Т15К6	3,9	5,6	7,9	10,9

1. Аналіз методів зміцнення молотків молоткових дробарок показав, що найбільш перспективною, в даному випадку, може бути технологія електроіскрового легування, яка дозволяє отримувати поверхневі структури з унікальними фізико-механічними і трибологічними властивостями. Перевагою ЕІЛ є екологічна безпека процесу, висока міцність зчеплення легованого шару і матеріалу основи, можливість нанесення на зміцнювальну поверхню будь-яких струмопровідних мате-

Таблиця 4. Величини зносу молотків дробарки

Матеріал	Години роботи								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Т15К6	0,75	1,6	2,1	2,7	3,1	3,5	3,75	3,9	4,1
ВК8	1,3	2,2	2,8	3,4	4,0	-	-	-	-
Хром	1,5	2,6	3,3	4,0	-	-	-	-	-
65Г	2,3	3,8	5,1	-	-	-	-	-	-

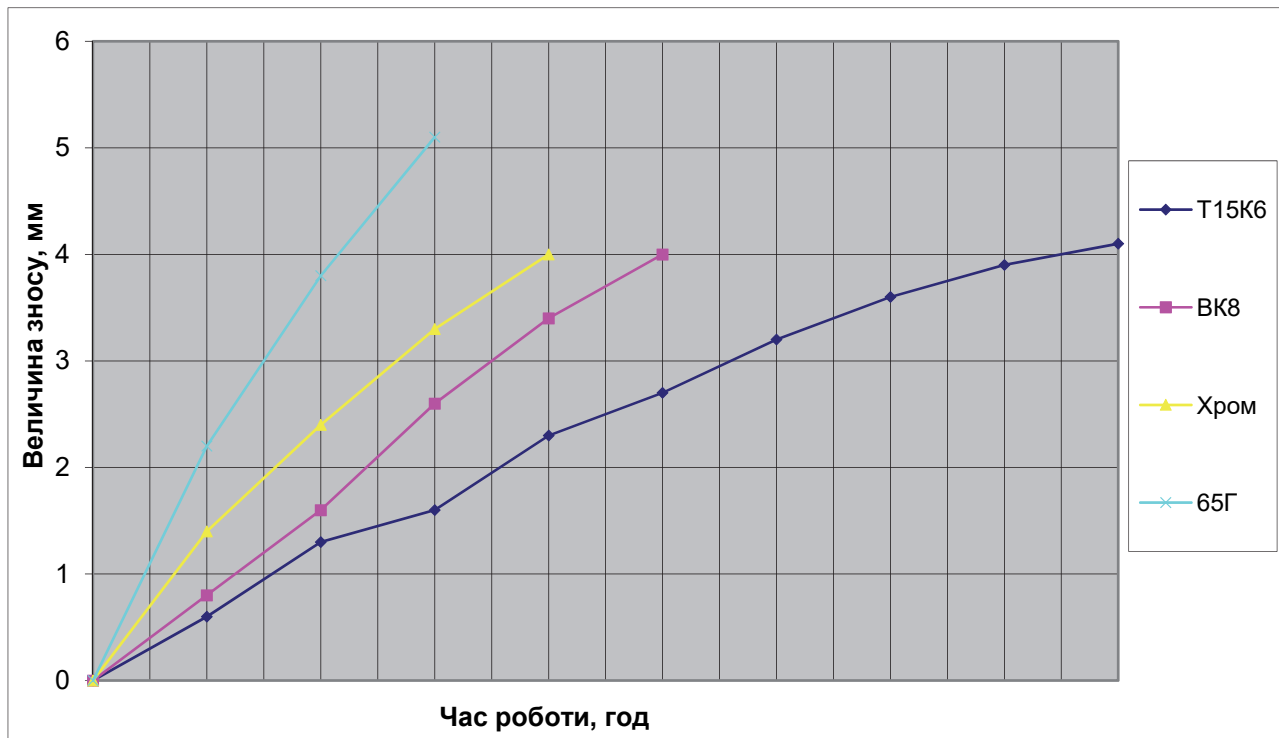


Рис. 5. Графік залежності величини зносу молотків від часу роботи дробарки і матеріалу легування.

ріалів, низька енергоємність процесу, простота виконання технологічної операції.

2. Аналіз заміру шорсткості поверхні показав, що найбільш цікавим режимом зміцнення молотків дробарки є 6-ий режим, що дозволяє перенести велику кількість матеріалу легуючого електроду і при цьому зберегти достатньо невелику шорсткість поверхні  $Ra=7,9$  мкм.

3. В якості матеріалу легування, на основі проведених порівняльних випробувань, обрали твердий сплав T15K6.

#### Література:

1. Нанка О.В., Бойко І.Г. Шляхи зниження енергоємності подрібнення зернових кормів та підвищення якості подрібнення. Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка

2008. С. 55-58.

2. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм.-А.: Колос, 1978.-560 с.

3. Гвоздев О.В., Шпиганович Т.О., Ялпачик О.В. Вдосконалення процесу подрібнення зерна. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету №9 2011 р. С. 143-150.

4. Поярков М.С. Совершенствование рабочего процесса молотковых дробилок с жалюзийными сепараторами при одно- и двухступенчатом измельчении зерна. Автореф. дис. ...канд. техн. наук. Киров – 2001. -22 с.

5. Алешкин В.Р. Повышение эффективности процесса и технических средств механизации измельчения кормов: Дис...д-ра техн. наук.- Киров, 1995.- 412с.

6. Черепанов С.В. Современные технологии дробления: от идеи до воплощения./ С.В. Черепанов, В.О. Карпушенко, М.В. Архипова // Хранение и переработка зерна. 2004.- №1. С. 37-38.

7. Декларативний патент України на винахід № 61505 А МПК В 02В 3/02./ Ялпачик Ф.Ю., Фучаджи Н.О., Гвоздев О.В. Бюл. №11, від 17. 11. 2003.

8. Шпиганович Т.О. Обґрунтування конструктивних параметрів дробарки зерна прямого удару з попере-

дньою сепарацією зернового матеріалу// Т.О. Шпиганович, О.В. Ялпачик. Праці Таверійського державного аграрно-технологічного університету.- Мелітополь: ТДАТУ. Вип. 10, т.3. – 2010. С.23 – 35.

9. Патент на винахід № 95435. Україна, А23N5/00, В02С 13/00/ Пристрій для луцення та подрібнення зерна./ Т.О. Шпиганович, О.В. Ялпачик. Бюл.№14 від 25.07.2011.

10. Петров А. А. Повышение надежности рабочих органов кормодробилок молоткового типа : дис. канд. : 05.20.03 / Петров Алексей Анатольевич – Оренбург, 2007. – 153 с.

11. Федченко З. А. Обґрунтування параметрів сепаруючих решіт молоткових зернових дробарок : дис. канд. : 05.05.11 / ФЕДЧЕНКО Зоя Анатоліївна – Тернопіль, 2017. – 182 с.

12. Подрібнення зерна і компонентів комбікормів [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://soft-agro.com/uk/kormovirobnytvo/podribnennya-zerna-i-komponentiv-kombikormiv.html>.

13. Тарельник В. Б. Управление качеством поверхностей слоев деталей комбинированным электроэрозионным легированием: монография / В. Б. Тарельник. – Сумы : МақДен, 2002. – 324 с.

14. Гитлевич А. Е. Электроискровое легирование металлических поверхностей / А. Е. Гитлевич, В. В. Михайлов, Н. Я. Парканский, В. М. Ревуцкий. – Кишинёв: Штиинца, 1985. –196 с.

15. Тарельник В. Б. Модернизация и ремонт роторных машин: монография / В. Б. Тарельник, В. С. Марцинковский. – Сумы: Издательство «Казацкий вал», 2005. – 364 с.

16. Михайлов В. В. Электроискровое легирование титана и его сплавов, физико-технологические аспекты и возможность практического использования. Краткий обзор. Часть I. Особенности массопереноса, структурные и фазовые превращения в поверхностных слоях, их износостойкость и жаростойкость / В. В. Михайлов, А. Е. Гитлевич, А. Д. Верхотуров, А. И. Михайлюк, А. В. Беляков, Л. А. Коневцов // Электронная обработка материалов. – 2013. – №49(5). – С. 21–44.