

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ЗМІЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ІНСТРУМЕНТА ШЛЯХОМ ВПЛИВУ НА РОБОЧІ ПОВЕРХНІ ВИСОКОВОЛЬТНИХ РОЗРЯДІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Ковалевський С. В., Ковалевська О. С., Кошовий А. О., Євсюков Є. Ю.

На основе анализа физических эффектов воздействия электрического тока высокого напряжения на различные материалы предложен и рассмотрен новый технологический способ его воздействия на рабочие поверхности режущего инструмента с целью повышения его износостойкости. Техническим результатом исследованного метода является повышение периода стойкости рабочих поверхностей режущих инструментов за короткий промежуток времени, используя несложное оборудование, повышая производительность и снижая энергетические затраты. Представлены рекомендуемые значения режимов процесса обработки высоковольтным разрядом, предложен новый способ оценки степени износа на основе графического редактора по количеству пикселей, представлен вариант обработки данных, позволяющий проводить оценку качества технологического инструмента на основе ранжирования по прогнозируемой степени износа.

На основі аналізу фізичних ефектів впливу електричного струму високої напруги на різні матеріали запропоновано і розглянуто новий технологічний спосіб його впливу на робочі поверхні ріжучого інструменту з метою підвищення його зносостійкості. Технічним результатом дослідженого методу є підвищення періоду стійкості робочих поверхонь ріжучих інструментів за короткий проміжок часу, використовуючи нескладне обладнання, підвищуючи продуктивність і знижуючи енергетичні витрати. Представлені рекомендовані значення режимів процесу обробки високовольтним розрядом, запропоновано новий спосіб оцінки ступеня зносу на основі графічного редактора за кількістю пікселів, а також представлено варіант обробки даних, який дозволяє проводити оцінку якості технологічного інструменту на основі ранжирування за прогнозованим ступенем зносу.

A new technological way of acting on working surfaces of cutting tools with the aim of improving their durability is proposed and studied on the basis of the analysis of physical effects of high voltage electric current on various materials. The technical result of the method research lies in increasing the lifespan of working surfaces of cutting tools in a short period of time with the usage of simple equipment, improving productivity and reducing energy costs. Recommended values of the modes of high-voltage discharge treatment are proposed, a new method of data processing that allows the evaluation of wear degree according to the graphic editor on the number of pixels is represented, as well as a way of data processing, allowing to estimate the quality of a technological tool on the basis of ranking according to the predicted wear degree is considered.

Ковалевський С. В.

д-р техн. наук, проф., зав. каф. ТМ ДДМА  
[tiup@dgma.donetsk.ua](mailto:tiup@dgma.donetsk.ua)

Ковалевська О. С.

канд. техн. наук, доц. каф. ТМ ДДМА

Кошевий А. О.

аспірант ДДМА

Євсюков Є. Ю.

магістр каф. ТМ ДДМА  
[evgenii.evsyukov@gmail.com](mailto:evgenii.evsyukov@gmail.com)

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ.

УДК 621.787

**Ковалевський С. В., Ковалевська О. С., Кошовий А. О., Євсюков Є. Ю.**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ЗМІЦНЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ІНСТРУМЕНТА ШЛЯХОМ ВПЛИВУ НА РОБОЧІ ПОВЕРХНІ ВИСОКОВОЛЬТНИХ РОЗРЯДІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ**

Застосування технологій обробки виробів на основі використання електричних розрядів знаходить широке розповсюдження в умовах машинобудівного виробництва для технологічних цілей.

Інтенсивно розвиваються інтегровані технології модифікації властивостей поверхневого шару за рахунок послідовного здійснення різних по своїй фізичній сутності методів впливу на поверхню виробу [1]. Великий інтерес представляють технології підвищення міцності виробів наряду зі збільшенням зносостійкості ріжучих інструментів у поєднанні з високовольтною розрядною обробкою традиційними джерелами енергії. Використовуючи різні фізичні явища і процеси, дослідженню питань у цій галузі присвятили свої роботи технічні наукові школи в особі таких фахівців як А. Р. Суслов [2], С. А. Клименко [3], Н. С. Равська [4], В. А. Залого [5], С. С. Самотугин [6], А. С. Янюшкін [7].

Інтегровані технології сприяють підвищенню якості інструменту, однак у цьому напрямку є значні резерви вдосконалення, особливий інтерес в яких представляють способи енергетичного впливу на робочі поверхні виробів. Процес підвищення зносостійкості технологічного інструменту веде до підвищення продуктивності, точності, інтенсифікації процесів і зниженню собівартості, як наслідок – конкурентоспроможна ціна на ринку продукції.

Тому, задача вирішення проблеми підвищення зносостійкості робочих поверхонь технологічних інструментів шляхом його зміцнення на основі впливу на робочі поверхні – високовольтних електричних розрядів, є актуальною.

Мета роботи – обґрунтувати можливість застосування високовольтної розрядної обробки робочої частини технологічного інструмента для підвищення його якості.

Для досягнення цієї мети вирішено наступні задачі: сформульовано методику експериментальних досліджень; спроектовано та виготовлено оригінальне обладнання у вигляді експериментального стенду; запропонована і досліджена можливість оцінки якості технологічного інструменту за допомогою акустичних спектрів власних коливань; досліджено вплив високовольтних розрядів на знос інструменту; проведено експериментальні дослідження та виконано обробку отриманих даних; розроблено технологічні рекомендації щодо застосування нового методу; сформульовано практичні рекомендації оцінки якості технологічного інструменту на основі ранжування по прогнозованій ступені зносу (стійкості). В основу рішення цих завдань покладена гіпотеза про взаємозв'язок частот власних коливань. Для збудження власних коливань у роботі запропоновано метод впливу широкопasmовою (20–20000 Hz) збудливою дією у вигляді «білого шуму».

Об'єкт дослідження – експериментальні зразки, представлені комплектом змінних ріжучих пластин, в кількості  $N_{шт}$ .

Джерело «білого шуму» – генератор з нормованим сигналом.

Випромінювач – п'єзоелектричний.

Оцінка акустичних спектрів, збудливих «білим шумом», коливань – по амплітудно-частотним характеристикам сигналу (АЧХ).

Дослідження впливу високовольтних розрядів – на основі оцінки ступенів спектрів АЧХ за допомогою пакетів програм: «Frequency analyzer», «Wavetool», «Visual analyzer».

Площа зносу – у піксельному представленні, а світловий діапазон розподілу кольорів – за допомогою карт Кохонена в пакеті програми «Photoshop CS Extended».

Основна частина.

Послідовність проведення експерименту:

1. Для кожної ріжучої пластини з вихідними властивостями визначено амплітудно-частотні характеристики (рис. 1).

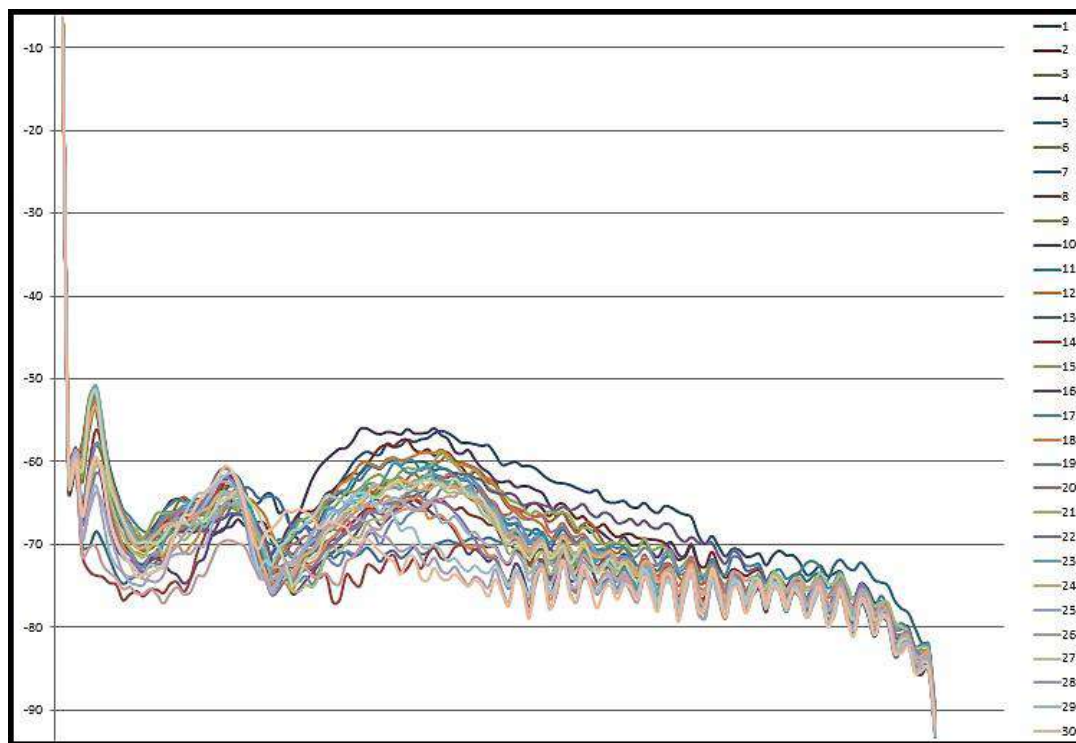


Рис. 1. Амплітудно-частотні характеристики ріжучих пластин вихідних властивостей

Вимірювання здійснюється наступним чином: за допомогою програмного продукту Visual Analyzer, встановленої на ЕОМ, сигнал у вигляді «Білого шуму» подається на збудливий п'єзовипромінювач, який сприймаючи сигнал перетворює його в механічні коливання, які через експериментальний зразок сприймаються п'єзодатчиком, який встановлений на протилежній стороні зразка. За допомогою програмного пакету Visual Analyzer для кожного зразка до і після впливу високовольтним розрядом фіксуються амплітудно-частотні характеристики цього сигналу.

2. Послідовно згідно рандомізації оброблено заготовку ріжучими пластинами  $N_{шт} = 30$  вихідних властивостей при однакових режимах різання:  $t = 0,2$  мм;  $s = 0,2$  мм/об;  $n = 1260$  об/хв, при довжині різання  $l = 285$  мм.

3. Визначено площу зносу для кожної пластини.

Площа зносу ріжучих пластин має невеликі розміри, тому її дослідження та вимірювання вимагає багатократного збільшення. Оскільки знос представляє собою складну структуру, прийнято рішення визначати площу за кількістю пікселів (px), що приходяться на зону зносу, представленій на зображенні з загальною кількістю пікселів 327680 px. Умови зняття зображень для всіх пластин однакові.

Програмне забезпечення дозволяє отримати гістограму розподілу кольорів на поверхні зносу та визначати кількість пікселів на визначених контурних ділянках. Реалізацію підходу представлено на рис. 2.

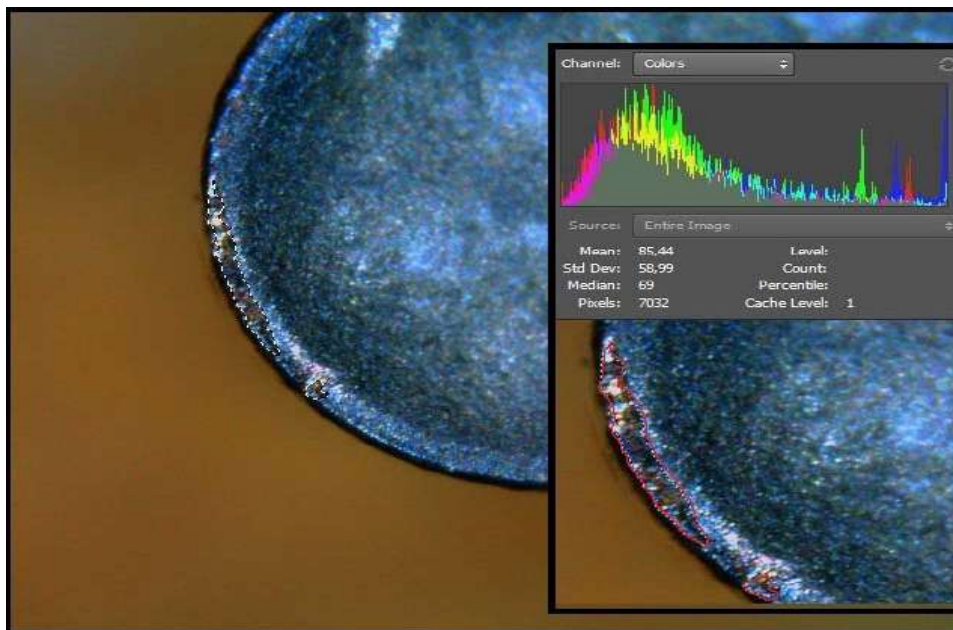


Рис. 2. Визначення площі зносу в піксельному відображенні

#### 4. Ріжучі пластини підвергнуто впливу високовольтного розряду.

Експериментальний стенд складається із блоку живлення, високовольтного перетворювача «Розряд 1» та пристосування для фіксації електроду на змінюваній висоті та встановлення ріжучих пластин.

Вплив високовольтним розрядом здійснюється наступним чином: на необроблену поверхню експериментального зразка у вигляді комплекту ріжучих пластин наводиться високовольтний електрод на відстані  $\Delta = 7$  мм від поверхні, у вигляді джерела високої напруги в межах 25 кВ, впродовж 5 хвилин.

5. Послідовно для кожної ріжучої пластини, зміцненої високовольтним розрядом, визначено амплітудно-частотні характеристики (рис. 3).

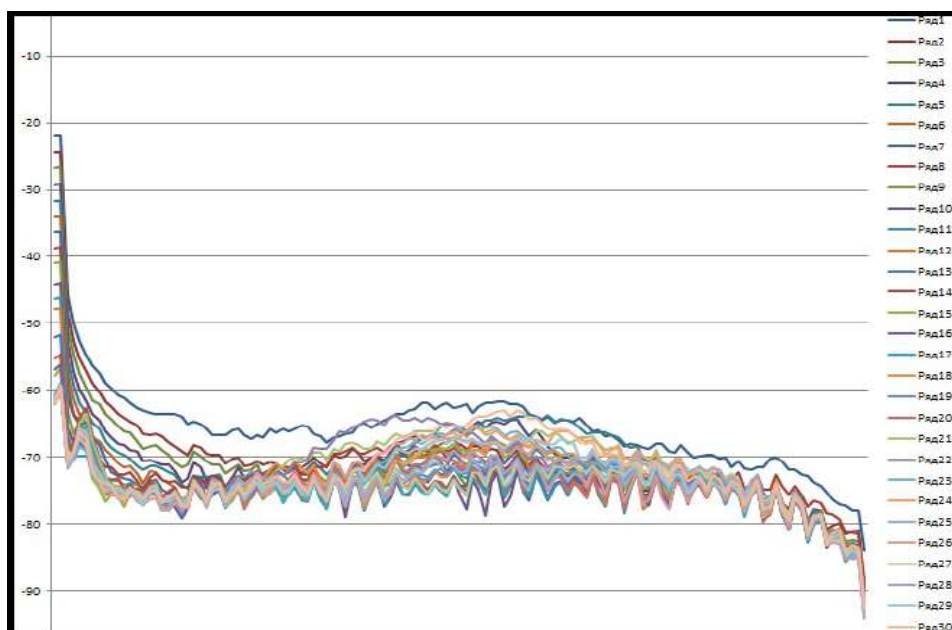


Рис. 3. Амплітудно-частотні характеристики ріжучих пластин після впливу високовольтного розряду

6. Оброблено заготовку ріжучими пластинами  $N_{шт} = 30$ , зміцненими високовольтним розрядом, при режимах різання:  $t = 0,2$  мм;  $s = 0,2$  мм/об;  $n = 1260$  об/хв,  $l = 285$  мм, у послідовності згідно рандомізації.

7. Визначено площу зносу для кожної, підданої впливу високовольтного розряду, пластини.

Після проведення практичної частини експерименту сформовано таблицю отриманих даних (табл. 1).

Таблиця 1

## Експериментальні дані

Пластини вихідних властивостей					Пластини, піддані впливу ВВП				
№ <sub>експ</sub>	№ <sub>пл</sub>	$D_z$	$K$	$H_{зносу}$	№ <sub>експ</sub>	№ <sub>пл</sub>	$D_z$	$K$	$H_{зносу}$
1	11	48	1	36960	1	1	48	1	22134
2	21	47,7	1,006	4707,1	2	25	47,88	1,01	4758,1
3	12	47,5	1,011	6329,9	3	10	47,42	1,01	8692,1
4	15	47,3	1,015	606,9	4	18	46,88	1,02	5178,5
5	16	47,02	1,021	76582,1	5	9	46,38	1,03	5400,3
6	13	46,9	1,023	3366,7	6	8	46,22	1,03	14203,7
7	2	46,7	1,028	9966,5	7	5	46,04	1,04	6881,7
8	29	46,5	1,032	9411,8	8	20	45,45	1,05	3891,3
9	20	45,95	1,045	6578,3	9	17	45,34	1,06	4679,9
10	7	45,7	1,50	15543	10	14	45,12	1,06	6898,5
11	25	45,4	1,057	5853,7	11	13	44,90	1,06	4092,7
12	5	45,37	1,058	12831,4	12	15	44,58	1,07	7105,9
13	27	44,97	1,067	9939,1	13	7	44,40	1,08	7866,7
14	3	44,79	1,072	10238,7	14	16	44,28	1,08	6777
15	6	44,5	1,078	11875,2	15	22	44,17	1,08	4408,6
16	24	44,13	1,088	12341,2	16	19	43,90	1,09	2272,6
17	26	43,95	1,092	13354,1	17	30	43,71	1,09	3566,5
18	10	43,71	1,098	9928,1	18	23	43,46	1,10	2946,9
19	17	43,51	1,103	7665,9	19	27	43,13	1,11	2751,7
20	8	43,31	1,108	11734,8	20	6	42,84	1,12	624,9
21	22	43,13	1,113	7937,916	21	2	42,39	1,13	2802,4
22	1	42,90	1,119	12693,9	22	29	42,26	1,13	2562,8
23	28	42,70	1,124	13422,8	23	24	41,91	1,14	3806,5
24	4	42,40	1,132	13070,1	24	28	41,71	1,15	3361,5
25	19	42,21	1,137	16769,6	25	4	41,27	1,16	5445,1
26	9	42,13	1,139	10425,3	26	26	41,01	1,17	8207,5
27	14	41,84	1,147	5964,4	27	12	40,62	1,18	2089,8
28	30	41,64	1,153	11018,1	28	11	40,31	1,19	6965,1
29	18	41,44	1,158	12360,5	29	21	40,20	1,19	2059,9
30	23	41,20	1,165	11997,2	30	3	40,08	1,19	3832,9

Отримано гістограми розподілу кольорів на області розподілу зносу (рис. 4, рис. 5) та виконано кластерний аналіз отриманих по величині зносу даних. Для пластин вихідних властивостей: 1 кластер – 1, 4, 5, 7, 11, 16, 18, 19, 26, 28; 2 кластер – 2, 3, 6, 8, 9, 10, 23, 24, 27, 30; 3 кластер – 12, 13, 14, 15, 17, 20, 21, 22, 25, 29. Для зміцнених пластин: 1 кластер – 1, 5, 7, 8, 10, 11, 14, 15, 16, 26; 2 кластер – 4, 9, 18, 25, 17, 22, 13, 20, 3, 24; 3 кластер – 2, 6, 12, 19, 21, 23, 27, 28, 29, 30.

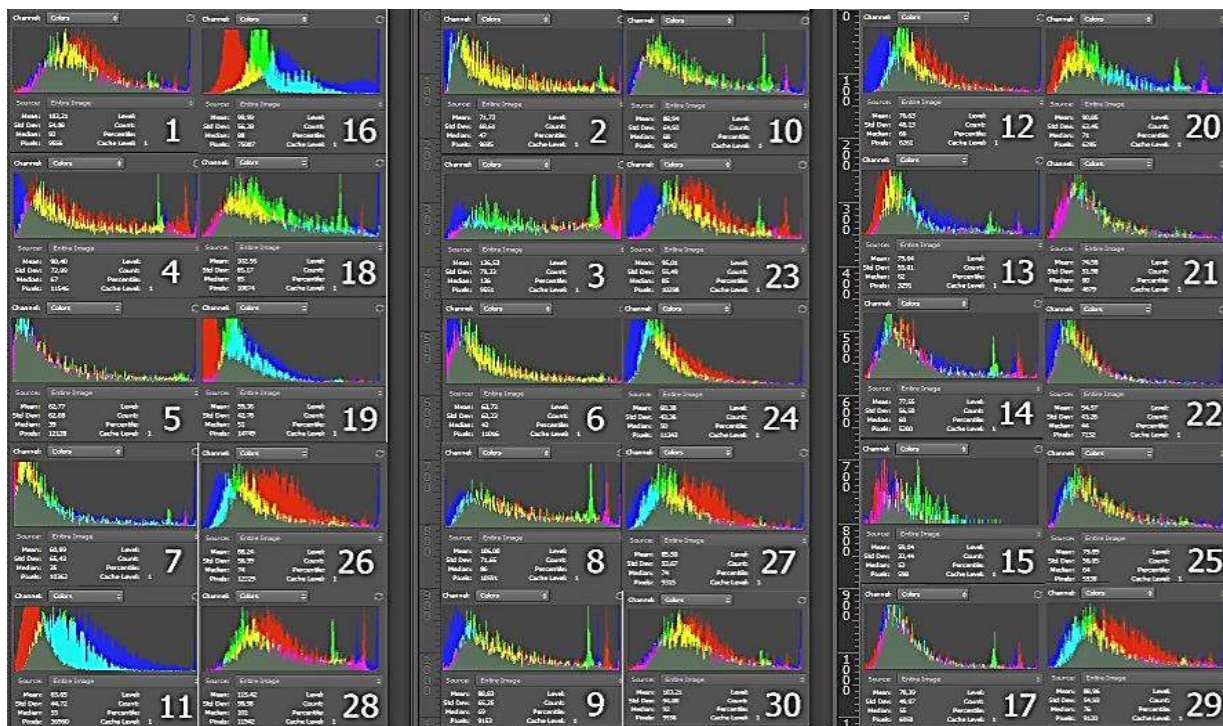


Рис. 4. Гістограми розподілу кольору для зносу вихідних пластин по кластерам

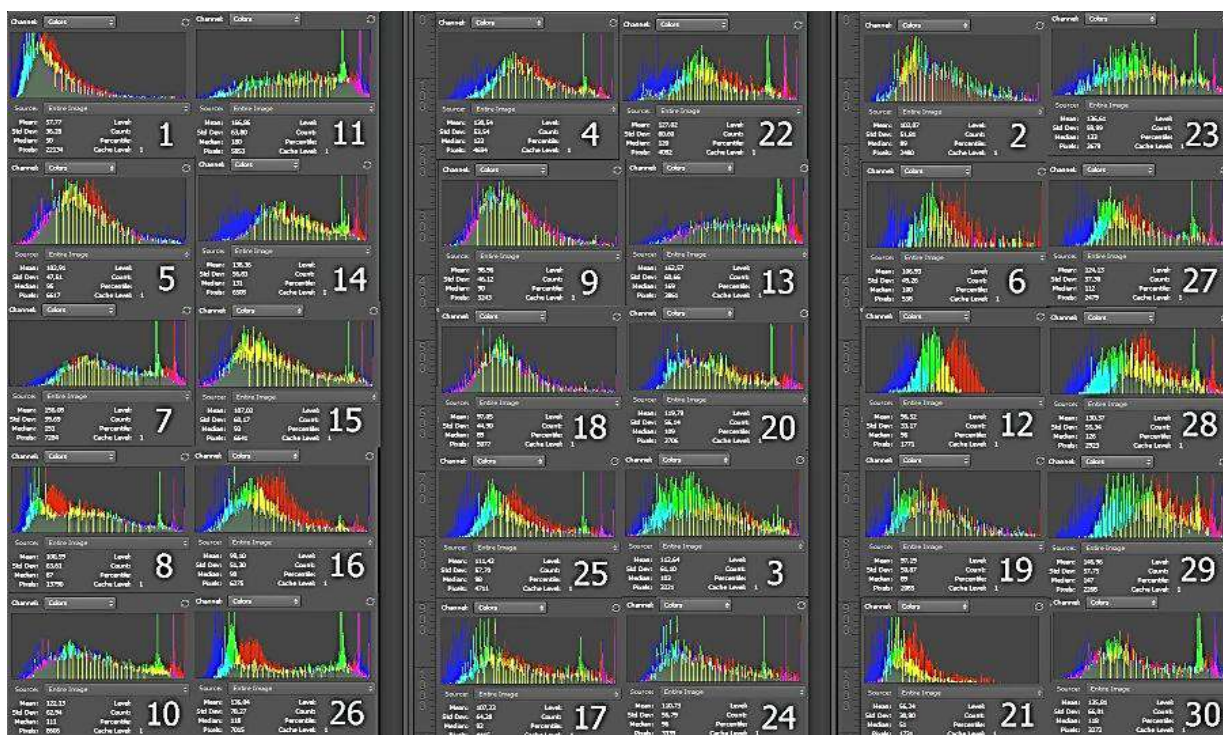


Рис. 5. Гістограми розподілу кольору для зносу зміцнених пластин по кластерам

Кластерний аналіз дозволяє виявити в межах партії змінних багатограних пластин найбільш схожі за властивостями виробу, що дає можливість формувати їх в окремі групи (комплекти), при цьому з більшою точністю гарантуючи однаковість умов обробки.

Згідно кластерного аналізу і показників величин площин зносу побудовано графіки порівняння характеристик пластин вихідних властивостей з характеристиками пластин, підданих впливу високовольтного розряду (рис. 6).

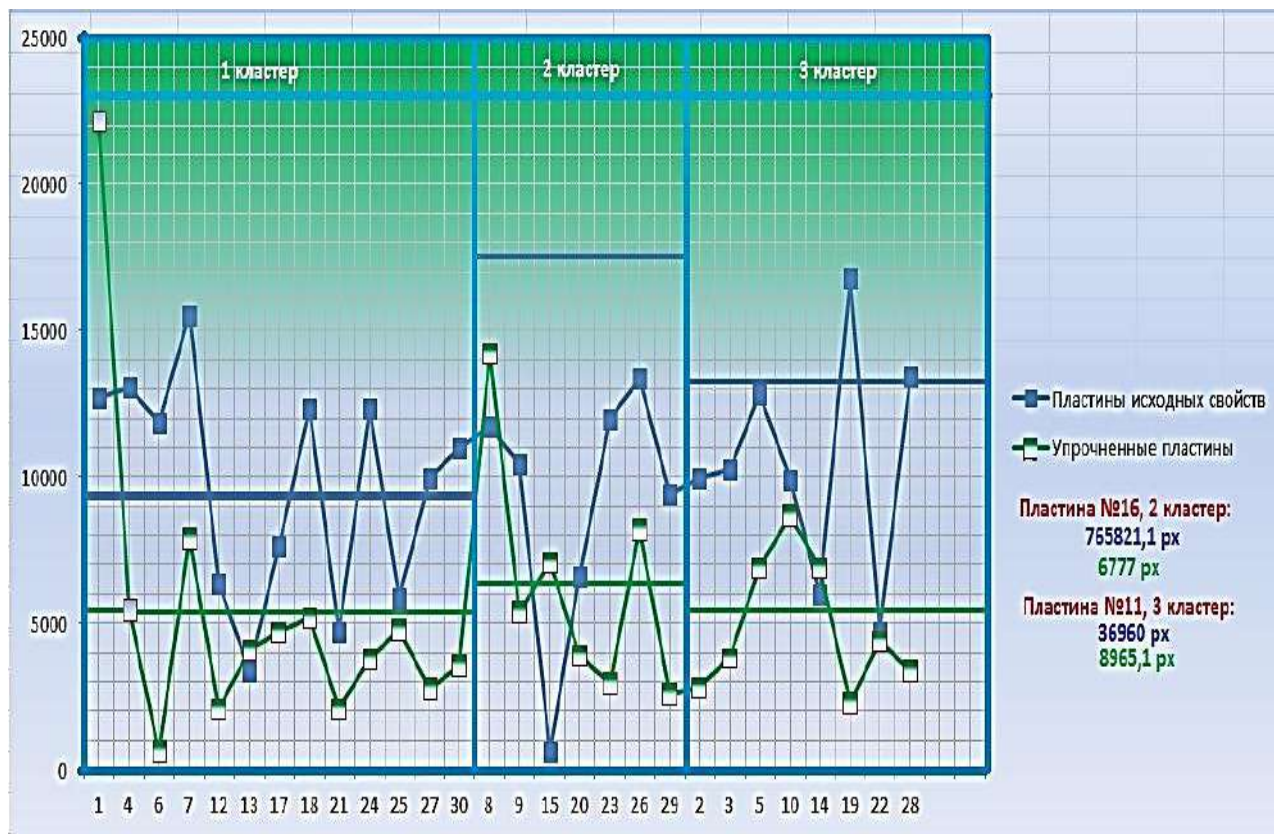


Рис. 6. Графік порівняння величин зносу по кластерам згрупованих пластин за допомогою амплітудно-частотних характеристик

У ході експерименту отримано підвищення стійкості ріжучих пластин для кожного з кластерів: 1 кластер – в 1,8 раз; 2 кластер – в 2,75 раз; 3 кластер – в 2,51 раз. Загальне – 1,8 раз.

Подальші дослідження – провести оцінку якості технологічного інструмента на основі ранжування по прогнозованій ступені зносу (стійкості).

Спосіб реалізації: за допомогою нейромережевого моделювання в програмних продуктах «NeuroPro 0.25» (рис. 7), а потім, для порівняння результатів, у «Matlab R2011b» (рис. 8), створена нейронна мережа, піддана навчанням і спрощенню. Підготовка даних – на основі створеної таблиці вихідних амплітудно-частотних характеристик та показників зносу ріжучих пластин після обточування. На вхід нейронної мережі подаються амплітудно-частотні характеристики, виходом служать показники зносу ріжучих пластин після обточування.

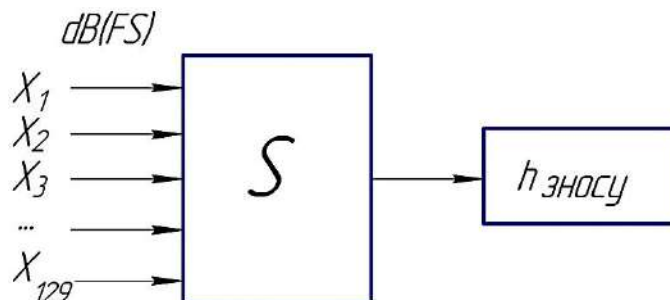


Рис. 7. Схематичне зображення моделі нейронної мережі для «NeuroPro 0.25»

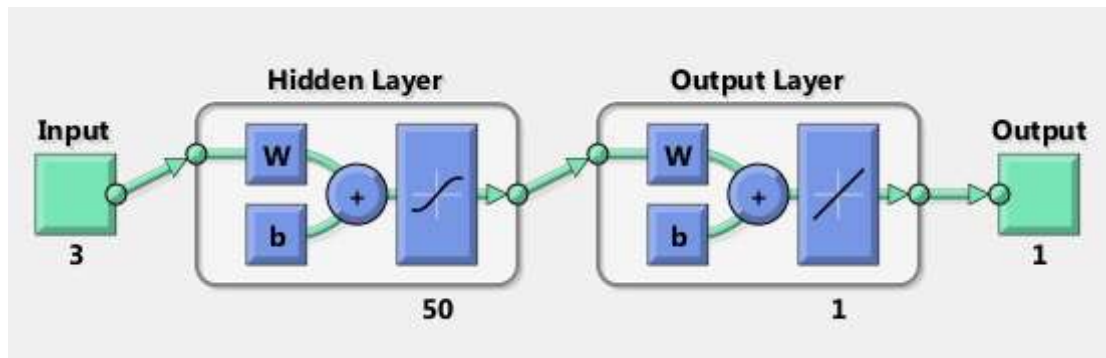


Рис. 8. Модель нейронної мережі відтворена у «Matlab R2011b»

За допомогою команди `sim(net,[..(амплітудно-частотні характеристики)])` у діалоговому вікні програми отримуємо прогнозоване значення величин износу пластини. При цьому, якщо вводити сторонні випадкові характеристики, данна модель результатів не показує, що дає нам підстави судити про правильність її роботи. Результати підтверджено роботою моделі у двох програмних продуктах.

Представлений варіант обробки даних дозволяє провести оцінку якості технологічного інструмента на основі ранжування по прогнозованій ступені зносу (стійкості).

## ВИСНОВКИ

Технічним результатом є підвищення періоду стійкості робочих поверхонь ріжучих інструментів за короткий проміжок часу, використовуючи нескладне обладнання, підвищуючи продуктивність та знижуючи енергетичні витрати. Представлено рекомендовані значення режимів процесу обробки високовольтним розрядом, запропоновано новий спосіб оцінки ступеню зносу на основі графічного редактору за кількістю пікселів, та представлено варіант обробки даних, що дозволяє проводити оцінку якості технологічного інструмента на основі ранжування по прогнозованому ступеню зносу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Никифоров А. В. Интенсификация чистой и упрочняющей обработки титана при использовании электротехнологий / А. В. Никифоров // *Электронная обработка материалов*. – 1993. – № 4. – С. 17–22.
2. Сулов А. Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А. Г. Сулов. – М. : Машиностроение, 2000. – 320 с., ил.
3. Обработка и упрочнение поверхностей при изготовлении и восстановлении деталей / В. И. Бородавко, В. С. Иваико, С. А. Клименко, М. Л. Хейфец ; Под ред. М. Л. Хейфеца, С. А. Клименко. — Мн. : Беларус. навука, 2013. — 464 с.
4. Підвищення стійкості кінцевих фрез за рахунок утворення вторинних зміцнених структур / Боримський В. А., Равська Н. С., Бесарабець Ю. Й. // *Тези доповідей Загальноуніверситетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвячена дню Науки. Секція «Машинобудування». Підсекція «Інтегровані технології машинобудування»*. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 104 с. – С. 9.
5. Залого В. А. Методика численной оценки показателей прочности обрабатываемого материала по его модели / В. А. Залого, Д. В. Криворучко, С. С. Некрасов // *Компрессорное и энергетическое машиностроение*. – Сумы : МИКЭМ, 2009. – Вып. 15. – № 1. – С. 47–51.
6. Самотугин С. С. Оптимизация конструкции плазматрона для поверхностного упрочнения материалов / С. С. Самотугин, И. И. Пирч, В. А. Мазур // *Сварочное производство*. – 2002. – № 12. – С. 32–35.
7. Повышение качества подготовки твердосплавного инструмента / А. С. Янюшкин, Д. В. Лобанов, С. В. Ковалевский // *Современные технологии*. – Братск, 2006. – С. 95–98.