

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Кафедра Галузевого машинобудування

# **ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ МОЛОТКІВ ЗЕРНОДРОБАРКИ ДКУ**

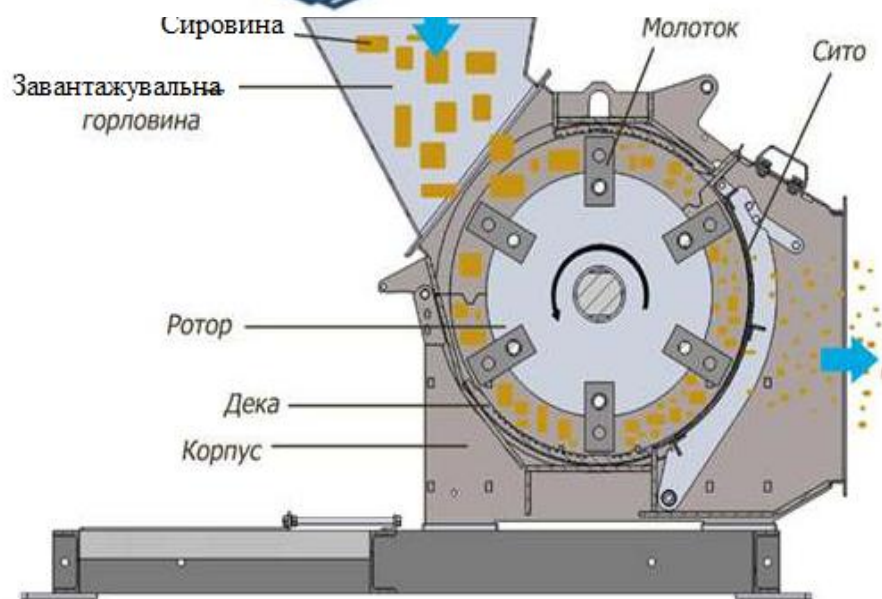
Студент гр. 13В-17м

Кліменко С.Д.

Керівник к.т.н. доц.

Шиліна О.П.

- ❧ Сучасні тенденції росту експлуатаційних навантажень на деталі, які працюють в умовах інтенсивного ударно-абразивного зношування зі значними контактними навантаженнями, є причиною того, що вони не мають достатньої експлуатаційної стійкості.
- ❧ Побутові подрібнювачі (зернодробарки) є незамінним пристосуванням в приватному та фермерському господарствах. Вони призначені для подрібнення різних зернових культур (ячменю, пшениці, жита, гречки, кукурудзи) з метою приготування кормів для домашніх тварин або птахів[13].
- ❧ В основі роботи подрібнювача - відцентрова сила під дією якої швидко обертаються молоточки (ножі). Ножі зернодробарки працюють в умовах інтенсивного ударно-абразивного зношування, що є причиною швидкого зношування молотків.
- ❧ Характерними дефектами цих молотків є: деформація і спрацювання робочих граней. Тому актуальним є питання продовження строку їх служби якщо вони виготовляються з кошовних сталей.



**Мета роботи** є розробка ресурсозберігаючих способів отримання зносостійких поверхонь молотка зернодробарки шляхом використання явища деформаційного зміцнення, для створення робочого поверхневого шару з заданими експлуатаційними властивостями.

**Задачі**, які вирішуються в даній роботі, є:

- дослідження ударних впливів на властивості поверхневих наплавлених шарів молотків зернодробарки;
- дослідження впливу хіміко-термічної обробки на працездатність молотків зернодробарки;
- визначення залишкових напружень, викликаних віброударним або дробоструменевим методами.

Комп'ютерний аналіз міцності розпилювального пристрою та шляхи оптимізації конструкції.

**Наукова новизна одержаних результатів.** У роботі отримано ряд результатів, що мають наукову новизну.

- Отримала подальший розвиток теорія деформаційного зміцнення за рахунок розвитку матенситного перетворення.
- Визначено закономірності зміни структурних складових в наплавленому шарі під дією контактного навантаження.
- Розроблена методика та отримані залежності впливу віброударного і пневмо-дробоструменевого методів зміцнення деталей від часу обробки.
- Експериментально доведена можливість реалізації процесу дифузійного насичення хромом поверхні молотків твердою дифузійною металізацією.

## **Практичне значення одержаних результатів.**

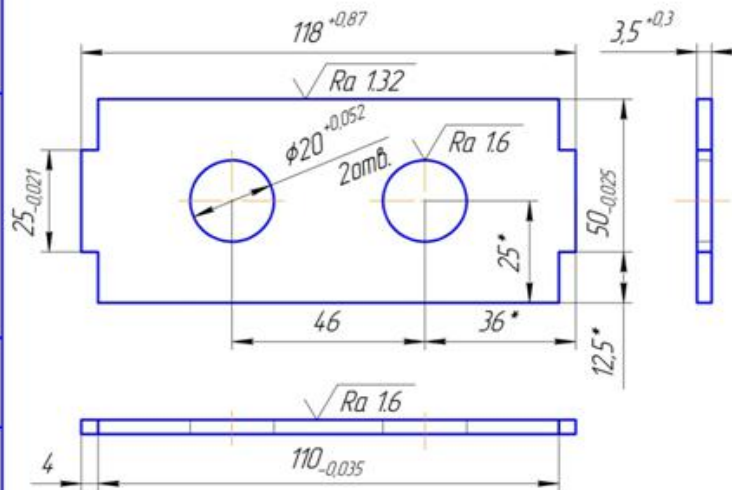
Внаслідок розвитку деформаційного мартенситного перетворення в наплавленому металі, досягнуто показників здатності до зміцнення на рівні сплавів, у яких цей показник отримано за рахунок рівня легування карбідоутворюючим елементом (марганцем та хромом), а також максимальний показник ступеню зміцнення  $\Delta$ .

Вдосконалена конструкції розпилювача. Комп'ютерний аналіз розробленого розпилювального пристрою показав, що конструкція має достатній запас міцності.

Проведено аналіз міцності установки для автоматизації процесу нанесення покриття з використанням програми міцностного аналізу АРМ FEM для КОМПАС-3D, згідно якому результати показали її надійність.

08-30.БДР.006.0100.000

$\sqrt{Ra3.2}$  ( $\checkmark$ )



1. HRC 53...59 од.
2. H14, h14,  $\pm 2$
3. \* розміри для довідок

08-30.БДР.006.0100.000

Ізм	Лист	№ док-м	Підп.	Дата
Разроб.		Клименко С.Д.		
Проб.		Шиліна О.П.		
Т.контр.				
Н.контр.		Бакалець Д.В.		
Чтб.				

Молоток зернодробарки  
(робоче креслення)

Сталь 65Г ГОСТ 1050-88

Копиравал

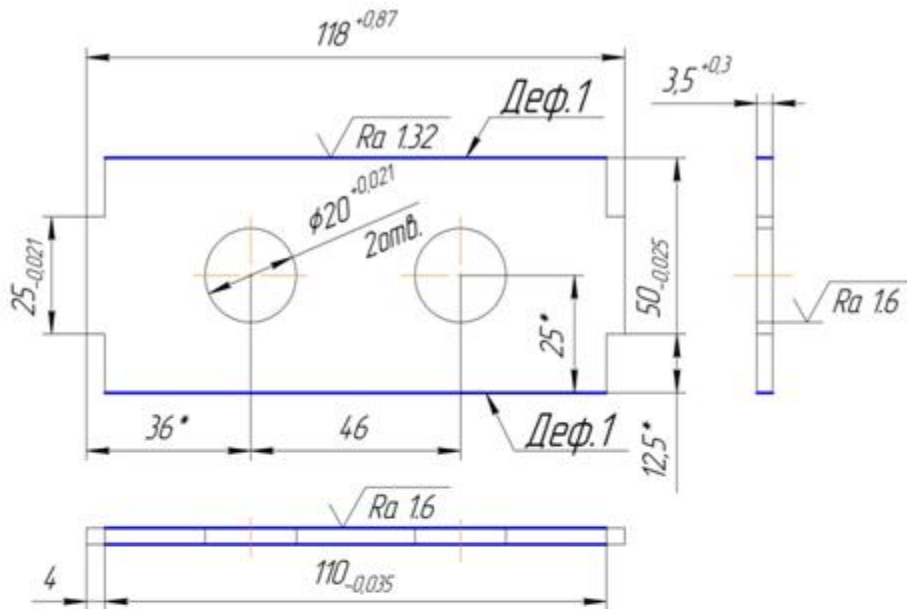
Лист	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

ВНТУ  
ст.гр. 13В-17М

Формат А4

08-30.БДР.006.01.00.000Р

√ Ra3.2 (√)



№ док	Наименование дефекту	Коэффициент повторяемости		Основной способ устранения дефекту	Допустимый способ устранения дефекту
		Вид заготовки	Вид детали		
1	Срабатывание	0,08	0,09	0881.30.001-17 Верхняя Сортмент ВГ-С27 ТУ У 322-14-007-97	Позже наложение санитарно-гигиенических параметров ПТ-104-04

1. HRC 53...59
2. H14, h14,  $\pm \frac{IT14}{2}$
3. \* размеры для довідок

08-30.БДР.006.01.00.000Р					
Изм/Лист	№ док/им	Подп.	Дата	Лист	Масса
Разраб.	Клименко С.Д.				
Проб.	Шилина О.П.				
Т.контр.					
Н.контр.	Бакалець Д.В.				
Чтб.					
Молоток зернодробарки				Лист	Масса
Сталь 65Г ГОСТ 1050-88				Листов	11
				Лист	Листов 1
				ВНТУ ст.гр.13В-17 м.	
				Формат А3	

Копировал

Формат А3

Лист 1/1

Стор. №

Лист и дата

Изм. № док

Взам. инв. №

Лист и дата

Изм. № док



Для визначення зносу молотка зернодробарки, проведено дослідження з використанням методів багатofакторного експерименту. Під час проведення експерименту зразок піддавали навантаженню у 100, 300, 400, 500, 700 грам. В результаті визначено величину зношування молотка зернодробарки, який визначався за формулою:

$$h = \frac{F_T}{P}$$

де,  $h$  – величина зношування;  $F_T$  – сила тертя, Н;  $P$  – навантаження, Н.

На основі проведених експериментів для дослідження обрано такі фактори: матеріал молотків; навантаження та швидкість обертання барабану зернодробарки

На основі розрахунків побудовано графік залежності впливу навантаження на величину зносу.

### ВПЛИВ НАВАНТАЖЕННЯ НА ВЕЛИЧИНУ ЗНОШУВАННЯ

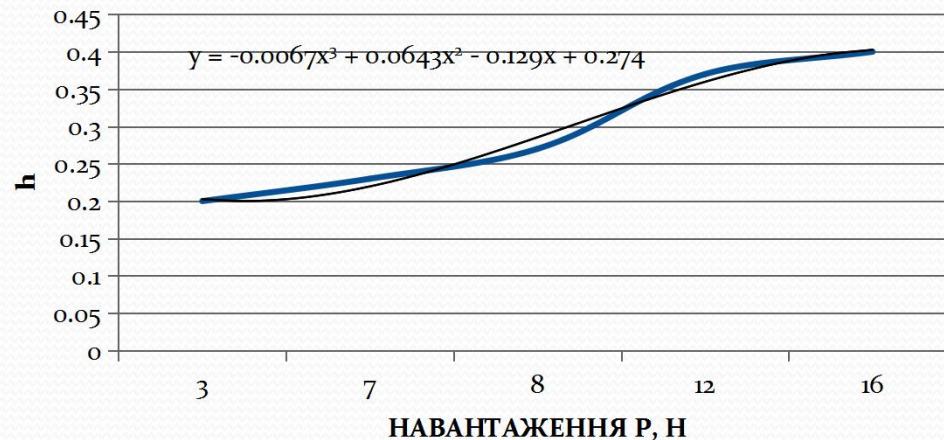


Рисунок 1.5– Вплив навантаження на величину зносу

Аналіз отриманої моделі показав, що всі обрані фактори, зі збільшенням в досліджуваному інтервалі, впливають на зносостійкість покриттів в сторону її підвищення, оскільки коефіцієнти в рівнянні регресії, яке моделює процес зношування, від'ємні.

Дослідження проводили на заготовках молотка зернодробарки зі сталі 65Г ГОСТ 1050-88.

Шар металу на робочі поверхні молотків наносили електродуговим наплавленням, на постійному струмі зворотної полярності,.

Джерело струму – випрямляч ВДУ-504. Наплавлення проводили електродом ОК61.30/308L-17 ГОСТ 10052-75 діаметром  $d=3$  мм, на зварювальному струмі 65А та електродом НІІ-48Г ГОСТ 9466-75 діаметром  $d=4$  мм, зварювальний струм 110 А.

Таблиця 1 – Хімічний склад електрода ОК61.30/308L-17 ГОСТ 10052-75

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
max 0,03	0,70	0,90	19,3	10,0	max 0,025	max 0,020

Таблиця 2 – Хімічний склад електрода – НИИ-48Г ГОСТ 9466-75

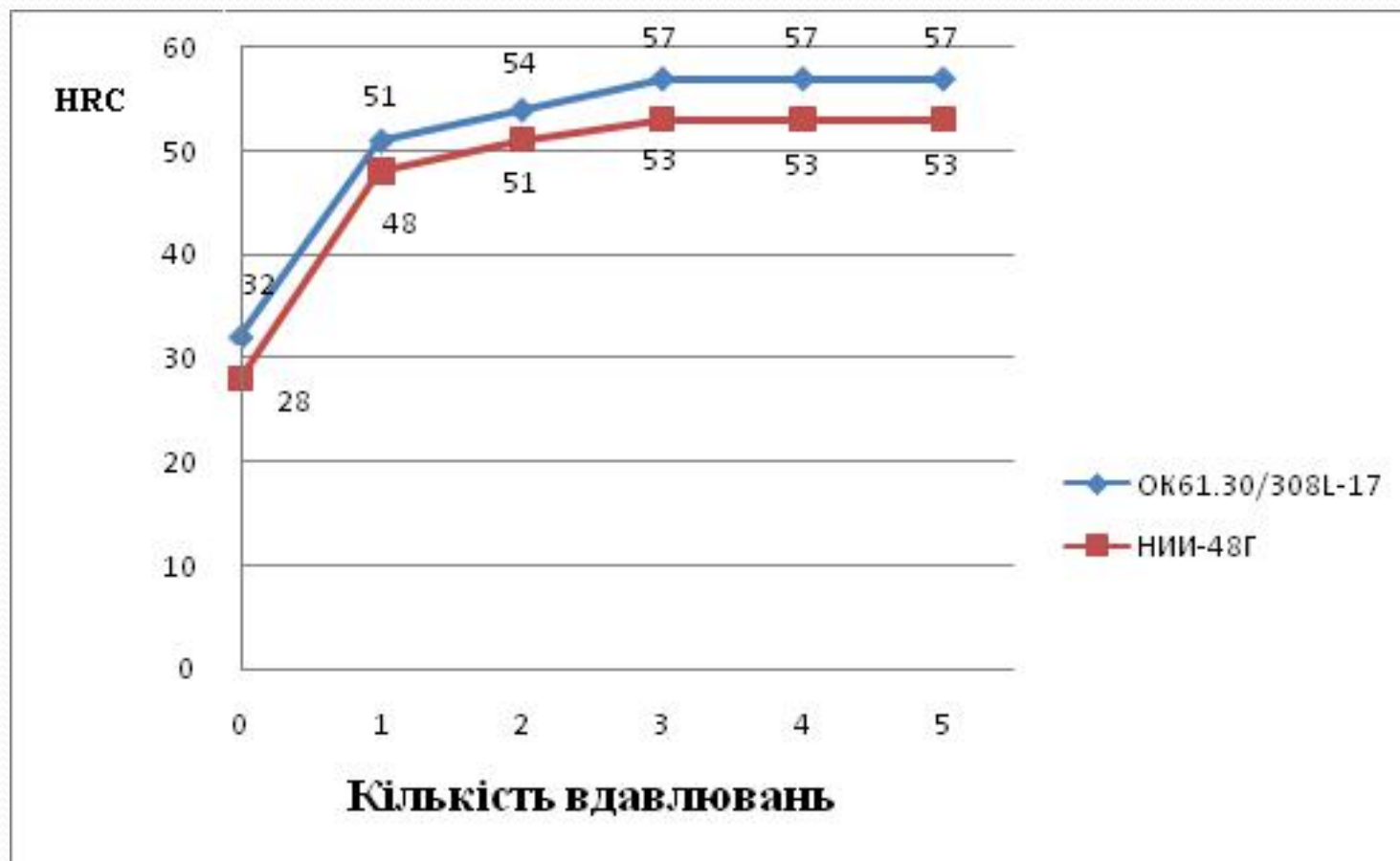
C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
max 0,13	4,8-7,0	0,5-1,2	18,5-21,5	8,5-11,0	max 0,035	max 0,020


Деформаційне зміцнення досліджувалось за допомогою твердомірів Бринелля і Роквелла. Спочатку вимірювалась вихідна твердість шару наплавленого металу  $HRC_{E0}$ , потім вимірювалась твердість у лунці відбитку від вдавнення сталеної кульки твердоміра Бринелля



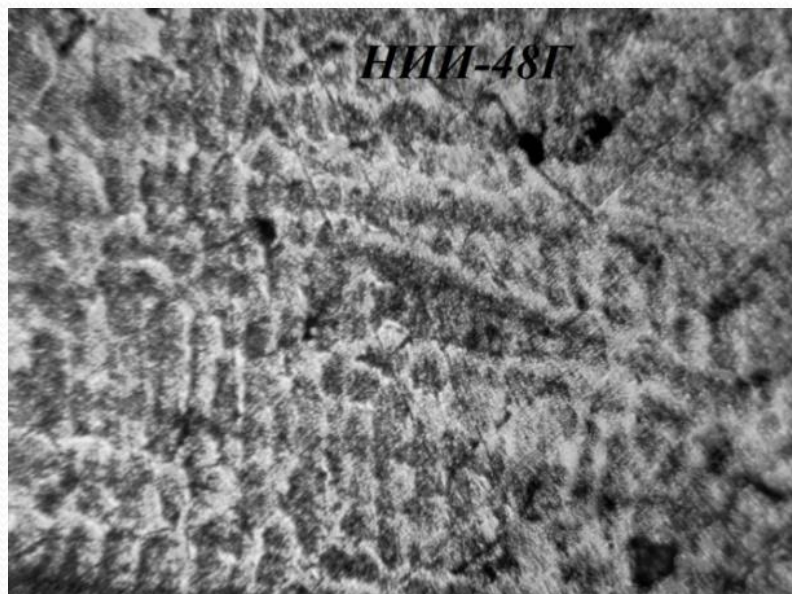
Де 1;2 та 3 – Кількість вдавлювань кульки

За результатами проведених досліджень отримали залежність твердості наплавленого шару від кількості вдавлювань індентора Бринеля, а відповідно від степені деформації наплавленого шару





Встановлено, що максимальна твердість  $HRC_{\epsilon}$ , у лунці відбитка досягається після третього вдавнення кульки в поверхню наплавленого металу електродом ОК61.30/308L-17 ГОСТ 10052-75, так і електродом НІІІ-48Г ГОСТ 9466-75 її максимальне значення досягається після третього вдавнення, що говорить про інтенсивну сприятливість до деформаційного зміцнення, наплавленого металу.



*a*

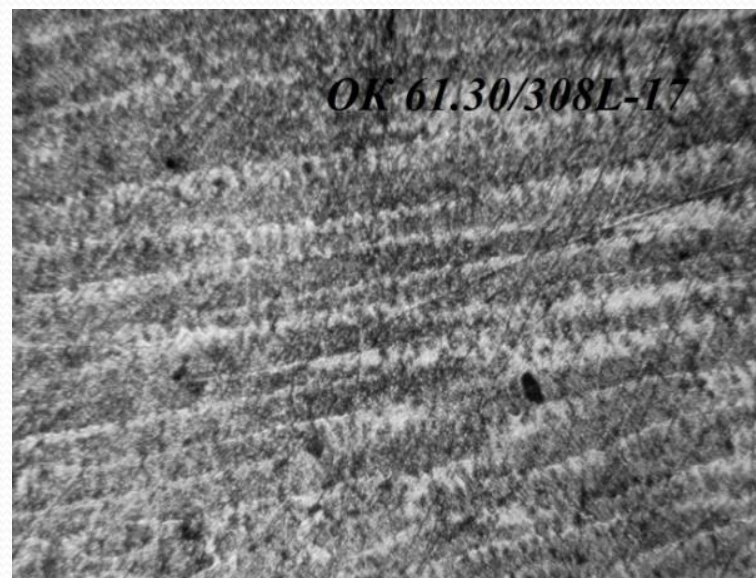


*б*

Мікроструктура наплавленого металу після одого  
вдавлювання індентора (x500):

*a* – зразок наплавлений електродом НИИ-48Г; *б*– зразок наплавлений  
електродом ОК61.30/308L-17



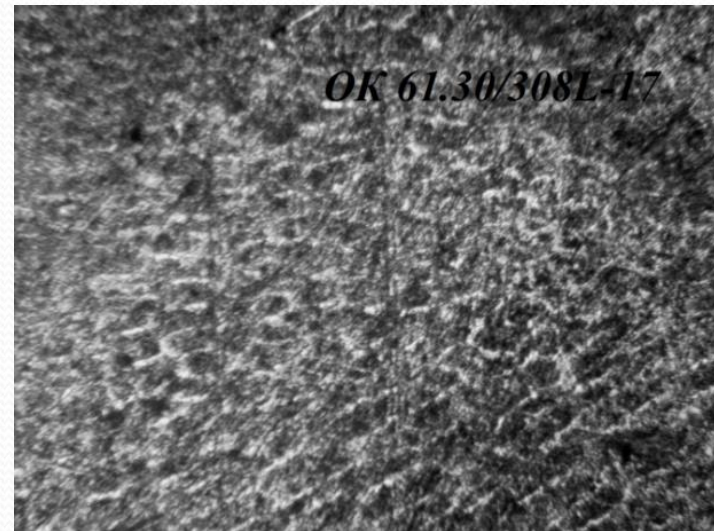
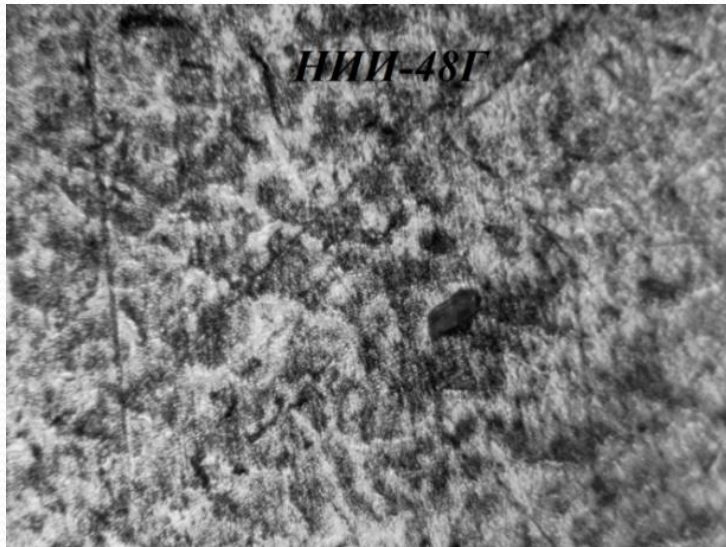


*a*

*б*

Мікроструктура наплавленого металу після двох  
вдавлювань індентора (x500):

*a* – зразок наплавлений електродом НИИ-48Г; *б*– зразок наплавлений  
електродом ОК61.30/308L-17



*a*

*б*

Мікроструктура наплавленого металу після трьох  
вдавлювань індентора (x500):

*a* – зразок наплавлений електродом НИИ-48Г; *б* – зразок наплавлений  
електродом ОК61.30/308L-17

## **Вплив хіміко-термічної обробки на працездатність молотків зернодробарки**


Для зміцнення поверхневих шарів молотків зернодробарки запропоновано провести дифузійну металізацію з метою насичення робочих поверхневих шарів металами, які будуть сприяти підвищенню їх зносостійкості. Було запропоновано провести тверду дифузійну металізацію робочої поверхні.

Металізатором є феросплав (FeCr) з додаванням хлористого амонію (NCl). В якості робочого середовища використовували наступну суміш:  
50% FeCr, + 3% NCl, +4% CuO, + 43%  $Al_2O_3$   
Витримка металу у середовищі - 12 годин.

Поверхнєве насичення сталі металами відбувається при температурах 900...1100°C.



Мікрошліф зразка після дифузійної металізації (x100)



На попередньому рисунку показано мікроструктуру зразка після дифузійної металізації. На полі шліфа чітко проглядається зона – у вигляді білої смужки, що є поверхнею, яка утворилася в результаті дифузійної металізації на поверхні зразка. Глибина дифузійного шару становить близько 25...30 мкм., а далі на поверхні шліфа з'являється ферит у відпаленому вигляді, його твердість становить  $HRC_e$  50 од. Поверхневий шар володіє дуже високою твердістю (до  $HRC_e$  55 од) та високим опором абразивному зношуванню.

## **Визначення залишкових напружень віброударним або дробоструменевим методами**

Ножі зернодробарки, що виготовляються зі сталі 65Г, мають нескладну просторову форму. Багаточисленні ударні навантаження значно знижують втомну міцність, а також обмежують довговічність деталі в цілому. Для зменшення впливу цих негативних ефектів деталі піддаються загальному зміцненню віброударним або дробоструменевим методами.

Дослідження впливу віброударного і пневмо-дробоструменевого методів зміцнення деталей зі сплаву 65Г дозволили визначити оптимальні режими зміцнення і підвищити ефективність обробки.

Остаточні напруження визначалися на зразках. Щоб встановити ступінь одномірності зміцнення по всіх поверхнях деталі, зразки установлювались в різних зонах установки. Контроль залишкових напружень проводилася по вимірюванню величини прогину зразків

Вібродарна обробка.

Обробка проводилася за режимами:

- час зміцнення -  $t = 40$  хв .;
- амплітуда коливань -  $A = 3,5 \div 4$  мм;
- частота коливань -  $f = 25$  Гц;
- діаметр кульок -  $3 \div 6$  мм.

Пневмодробоструменева обробка.

Обробка проводилася за режимом:

- тиск повітря -  $P = 2$  ат;
- діаметр кульок -  $d_{ш} = 3$  мм;
- час зміцнення змінювалося від 2 до 15 хвилин.

При відпрацюванні режиму зміцнення деталі будувалася крива залежності прогинів зразка  $f_{(a)}$  від часу зміцнення  $t$ , так звана «Крива насичення», з одночасним визначенням залишкових напружень. Залежно від часу перебування зразків під дією дробоструменевого методу визначали область оптимального часу зміцнення і прогину зразка  $f_{(опт)}$  при заданих режимах обробки. У подальшому контроль якості зміцнення здійснюється порівнянням прогинів зразків з оптимальним значенням  $f_{(опт)}$ .

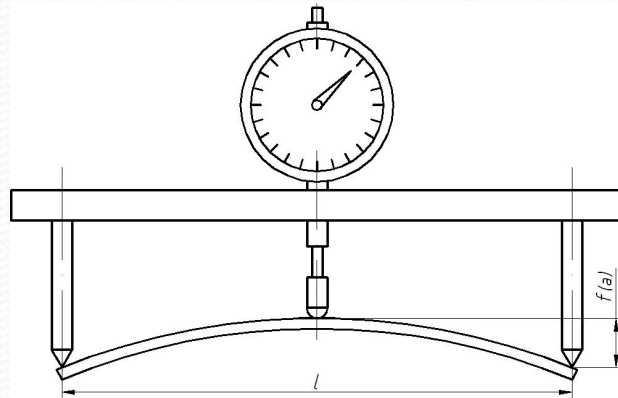
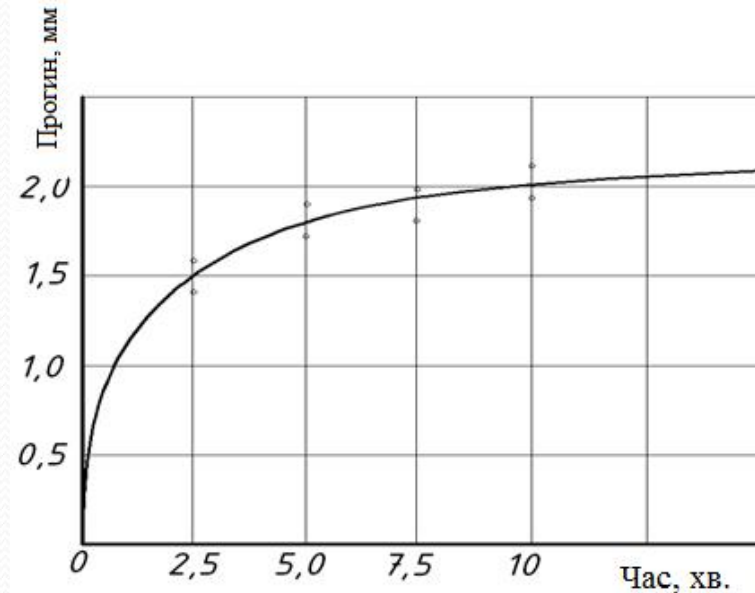


Схема вимірювання прогину зразка



Аналізуючи криву насичення, побудованою при постійному тиску  $P = 2$  ат і змінні часу обробки від 2 до 15 хвилин можна зробити висновок, що оптимальний час зміцнення становить  $3 \div 5$  хв. При такому інтервалі оптимальний прогин ( $f_{\text{пот}}$ ) зразка знаходиться в межах  $1,6 \div 1,8$  мм.

Чистота поверхні зміцнених зразків у порівнянні з незміцненою поверхнею змінювалась незначно. Вона залежить від оброблюваного матеріалу, а також діаметра і сили удару кульок, які створюють на поверхні суцільне покриття відбитками.




Крива насичення після дробеструменевої обробки

σ

За отриманими даними таблиці видно, що зі збільшенням прогину зразка зростає глибина зміцненого шару (глибина залягання залишкових стискаючих напружень), на поверхні спостерігається зниження рівня залишкових напружень,  $a_{max}$  зміщується в глибину, що може призводити до деякого зниження довговічності при втомних випробуваннях

Метод зміцнення	Прогин $f$ , мм	Напруження		Глибина залягання $a_{max}$ мкм	Глибина зміцненого шару, мкм
		$a_{max}$ кг/мм <sup>2</sup>	$a_{пов}$ кг/мм <sup>2</sup>		
Віброударний, $\varnothing_{шар} = 3 \div 6$ мм	1	-20	-8	90	200÷240
Пневмодробоструме невий, $\varnothing_{шар} = 3$ мм	2	-17	-5	100÷150	350÷400

Порівняння параметрів зміцнення в залежності від величини прогину зразка




Результати визначення залишкових напружень і випробувань на довговічність показали, що зміцнення є великим резервом підвищення надійності деталей. Обробка дробом являється пластичним деформуванням за рахунок ударів дроби по оброблюваній поверхні заготовки.

В ідеальному випадку поверхневий шар повинен мати напружений стан з максимальним значенням безпосередньо на поверхні і заляганням з тієї ж величиною на глибину.

Результати випробувань на витривалість показали, що довговічність зразків зростає в порівнянні з незміцненими після віброударної обробки в 6,8 рази при  $t = 40$  хв, і в 4 рази при  $t = 20$  хв, а пневмодробоструменевої обробки в 8 разів. Відхилення режимів зміцнення істотно позначається на довговічності, знижуючи її в 2 ÷ 3 рази в порівнянні з оптимальними режимами

Зміцнення збільшує опір металу повторно-змінних навантажень, а також забезпечує значне, в 5 ÷ 10 разів збільшення їх довговічності і антикорозійного стійкості; на 20 ÷ 40% підвищує межу витривалості для гладких деталей.



Аналіз проведених досліджень показав, що підвищена зносостійкість наплавленої сталі 65Г у вказаних умовах зовнішньої дії обумовлена наступними факторами:

- фазові перетворення при деформуванні відбуваються у мікрооб'ємах металу з максимальним рівнем напружень, де найбільш вірогідно зародження осередків руйнування, що сприяє локальній релаксації і тим самим відштовхує початок руйнування;
- Зміцнення мікрооб'єму металу у процесі фазових перетворень підвищує його опір руйнуванню, забезпечуючі більш рівномірний розподіл пластичних деформацій, так як у роботу включаються незміцненні мікрооб'єми металу;
- зміцнення є великим резервом підвищення надійності деталей.

№	Найменування операції та технічних переходів	Схема дозубання	Обладнання
005	Миюна 1. Установити та зняти деталь; 2. Мити деталь розчином "Ліданол";		Струменеві-камерна машина ОН-46107
010	Деректубувальна 1. Деректубувати деталь та визначити всі деректуби, які потрібно відновити;		1. Контрольний стил 2. Мікрометр МК 120-1ГОСТ 6507-90
015	Термічна обробка (відпуск) 1. Провести відпуск деталі за температури 340 – 380°C, тривалість 20-40 хв;		Муфельна піч НТСТ 03/14
020	Фрезерувальна 1. Встановити та закріпити; 2. Фрезерувати поверхню 1 до розміру 4,95; 3. Фрезерувати поверхню 3 до розміру 3,25; 4. Перевстановити деталь; 5. Фрезерувати поверхню 2 до розміру 4,9; 6. Фрезерувати поверхню 3 до розміру 3,0; 7. Зняти деталь.		Верстат вертикально - фрезерний 6М13П
025	Напильвальна Установ 1 1. Установити та закріпити деталь; 2. Напилити поверхню 1 та поверхню 2 до розміру 52,442 мм; 3. Зняти деталь.		Установка для газодинамічного напильця ДИМЕТ 51
030	Шліфувальна 1. Установити та закріпити деталь; 2. Шліфувати поверхню 1 до розміру 50 мм; 3. Перевстановити деталь; 4. Шліфувати поверхню 2 до розміру 50 мм; 5. Зняти деталь.		Плоскошліфувальний верстат ЗП722
035	Контрольна 1. Установити деталь; 2. Контролювати розмір пов. 1 до розміру 50h7 мм; 3. Контролювати розмір пов. 2 до розміру 50h7 мм; 4. Зняти деталь.		Контрольний стил інструмент для вимірювання (мікрометр, штангенциркуль)

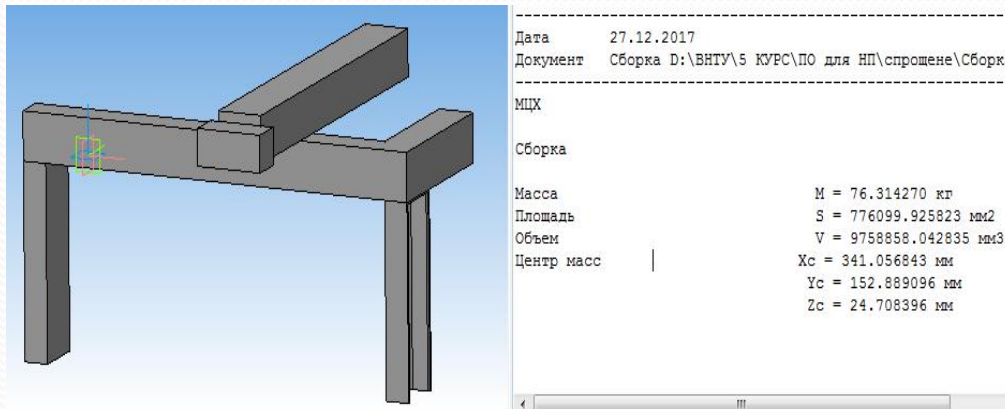
Наступним кроком є створення установки з ЧПУ для газодинамічного нанесення покриття, яка забезпечить задане взаємне розташування всіх механізмів.

Для створення рамної конструкції використаємо профільний металопрокат, а саме, швеллер 10У 100х46х4,5х7,6х7х3 ГОСТ 8240-89. Конструкція рами зварна. Зварювання електродугове за ГОСТ 5264–80.



Установка з числовим програмним керуванням

Комп'ютерне моделювання навантажень на рамну конструкцію системи переміщення напилювального пристрою. Для виконання комп'ютерного моделювання навантажень на раму, побудуємо спрощену схему, яка по масі буде близька до ваги оригінальної конструкції (рис.1-2).



Спрощена схема системи переміщення напилювального пристрою

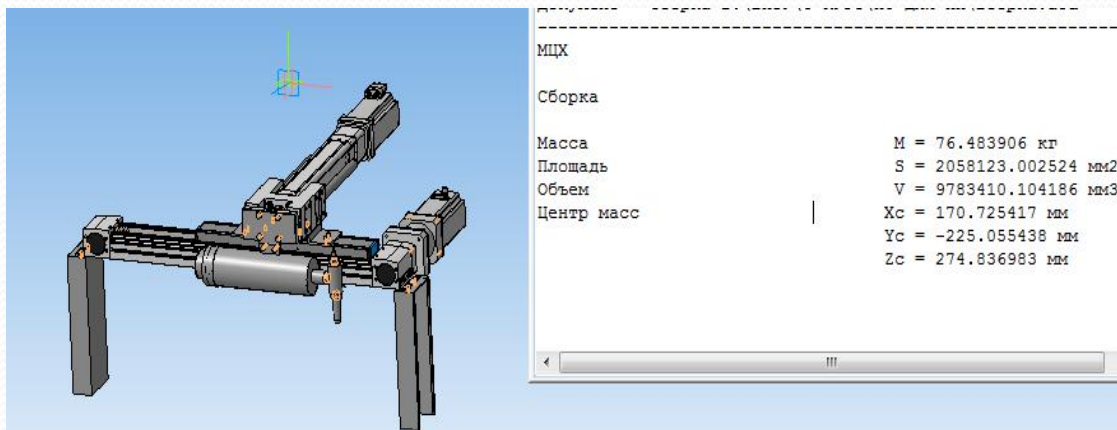


Схема системи переміщення напилювального пристрою

# Комп'ютерне моделювання навантажень на рамну конструкцію системи переміщення напилювального пристрою

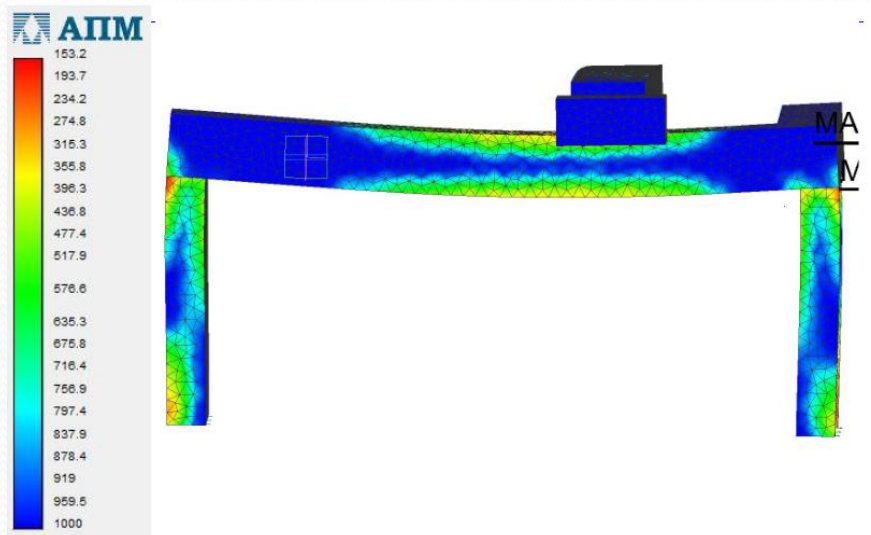


Рисунок 5 – Коефіцієнт запасу текучості

Назва	Тип	Мінімальне значення	Максимальне значення
Коефіцієнт запасу текучості		153.189083	1000



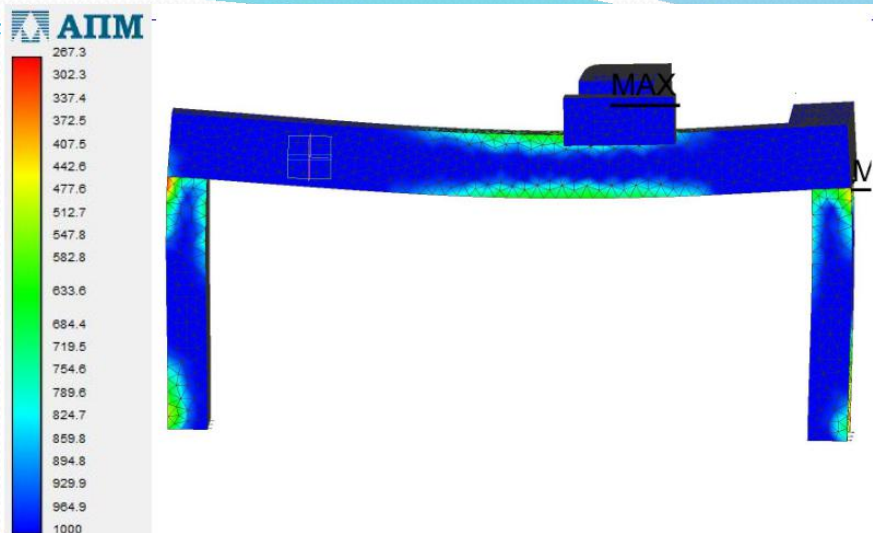


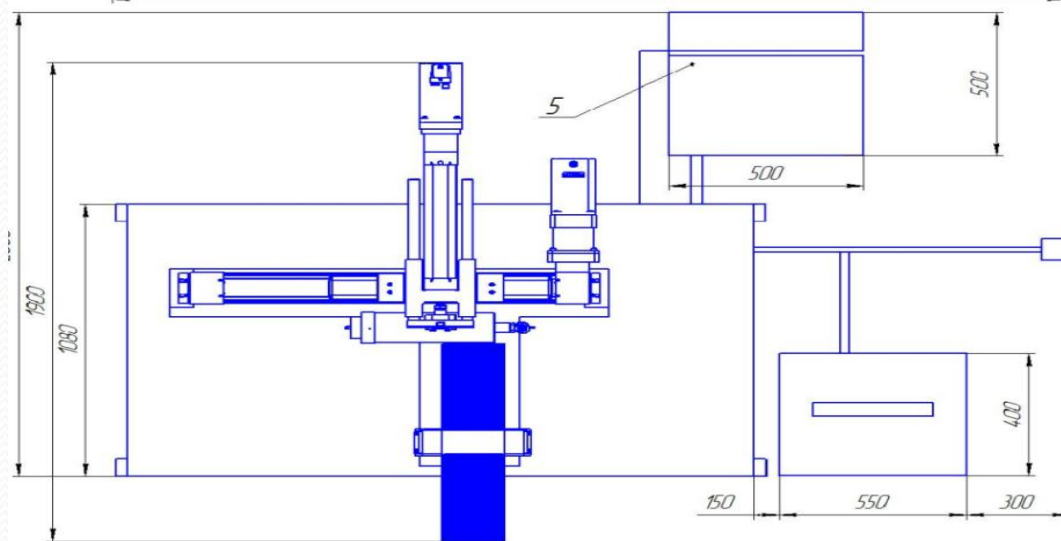
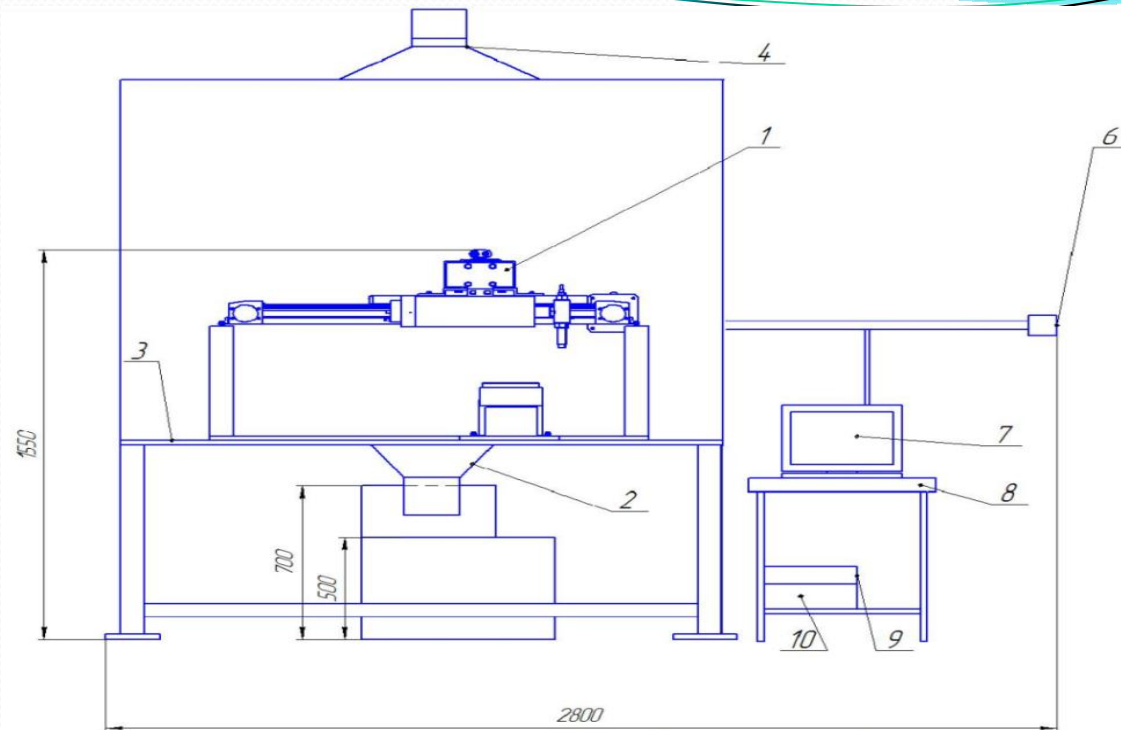
Рисунок 6- Коефіцієнт запасу міцності


Назва	Тип	Мінімальне значення	Максимальне значення
Коефіцієнт запасу міцності		267.266059	1000

Як видно з результатів міцнісного аналізу, коефіцієнт запасу текучості становить 153.189083, а коефіцієнт запасу міцності – 267.266059. Це свідчить про те, що конструкція в цілому технологічна та витримає навантаження під час роботи, хоча в подальшому удосконаленні конструкції можна використати упори менших розмірів.

На основі отриманих даних було розроблено складальне креслення установки для відновлення партії молотків зернодробарки та інших подібних деталей довжиною не більше 118 мм, шириною – 3,5мм, висотою 50мм.

Робоче місце представлено на наступному рисунку :





Робоче місце складається з установки з числовим програмним керуванням 1, яка встановлена у захистному боксі 3, в боксі встановлено живильник 5 який подає розпилювальний матеріал до розпилювального пристрою. Бокс 3 оснащено притоковою та витяжною вентиляцією 2. Електроживлення здійснюється від джерела живлення 6. Керування установкою здійснюється від комп'ютера 7 та контролерів. Робочий газ подається від балона або від компресорної станції. Шинопровід забезпечує підвід всіх комунікацій до виконавчих механізмів.

Для здійснення керування установкою застосовуються програми CoDeSys або Mach 3

## ВИСНОВКИ

За результатами проведених досліджень виявлено наступне:

- Експериментально показана наявність фазових змін під впливом пластичної деформації у наплавленому металі, з утворенням мартенситу деформації. Поєднання наклепу з деформаційним мартенситним перетворенням ефективно зміцнює його аустенітну основу.
- При дослідженні деформаційного зміцнення висока твердість (51-54 HRC<sub>2</sub>) може бути досягнута не тільки за рахунок легування наплавленого металу карбідоутворюючими елементами, але і за рахунок розвитку деформаційного мартенситного перетворення.
- Внаслідок розвитку деформаційного мартенситного перетворення в наплавленому металі, досягнуто показників здатності до зміцнення на рівні сплавів, у яких цей показник отримано за рахунок рівня легування карбідоутворюючим елементом (марганцем та хромом), а також максимальний показник ступеню зміцнення  $\Delta$ .
- Результати визначення залишкових напружень і випробувань на довговічність показали, що зміцнення є великим резервом підвищення надійності деталей.
- Розроблена вдосконалена конструкції розпилювача. Комп'ютерний аналіз розробленого розпилювального пристрою в програмі: Компас – 3D моделювання, розрахунку масоцентрувальних характеристик показав, що конструкція має достатній запас міцності.

- Проведено розрахунки, які забезпечують високу продуктивність відновлення, що в свою чергу зменшує трудомісткість та витрату часу.
- Використання модернізованого технологічного процесу на підприємстві дозволить отримати позитивний економічний ефект.

Впровадження модернізованого технологічного процесу потребує від інвестора 214484,86 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 1979699,21 грн.;

- чистий дисконтований дохід (інтегральний ефект) 202500 грн.;
- внутрішня норма дохідності (прибутковості) 30%;
- термін окупності 0,4 року.



**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!!!**