

МІНІСТАРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра галузевого машинобудування та архітектури

## ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

ОС «бакалавр»

Тема «МОДИФІКАЦІЯ НОЖІВ ПОДРІБНЮВАЧА СОЛОМИ  
ЗАСТОСУВАННЯМ БЕЗВОДНЕВИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ  
ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕТОДІВ ЗМІЦНЕННЯ»

Галузь знань 20 Аграрні науки та продовольство

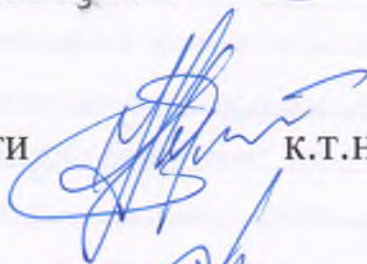
Спеціальність 208 Агроінженерія

Виконав: ст. гр. АІ<sub>5</sub>-20-1



Валентин АНДРУХ

Керівник роботи



к.т.н., доц. Микола ЛУКЯНЮК

До захисту допускаю:



к.т.н., доц. Андрій МАРТИНЮК

Завідувач кафедри ГМіА



10 06 2025 р.

Хмельницький 2025р.

## **Анотація**

В процесі виконання даної роботи було проведено теоретичні дослідження, а також експериментальні дослідження зносостійкості зразків.

Науково обґрунтовано застосування методу азотування в тліючому розряді, як оптимального виду хіміко-термічної обробки для модифікації ножів подрібнювача соломи зернозбирального комбайна. Проведено дослідження залежності фізико-механічних властивостей азотованих в тліючому розряді поверхонь від технологічних параметрів процесу азотування, а також саму будову та властивості азотованого в тліючому розряді шару.

Ключові слова: зносостійкість, азотування, ножі зернозбирального комбайна, тліючий розряд

# ЗМІСТ

ВСТУП.....	2
1. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ.....	5
1.1 Призначення комбайна.....	5
1.2 Принцип роботи комбайна.....	5
1.3 Будова комбайна.....	6
1.4 Принципова схема процесу подрібнення.....	7
1.5 конструктивні особливості подрібнюючого апарату.....	9
1.6 НАУКОВИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ СТАЛЕЙ.....	12
1.6.1 Поверхнєве зміцнення металів механічним впливом.....	12
1.6.2 Хіміко-термічні методи обробки.....	13
1.6.3 Цементация металевих поверхонь.....	13
1.6.4 Ціанування металевих поверхонь.....	14
1.6.5 Азотування металевихдеталів.....	15
1.6.6 Дифузійна металізація поверхонь.....	16
1.7 Висновки.....	17
2 ВДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АЗОТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ .	19
2.1 РЕКОНСТРУКЦІЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ АЗОТУВАННЯ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ.....	19
2.2 ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ УСТАНОВКИ АТР.....	23
2.2.1 Оптимізація режимів процесу азотування в тліючому розряді.....	23
2.2.2 Питомі витрати енергії розряду.....	24
2.2.3 Потужність тліючого розряду.....	24
2.2.4 Площа поперечного перерізу розрядної камери.....	25
2.2.5 Робочий об'єм розрядної камери.....	25
2.2.6 Загальна потужність розряду.....	26
2.2.7 Визначення тривалості процесу азотування.....	26
2.2.8 Витрати газової суміші.....	26
2.2.9 Модернізація вакуумної системи установки.....	27
2.3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ОСНАСТКИ ДЛЯ АЗОТУВАННЯ КОМПЛЕКТУ НОЖІВ ПОРІБНЮВАЧА.....	30
3 ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІОННО-АЗОТОВАНИХ СТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ	44
3.1 ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ІОННО-АЗОТОВАНИХ СТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ.....	44
3.2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ АЗОТОВАНИХ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ ЗРАЗКІВ.....	54
3.3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ НОЖІВ АЗОТОВАНИХ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ.....	57
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>59</b>
ЛІТЕРАТУРА:.....	60

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000 ПЗ</b>				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Андрух				Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевір.	Лук'янюк						50		
Реценз.					<i>Пояснювальна записка</i>				
Н. Контр.	Лук'янюк				<i>ХНУ зр. АІз-20-1</i>				
Затверд.	Мартинюк								

## ВСТУП

В умовах воєнного стану, розвиток економіки України носить специфічний характер. Спостерігається зростання попиту на підвищення якості натуралізації продукції сільського господарства особлива увага приділяється якості хліба, а це потребує вдосконаленню обладнання, його постійної модернізації.

Ефективність рослинництва базується на передових продуктивних методах вирощування зерна, застосуванні досягнень зональної науки, обґрунтуванні прогресивних технологій вирощування сільськогосподарських культур. З використанням за основу біологічних характеристики рослин, правильне використання земельних угідь відповідно до їх родючості та кліматичних умов регіону.

Прогресивна технологія обробки і вирощування повинна включати такі основні пункти, як: -відбір культур кращих сортів, які за регіональними ґрунто-кліматичними особливостями дають найбільшу економічну та біологічну цінність; -вибір оптимальних попередників у сівозміні; - передова система обробітку ґрунту; -застосування оптимізованих добрив; застосування досягнень насінництва; застосування системи забезпечення захисту рослин від шкідливих організмів, які негативно впливають на результат виродування; застосування системи машин; -підготовка насіння до посіву; -застосування методів, норм висіву; -бір потрібної глибини посіву; -застосування необхідного догляду за посівом; - якісне збирання врожаю, та первинна обробка зібраного врожаю.

Враховуючи особливості землеробства на сучасному етапі тенденція розвитку сільського господарства сьогодні направлена на зростання врожайності, яку забезпечують як передові сорти, так і спільно з науковообґрунтованою технологією обробки.

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На якість продукту також впливають: зниження загальної культури землеробства; -порушення технологій обробітку; -недотримання науково обґрунтованих сівозмін; -зменшення захисних заходів. Все це впливає на реальні врожаї значно нижче можливих і якість не відповідає сучасним вимогам.

Причини, як показує досвід, низької та нестабільної врожайності сільськогосподарських культур бувають різні. Загальновідомі фактори, такі як: - недостатній матеріальний та технологічний фундамент рослинництва; - недостатня родючість ґрунту; -несвоєчасна технологічна робота та технічна експлуатація обладнання; -недостатнє врахування ґрунтових та кліматичних умов регіону; -еколого-економічні особливості регіону. Врахування агробіологічних характеристик сучасних сортів та їх реакцію на саму технологію та окремі технобіологічні методи вирощування, що спрямовані на підвищення врожайності та якості виробництва зерна, його зберігання та обробки.

Отже: від рівня підготовки насінневого матеріалу, терміну посадки, залежать якість посадки, продуктивність процесу та посадкових машин і в кінцевому варіанті - урожай.

Вирощування зернових - одна з основних галузей сільськогосподарського виробництва. Зерно використовується не тільки як хліб у сфері виробництва харчових продуктів, але й незамінне у багатьох галузях економіки. Тому необхідно постійно розвивати рослинництво усіма можливими шляхами, використовувати нові технології та обладнання, а також користуватися перевагами останніх наукових досягнень для вдосконалення обладнання.

Переробка зерна - досить трудомісткий процес. Основними завданнями сучасних сільськогосподарських господарств цього України є: -збільшення врожайності орних земель, що залежить: -від покращення запасів насіння; - застосування передових методів землеробства; -поліпшення родючості ґрунтів; - удосконалення та застосування прогресивних машин та обладнання; -скорочення

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

терміну збирання врожаю; -належного зберігання; а також використання добрив та пестицидів. Дотримання передових технологій вирощування зернових культур є основою підвищення їх врожайності, отримання хороших результатів господарювання в сфері сільського господарства України. Важливе значення на врожайність має також застосування нового модернізованого обладнання з використанням передових методів зміцнення робочого інструменту машин.

Одним із немаловажних технологічних процесів комбайнового збирання зернових культур є процес подрібнення побічних продуктів урожаю: соломи, кукурудзиння і т. і. Цей захід сприяє забезпеченню ефективності його використання в якості кормів, органічних добрив і таке інше.

Подрібнення соломи при комбайновому збиранні зернових культур як привило здійснюється за допомогою спеціального подрібнюючого агрегату передбаченого в конструкції, як складової частини комбайну. Сам процес подрібнення реалізується за допомогою спеціальних ножів які знаходяться в подрібнюючій частині комбайна. При цьому, частина ножів закріплена нерухомо в одному суцільному ряді, а інша закріплена шарнірно попарно.

Метою даної роботи є модифікація ножів шляхом азотування їх поверхневих шарів в тліючому розряді на спеціально модернізованому обладнанні в умовах Подільського фізико-технологічного центру Хмельницького національного університету.

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

## 1.1. Призначення комбайна

Зернозбиральний комбайн являє собою автоматизовану сільськогосподарську машину для збирання колосових культур, таких як пшениця, ячмінь, жито і т. і. При модернізації шляхом встановлення додаткових модулів комбайн здатний збирати й інші культури, такі як: кукурудза, гречка, соняшник, бобові культури і т.і.

При роботі зернозбирального комбайна відбувається цілий комплекс процесів які в цілому забезпечують процес автоматизації збору урожаю.

Комбайн для збору зернових являє собою досить складний механізм, здатний виконувати повний технологічний цикл, який складається з наступних операцій:

- зріз колосків зі стеблом;
- подача колосків зі стеблами до молотильного пристрою;
- обмолот зерна;
- очищення вороху;
- переміщення зерна в спеціальний бункер;
- відвантаження зерна до транспортуючої машини;
- подрібнювач соломи.
- 

## 1.2. Принцип роботи комбайна

Комбайн являє собою машину, яка виконує водночас технологічних декілька операцій. Рухаючись по полю, комбайн зрізає колоски зі стеблом. Далі виконується подача стебел і колосків до молотильного пристрою, де відбувається

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обмолот зерна. Далі здійснюється відділення чистого зерна від включень. Очищене зерно подається в спеціальний бункер, який наповнюється в процесі збирання. При заповненні бункера здійснюється відвантаження, можливо безпосередньо в процесі обробки у полі.

Комбайн включає такі агрегати, як жатка, молотилка, віялка, а також подрібнювач соломи.

### 1.3. Будова комбайна

При відносно простій будові комбайн вкрючає доволі велику кількість елементів. Одночасна паралельна робота всіх елементів забезпечує досить афективний збір врожаю.

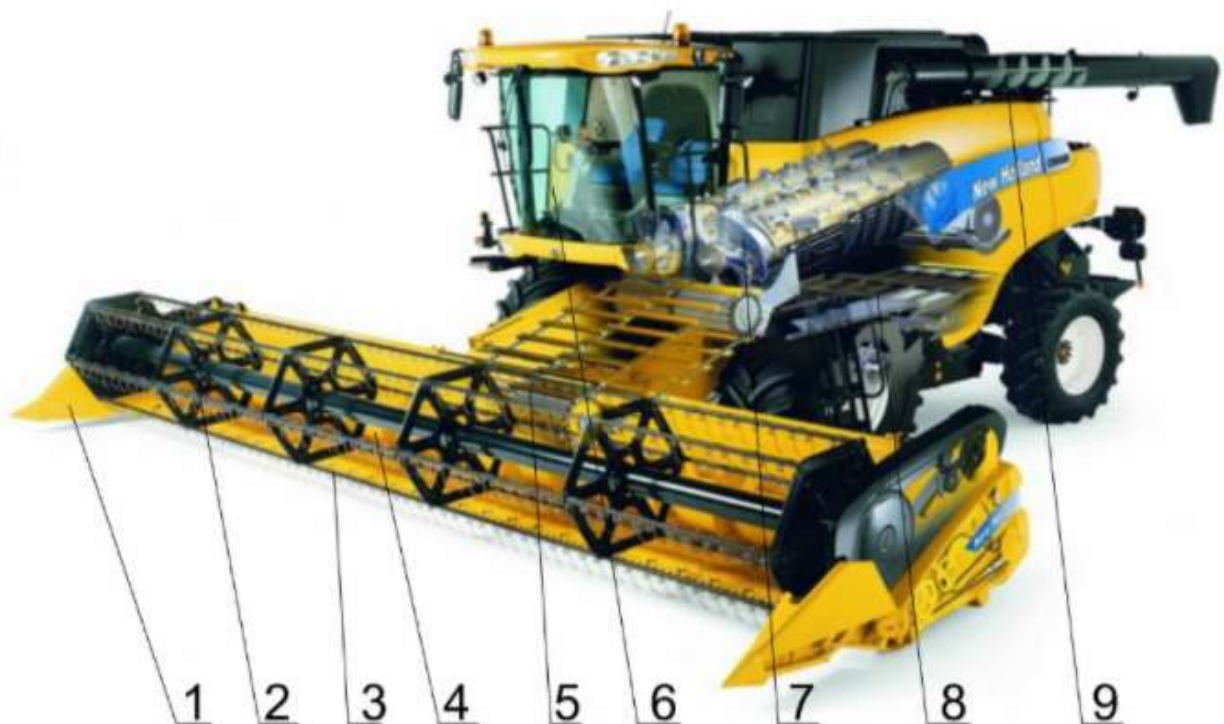


Рисунок1 Будова комбайна 1 – відсікач; 2 – мотовило; 3 – косилка із сегментними ножами; 4 – шнек для переміщення зернової маси; 5 – транспортер; 6 – кабіна; 7 – молотилка та сепаратор; 8 – соломотряс; 9 – шнековий транспортер для відвантаження

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Комбайн складається з наступних основних вузлів:

- Жатка комбайна;
- Проставка жатки;
- Нахилена камера;
- Молотильно-сепаруючий агрегат;
- Бункер для зерна;
- Накопичувач;
- Двигун комбайна;
- Трансмісія комбайна;
- Ходова система комбайна;
- Гідравлічна система машини;
- Електроустаткування комбайна;
- Органи керування комбайном;
- Кабіна оператора;
- Електронна система контролю та управління.

Будова зернозбирального комбайна забезпечує його безперебійну роботу в певному режимі доволі довго. Для забезпечення стабільної роботи комбайна необхідно контролювати сам процес і вчасно здійснювати обслуговування. Своєчасна заміна мастил технічний огляд а також своєчасна заточка лез.

#### **1.4. Наукове обґрунтування процесу різання (подрібнення)**

Різання широко застосовується у консервному цукровому, м'ясопереробному, хлібопекарному, кондитерському та інших харчових виробництвах, а також широко застосовується в сільському господарстві, при вирощуванні буряків, кукурудзи, та інших сільськогосподарських культур.

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Процес різання змінює форму сировини, її розміри та змінює форму та розміри поверхні продукту. У різальних машинах робочим органом виступає ніж.

Ножі можуть мати різноманітну форму: одностороннього або двостороннього клиноподібного ножа. Поверхня А одностороннього клинового ножа є робочою, або лицевою. Друга грань Б буде називатися опорною. У двостороннього клинового ножа обидві грані робочі. Лінія перетину граней називається ріжучою (робочою) крайкою, або лезом. Кут  $\alpha$  і  $2\alpha$  між гранями назовемо кутом загострення. Різання ножем фактично є розтинанням лезом. Якщо ріжуче лезо ножа має зубчасту форму, то це є пилка.

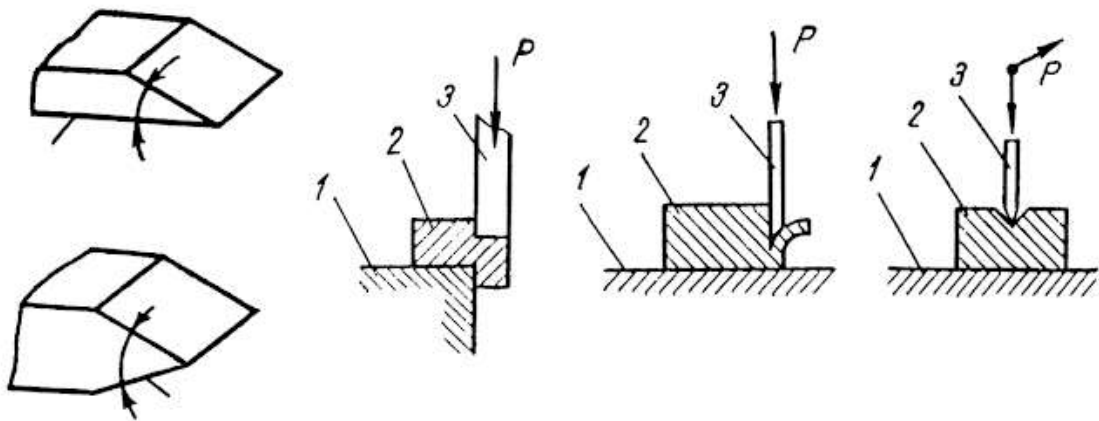


Рисунок 2 Особливості процесу різання (подрібнення)

Процес різання поділяється на три основні види: різання пуансоном (див. рисунок перший зліва), різання різцем (плоским клином, див. рисунок другий зліва), різання ножем (див. рисунок крайній справа). В першому випадку - пуансон 3 під дією поздовжньої сили  $P$ , яка направлена перпендикулярно робочій грані, виконує процес зрізу матеріал 2, що знаходиться на поверхні матриці 1. Таким чином за допомогою пуансона ріжуть в основному відносно тверді харчові

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продукти, наприклад овочі. Другий вид, різання різцем 3 (другий випадок), ніж 3 вірізається в матеріал 2, який знаходиться на опорній плиті 1, клином. Таким чином виконіють різання твердих, пластичних, а також м'яких харчових продуктів: м'ясо, рибу, хліб, тощо.

Для здійснення процесу різання ножем відповідних машин надаються: обертово - поступальні, або поворотньо-поступальні, або планетарні, або вібруючі рухи. Слід відмітити, що є також різальні машини, в яких ножі є нерухомими.

Залежно від характеру та напрямку відносного переміщення ножа і продукту подрібнювання можна поділити на рубання та різання. Під час рубання різальний інструмент (ніж) рухається відносно продукту перпендикулярно до ріжучого леза, в процесі різання - під гострим кутом до ріжучого леза.

### 1.5. Науковий аналіз конструкції подрібнюючого агрегату

Таблиця 1 Характеристика подрібнювача стеблової сировини

Тип робочого органу подрібнювача	Дослідники і розробники	Примітка
<p>Ножовий барабан з шарнірно підвішеними ножами</p> 	<p>1 Шаповалов В.І., 2 Макаров І.В., 3 Мельников С.В., 4 Сироватка В.І.</p>	<p>Подрібнення соломи за принципом різання пуансоном (рубка розщепленням частинок від удару)</p>

У сільськогосподарській техніці застосовуються різноманітні конструкції подрібнюючих агрегатів зернозбиральних комбайнів. При цьому слід відмітити що ріжучі апарати з шарнірно підвішеними ножами досліджувалися в основному при різанні вільно стоячого стебла безпідпірна конструкція. Визначальним

фактором для здійснення такого різання являється критична швидкість різання. Якщо швидкості різання нижче критичної, то процес різання не здійснюється, при цьому відбувається зминання.

Вперше дослідженням безпідпiрного зрiзу рослин займався академік В. П. Горячкін. Він вперше запропонував формулу для визначення критичної швидкості різання. В подальшому цим питанням займалися: академік А. Ю. Ішлінський, академік І. Ф. Василенко, а також академіки Б. М. Гутъяр, В. І. Фомін, В. Я. Каллюс, Н. Е. Резнік та ін.

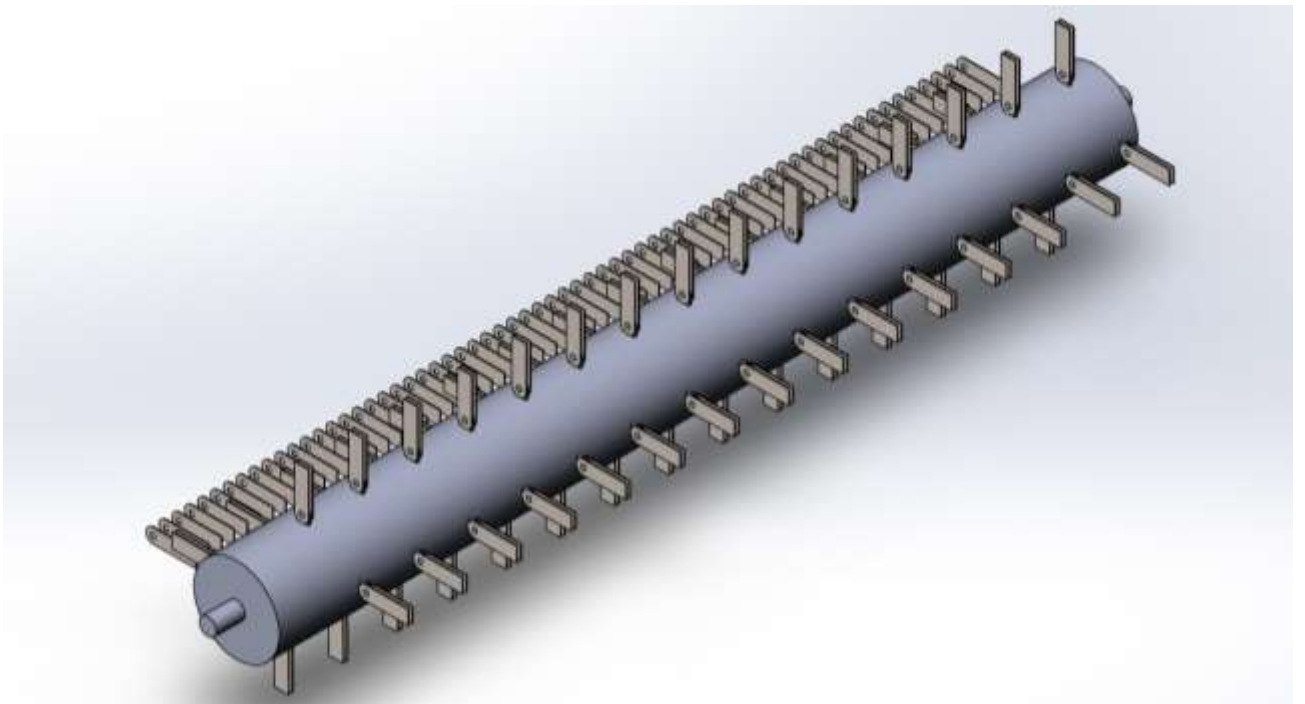


Рисунок 3 Загальний вигляд ножового барабана з шарнірно-закріпленими ножами

Подрібнювач соломи можна віднести до кормодробарок. Кормодробарками із шарнірними молотками досліджували І. В. Макаров, С. В. Мельников, В. І. Сироватка та ін. В роботі Ю. М. Шидловського, шляхом експериментальних досліджень було встановлено, що для забезпечення необхідної якості подрібнення

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

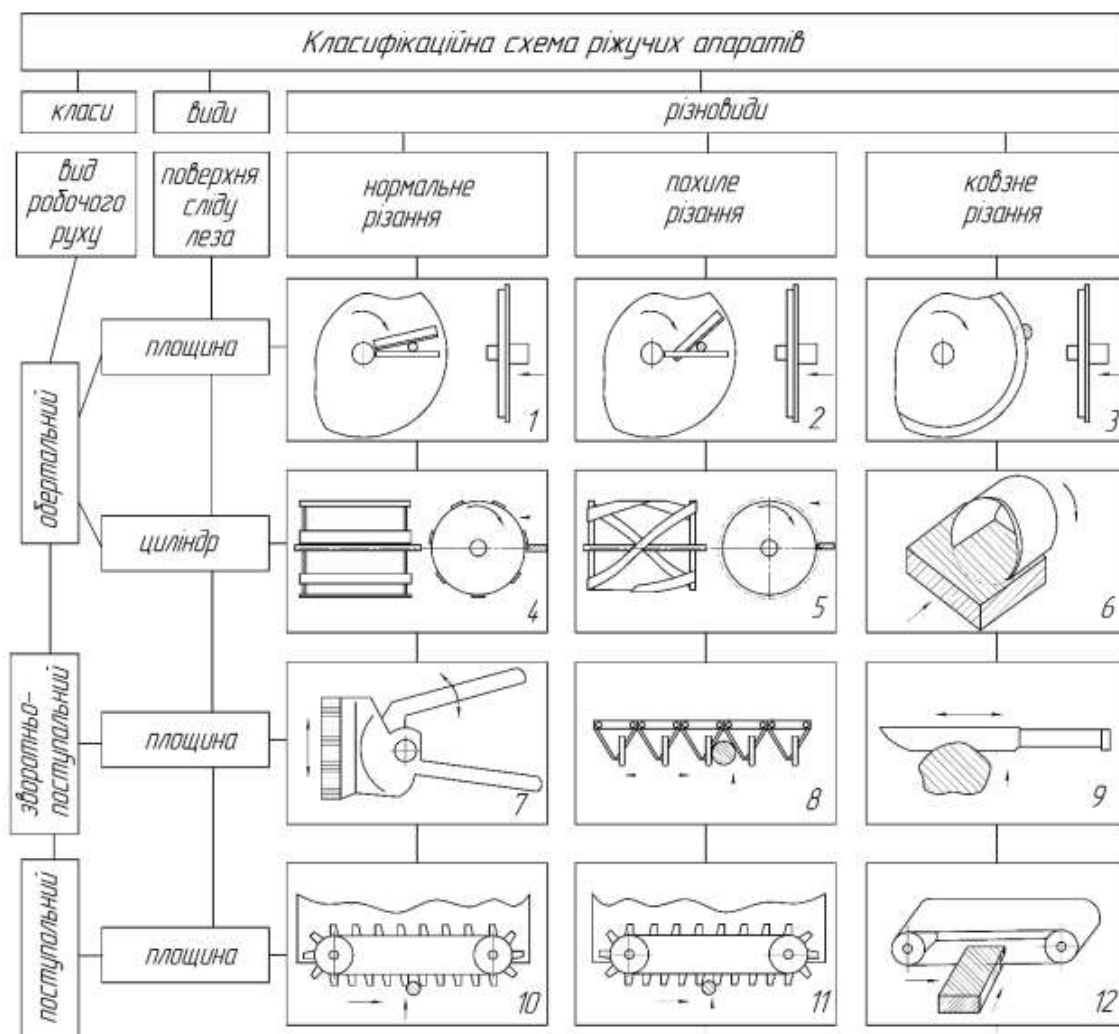
й розщеплення соломи, а також оптимальних енергетичних витрат, швидкість різання повинна становити 48...50 м/с. При цьому центр ваги молотка потрібно розміщувати на відстані 0,7 довжини ножа від осі його підвісу, а маса ножа, при цьому, повинна бути не менше 1,4 кг. У роботі була запропонована й обґрунтована конструкція шарнірного ножа, яка, як показав досвід, забезпечує надійне виконання технологічного процесу, при роботі на подрібнюванні сухих злаків.

Метою наших досліджень було визначення основних факторів впливу на процес якості подрібнення соломи в зернозбиральному комбайні та оптимізація параметрів подрібнюючого апарата із шарнірною підвіскою ножів.

Результати досліджень приведені в таблиці 2

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						11
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Таблиця 2 Класифікація ріжучих апаратів за Резніком Н. Є.



## 1.6. Науковий аналіз методів поверхневого зміцнення сталей

### 1.6.1. Поверхнєве зміцнення металів механічним впливом

Деформаційне зміцнення являє собою процес зміцнення шляхом пластичного деформування поверхні в умовах часткової або повної рекристалізації.

Існуючі механічні способи зміцнення металевих поверхонь ґрунтуються на використанні методів наклепу: – накатка; – гідро абразивна та дробоструминна обробка; – обкатка кульками чи роликами; – алмазне вигладжування; – дорнування тобто поверхневе пластичне деформування.

Застосування деформаційного зміцнення це простий та ефективний спосіб підвищення зносостійкості та довговічності деталей машин особливо таких, які працюють в умовах значних знакозмінних навантажень. До таких слід віднести: вали, осі, зубчасті колеса, підшипники, поршні, циліндри двигунів, зварні конструкції, тощо. Іноді поверхневе пластичне деформування крім зміцнення поверхні, значно зменшує її шорсткість, підвищує зносостійкість самих деталей.

### **1.6.2. Хіміко-термічні методи обробки сталевих поверхонь деталей**

До хіміко-термічних методів зміцнення слід віднести такі методи, як: – цементація; – азотування; – ціанування; – дифузійна металізація, та ін. Тобто метал насичується хімічними елементами, реакція з якими позитивно впливає на поліпшення механічні властивості поверхневого шару деталей.

### **1.6.3. Цементація металевих поверхонь**

Цементація металевих поверхонь це такий вид хіміко-термічної обробки, який полягає у поверхневому дифузійному насиченні маловуглецевих сталей атомарним вуглецем з метою підвищення поверхневої твердості і таким чином зносостійкості. Цементація з наступною термічною обробкою (гартуванням) одночасно підвищують і границю витривалості.

Цементації піддаються, як правило, маловуглецеві сталі. У разі використання твердого карбюризатора, процес здійснюється при температурах

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

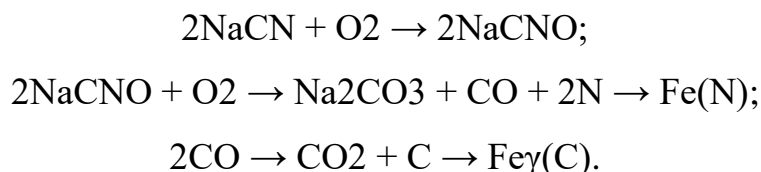
900...950 ° С. При газовій цементації ( з використанням газового карбюратора) — 850...900 ° С.

Після цементації деталі піддаються гартуванню, що сприяє утворенню у поверхневому шарі мартенситної фази виробу з наступним відпуском для зняття внутрішніх напружень.

#### 1.6.4. Ціанування металевих поверхонь

Ціанування — вид хіміко-термічної обробки, під час якої поверхня деталі насичується одночасно: атомарним вуглецем, а також азотом в розплавах, що містять ціанисті солі, такі як NaCN або KCN.

Процес здійснюється в ваннах з розплавленими ціанистими солями, такими як NaCN з добавками солей BaCl та ін. В процесі такого окислення ціанистого натрію утворюється атомарний азот та окис вуглецю, див рівняння:



В результаті проведення процесу ціанування поверхневий шар деталі буде складатися з карбонітридів Fe<sub>2</sub>(N, C) або Fe<sub>3</sub>(N, C), а під цим шаром розташовується аустеніт, збагачений азотом, який в процесі наступного гартування частково перетворюється у мартенсит.

Глибина ціанованого шару становить від 0,1 до 2 мм, а концентрація в ньому вуглецю та азоту залежать від температури та тривалості процесу. Ціанований таким чином шар має високу твердість HRC58...62 і високу

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

зносостійкість. Спостерігається також підвищення витривалості та корозійної стійкості.

Залежно від температури проведення процесу, розрізняють: високотемпературне; – середньотемпературне; та низькотемпературне ціанування.

### **1.6.5. Азотування металевих поверхонь**

Азотування — вид хіміко-термічної обробки, який полягає у насиченні поверхневого шару металевих виробів азотом з метою підвищення твердості, зносостійкості, витривалості та корозійної стійкості в агресивних середовищах.

Азотування виробів проводять при температурі 500...600 °С у камерних, шахтних, контейнерних або ковпакових печах, шляхом подавання в них сухого аміаку.

В печах, в процесі нагрівання, аміак, спочатку, розпадається на водень і азот. При цьому, легуючі елементи, такі як: алюміній, молібден, ванадій, хром, утворюють з атомами азоту стійкі хімічні сполуки — нітриди. Саме вони і надають деталям значної поверхневої твердості (1200 за Віккерсом). Товщина азотованого шару, при цьому, становить 0,3...0,6 мм. Тривалість самого процесу азотування становить від 24 до 90 год.

Азотування, як вид ХТО, підвищує твердість поверхневого шару, зносостійкість, витривалість і корозійну стійкість сталевих деталей. Азотований шар має твердість в межах 700...1200 НV, яка зберігається при робочих температурах до 600 °С.

Азотуванню, як правило, піддаються циліндри і клапани двигунів, зубці шестерень і зубчастих коліс, вали та осі, сідла до клапанів, шпинделі і ходові гвинти швидкохідних верстатів тощо. Азотування перспективний метод також для вимірювального інструмента, який застосовується в машинобудуванні (різьбові пробки і кільця, плоскі калібри, скоби, шаблони тощо).

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Азотуванню з метою антикорозійної стійкості (температура 600...700 °С) піддають також вироби з вуглецевої сталі. При цьому відбувається утворення азотованого шару завтовшки 0,01...0,04 мм при витримуванні у печі протягом 15 хвилин для дрібних деталей і до 10 год — для значних.

### **1.6.6. Дифузійна металізація поверхонь**

Дифузійна металізація поверхонь — вид хіміко-термічної обробки, який базується на дифузійному насиченні поверхневих шарів металевих виробів іншими металами. Дифузійна металізація, як вид ХТО, проводиться з метою підвищення твердості, корозійної стійкості, зносостійкості, жаротривкості.

Процес дифузійної металізації може здійснюватися з твердої фази, в розплавах металів, якщо метал має невисоку температуру плавлення; в паровому середовищі сублімованого металу, або в газовому середовищі галогенів металів, таких як  $\text{CrCl}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{SiCl}_4$  і т.і..

Насичення з твердої фази застосовується для таких металів як: залізо, нікель, кобальт, титан. В даному випадку дифузійну металізацію здійснюють тугоплавкими металами, такими, як Мо, W, Nb, U, пружність пари яких менша за пружність пари основного металу деталі. Процес металізації реалізується в герметичному контейнері, де оброблювані деталі пересипаються порошкоподібним металом. Процес реалізується у вакуумі або в нейтральному середовищі при температурі 1000...1500 °С.

Насичення в рідинному середовищі застосовують при алітуванні, хромуванні, цинкуванні, мідненні. В цьому випадку процес відбувається в печах-ваннах, розплав дифундуючого металу в яких, або солі цього розплаву, взаємодіють з поверхнею оброблюваних деталей при температурі 800...1300 °С. Таким методом можна здійснювати, також, і комплексну дифузійну металізацію, наприклад: хромоалітування; хромотитанування; хромонікелювання і т. і.

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Насичення поверхонь з парової фази застосовують лише для сплавів на основі заліза, нікелю, молібдену, титану та подібних, а насичують поверхню металів такими елементами, які мають вищу пружність пари, ніж той метал, що насичується, наприклад: Zn, Al, Cr, Ti. Процес здійснюється в герметичних контейнерах при розрідженні до 10 Н/м<sup>2</sup> і температурі процесу 850...1600 °С. При цьому процес може реалізуватися контактним або безконтактним способом. При контактному способі парова фаза виникає при сублімації металу, вона генерується поблизу місць контакту порошкоподібного металу з оброблюваною поверхнею деталі, при безконтактному способі — генерування парової фази відбувається на деякій відстані від поверхні деталі.

Насичення з газової фази здійснюють при дифузійній металізації елементами такими як: Al, Cr, Mn, Mo, W, Nb, Ti. Дифузії металу сприяють реакції взаємодії газоподібних хімічних сполук дифундуючих елементів з основним металом деталей. В якості газової фази виступають галогеніди, (переважно хлориди), дифундуючих металів. Газове насичення поверхонь реалізується в муфельних печах, або в печах спеціальної конструкції при температурі 700...1000 °С. При цьому можливе генерування газової фази на певній відстані від поверхні насичення (безконтактний спосіб) і в зоні контакту джерела активної фази з поверхнею металу деталі (контактний спосіб).

## 1.7. Висновок

На наш погляд, найкращим методом зміцнення поверхневих шарів матеріалу є азотування в тліючому розряді. В порівнянні з такими розповсюдженими способами ХТО, як: цементация; нітроцементация; ціанування і газове азотування у печах, метод безводневого азотування в тліючому розряді (БАТР) має наступні переваги: значне скорочення тривалості процесу; можливість

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отримання зміцнених шарів заданої структури і фазового складу; мінімальна, серед усіх відомих процесів даного класу, енергоємність процесу; відсутність формозміни (короблення) оброблюваних деталей; можливість зміцнення глухих і наскрізних отворів; повторювальність результатів; висока екологічність процесу, покращення санітарно-гігієнічних умов виробництва; зниження собівартості процесу обробки.

Безводневе азотування в тліючому розряді відноситься до технологій універсального застосування, оскільки являється ефективним методом модифікації не лише деталей, штампової та ливарної оснастки, а також різального інструменту. Під час обробки сталевих поверхонь БАТР дозволяє максимально знизити короблення та деформацію деталей, які неминуче виникають при інших видах ХТО. Остання перевага дозволяє уникнути фінішної обробки, і відповідно, зменшення товщини модифікованого шару. Для деяких деталей, наприклад, довгомірних валів, шестерень великого діаметру, БАТР є майже єдиним способом отримання готового виробу з мінімальною кількістю бракованих деталей.

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						18
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 2. ВДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АЗОТУВАННЯ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ

### 2.1. Реконструкція установки для азотування в тліючому розряді

В промисловості застосовуються установки для азотування в тліючому розряді достатньо різноманітних конструкцій. В основному у кожному окремому випадку установка призначення для певного виду процесів. У будь-якому випадку для отримання азотованих шарів у тліючому розряді – установка повинна включати в себе наступні функціональні вузли:

- систему електричного живлення розряду;
- систему вакуумування;
- систему автоматичної підготовки газової суміші;
- систему очистки газової суміші від домішок;
- систему подачі газу до розрядної камери;
- систему керування розрядом;
- систему управління технологічними параметрами процесу;
- розрядну камеру для обробки деталей.

Принципова схема установки для азотування в тліючому розряді спроектованої і виготовленої в Подільському науковому фізико-технологічному центрі Хмельницького національного університету проедставлена на рисунку 4.

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

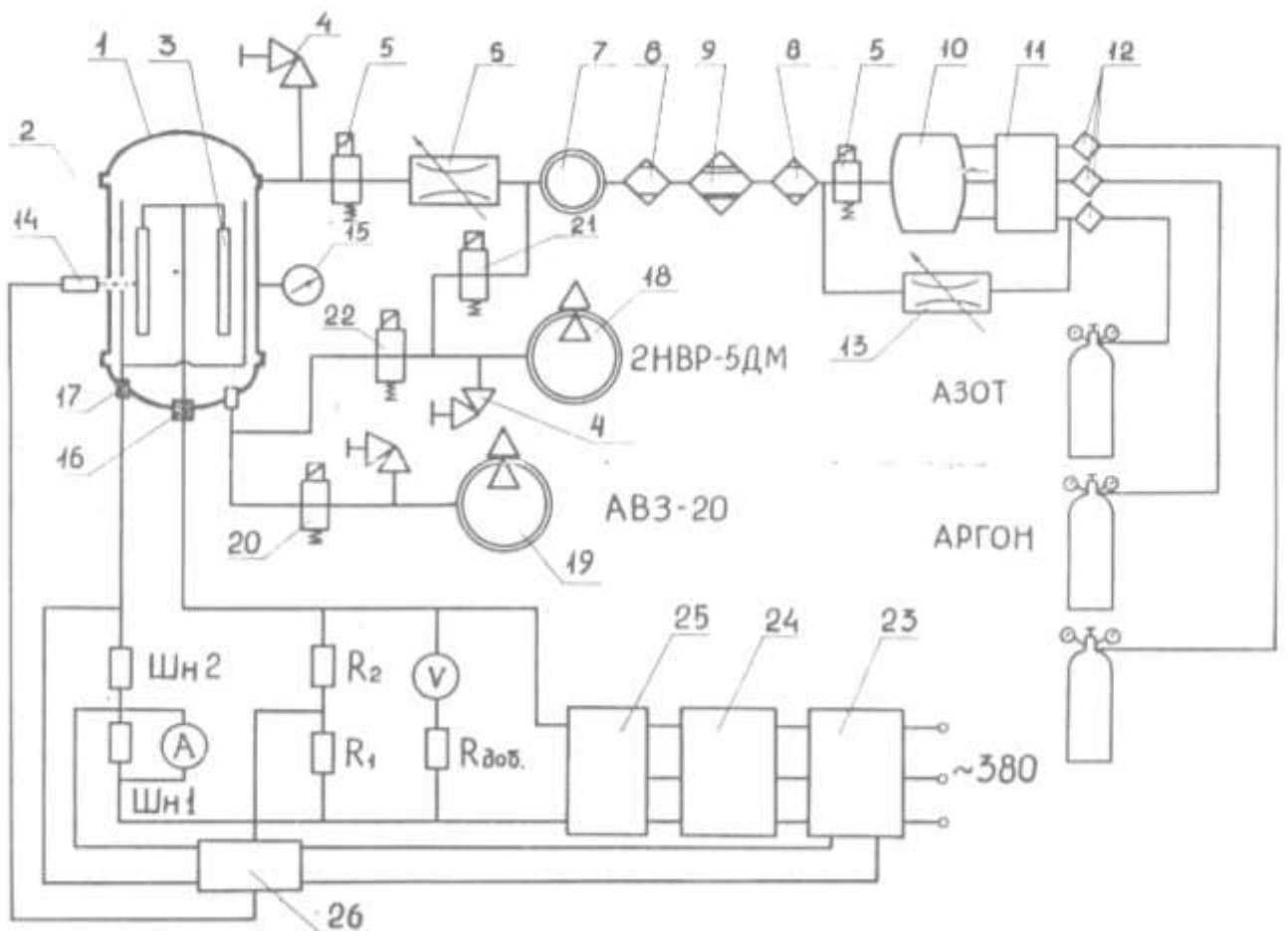


Рисунок 4 Принципова схема установки для азотування в тліючому розряді 1 – розрядна камера; 2 – анод; 3 – катод; 4 – натікач; 5, 20–22 – електромагнітні вакуумні клапани; 6, 13 – дросель; 7 – витратомір; 8 – вологовідділювач; 9 – кисневловлювач; 10 – змішувач; 11 – дозатор; 12 – фільтр; 14 – датчик температури; 15 – вакуумметр; 16 – струмоввід катода; 17 – струмоввід анода; 18, 19 – вакуумні насоси; 23 – регулятор напруги; 24 – силовий трансформатор; 25 – випрямляч; 26 – контролер

Система електроживлення установки складається із регулятора напруги трьохфазного струму РНТТ, силового трансформатора Т, випрямляча електричного струму В та ємнісно – індуктивних фільтрів випрямленого струму. Працює система наступним чином: через регулятор напруги РНТТ – напруга подається на силовий трансформатор Т.

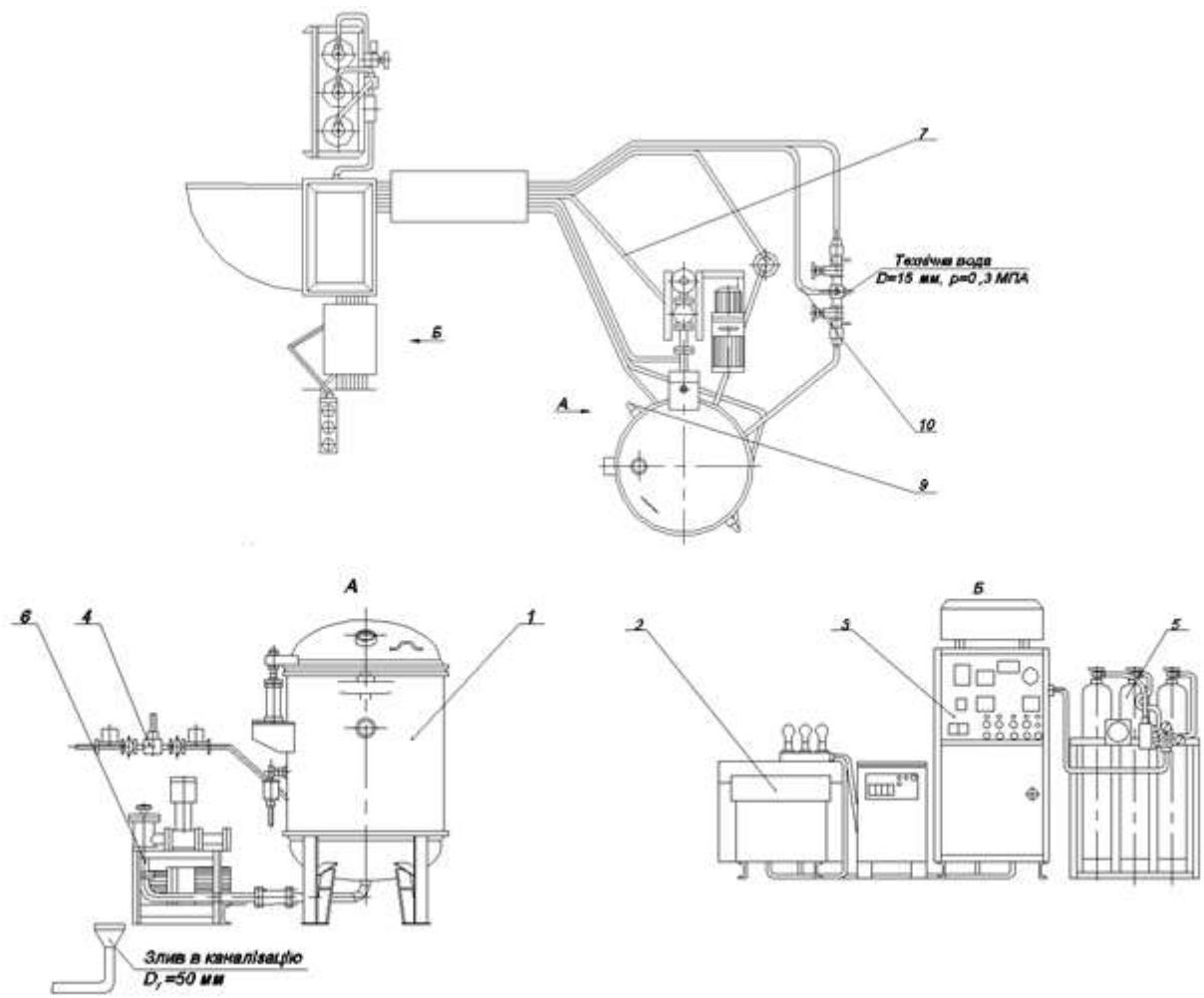


Рисунок 5 Загальний вид установки азотування в тліючому розряді (УАТР-50).

- 1 – розрядна камера; 2 – регулятор РНТТ; 3 – система газопідготовки; 4 – натікач; 5 – балони з газом; 6 – система вакуумна; 7 – електропроводи; 9 – ілюмінатор; 10 – трубопроводи системи вакуумування.

Трансформатор Т – підвищує напругу до потрібного значення, яка далі через випрямляч В та спеціальну систему ємнісно-індуктивних фільтрів подається через струмовводи живлення в розрядну камеру 1.

Система вакуумування складається із роторного-пластинчасто вакуумного насоса 7, електродвигуна 13, та системи клапанів. Вакуумний насос, що приводиться в рух за допомогою електродвигуна 19 забезпечує необхідне для

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

розряду розрідження в розрядній камері. Під час процесу азотування насос забезпечує відкачку відпрацьованої газової суміші із камери.

Для запобігання випадків потрапляння мастила до системивакуування передбачений клапан-натікач 14 для подачі повітря до камери по закінченню процесу роботи насоса, або при аварійній зупинці останнього в процесі азотування.

Газові компоненти подаються із балонів в систему підготовки газової суміші, де вони змішуються у відповідних пропорціях, в залежності від необхідної концентрації газової суміші. Далі газова суміш через спеціальний редуктор, з певним заданим тиском, подається до системи очистки газової суміші.

Газова суміш проходить через очисну цеолітову пастку, яка являє собою герметичний контейнер наповнений цеолітом, для очищування газової суміші від вологи. Далі суміш потрапляє в пристрій очистки суміші від кисню (контейнер наповнений мідною стружкою підігрітою до високої температури). В пристрої кисневої очистки, кисень, якщо такий трапляється, реагує з розігрітою до високої температури мідною стружкою і витрачається на утворення окису міді.

Далі, через дросель 12 очищена газова суміш потрапляє у розрядну камеру 1. Необхідний тиск в робочій камері забезпечується сумісною роботою вакуумного насоса 7 та регулювального дроселя 12.

Для напуску повітря до камери перед відкриттям останньої - служить клапан натікання 14.

Система контролю та керування тліючим розрядом складається із двох поєднаних між собою блоків: блока керування та блока контролю. Блок керування виконує функцію керування усіма необхідними параметрами процесу. Він складається із регулятора напруги трьох-фазного струму 15, та системи пускачів та вимикачів. Автоматична стабілізація тліючого розряду забезпечується

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

введенням до системи послідовно з'єднаних із розрядною камерою дроселя та активного опору, як датчиків блоку стабілізації розряду.

Схема також передбачає застосування також електронної системи захисту від дугового розряду.

Контрольно-вимірювальна система включає в себе спеціальні прилади для контролювання та регулювання вакуумних та електричних параметрів тліючого розряду. Напруження самого розряду, а також напруження регулятора напруження трьох-фазного струму вимірюється кіловольтметром та вольтметром, струм вимірюється амперметром.

Для вимірювання температури поверхні катоду, тоб-то самої деталі, що обробляється, застосовується прилад ПЧД 121, (пірометр), він призначений для безконтактного вимірювання та контролю температури поверхні катоду у межах 450°...750°С по їх тепловому електромагнітному випромінюванню, яке знімається з поверхні спеціальної мішені.

Для вимірювання степені розрідження в розрядній камері – застосовується деформаційний газо-розрядний вакуумметр ВДГ-1 13 з вторинним перетворювачем.

Усі контрольно-вимірювальні та регулюючі прилади монтуються в окремому шкафу-блоці з метою уникнення вібрації, що передається від двигуна насоса на корпус установки.

## **2.2. Вдосконалення технологічних параметрів установки УАТР**

### **2.2.1. Оптимізація режимів процесу азотування у тліючому розряді**

Оптимальні режими процесу азотування в тліючому розряді забезпечуються конструкцією установки, яка проектується із врахуванням необхідних для даного

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

випадку: потужності розряду; об'єму робочої камери; суміші газів що подаються до робочої камери.

Узагальнена площа поверхні нагріву, яка і регламентує потужність розряду, дорівнює площі деталі що підлягає азотуванню а також площі поверхні оснастки, тоб-то підвіски на якій закріплюються деталі, що обробляються.

Сумарна площа поверхні ножів подрібнювача, із за складності конфігурації останніх визначалась експериментальним шляхом. В результаті було прийнято, що загальна площа поверхні комплекту ножів становить  $7,5 \text{ м}^2$ . З врахуванням поверхневої площі оснастки (підвіски) отриману площу необхідно помножити на додатковий коефіцієнт  $K_0$ . Для даного типу деталей (ножів) цей коефіцієнт приймається  $K_0=1,1$ , тоді загальна площа поверхні підвіски з ножами становитиме:

$$A_{\Pi} = K_0 A_K = 1,1 \cdot 7,5 = 8,25 \text{ м}^2$$

де  $A_K$  - площа поверхні комплекту ножів.

### 2.2.2. Питомі витрати енергії тліючого розряду

Питомі витрати енергії тліючого розряду на нагрівання сталевих деталей можуть бути визначені наступним чином:  $q = 0,8 \dots 0,9 \text{ Вт/см}^2$ .

### 2.2.3. Потужність тліючого розряду

Потужність тліючого розряду може бути визначена наступним чином:

$$P_p = q A_{\Pi} = 0,9 \cdot 82500 = 74 250 \text{ Вт}$$

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 2.2.4. Площа поперечного перерізу розрядної камери

Загальна площа поперечного перерізу розрядної камери:

$$A_{KP} = \frac{\pi D_K^2}{4},$$

де  $D_K$  – діаметр робочої частини розрядної камери. Приймається, з врахуванням розмірів підвіски разом з закріпленими на ній ножами. Із конструктивних міркувань, прийнято  $D_K = 750$  мм. Таким чином площа перерізу робочої частини камери:

$$A_{KP} = \frac{\pi \cdot 750^2}{4} = 441\,790 \text{ мм}^2$$

#### 2.2.5. Робочий об'єм розрядної камери

Робочий об'єм розрядної камери становить:

$$V_{KP} = H_{KP} A_{KP},$$

де  $H_{KP}$  – висота робочої частини розрядної камери. Приймається з врахуванням розмірів підвіски разом з комплектом ножів. Габаритів струмовводів та технологічного проміжку між підвіскою та верхом і низом камери. Із конструктивних міркувань, прийнято  $H_{KP} = 1040$  мм. Тоді робочий об'єм камери становитиме:

$$V_{KP} = 1040 \cdot 441\,790 = 459\,461\,600 \approx 460 \text{ л}$$

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

З врахуванням зазорів: між фланцем камери та кришкою, а також об'єми віконних проїомів, ілюмінатори, прийнято об'єм камери 460л.

### 2.2.6. Потужність тліючого розряду

Визначення потужності тліючого розряду, з врахуванням випадкових втрат:

$$\Sigma P_p = \frac{P_p}{q} = \frac{74\ 250}{0,9} = 82\ 500 \text{ Вт} = 82,5 \text{ кВт.}$$

### 2.2.7. Визначення тривалості процесу азотування

Із врахуванням необхідної глибини азотування приймаємо тривалість процесу насичення 4...5год. Із врахуванням витрат часу на підготовку процесу азотування, охолодження азотованих деталей приймаємо загальну тривалість процесу 6 год.

### 2.2.8. Витрати газової суміші

Загальні витрати газової суміші обумовлені величиною робочого тиску у розрядній камері. Згідно технологічних параметрів, значення тиску складає 0,8...4 мм рт. ст., а це відповідає витратам газової суміші 15...30 л/год., при роботі із вакуумним насосом ВА-461М.

На якість процесу азотування впливає швидкість натікання герметичність камери, тому в процесі експлуатації установки, та перед її запуском слід перевірити швидкість натискання, яка повинна бути не більша за  $V_H = 0,1 \text{ мм Hg cm / год.}$

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

## 2.2.9. Модернізація вакуумної системи установки

Вихідні данні:

- об'єм розрядної камери –  $V_{кр} = 80л$ ;
- параметри з'єднувального трубопроводу. Прийнято довжину з'єднувального трубопроводу  $l_T = 1м$ ;
- параметри з'єднувального трубопроводу, прийнято площа поперечного перерізу –  $48,5 \text{ мм}^2$ ;
- загальний тиск у вакуумній системі  $p = 2...4 \text{ мм рт.ст.}$

Для відкачування повітря та відпрацьованої суміші із розрядної камери застосовується вакуумний насос, який приводиться в рух за допомогою електродвигуна. Для виключення шкідливого впливу на розрядну камеру вібрації, яка виникає під час роботи вакуумного насоса, передбачені амортизатори на яких базується система вакуумування. Для з'єднання елементів вакуумної системи з камерою використовуються стандартні вакуумні гумові шланги з перерізом 78,5 мм. Для з'єднання насосів системи із розрядною камерою (в робочому режимі) та із атмосферою в холостому режимі, а також після зупинки насоса передбачений комбінований клапан натіканням, який може з'єднувати камеру, а також систему з атмосферою.

Вакуумна система також включає в себе прилади контролю: вакуумметр деформаційний газорозрядний ВДГ1 разом з перетворювачем ТУ 2.832.001, та датчиком ТУ 2.438.007.

З метою герметизації газорозрядної камери між фланцями камери передбачені прокладки із круглої вакуумної гуми, які розміщуються в пазах фланців камери.

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Усі основні елементи розрядної камери: днище, корпус камери, кришка - виготовлені із корозійно-стійкої сталі 4Х13.

У процесі розрахунку основних елементів вакуумної системи необхідно:

- підібрати вакуумний насос за умови мінімізації часу вакуумування;
- виконати перевірочний розрахунок усіх елементів системи;

Для вибору вакуумного насоса необхідно підібрати час відкачки. Із конструктивних міркувань, приймаємо час відкачки  $t_e = 15 \dots 20 \text{ хв}$ . Виходячи зі швидкості відкачки впливає на продуктивність насосу:

$$t_e = 2,3 \frac{V_K}{S_e} \lg \frac{p_1}{p_2}$$

де  $V_K$  – загальний об'єм, що підлягає відкачуванню  $\text{м}^3$ ;  $S_e$  – ефективна продуктивність насосу,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;  $p_1$  – початковий тиск в системі  $\text{мм рт. ст.}$ ;  $p_2$  – кінцевий тиск у системі  $\text{мм рт. ст.}$

Загальний об'єм вакуумної системи дорівнює сумі об'ємів камери та трубопроводів:

$$\Sigma V = V_K + V_T$$

де  $V_K$  – об'єм камери,  $\text{м}^3$ ;  $V_T$  – об'єм трубопроводів,  $\text{м}^3$ .

Об'єм трубопроводів визначається:

$$V_T = \frac{\pi d_T^2}{4} l_T$$

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

де  $d_T$  – діаметр вакуумного трубопроводу, мм;  $l_T$  – загальна довжина трубопроводу, м.

Ефективна продуктивність вакуумного насосу визначається за формулою:

$$S_E = \frac{S_n}{1 + \frac{S_n}{c}}$$

де  $S_n$  – номінальна продуктивність вакуумного насосу, м<sup>3</sup>/сек.;  $c$  – пропускна здатність трубопроводу вакуумної системи, м<sup>3</sup>/с;

Пропускна здатність трубопроводу:

$$c = 121,5 \frac{d_T}{l_T} (1,5 \cdot 10^3 d_T p_{cp} + 0,9)$$

де  $d_T$  – діаметр вакуумного трубопроводу, мм;  $l_T$  – довжина вакуумного трубопроводу, мм;  $p_{cp}$  – середній тиск у вакуумному трубопроводі мм рт. ст.

$$\begin{aligned} t_e &= 2,3 \frac{\sum V}{S_e} \lg \frac{p_1}{p_2} = \frac{2,3 V_{KP} + \frac{\pi d_T^2}{4} l_T}{\frac{S_n}{1 + \frac{S_n}{c}}} \lg \frac{p_1}{p_2} = \\ &= 2,3 \frac{[4V_{KP} + \pi d_T^2 l_T] [121,5 d_n^3 (1,5 \cdot 10^3 d_T p_{cp} + 0,9) + S_n c]}{4 S_n 121,5 d_T^3 (1,5 \cdot 10^3 d_T p_{cp} + 0,9)} \lg \frac{p_1}{p_2} = \\ &= \frac{0,005 [4V_{KP} + \pi d_T^2 l_T] [121,5 d_T^3 (1,5 \cdot 10^3 d_T p_{cp} + 0,9) + S_n c]}{S_n d_T^3 (1,5 \cdot 10^3 d_T p_{cp} + 0,9)} \lg \frac{p_1}{p_2} \end{aligned}$$

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Остаточна формула для визначення часу відкачування повітря із газорозрядної камери має вигляд:

$$t_e = \frac{0,005 [4V_{KP} + \pi d_T^2 l_T] [121,5 d_T^3 (1,5 \cdot 10^3 d_T p_{cp} + 0,9) + S_n c]}{S_n d_T^3 (1,5 \cdot 10^3 d_T p_{cp} + 0,9)} \lg \frac{p_1}{p_2}$$

Зміна  $S_n$  – визначає необхідну продуктивність насоса, для відкачки повітря із газорозрядної камери за час 15...20 хв. Необхідні параметри насосу приведені нижче.

Характеристика вакуумного насоса:

- продуктивність насосу – 0,89 м/сек.;
- розрядження насосу – 0,001 мм Hg ст.;
- частота обертів ротора – 540 об/хв.;
- габарити насосу, мм.: 530×300×415 мм;
- вага насосу з приводом – 64 кг.

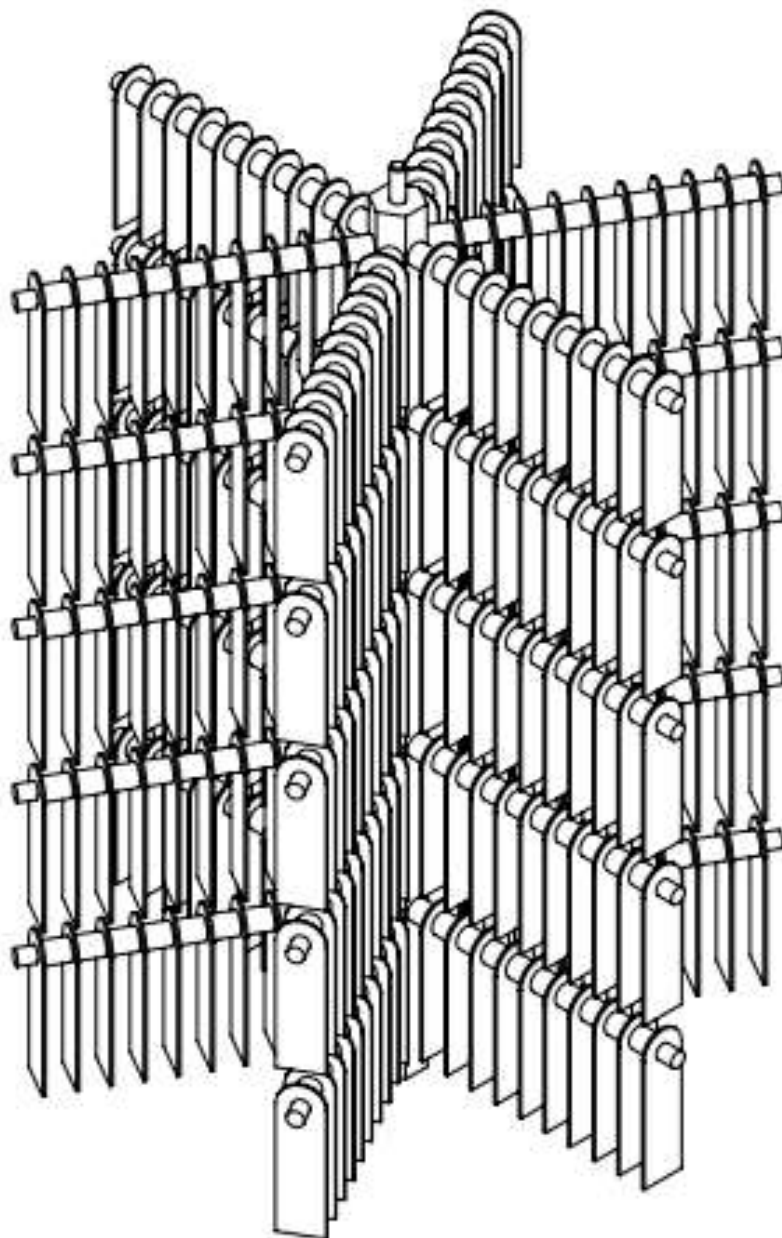
### 2.3. Розробка конструкції оснастки для азотування комплекту ножів подрібнювача

Виходячи з технологічних можливостей установки для азотування в тліючому розряді було прийнято рішення створити підвіску тиру «Ялинка». Конструкція підвіски створена та розрахована в системі SolidWorks.

В основу підвіски покладено шестигранний стержень до якого на кожній грані кріпиться вал круглого профілю.

На кожній «гілці» можна розмістити 10 ножів. Для надійності кріплення ножів, між ними розміщуються дистанційні шайби. Вся конструкція вітки стягується гайкою на кінці гілки.

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30



Підвіска «ялинка» нараховує 5 ярусів та 6 гілок на кожній грані.

У верхній частині стержня (стовбура) розміщується пристрій для кріплення підвіски в розрядній камері для азотування. В нижній частині стержня передбачено пристрій для кріплення температурного датчика, «мішені».

Конструкція підвіски представлена на рисунку 6.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

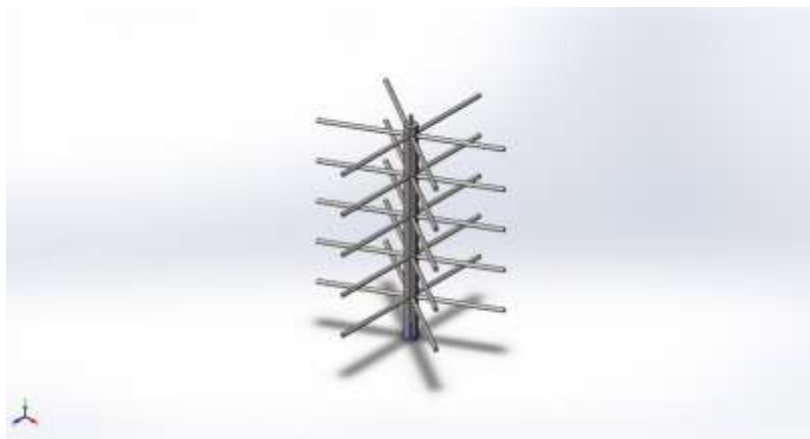
**ДПАІ 25.01.00.00.000**

Арк.

31

Рисунок 6 Загальний вид підвіски для азотування в тліючому розряді комплекту  
ножів подрібнювача соломи

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						32
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



## Симуляція Підвіска

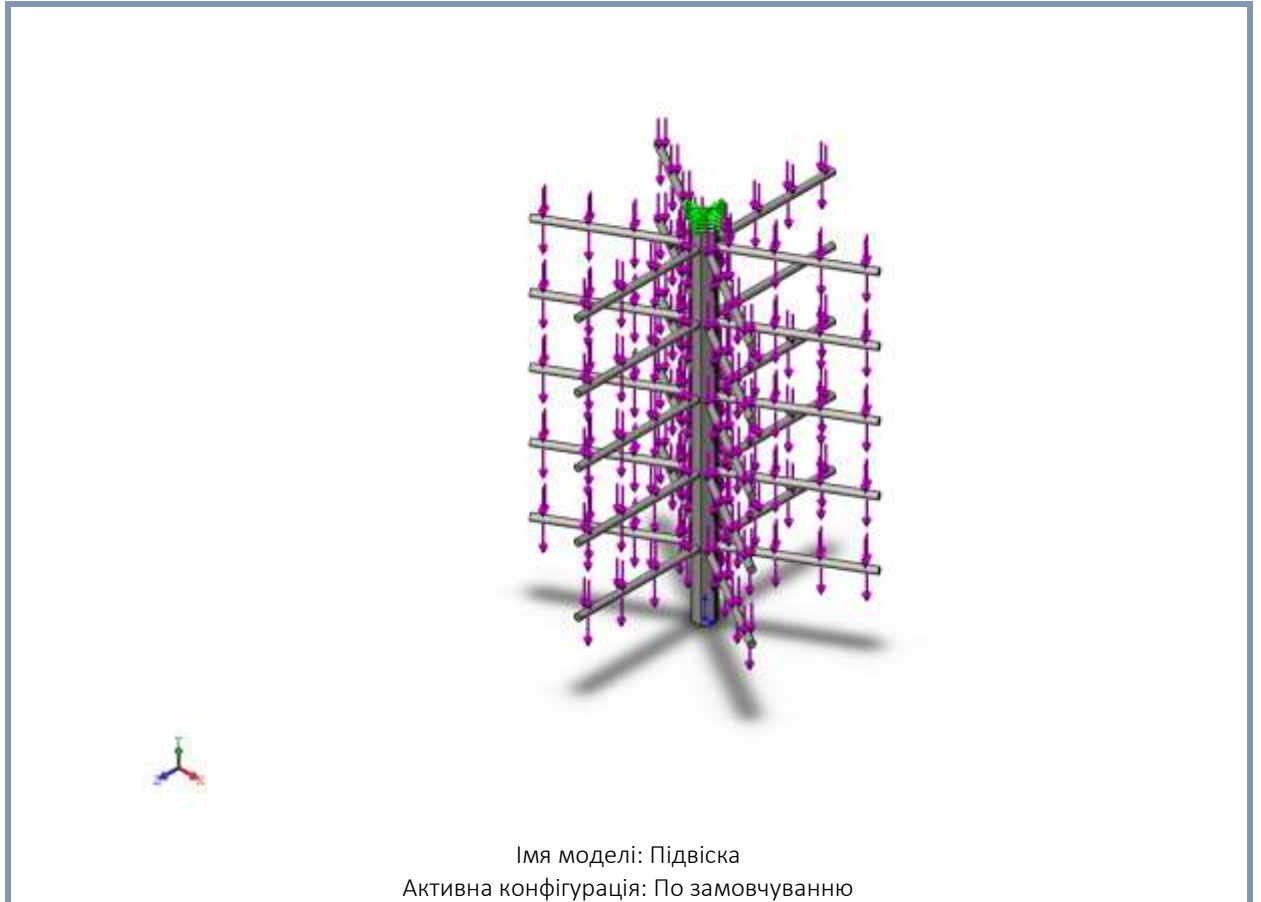
Date: 14 травня 2025 р.  
Создатель:: Валентин Андрух  
Имя исследования: Підвіска  
Тип анализа: Статичний

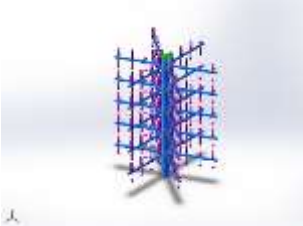
### Опис

Розрахунок на міцність підвіски для розміщення ножів комбайна для азотування в тліючому розряді.

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Информация про модель



Тверді тіла			
Имя та посилання документа	Розглядається як	Об'ємні властивості	Путь документа/Дата изменения
Лінійний масив2 	Тверде тіло	Маса – 37,0071 кг. Об'єм – 0,0047445 м <sup>3</sup> Густина – 7 800 kg/m <sup>3</sup> Маса – 362,67 Н	D:\Андрух\Підвіска.SLDP RT Jun 15 05:59:34 2025

## Властивості дослідження

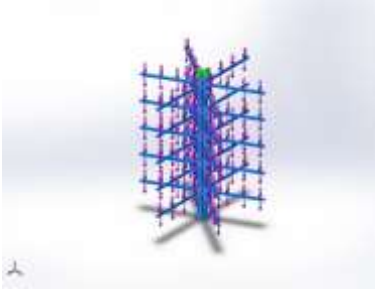
Имя дослідження	Статичний підвіска
Тип аналізу	Статичний
Тип сітки	Сітка на твердому тілі
Тепловой эффект:	Вкл
Термичний параметр	Включити теплові навантаження
Температура при нулевому напружені	298 Kelvin
Включити ефекти тиску рідини із SOLIDWORKS Flow Simulation	Викл
Тип решуючої програми	FFEPlus
Вплив навантажень на власні частоти:	Викл
Мяка пружина:	Викл
Инерційне розвантаження:	Викл
Несумісні параметр звязків	Авто
Значні переміщення	Викл
Визначити сили вільних тіл	Вкл
Терття	Викл
Використати адаптивний метод:	Викл
Папка результатів	Документ SOLIDWORKS (D:\Андрух)

## Одиниці

Система одиниць виміру:	СИ (MKS)
Довжина/Переміщення	mm
Температура	Kelvin
Кутова швидкість	Рад/сек
Тиск/Напруження	N/m <sup>2</sup>

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

## Властивості матеріалу

посилання на модель	Властивості	Компоненти
	<p>Имя: <b>Проста вуглецева сталь</b></p> <p>Тип моделі: <b>Лінійний Пружний Изотропний</b></p> <p>Критерій міцності по замовчуванню: <b>Максимальне напруження von Mises</b></p> <p>Межа текучості: <b>2,20594e+08 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Межа міцності при розтягу: <b>3,99826e+08 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Модуль пружності: <b>2,1e+11 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Коефіцієнт Пуассона: <b>0,28</b></p> <p>Масова густиа: <b>7 800 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p>Модуль зсуву: <b>7,9e+10 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Коефіцієнт теплового розширення: <b>1,3e-05 /Kelvin</b></p>	<p><b>Тверде тіло 1(Лінійний масив2)(Підвіска)</b></p>
<p>Дані кривої:N/A</p>		

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

## Навантаження та кріплення

Имя кріплення	Зображення кріплення	Дані кріплення		
Зафіксований-1		<b>Объекти:</b> 1 грані <b>Тип:</b> Зафіксована геометрія		
<b>Результуючі сили</b>				
<b>Компоненти</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Результуюча</b>
<b>Сила реакції(N)</b>	<b>0,00923557</b>	<b>870,011</b>	<b>-0,00970102</b>	<b>870,011</b>
<b>Реактивний момент(N.m)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Имя навантаження	Завантажити зображення	Завантажити дані
Сила-1		<b>Объекти:</b> 29 грані <b>Довідковий:</b> Крайка< 1 > <b>Тип:</b> Прикласти силу <b>Значення:</b> ---; ---; 30 N

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

## Информация про сітку

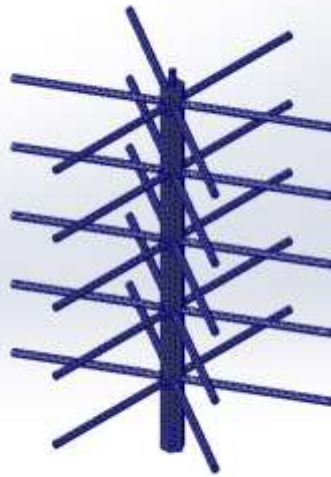
Тип сітки	Сітка на твердому тілі
Розбивка, що використовується:	Стандартна сітка
Автоматичне ущільнення сітки:	Викл
Ввімкнуті автоцикли сітки:	Викл
Точки Якобіана для сітки високої якості	16 Точки
Розмір елемента	17,7015 mm
Допуск	0,885076 mm
Якість сітки	Висока

## Информация про сітку - Деталізація

Всього вузлів	33717
Всього елементів	17252
Максимальне співвідношення сторін	8,1351
% елементів зі співвідношенням сторін < 3	94,6
% елементів зі співвідношенням сторін > 10	0
% спотворених елементів	0
Час для завершення сітки (hh:mm:ss):	00:00:03
Имя компьютера:	KSW-6

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Имя модели: Потвеска  
Название исследования: Статический подвеска-(По умолчанию-)  
Тип сетки: Сетка на твердом теле



SOLIDWORKS для учебных заведений. Только для образовательных целей.

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Результуючі сили

### Сили реакції

Вибраний набір	Одиниці	Сума X	Сума Y	Сума Z	Результуюча
усієї моделі	N	0,00923557	870,011	-0,00970102	870,011

### Моменти реакції

Вибраний набір	Одиниці	Сума X	Сума Y	Сума Z	Результуюча
усієї моделі	N.m	0	0	0	0

### Сили вільних тіл

Вибраний набір	Одиниці	Сума X	Сума Y	Сума Z	Результуюча
Усієї моделі	N	0,849458	0,00706063	0,158381	0,864125

### Моменти вільних тіл

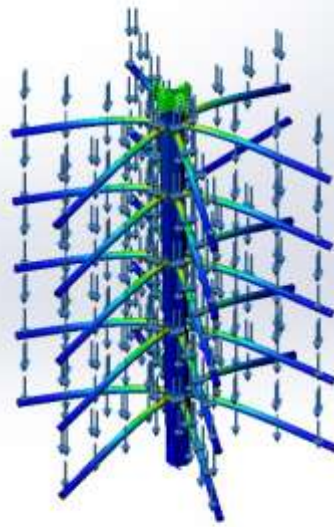
Вибраний набір	Одиниці	Сума X	Сума Y	Сума Z	Результуюча
Усієї моделі	N.m	0	0	0	1e-33

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

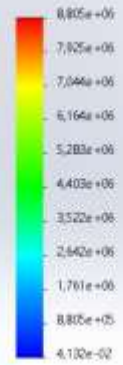
## Результати досліджень

Имя	Тип	Мін	Макс
Напруження1	VON: Напруження Von Mises	4,132e-02N/m <sup>2</sup> Вузол: 20487	8,805e+06N/m <sup>2</sup> Вузол: 20200

Имя модели: Підвіска  
 Название исследования: Статичний підвіска (По умолчанию)  
 Тип эскиза: Статический условное напряжение Напряжение I  
 Шкала деформации: 612,553



von Mises (N/m<sup>2</sup>)



→ Предел текучести: 2,209e+08



SOLIDWORKS для учебных занятий. Только для обучающих целей.

Підвіска-Статичний підвіска-Напруження-Напруження1

Имя	Тип	Мин	Макс
Переміщення1	URES: Результирующее перемещение	0,000e+00mm Вузол: 3271	1,737e-01mm Вузол: 33699

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Имя модели: Потвеска  
 Название исследования: Статический подвеска (По умолчанию)  
 Тип эскиза: Статическое перемещение Перемещение1  
 Шкала деформации: 612,553

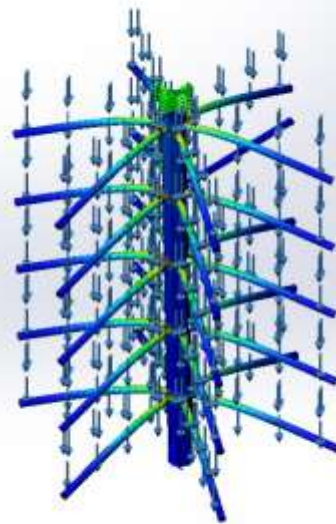


SOLIDWORKS для учебных занятий. Только для ознакомления целей.

Потвеска-Статический подвеска-Перемещение-Перемещение1

Имя	Тип	Мин	Макс
Деформация1	ESTRN: Эквивалентна деформация	1,498e-13 Элемент: 3021	2,589e-05 Элемент: 11545

Имя модели: Потвеска  
 Название исследования: Статический подвеска (По умолчанию)  
 Тип эскиза: Статическая деформация Деформация1  
 Шкала деформации: 612,553



SOLIDWORKS для учебных занятий. Только для ознакомления целей.


Подвеска-Статический подвеска-Деформация-Деформация1

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

**ДПАІ 25.01.00.00.000**

Имя	Тип
Переміщення1{1}	Деформування форми

Имя модели: Підвіска  
название исследования: Статичний підвіска (По умолчанию)  
Тип эскиза: Деформированная форма (Перемещение1{1})  
Шкала деформации: 612,553



SOLIDWORKS для учебных заведений. Только для обучающих целей.

Підвіска-Статичний підвіска-Переміщення-Переміщення1{1}

### Висновок

За виконаним аналізом конструкція досить легко витримує наданій їй навантаження. Конструкція має достатній запас міцності, що дозволить в майбутньому використовувати для зміцнення деталі або інструмент (ножі) з більшою масою.

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

### 3. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІОННО-АЗОТОВАНИХ СТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ

#### 3.1. Фізико-механічні властивості іонно-азотованих сталевих поверхонь.

Експериментальні дослідження зразків виготовлених із матеріалу ножів, після їх зміцнення азотуванням в тліючому розряді.

Дослідження проводились на зразках з метою оптимізації параметрів азотування для досягнення оптимальних характеристик модернізованого поверхневого шару.

У процесі досліджень азотування ножів проводились в атмосфері азоту та аргону в безводневому середовищі.

Зміцнення зразків здійснювалося в умовах лабораторії Подільського наукового фізико технологічного центру, в Хмельницькому національному університеті на установці азотування в тліючому розряді в без водневому середовищі, розробленій і виготовленій в ПНФТЦ.

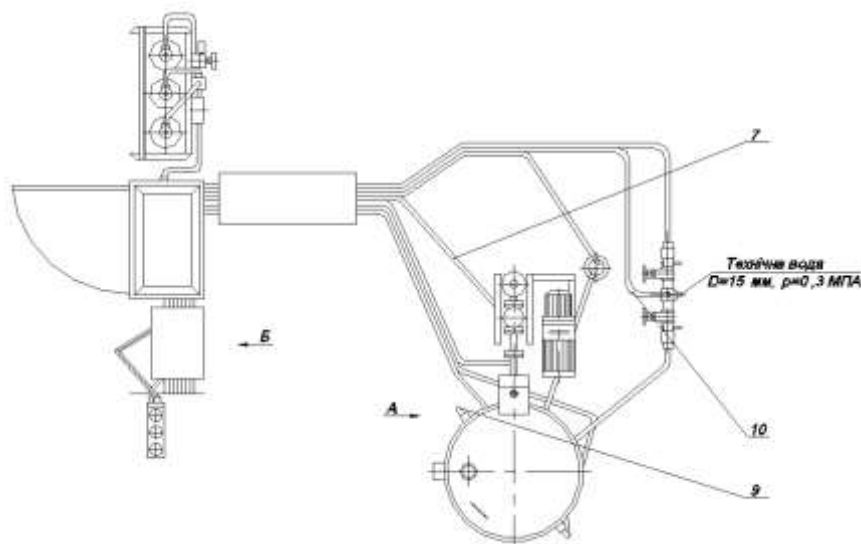


Рисунок 7 Установа азотування в тліючому розряді УАТР-50, вид зверху

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

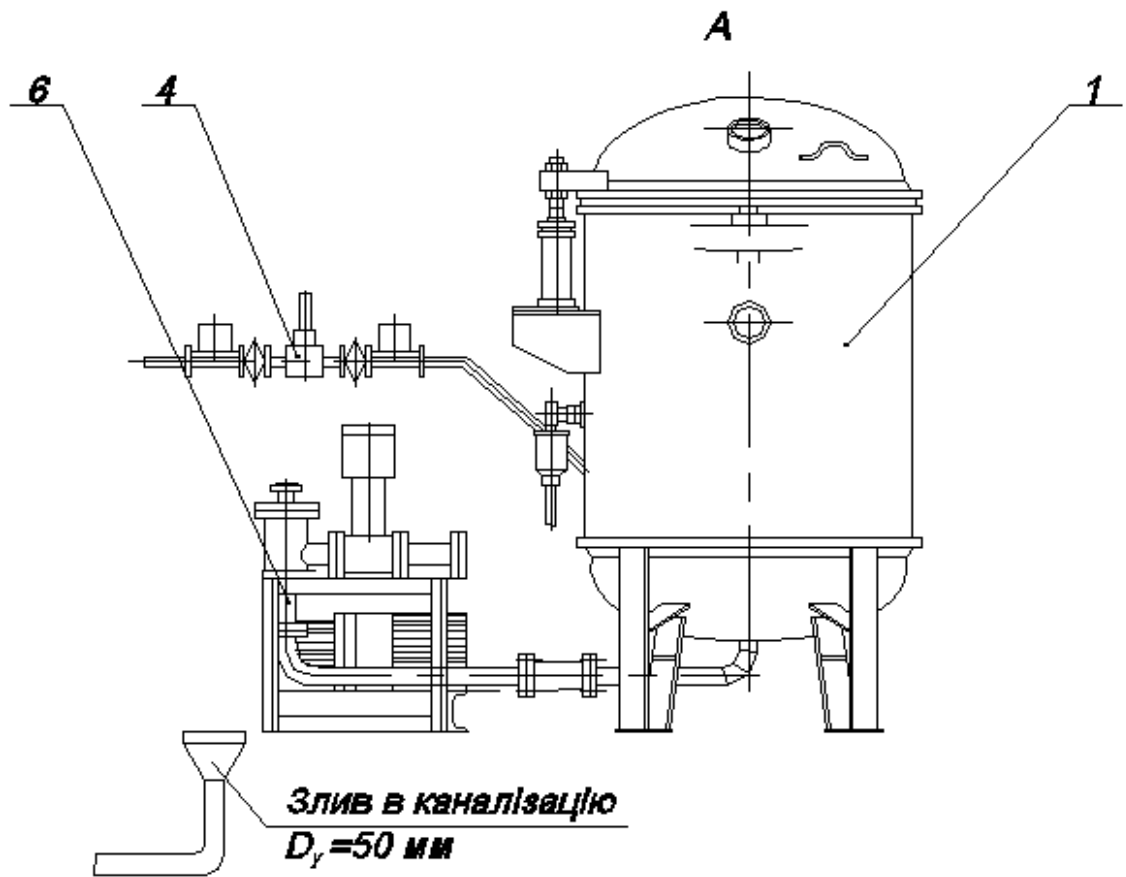


Рисунок 8 Розрядна камера установка УАТР-50

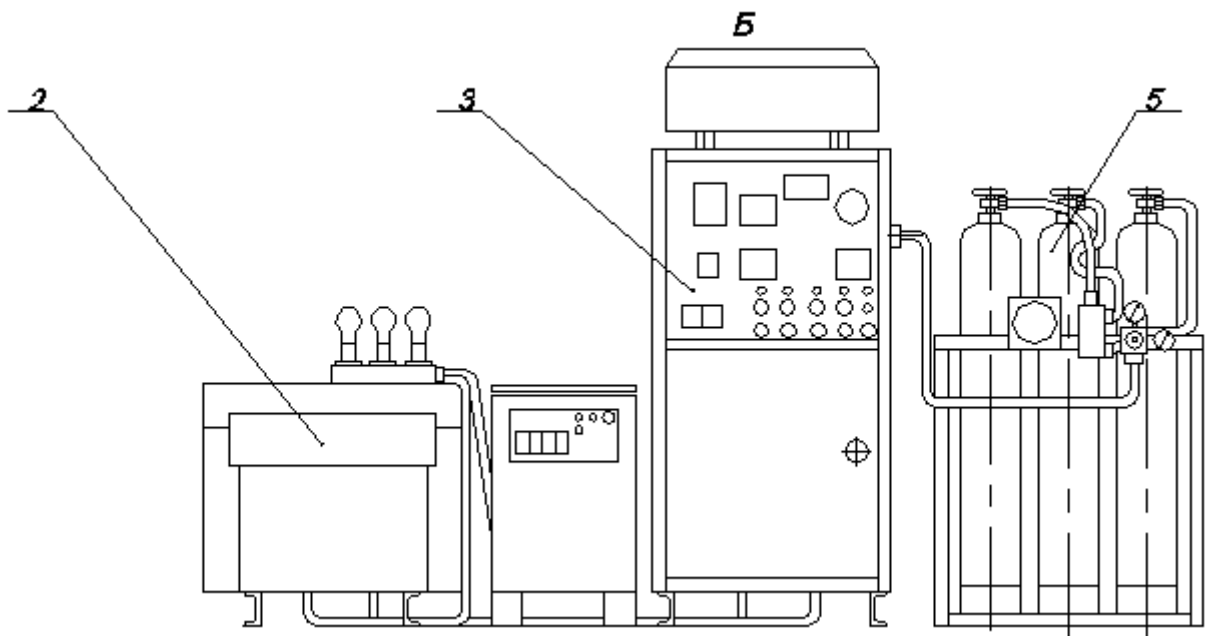


Рисунок 9 Блоки енергетичного забезпечення установки УАТР-50

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

**ДПАІ 25.01.00.00.000**

Арк.

45

Варіант двокамерної установки азотування в тліючому розряді представлено на рис. 10.



Рисунок 10 Загальний вид установки азотування в тліючому розряді УАТР-50 (варіант двокамерної установки)

Як показали дослідження, що в значній мірі змінюються фізико – механічні характеристики поверхневих азотованих шарів, таких як крихкість та пластичність. Дані властивості мають значний вплив на довговічність деталей, які працюють в умовах, максимально наближених до умов роботи ножів подрібнювача соломи. Було помічено, що присутність водню у насичуючому газовому середовищі інтенсифікує процес азотування, але разом із тим водень викликає окрихчення поверхні металу, особливо ріжучої крайки. Даний факт суттєво впливає на роботу ножів, і призводить до викришування ріжучої крайки.

Головними фізико – механічними характеристиками іонно-азотованого в тліючому розряді шару являється глибина шару та його твердість. Визначний вплив на глибину іонно-азотованого шару металічних поверхонь має температура ведення процесу насичення.

В ході дослідження було встановлено, що глибина іонно-азотованого шару збільшується зі збільшенням температури азотування.

Максимальна мікротвердість отримана на зразках була досягнена при температурі 540° С, на площині – при 580° С.

Визначний вплив на глибину іонно-азотованого шару має склад насичуючого середовища, його об'ємне співвідношення азоту і аргону.

В роботі приведені залежності глибини іонно-азотованого шару від відсоткового вмісту азоту в насичуючому середовищі. Дослідження проводились при наступних параметрах режиму азотування:

- склад середовища – 25%  $N_2$  + 75%  $A_r$ ;
- температура процесу азотування – 520° С;
- тиск процесу у розрядній камері – 6,5 Па;
- тривалість процесу азотування – 4 години.

Було досліджено, також, що розбавлення азоту аргонем у насичуючому середовищі суттєво впливає, також і на пластичні характеристики іонно-азотованого шару. Із підвищенням процентного вмісту аргону у насичуючому середовищі пластичність іонно-азотованого шару також збільшується. Досліджено також, що для кожної марки сталі – існує оптимальна концентрація аргону і азоту у суміші газів. Це допомагає забезпечувати максимальну глибину іонно-азотованого шару. Для матеріалу досліджуваних ножів найбільш оптимальним, як показали дослідження, являється середовище – 25%  $N_2$  + 75%  $A_r$ ;

Як показали попередні дослідження виконані в умовах лабораторії Подільського наукового фізико-технологічного центру Хмельницького національного університету глибини азотованого шару залежність від процентного вмісту компонентів азото-аргонової суміші представлена на рис. 11.

В результаті проведених в умовах ПНФТЦ досліджень на зразках із сталі 40Х13 було встановлено:

- закономірність розподілу глибини іонно-азотованого шару від процентного вмісту компонентів газової суміші;

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

- отримана залежність, за результатами близька до результатів досліджень що проводились раніше.

На рис. 12. представлена залежність глибини іонно-азотованого шару від процентного співвідношення суміші. Решта параметрів процесу при цьому залишені незмінними, від попередньо-виконаних досліджень:

- температура  $T = 520 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- тиск  $p = 65 \text{ Па}$ ;
- тривалість  $\tau = 4 \text{ год.}$

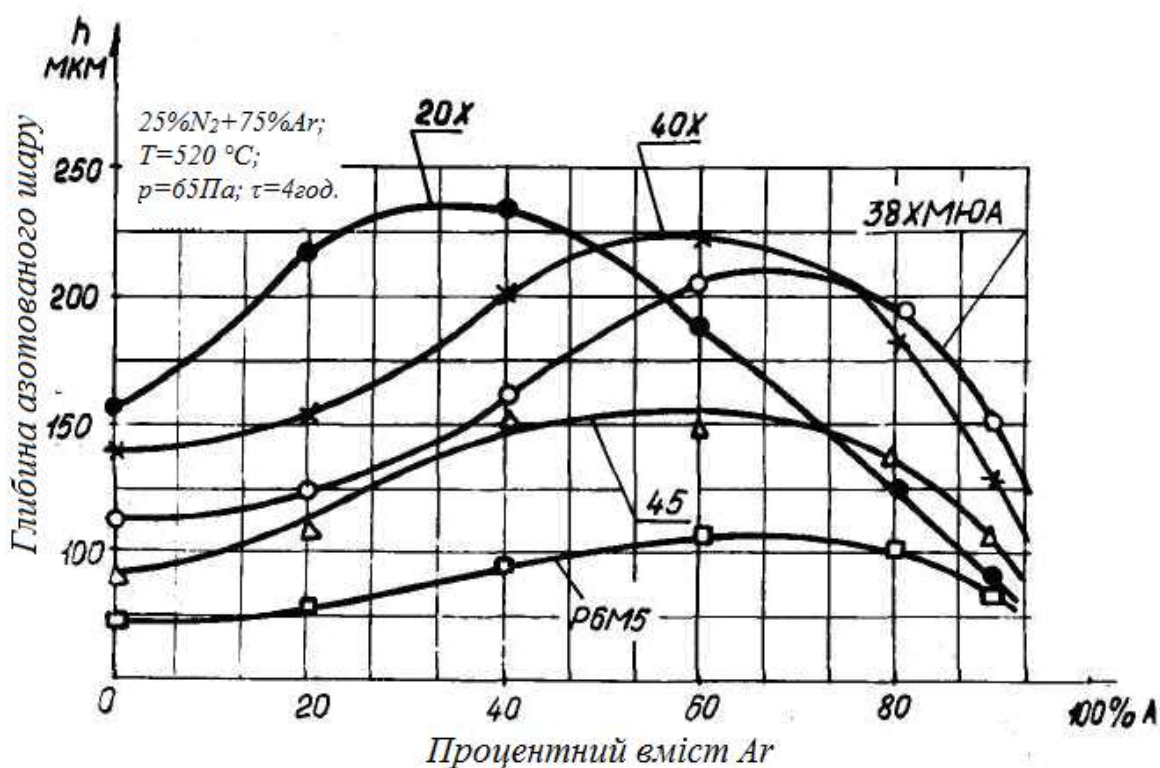


Рисунок 11 Залежність глибини іонно-азотованого шару від процентного вмісту компонентів азото-аргонової суміші

За попередньо-виконаними в умовах лабораторії ПНФТЦ ХНУ дослідженнями залежність глибини азотованого шару від тиску насичуючого середовища представлена на рис 12.

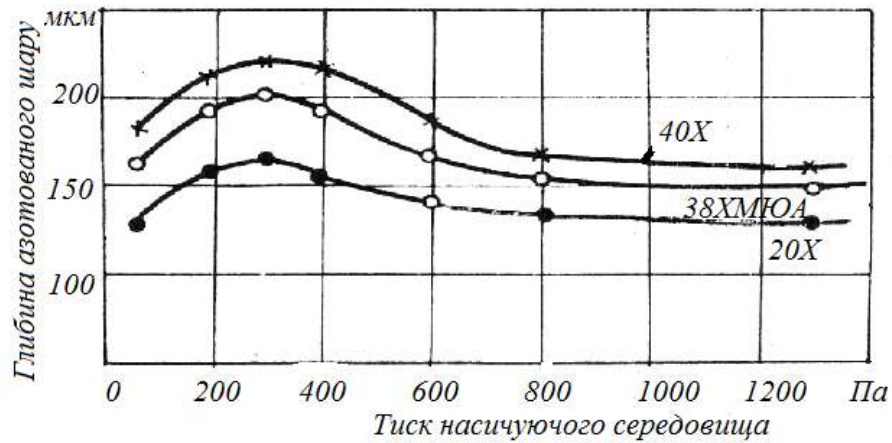


Рисунок 12 Залежність глибини іонно-азотованого шару від процентного складу насичуючого середовища для сталі 40X13

За попередньо-виконаними дослідженнями в умовах лабораторії ПНФТЦ ХНУ залежність глибини азотованого шару від тиску насичуючого середовища представлена на рис. 13.

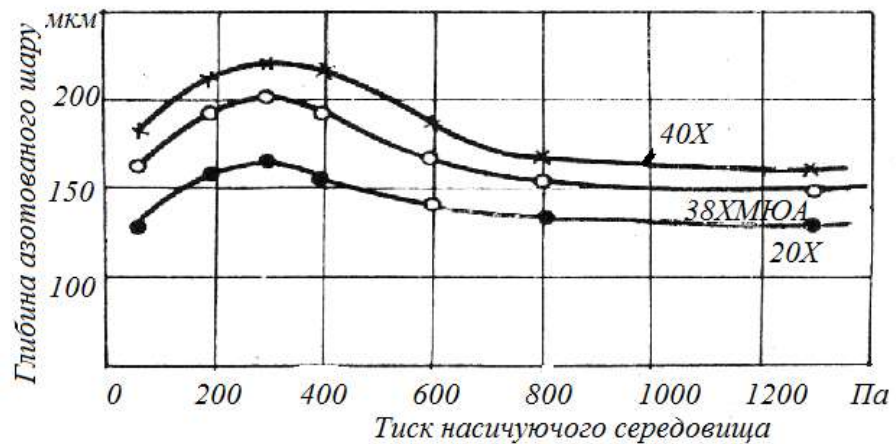


Рисунок 13 Залежність глибини азотованого шару від тиску насичуючого середовища в процесі зміцнення

В результаті проведених в умовах ПНФТЦ ХНУ досліджень на зразках із сталі 40X13 було також встановлено закономірність розподілу глибини

азотованого шару від тиску газової суміші. Результати досліджень близькі до результатів досліджень що проводились раніше.

Залежність глибини азотованого в тліючому розряді шару від тиску в розрядній камері представлена на рис. 14. Параметри процесу азотування при цьому:

- склад середовища –  $25N_2 + 75\% Ar$  ;
- температура процесу  $T = 520^\circ C$  ;
- тривалість насичення  $\tau = 4$  год.

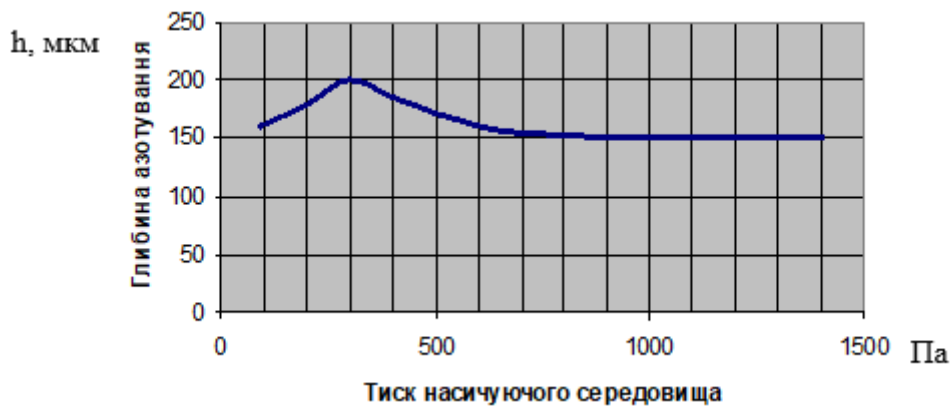


Рисунок 14 Залежність глибини іонно-азотованого шару від тиску робочої суміші к камері для сталі 40X13

Залежність глибини азотованого шару від часу насичення носить параболічний характер рис. 15. Параметри азотування, хімічний склад насичуючого середовища та структура сталі ножів, або зразків впливають тільки на глибину іонно-азотованого шару, рис 15.

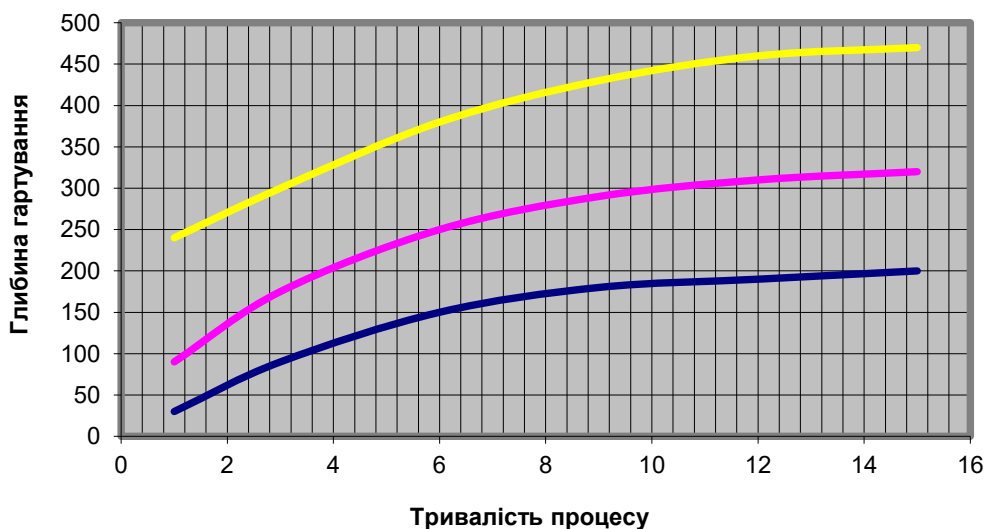


Рисунок 15 Залежність глибини азотованого шару від тривалості процесу та температури

Визначальною фізико-механічною характеристикою іонно-азотованого шару являється його твердість. На рисунку 16 приведено залежність зміни мікротвердості іонно-азотованого шару від глибини останнього.

На рис. 17 представлено результати виміру мікротвердості на зразку зі сталі 40X13, де представлено мікрошліф до травлення. На зображенні чітко видно динаміку зміни величини сліду від піраміди, його ріст починаючи від поверхні і в глибину зразка.

На рис. 3.12. представлено результати виміру мікротвердості на зразку зі сталі 40X, (мікрошліф після травлення в 4% розчині HNO<sub>3</sub>).

На поверхні нітридної зони при певних умовах ( значна тривалість азотування та великий азотний потенціал насичуючого середовища) утворюється ε-фаза – твердий розчин на базі нітриду  $Fe_{2-3}N$ , котра при великій концентрації у ній азоту – має велику твердість, підвищений опір зношення, високу стійкість проти корозії, але разом із тим - більшу крихкість. Товщина ε - фази не перевищує 10 мкм.

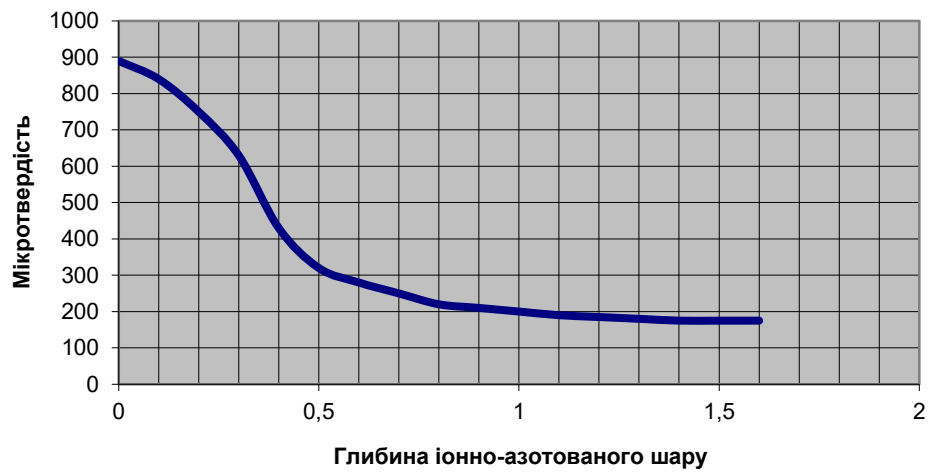


Рисунок 16 Характер розподілення мікротвердості поверхневого шару за глибиною іонно-азотованого шару

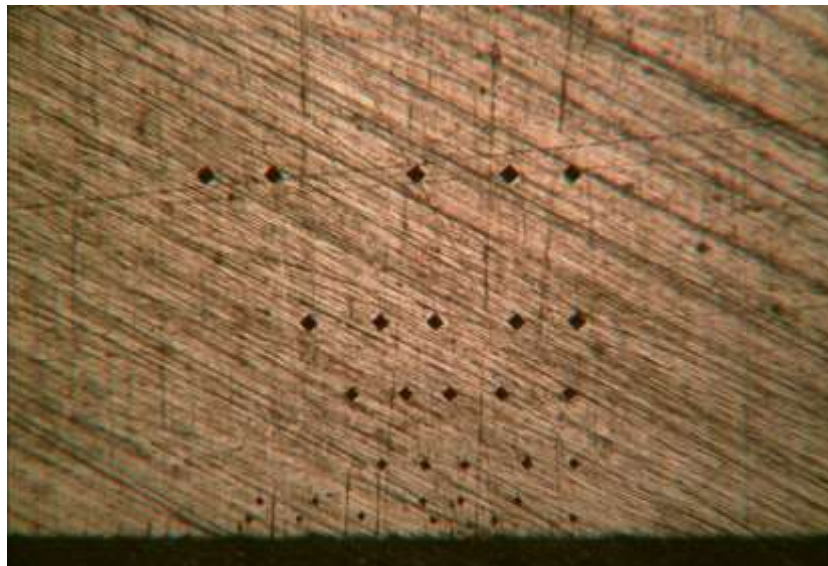


Рисунок 17 Наглядне відображення характеру розподілу мікротвердості по глибині, мікрошліфу, на зразку зі сталі 40Х (до травлення)

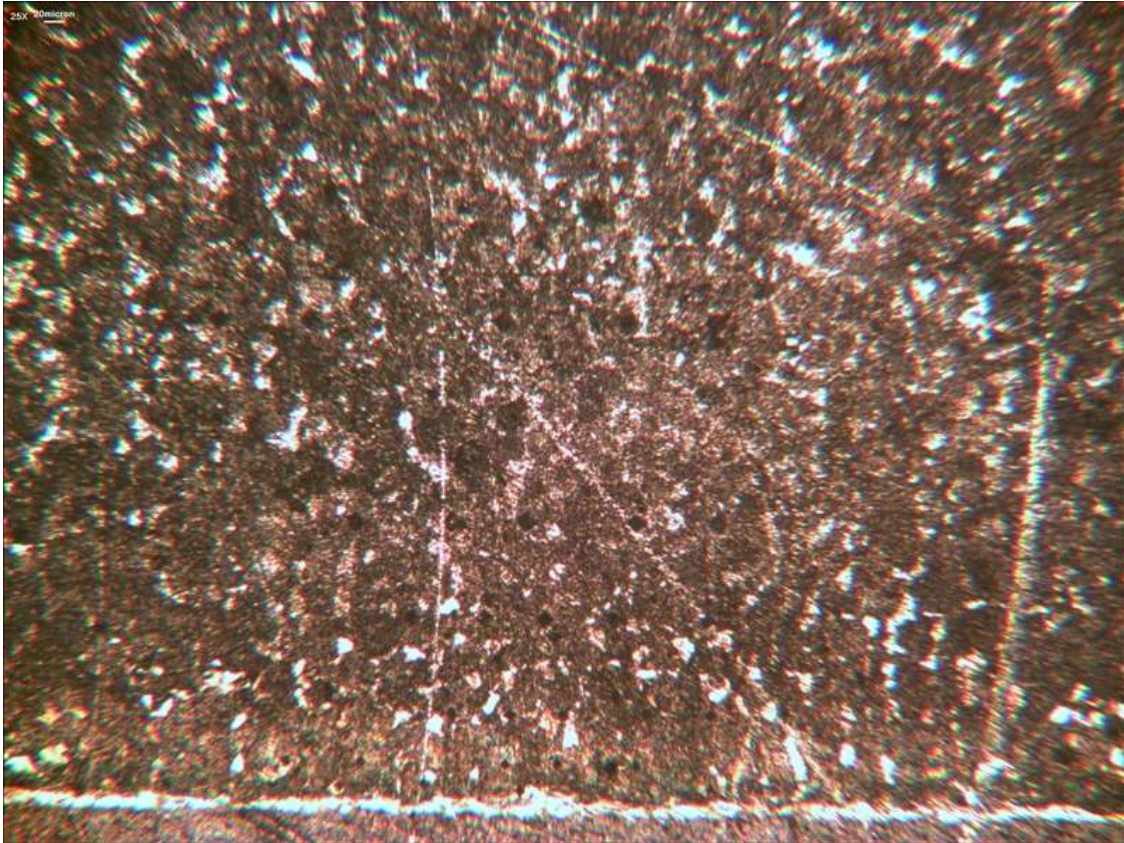


Рисунок 18 Наглядне представлення мікроструктури зразка зі сталі 40Х іонно-азотованого в тліючому розряді (після травлення)

Із світлин видно, що нижня частина нітридної зони є  $\gamma'$ - фазою, тобто твердим розчином на базі нітриду  $Fe_4N$ . Видно, також, що під нітридною зоною, товщиною 8...10 мкм, розташовується зона внутрішнього азотування. Зона внутрішнього азотування являє собою  $\alpha$ - фазу, яка має значно більшу товщину та являється основною частиною іонно-азотованого шару. Градієнт твердості зони внутрішнього азотування поступово зменшується у напрямку від нітридної зони (поверхневий шар) до матриці, по мірі зменшення концентрації азоту. Зона внутрішнього азотування – характеризується значною пластичністю та високою зносостійкістю.

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

При низькотемпературному азотуванні, коли температура процесу насичення становить  $t < 590^{\circ}\text{C}$ , спочатку на поверхні утворюється ненасичений  $\alpha$ -розчин, товщина якого збільшується із тривалістю насичення. Вміст азоту у  $\alpha$ -фазі при цьому зростає зі збільшенням тривалості процесу насичення. Слід зазначити, що через деякий час на поверхні досягається концентрація насичення. Подальше надходження атомарного азоту із навколишнього середовища (газова суміш) призводить до перенасичення  $\alpha$ -фази. Цей процес викликає перекристалізацію  $\alpha \Rightarrow \gamma' \Rightarrow \Sigma$ . При іонному азотуванні в тліючому розряді, у перші хвилини процесу, встановлюється досить високий градієнт концентрації азоту.

Зміною технологічних параметрів іонного азотування: складу газового середовища, тиску, тривалості та співвідношення процесів катодного та зворотного катодного розпилення можна реально отримати дифузійний шар створений на базі високоазотистого  $\alpha$ -твердого розчину, що є без поверхневої нітридної зони, із однофазною зоною, що складається із  $\gamma'$ - фази із товщиною до 10 мкм, без пор із гарною пластичністю та зносостійкістю, що складається із однофазної зони –  $\Sigma$ -фази.

### 3.2. Дослідження зносостійкості зразків азотованих в тліючому розряді

В ході виконання представленої роботи проводились також дослідження зносостійкості зразків із сталей 20, 45, 40X, 38ХМЮА, 40Х13 традиційно термооброблених та з модифікованим поверхневим шаром. Метою виконаних досліджень було: вибір оптимального матеріалу для виготовлення ножів подрібнюю чогу вузла, а також оптимізація технологічних параметрів процесу модифікації поверхневого шару ножів. Модифікація поверхневого шару зразків, а

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

також ножів здійснювалось шляхом азотування в тліючому розряді за декількома режимами зі зміною технологічних параметрів:

- хімічний склад насичуючого середовища;
- тиск газової суміші в розрядній камері;
- температура процесу насичення;
- тривалість процесу насичення.

Дослідження на зносостійкість виконувались на універсальній машині тертя 2168 УМТ. Дослідження проводилися на зразках встановлених форми та розмірів. Для інтенсифікації процесу дослідження на зносостійкість, випробування проводились в режимі сухого тертя.

Для оптимізації параметрів самого процесу дослідження зносостійкості в режимі сухого тертя були проведені відповідні дослідження, в результаті яких визначено наступні оптимальні параметри процесу дослідження:

- оптимальний тиск в зоні тертя – 16 МПа;
- швидкість взаємного переміщення зразка і контртіла -  $v = 0,1 \text{ м/с}$ ;

В якості контр тіла було використане одне із кілець упорного підшипника виготовлене зі сталі ШХ15.

Результати виконаних досліджень приведені у вигляді графіків, де приведена залежність величини зносу від шляху тертя (рис. 19, 20, 21).

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

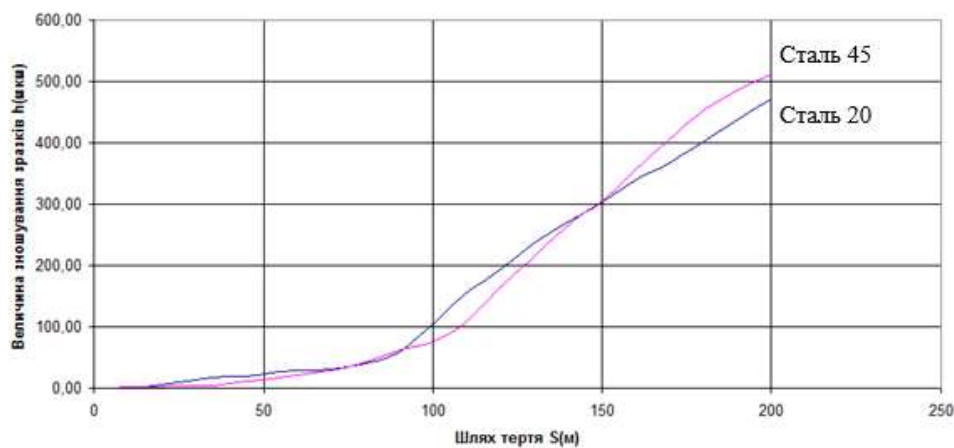


Рисунок 19 Залежність зношування іонно-азотованих зразків із вуглецевих сталей від шляху тертя

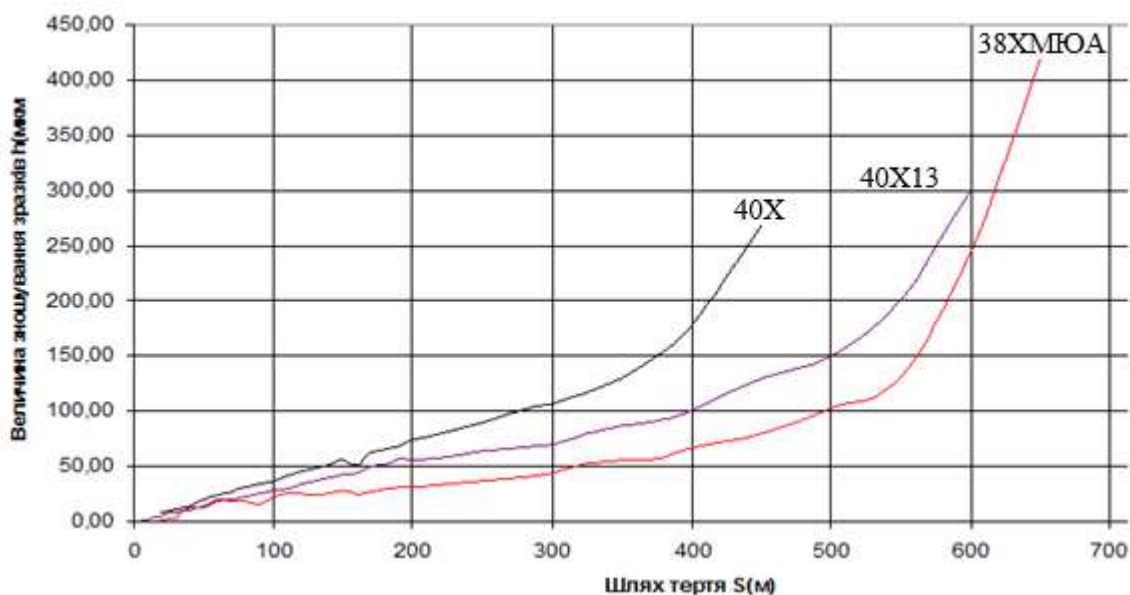


Рисунок 20 Залежність зношування іонно-азотованих зразків із легуваних сталей від шляху тертя

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

**ДПАІ 25.01.00.00.000**

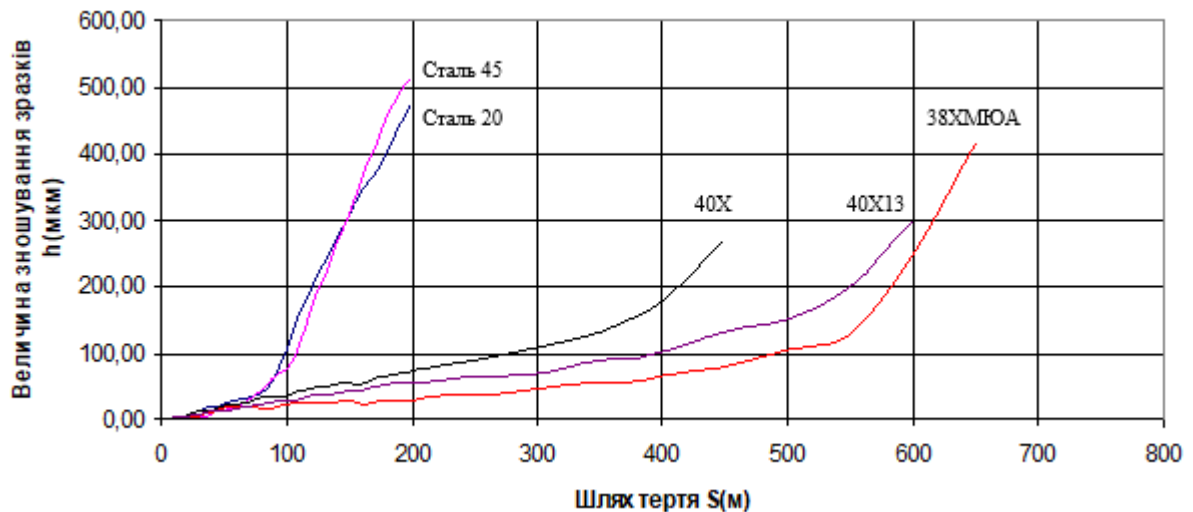


Рисунок 21 Порівняльна характеристика зносостійкості іонно-азотованих зразків із вуглецевих та легованих сталей

За результатами виконаних досліджень було встановлено наступне:

- зносостійкість поверхнево модернізованих зразків, в порівнянні з не модернізованими при сухому терті, збільшилася приблизно в 1,5...2,0 рази;
- модифікація поверхні ріжучого інструменту, ножів подрібнювача соломи азотуванням в тліючому розряді являється оптимальним методом підвищення його зносостійкості;
- оптимальним матеріалом для виготовлення ножів подрібнювача являється сталь 40X13.

### 3.3. Дослідження зносостійкості ножів подрібнювача, азотованих в тліючому розряді

Для виконання остаточних експериментальних досліджень зносостійкості ножів подрібнювача, азотованих в тліючому розряді були використані та проаналізовані результати попередніх досліджень, що проводилися в умовах лабораторій ПНФТЦ ХНУ, а також дослідження, що були здійснені в ході

виконання даної роботи. Комплекс перерахованих робіт був виконаний з метою вибору та подальшої оптимізації режимів процесу азотування в тліючому розряді для підвищення зносостійкості саме ножів подрібнювача соломи зернозбирального комбайна.

В якості матеріалу ножів було прийнято сталь леговану 40X13.

Для модернізації ножів подрібнювача були прийняті наступні параметри процесу азотування в тліючому розряді:

- температура процесу насичення – 500 °С;
- тиск насичуючого середовища – 0,6 мм Нг стовпа;
- склад насичуючого середовища 25% Ar 75% N<sub>2</sub>;
- тривалість процесу азотування 4 год.

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						58
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ВИСНОВКИ

В процесі виконання даної роботи було проведено теоретичні дослідження, а також експериментальні дослідження зносостійкості зразків та натурних зразків ножів в результаті яких було зроблено наступні висновки:

- на основі здійсненого аналізу літературних джерел та виконаних досліджень науково обґрунтовано застосування методу ХТО азотування в тліючому розряді, як оптимального виду хіміко-термічної обробки для модифікації ножів подрібнювача соломи зернозбирального комбайна;

- було досліджено залежності фізико-механічних властивостей азотованих в тліючому розряді поверхонь від технологічних параметрів процесу азотування, а також саму будову та властивості азотованого в тліючому розряді шару;

- для реалізації процесу модифікації ножів для подрібнення соломи азотуванням в тліючому розряді з використанням модернізованої установки УАТР-50 з виконанням модернізації самої установки та розробки конструкції оснастки.

Виконані дослідження та здійснена робота дають нам право вважати що азотування в тліючому розряді, як вид хіміко-термічної обробки, являється оптимальним, для зміцнення подрібнюючих ножів CLAAS LEXION, який дозволяє, шляхом зміни параметрів процесу азотування в тліючому розряді модифікувати поверхневий шар ножів змінюючи властивості його поверхонь залежно від конкретних вимог експлуатації.

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЛІТЕРАТУРА

1 Батраченко О. В. Підвищення ефективності роботи та довговічності м'ясорізальних машин: автореф. дис. на здобуття степені кандид. техн. наук: спец. 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв» / О.В. Батраченко ; Вінниц. нац. аграр. ун-т. – Вінниця, 2014 р. – 21 с.

2 Прейс Г. А. Повышение износостойкости оборудования пищевой промышленности / Г.А. Прейс, Н.А.Сологуб, А.И. Некоз. – М.: Машиностроение, 1979. – 208 с.

3 А.с. 4418689 СССР. Нож к устройству для измельчения мяса / А.И. Некоз, В.И. Белый, И.В. Балык, Н.В. Лукьянюк (СССР).– №1570768 / 1990.

4 Стецьків О. П. Упрочнение режущих инструментов полиграфического оборудования методами ХТО : тезисы докладов к зональной конференции «Современные процессы поверхностного упрочнения деталей машин и инструмента» / О.П. Стецьків, С.Р. Савчук, О.Я. Лизун. – Пенза, 1985.– С. 30–31.

5 Рядинский А. С. Опыт работы объединения по повышению стойкости инструмента методами химико-термической обработки : тезисы докладов к зональной конференции «Современные процессы поверхностного упрочнения деталей машин и инструмента» / А.С. Рядинский. – Пенза, 1985.– С. 10–12.

6 Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей : програма та матеріали III міжнар. наук.-техн. конф. 25-26 березня 2014 р. – Київ : НУХТ, 2014.

7 Повышение жаропрочности сталей / Шевченко С.М., Сахарова В.Н., Пачурин Г.В., Иняев В.А. // Фундаментальные исследования. – 2006. – № 4. – с.87–88.

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8 Кузін О. А. Матеріалознавство та термічна обробка металів : підруч. / О. А. Кузін, Р. А. Яцюк. – Львів : ПТВФ «Афіша», 2002.–300 с.

9 Лахтин Ю. М. Азотирование ванадия и его сплавов в тлеющем разряде / Ю.М. Лахтин, А. Аль-Викай, В. Е Кольцов : сб. «Повышение надёжности и долговечности деталей машин и инструмента методами ХТО».– М., 1981, С. 111–117.

10 Лахтин Ю. М. Азотирование стали / Ю.М.Лахтин, Я.Д. Коган. – М. : Машиностроение, 1976. – 256 с.

11 Пастух И.М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде.– Харьков : ННЦ ХФТИ, 2006. – 364 с.

12 Каплун В. Г. Ионное азотирование в безводородных средах : монография / В. Г. Каплун, П. В. Каплун. – Хмельницкий : Хмельниц. нац.ун-т, 2015. – 315 с.

13 Лахтин Ю. М. Оптимизация газодинамических параметров ионного азотирования / Ю.М.Лахтин, Я.Д. Коган, В.Н. Шапошников // Металловедение и термическая обработка металлов.–1976.– №6.– С.2-7.

14 А.с. Применение ионного азотирования для обработки мелких шариков ФРГ / Мюллер Е. И. (ФРГ).– № 1925486.– 1975 г.

15 Яманака К. Сборник материалов специального отдела по использованию ионной обработки объединённого научно-технического комитета. – Осака, 1975.

16 Яманака К. Технология поверхностного упрочнения с использованием вакуума и электророзряда // Дзайрё кагаку.–1978.– №1.– С.16–22, 28.

27 Спери Р. Вакуумная и ионная термообработка / Спери Р., Бар Ж. / пер. № Б-34475.

28 Каплун В. Г. Влияние режимов ионного азотирования на износостойкость стали 45Х в кислой среде / В.Г.Каплун, А.Е., Рудык, С.А.Манзюк

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

// Проблемы трения и изнашивания : межвузов. республ. сб. – Вып. 26.– Киев :  
Техника. – 1985. – С.44-49.

					<b>ДПАІ 25.01.00.00.000</b>	Арк.
						62
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		