

## УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ВАКУУМНОГО ГАЗОТЕРМОЦИКЛІЧНОГО ІОННО-ПЛАЗМОВОГО АЗОТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

<sup>1</sup>Б.О. Чернов, <sup>2</sup>А.В. Рутковський, <sup>3</sup>М.Я. Ткач

<sup>1</sup>ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48090,  
e-mail: public@nimg.edu.ua

<sup>2</sup>ІПМ ім. Г.С. Писаренка НАН України; 01014, м. Київ, вул. Тимірязєвська, 2,  
тел. (044) 2866957

<sup>3</sup>НУОУ ім. Івана Черняхівського; 03149, м. Київ, пр. Повітрофлотський, 28,  
тел. (044) 2710600

Наведено аналіз аварій і пошкодження елементів бурильної колони при бурінні нафтових і газових свердловин на родовищах України та Росії, класифікацію видів аварій. Для зміцнення елементів бурильної колони запропоновано удосконалений метод вакуумного газотермоциклічного іонно-плазмового азотування. Приведено характеристики установки ВІПА-І для здійснення технологічного процесу вакуумного газотермоциклічного азотування у плазмі пульсуючого тліючого розряду для зміцнення поверхневих шарів елементів бурильної колони. Розроблено автоматизовану систему контролю та управління технологічним процесом зміцнення. Розроблено технологію вакуумного іонно-плазмового азотування, що поєднує подачу на вхід вакуумної установки для азотування пульсуючого струму з високою напругою та періодичність чергування циклів насичення та розсмоктування азоту як за насичуючою здатністю атмосфери, так і за температурою.

Ключові слова: буріння, свердловина.

Приведен анализ аварий с бурильными колоннами и разрушений элементов бурильной колонны при бурении нефтяных и газовых скважин на месторождениях Украины и России, классификацию видов поврежденных. Для упрочнения элементов бурильной колонны предложен усовершенствованный метод вакуумного газотермоциклического ионно-плазменного азотирования. Приведены характеристики установки ВИПА-І для проведения технологического процесса азотирования в плазме тлеющего пульсирующего разряда при упрочнении внешних поверхностей элементов бурильной колонны. Создана технология вакуумного ионно-плазменного азотирования, которая объединяет подачу на вход вакуумной установки для азотирования пульсационного тока высокого напряжения с периодичностью чередования циклов насыщения и адгезии азота при оптимальных параметрах насыщающей атмосферы и температуры.

Ключевые слова: бурение, скважина.

The analysis of drill string accidents and damages of the drill string elements during drilling of oil and gas wells on the fields of Ukraine and Russia and classification of accidents types are shown. We have suggested an improved method of vacuum gas-thermal-cycle ion-plasma nitriding for strengthening of the drill string elements. The characteristics of the VIPA-1 installation for conducting the technological process of vacuum gas-thermal-cycle ion-plasma nitriding in glow discharge pulsing plasma for hardening surface layers of the drill string elements are provided. The automated control and management system of technological hardening process was developed. The technology of vacuum ion-plasma nitriding that combines the high voltage pulsating current infeed rate of the vacuum installation for nitriding and cycle intervals of nitrogen saturation and diffusion both in accordance with the atmosphere saturation capacity and temperature was developed.

Key words: drilling, well.

Для буріння нафтових і газових свердловин використовується бурильна колона, яка з'єднує породоруйнівний інструмент з наземним обладнанням і складається з ведучої труби, бурильних і обважнених бурильних труб, які з'єднуються між собою за допомогою різьби.

Колона бурильних труб передає долоту необхідне навантаження і крутний момент, забезпечує подачу промивальної рідини на вибій. Таким чином, елементи бурильної колони працюють в складному напруженому стані при дії значних статичних та динамічних навантажень, що часто призводить до аварій та ускладнень в

процесі буріння похило –скерованих і горизонтальних свердловин.

Аналіз аварій бурильних колон при спорудженні глибоких свердловин на нафтових і газових підприємствах України за останні десять років свідчить, що переважно руйнувалися різьбові з'єднання ( 56% від загального числа пошкоджень). Так, поломки по трубній різьбі складають 28% від загального числа відмов елементів бурильної колони. Поломки замкових різьбових з'єднань обважнених бурильних труб складають 30%. Поломки по тілу бурильної труби складають 19%.

Аналогічна картина спостерігається при бурінні експлуатаційних свердловин на нафтових і газових родовищах в Тюменській області (Росія) (1). Розподіл аварій за видами, що відбулися за останні 10 років наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Розподіл аварій за видами

№ з/п	Види аварій	Кількість аварій, шт.	Відсоткове співвідношення, %
1	Прихоплення бурильних колон	470	40,59
2	Аварії з обсадними колонами	327	28,24
3	Аварії з елементами бурильної колони	135	11,66
4	Інші аварії	102	8,81
5	Аварії з вибійними двигунами	68	5,87
6	Аварії з долотами	30	2,59
7	Аварії через невдале цементування	13	1,12
8	Падіння у свердловину сторонніх предметів	13	1,12
Усього аварій		1158	100

Вартість труб в загальній вартості бурового устаткування становить близько 60%.

Аналіз розподілу аварій за видами свідчить, що найбільш часто виникають прихвати бурильних колон. За оцінками фахівців, головною причиною зростання цього виду аварій є недостатня професійна підготовленість бурових майстрів, технологів і бурильників. Аварії із бурильними колонами виникають внаслідок корозійно-втомного руйнування елементів бурильної колони та абразивного зносу.

Результати дослідження великої кількості аварій з бурильними трубами свідчать про те, що руйнування труб зазвичай носить втомний характер. Явища втоми у трубах виникають у результаті дії змінних навантажень, до яких відносяться змінний вигин, крутильний удар і коливання бурильної колони. Основний фактор, що призводить до утворення змінних напружень, знакозмінний вигин, що виникає при обертанні колони.

Аналіз аварійності з бурильними трубами свідчить, що при роторному способі буріння 85...90% аварій відбувається з різьбовими з'єднаннями бурильних труб, бурильних замків та інших елементів колони (табл. 2) [2].

При роторному способі буріння часто зустрічається руйнування труби по різьбовому з'єднанню у потовщеному місці, що становить 60...70% від загального числа аварій. В окремих випадках число це доходить до 90%.

Зрив різьби відбувається внаслідок деформації руйнування різьбового з'єднання через

зношування різьби, розмиву різьбового з'єднання промивальною рідиною, заїдання різьби при згинчуванні (рис. 1).

Таблиця 2 – Аварії бурильних колон при роторному способі буріння

№ з/п	Назва аварій	Відсоткове співвідношення, %
1	Злам бурильних труб по тілу	9,5
2	Злам бурильних труб у потовщених кінцях	46,8
3	Зрив бурильних труб по 8-нитковій нарізці	11,2
4	Злам бурильного замка	4,2
5	Зрив різьбового з'єднання бурильного замка	9,6
6	Злам і зрив різьбового з'єднання важкого низу	10,5
7	Злам труб, передавачів і зрив по різьбі	8,2



Рисунок 1 – Зношення різьбового з'єднання

При турбінному способі буріння кількість зламів доведено до мінімуму, і вихід труб з ладу відбувається, як правило, через зношення різьбових з'єднань, а також розмив різьби і тіла труб.

Таким чином, при бурінні і освоєнні нафтових і газових свердловин важливими елементами, які значною мірою визначають надійність бурильних і обсадних труб, є різьбові з'єднання. Експлуатаційні характеристики конічних різьбових з'єднань труб, значною мірою впливають на технічні показники буріння і економічну ефективність будівництва свердловин. Вирішення цих питань неможливе без впровадження сучасних технологічних процесів зміцнення труб та вивчення закономірностей зміни механічних характеристик різьбових з'єднань, які багато в чому залежать від конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів.

Одним із напрямків підвищення довговічності елементів бурильної і обсадної колони є використання досягнень у галузі нанесення захисних покриттів і зміцнення поверхневих шарів.

Технологічні процеси термічної обробки труб необхідні, але не достатні, вони обмежені рівнем розвитку реалізації нормалізації, загартування та відпуску.

У той же час, спираючись на досягнення науки, можливості виробництва, а також досвіду розвитку технологій зміцнення, як закордо-

ном, так і в Україні, є можливість підвищення механічних властивостей труб шляхом впровадження сучасних технологічних процесів.

При роторному способі буріння внаслідок сил тертя між бурильними замками і стінками стовбура свердловини відбувається інтенсивне зношування бурильних замків та списування їх в металобрухт. Надійність та довговічність бурильних замків в загальному визначається їх міцністю, витривалістю, зносостійкістю, твердістю та іншими властивостями в залежності від умов експлуатації. Практично всі вищезгадані властивості суттєво залежать від стану поверхневого шару. В умовах експлуатації поверхневий шар бурильного замка, різьби та інших елементів бурильної колони підлягає найбільш сильній механічній, тепловій, хімічній, фізичній дії та їх комбінації. При цьому він зазнає різноманітних змін, які часто призводять до погіршення його фізико-механічних властивостей.

В інституті проблем міцності ім. Г.С.Писаренка розроблено технологічний процес зміцнення поверхонь елементів конструкцій загального машинобудування методом вакуумного іонно-плазмового газотермоциклічного азотування [3,4]. Елементи бурильної колони конструктивно і умовами експлуатації суттєво відрізняються від конструкцій загального машинобудування, і відповідно, для розробки технології зміцнення із застосуванням даного методу необхідний комплекс теоретичних та експериментальних досліджень. На основі аналізу літературних джерел та результатів експериментальних досліджень експериментальних зразків і натурних конструкцій бурильних замків встановлено, що найбільш ефективним є технологічний процес вакуумного газотермічного азотування у плазмі пульсуючого тліючого розряду. Теоретичні наукові основи удосконаленого методу зміцнення елементів бурильної колони приведені у роботі [5]. Дослідження технологічних процесів зміцнення поверхневих шарів елементів бурильної колони проводилися із застосуванням установки ВПА-1 конструкції інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, загальний вигляд якої наведено на рис. 2.



Рисунок 2 – Загальний вигляд установки ВПА-1

Установка складається з вакуумної камери; системи відкачування атмосфери та газів (вакуумування); системи забезпечення газом; системи вимірювання та регулювання температури; системи електроживлення; автоматизованої системи контролю та управління (АСКУ) технологічним процесом.

Вакуумну камеру виконано з нержавіючої сталі із теплозахисним екраном, водяним охолодженням і складається з корпусу та кришки. Завантаження деталей у камеру проводиться зверху за допомогою спеціальної підвіски при піднятій та відведеній у бік кришці. У корпусі камери є віконця для візуального спостереження за деталями в процесі азотування, а у кришці – віконце для встановлення пірометра. Крім того, у корпусі камери є отвори для створення вакууму, подавання робочої суміші.

Система вакуумування призначена для створення необхідного робочого тиску у вакуумній камері. До складу системи входять: два насоси – робочий та пусковий, клапани КЕМ-1 та КЕМ-2, вимірювальний прилад типу РВЕ-4, трубопроводи. Робочий насос використовується для підтримання у вакуумній камері робочого тиску (вакууму) на сталому режимі протягом усього циклу вакуумного іонно-плазмового газотермоциклічного азотування. Пусковий насос включається короткочасно на початку вакуумування камери з метою скорочення тривалості процесу відкачування. Клапани КЕМ-1 та КЕМ-2 призначені для аварійного відключення робочого і пускового насосів у випадку непередбаченого знеструмлення (вимикання електроенергії).

Система забезпечення газом призначена для подавання у вакуумну камеру газів і газової суміші необхідного складу і якості, та складається з балонів із робочими газами, редукторів, що встановлені на балонах, шлангів для подавання робочих газів. Точне дозування кількості газової суміші, що подається у вакуумну камеру, здійснюється за допомогою регулятора. Вимірювання та контроль робочого тиску газової суміші у вакуумній камері здійснюються за допомогою приладу типу РВЕ-4. До складу системи вимірювання та регулювання температури входять пірометр і блок індикації й регулювання температури (БІРТ). Інформація про поточну температуру деталі у вакуумній камері подається від пірометра на БІРТ, на якому попередньо встановлюються верхнє та нижнє порогове значення температури для деталей, що азотуються.

Система електроживлення складається з тиристорного регулятора напруги, понижуючого та підвищуючого трансформаторів, випрямляча, давача короткого замикання (ДКЗ). На регуляторі встановлюється максимальне значення напруги та швидкість її зростання. Разом з величиною вихідної напруги, що подається на деталь, та значенням падіння напруги ці параметри відображуються на індикаторі регулятора напруги. Для стабілізації розряду застосовується пристрій гасіння дуги. При переході тліючого розряду у дугувий подається імпульс на

теристори, які запираються. При цьому зменшується напруга, що подається на електроди установки, і дуговий розряд знову переходить у аномальний тліючий.

Вентилі, що знаходяться на всіх трубопроводах, які входять до вакуумної камери, призначені для тестової перевірки систем вакуумування та забезпечення газом.

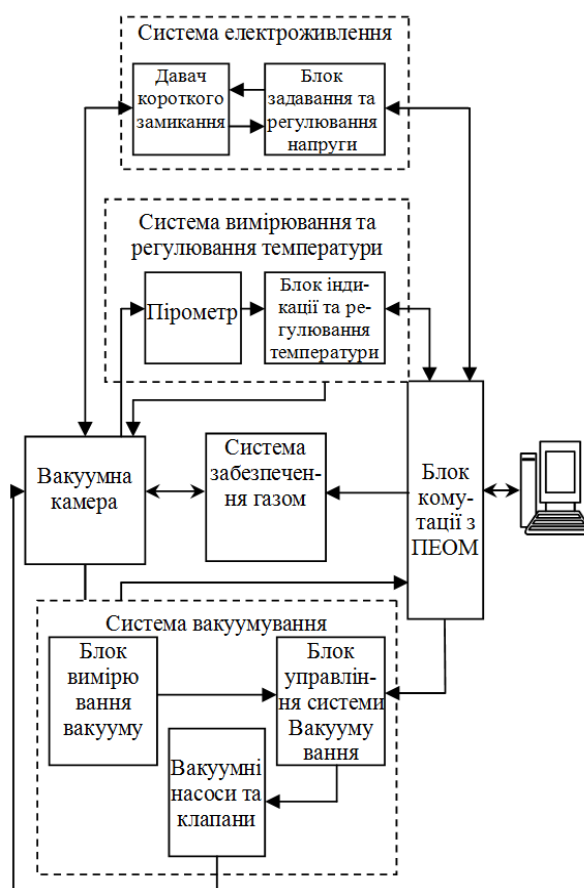
Основні технічні дані ВПА-1 наведені у табл. 3.

**Таблиця 3 – Основні технічні дані установки ВПА-1**

Найменування основних параметрів і характеристик	Значення параметрів і характеристик
Розміри робочої камери: Діаметр, мм висота, мм	600 1200
Розміри деталей, що обробляються: діаметр, мм довжина, мм	до 500 до 700
Максимальна маса садки, кг	400
Тривалість циклу зміцнення деталі, год.	0,5 ... 24
Температура азотування, °С	300...900
Товщина азотованого шару, мм	до 0,8
Максимальна витрата робочого газу, л/год.	30
Споживча потужність, кВт	20
Напруга мережі, В	220
Витрата води для охолодження, м <sup>3</sup>	2
Маса установки, кг	650
Площа, яку займає установка, м <sup>2</sup>	6

Для забезпечення процесу за заданими режимами у залежності від необхідної структури та товщини дифузійного шару, здійснення автоматичного контролю параметрів технологічного процесу, підвищення безпеки робіт та відтворюваності результатів поверхневого зміцнення створено діючий комплекс технологічного забезпечення процесу зміцнення поверхневих шарів деталей вакуумного іонно-плазмового газотермоциклічного азотування на основі автоматизованої системи контролю та управління (АСКУ) (рис. 3).

АСКУ включає наступні елементи: система електроживлення (блок задавання та регулювання напруги; датчик короткого замикання); система вимірювання та регулювання температури (датчик короткого замикання; блок індикації та регулювання температури); система вакуумування (блок вимірювання вакууму; блок управління системи вакуумування; вакуумні насоси та клапани); блок забезпечення газом; вакуумна камера; блок комутації з ПЕОМ; ПЕОМ.



**Рисунок 3 – Функціональна схема АСКУ технологічним процесом**

До основних параметрів автоматизованої системи контролю та управління технологічним процесом відносяться:

1. Система вимірювання та регулювання температури.

а) пірометр часткового випромінювання типу "Смотрич 1-1-03":

- діапазон вимірювання температури, °С – 300...700;

- межа припустимого значення похибки, % – 1%;

- час встановлення показань, с – 0,025;

споживча потужність, Вт – 25.

б) вимірювальний та регулюючий прилад типу РТЭ-4.1-12-220:

- межа припустимої приведеної похибки, % – 0,25;

- максимальний струм комутації, А – 2;

- кількість аналогових входів, шт. – 1;

- кількість дискретних виходів, шт. – 2;

споживча потужність, Вт – 5.

2. Система електроживлення:

- діапазон задавання вихідної напруги, В – 0...1000;

дискретність задавання напруги, В – 1;

похибка вимірювання напруги, % – 1;

3. Система вакуумування:

- тип реєструючого пристрою – РВЭ-4.1 (з манометричним перетворювачем ПМТ-6.3);

- діапазон вимірювання тиску, Па –  $10^{-1} \dots 10^5$ ;

- максимальний струм комутації вихідних сигналів, А – 2;
- максимальна напруга комутації, В – 250;
- кількість вихідних дискретних сигналів, шт. – 2.

АСКУ працює наступним чином. Після завантажування у вакуумну камеру (ВК) деталь оператор на ПЕОМ задає необхідне значення тиску газу у ВК. Через блок комутації (БК) з ПЕОМ команда поступає на блок управління системи вакуумування (БУСВ) і далі на електромагнітні клапани (КЕМ – 1, КЕМ – 2) та вакуумні насоси (ВН – пусковий та робочий). Ступінь вакуумування у ВК вимірюється за допомогою блоку вимірювання вакууму, інформація з якого поступає через БК на ПЕОМ. Після досягнення заданої величини вакуумування у ВК автоматично відключається пусковий ВН та включається робочий ВН. При цьому оператор задає на ПЕОМ робочу ступінь вакуумування у ВК. Управління подачею газу у ВК протягом усього процесу дифузійного насичення здійснюється через БК та блок забезпечення газом (БЗГ). Величину робочого тиску у камері в процесі азотування підтримують в залежності від площі, маси та конфігурації деталі, що обробляється.

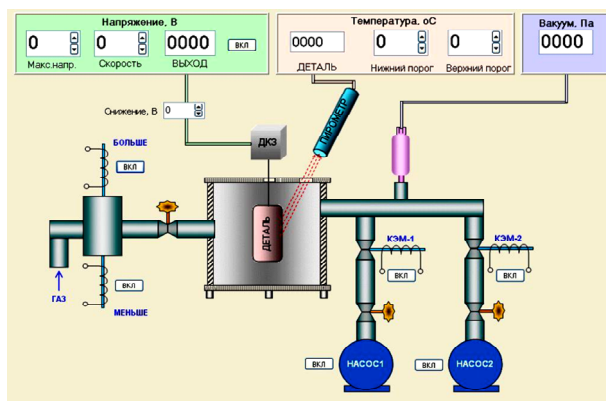
Для забезпечення необхідних параметрів технологічного процесу вакуумного іонно-плазмового газотермоциклічного азотування на ПЕОМ АСКУ задають швидкість зростання робочої напруги, що подається на електроди установки, та її максимальне значення. Через БК сигнал поступає на блок задавання та регулювання напруги (БЗРН) і далі через давач короткого замикання (ДКЗ), на установку вакуумного іонно-плазмового газотермоциклічного азотування. ДКЗ спрацьовує у разі переходу у ВК тліючого розряду у дуговий. Він подає сигнал на тиристорний регулятор напруги (що входить до складу БЗРН), і напруга на деталі понижується на величину, визначену цим регулятором (попередньо задану оператором з ПЕОМ через БК).

Температурний режим процесу задають шляхом встановлення оператором (з ПЕОМ через БК) на блоці індикації та регулювання температури (БРТ) верхнього та нижнього порогів температури. Інформація про поточну температуру деталі у ВК знімається пірометром системи вимірювання та регулювання температури і потрапляє до БРТ. При досягненні заданої температури процесу азотування відбувається автоматичне зниження вихідної напруги та охолодження деталі до величини нижнього порогу температури. Потім вихідна напруга знову автоматично підвищується до досягнення верхнього порогу температури деталі. Таким чином, відбувається автоматичне регулювання процесу азотування: величини спрацювання регулятора напруги (верхнього та нижнього порогів температури) можуть задаватися у межах 1...200°C, що дає змогу подавати на деталь пульсуючу напругу та отримувати пульсуючі термоцикли, що значно підвищує швидкість дифузійного насичення деталі азотом.

Час азотування залежить від матеріалу деталі, маси садки, необхідної товщини, фазового складу дифузійного шару.

Під час технологічного процесу вакуумного іонно-плазмового газотермоциклічного азотування АСКУ виконує наступні функції програмного забезпечення:

- вимірювання температури за допомогою пірометру;
- обмін даними з електронним пристроєм установки;
- автоматичне управління температурою процесу за допомогою ПЕОМ;
- генерування повідомлень про критичний та аварійний стан технологічних параметрів процесу та стабілізація його режимів;
- архівування історії зміни параметрів;
- відображення значень поточних параметрів у реальному часі, аварійних повідомлень, архіву історії зміни параметрів на дисплеї автоматизованого робочого місця (АРМа) диспетчера (рис. 4);
- експорт даних архіву історії у таблиці Microsoft Excel.



**Рисунок 4 – Дисплей АСКУ технологічним процесом вакуумного іонно-плазмового газотермоциклічного азотування**

Виходячи з мети роботи та спираючись на досвід попередніх дослідників, розроблено технологію вакуумного іонно-плазмового газотермоциклічного азотування. При такій організації процесу відбувається поєднання переваг подавання на вхід вакуумної установки для азотування пульсуючого струму з високою напругою та періодичного чергування циклів насичення та розсмоктування азоту як за насичуючою здатністю атмосфери, так і за температурою.

Технологічний процес вакуумного іонно-плазмового газотермоциклічного азотування складається з трьох послідовних блоків: підготовчих операцій; дифузійного насичення деталей; завершальних операцій (рис. 5.).

Підготовчі операції полягають у підготовці деталей та обладнання: промивання та просушування деталей і вакуумної камери, перевірка герметичності агрегатів системи вакуумування тощо.

Дифузійне насичення деталей включає: катодне очищення; власне дифузійне насичення; охолодження у вакуумній камері.

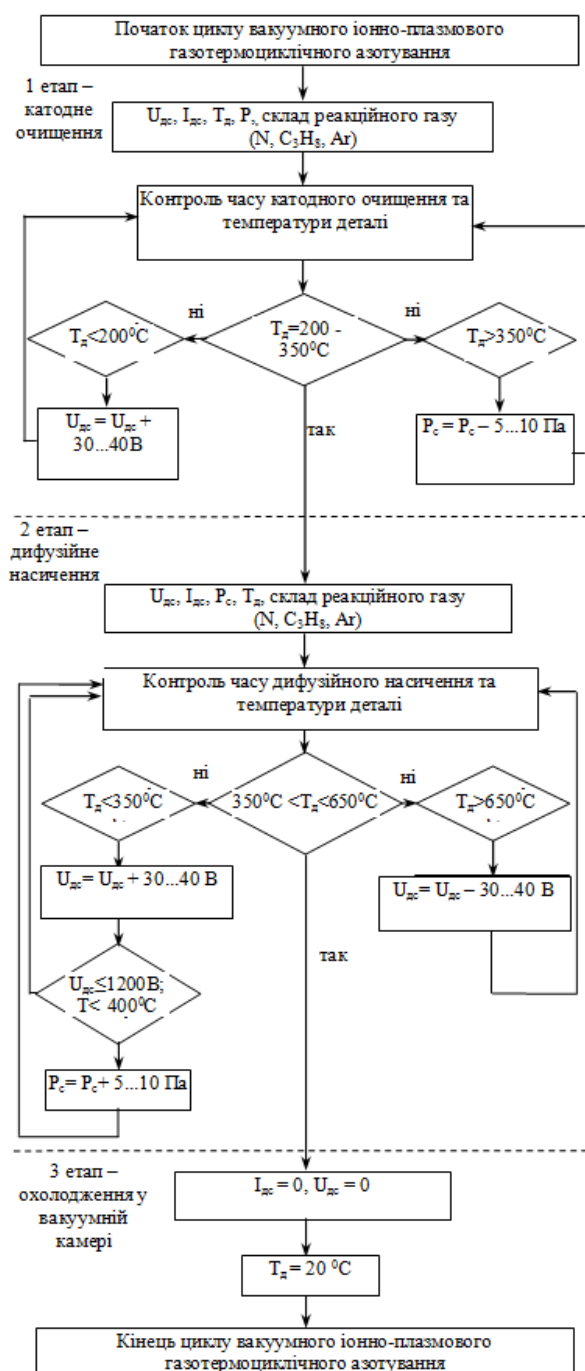


Рисунок 5 – Алгоритм технологічного процесу вакуумного іонно-плазмового газотермоциклічного азотування.

Протягом всього процесу вакуумного іонно-плазмового газотермоциклічного азотування важливо ретельно контролювати та витримувати визначені значення технологічних параметрів.

Технологічний процес відбувається наступним чином. Деталь поміщують у герметичний контейнер та з'єднують з негативним полюсом джерела струму, а стінки контейнера – з позитивним. З контейнера відкачують повітря до тиску 1,33 Па, продувають його робочим газом протягом 5...15 хв при тискові 1330 Па, знову відкачують контейнер до тиску 1,33 Па, за до-

помогою спеціальної установки подають на електроди пульсуючу напругу 1100...1400 В та збуджують тліючий розряд.

На цій стадії протягом 5...60 хв здійснюється катодне розпилення, при якому деталь очищується. На етапі катодного очищення контролюється температура розігріву деталі  $T_d$  та час очищення. Якщо протягом 5...20 хв деталь не нагрівається до температури  $T_d=200^\circ\text{C}$ , то збільшують напругу на 30...40 В, яка подається на установку.

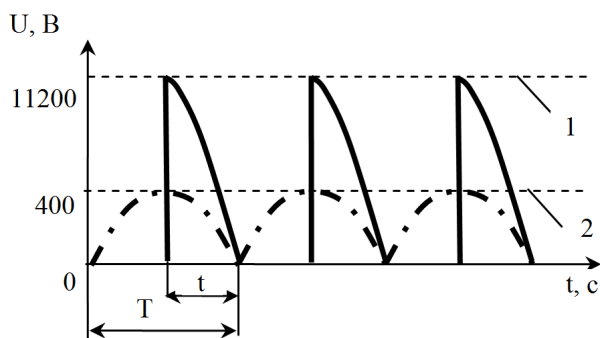
Процес вимірювання температури повторюють та приймають рішення щодо необхідності подальшого збільшення напруги – і так рухаються за циклом. Якщо  $T_d$  перевищує  $350^\circ\text{C}$ , то зменшують тиск на 5...10 Па у вакуумній камері, вимірюють температуру  $T_d$  та приймають рішення щодо необхідності подальшого зменшення тиску.

Далі напругу понижують до робочої, а тиск підвищують до 25...250 Па. При цих параметрах здійснюється власне процес дифузійного насичення азотом, причому напруга 1000...1200 В є пульсуючою з тривалістю імпульсу подачі струму  $t = 10...20$  мс та величиною періоду подачі імпульсів  $T = 40$  мс. При цьому скважність  $Q$ , яка дорівнює відношенню величини періоду  $T$  подачі імпульсів до тривалості  $t$  одиночного імпульсу, знаходиться у межах 2...4. Величину скважності  $Q$  у таких межах обрано тому, що при  $Q < 2$  можливе виникнення дугових розрядів, які спричиняють пошкодження поверхні деталі, а при  $Q > 4$  зменшується ефективність іонної обробки.

На етапі дифузійного насичення контролюється температура розігріву деталі  $T_d$  та час насичення. Якщо  $T_d$  перевищує  $650^\circ\text{C}$ , тоді зменшують напругу на 30...40 В, яка подається на установку, знову вимірюють температуру та приймають рішення щодо необхідності подальшого зменшення напруги – і так рухаються за циклом. Якщо ж температура деталі  $T_d$  стає меншою за  $350^\circ\text{C}$  то на 30...40 В збільшують напругу, яка подається на установку, знову вимірюють температуру та приймають рішення щодо необхідності подальшого збільшення напруги – і так рухаються за циклом. У разі, коли напругу підвищено до 1200 В, а температура  $T_d$  залишається меншою за  $350^\circ\text{C}$  – на 5...10 Па підвищують тиск у вакуумній камері, вимірюють температуру та приймають рішення щодо необхідності подальшого підвищення тиску.

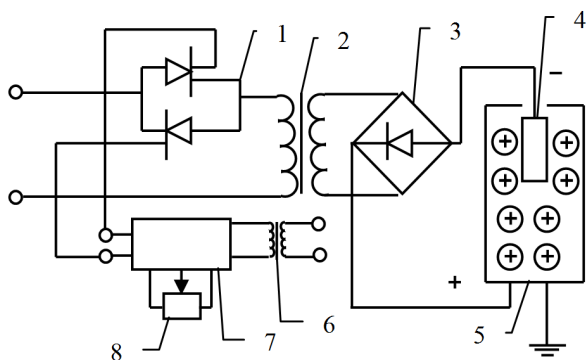
У процесі дифузійного насичення відбувається циклічне припинення подавання у вакуумну камеру реакційного газу з тривалістю напівциклу 15...30 хв. При цьому температура насичення азотом та деазотації (розсмоктування) є різною – вищою або нижчою температури евтектичного перетворення ( $591^\circ\text{C}$ ). З метою створення у модифікованому шарі зносостійкої карбонітридної  $\epsilon$ -фази  $[\text{Fe}_{2-3}(\text{N},\text{C})]$  та "зв'язування" кисню до складу реакційної суміші додавали 5% пропану. Після неізотермічного витримання деталі охолоджують під вакуумом до кімнатної температури та виймають з контейнера.

Ппульсуючий тліючий розряд (рис. 6) реалізується наступним чином: змінний струм через понижуючий трансформатор 6 (рис. 7) поступає на вхід електронного блоку управління 7, далі – на два комутуючі тиристори 1. Блок управління за допомогою змінного опору 8 дає змогу змінювати тривалість імпульсів подавання напруги на тиристори. Комутуючі тиристори регулюють амплітуду струму та тривалість його проходження по первинній обмотці підвищувачого трансформатора 2. Із вторинної обмотки трансформатора 2 підвищена до 1000...1200 В напруга подається на випрямляючий діодний місток 3, на виході з якого отримується однополярна пульсуюча напруга, яка, у свою чергу, подається на катод-деталь 4 та анод-стілки вакуумної установки 5.



1 – режим із пульсуючою напругою;  
2 – режим із постійною напругою.

**Рисунок 6 – Параметри струму, що подається на катод – деталь та анод – стінки вакуумної установки**



1 – комутуючі тиристори; 2 – підвищувачий трансформатор; 3 – діодний місток;  
4 – катод-деталь; 5 – анод – стінка вакуумної камери; 6 – понижуючий трансформатор;  
7 – блок управління; 8 – змінний опір.

**Рисунок 7 - Схема установки для реалізації вакуумного іонно-плазмового газотермоциклічного азотування**

Удосконалений метод дифузійного насичення металу азотом, на відміну від існуючих, враховує додаткову рушійну силу, обумовлену застосуванням імпульсного газотермічного режиму, що сприяє більш швидкому створенню на поверхні металу шару з граничною концентрацією азоту та забезпечує додаткову дрейфову швидкість дифузванту. Результати експеримен-

тальних досліджень зміцнених даним методом експериментальних зразків і натурних конструкцій елементів бурильної колони на міцність і зносостійкість в повітряному та корозійному середовищах буде приведено у наступній роботі.

## ВИСНОВКИ

На основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень розроблено технологічне обладнання для реалізації технологічного процесу вакуумного газотермоциклічного іонного азотування з автоматизованою системою контролю та управління параметрами формування зміцненого поверхневого шару конструкційних елементів бурильної колони для підвищення їх довговічності.

## Література

- 1 Быков И.Ю. Эксплуатационная надежность и работоспособность нефтегазопромысловых и буровых машин: учебное пособие / И.Ю. Быков, Н.Д. Цхадая. – Ухта: УГТУ, 2010. – 304 с.
- 2 Газанчан Ю.И., Повышение сопротивления усталости замковых резьбовых соединений утяжеленных буровых труб большого диаметра / Ю.И. Газанчан, В.И. Семин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2004. – № 6. – С. 15 – 17.
- 3 Ляшенко Б.А. О достоинствах технологии вакуумного азотирования / Б.А. Ляшенко, А.В. Рутковский // Оборудование и инструмент. – 2005. – № 12. – С. 20–21.
- 4 Ляшенко Б.А. Оптимизация технологии нанесения покрытий по критериям прочности и износостойкости / Б.А. Ляшенко, Е.К. Соловых, В.И. Мирненко, А.В. Рутковский, М.И. Черновол; под ред. В.В. Харченко – К: ИПП им. Г.С. Писаренко НАН Украины, 2010. – 193 с.
- 5 Мірненко В.І. Підвищення довговічності елементів бурильної колони методом дифузійного насичення при вакуумному газотермічноциклічному іонному азотуванні в імпульсному режимі / В.І. Мірненко, Б.О. Чернов, О.В. Радько, М.Я. Ткач // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент- техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2013. – С. 136-142.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
11.02.14

Рекомендована до друку  
професором **Коцкуличем Я.С.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором **Мірненком В.І.**  
(Національний університет оборони України  
імені Івана Черняхівського, м. Київ)