

УДК 681.5:681.2-5

І.М. Колядинський

Луцький національний технічний університет

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ВАКУУМНОЮ СИСТЕМОЮ НА ОСНОВІ ПОСТА ДЛЯ ОСАДЖЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РОЗПОРОШЕННЯ

У статті здійснено огляд стандартних конфігурацій вакуумних систем обладнання для нанесення тонких плівок. Розглянуто конструкцію вакуумної системи ВУП-5М. Проаналізовано робочі характеристики елементів вакуумної системи. На основі проведених досліджень розроблено послідовність операцій та алгоритм роботи вакуумної системи для покращення процесу викачування об'єму робочої камери ВУП-5М. Зроблена апробація створеного алгоритму роботи вакуумної системи.

Ключові слова: вакуумна система, магнетронне розпорошення, ВУП-5М, алгоритм роботи вакуумної системи.

Вступ. Однією з перспективних методик осадження тонких плівок є розпорошення з використанням додаткових полів для підтримки перебігу технологічного процесу. Серед різновидів таких процесів є фізичне розпорошення на основі постійного струму з використанням магнітних полів – магнетронне розпорошення. [1] Для реалізації технологічного процесу магнетронного розпорошення використовують вакуумні магнетронні системи розпорошення, котрі являють собою комплексні технологічні установки. Основними робочими параметрами магнетронних систем розпорошення є напруга на електродах, струм розряду, густина струму на мішені та питома потужність, величина індукції магнітного поля і залишковий тиск в робочому об'ємі. Від стабільності керуваності зазначених параметрів, котрі взаємозв'язані між собою, залежить стабільність розряду і відтворюваність процесу вирощування тонких плівок. [2]

Залишковий тиск в об'ємі робочої камери належить до ключових параметрів перебігу технологічного процесу магнетронного розпорошення. Можливість його стабілізації дозволяє досягнути високої надійності та відтворюваності перебігу технологічного процесу. Вольт-амперна характеристика магнетрона та генерація розряду в камері якісно і кількісно залежить від залишкового тиску в системі.

Постановка задачі. Метою дослідження є розробка алгоритму керування роботою вакуумної системи універсального поста ВУП-5М для осадження тонких плівок методом магнетронного розпорошення. Створення умов стабільного вакуумного середовища при підготовці робочого об'єму до препарування.

Після тривалої експлуатації ВУП-5М та дослідження його функціональних особливостей було виявлено ряд недоліків у керуванні системою, що визначалися специфікацією обладнання та часом безперервного робочого циклу. При підготовці паромасляного дифузійного насоса в системі, прогрів випарника здійснювався на протязі встановленого часу, за який, по специфікації, вузол ймовірно має вийти на робочий режим. Підтримка тиску на виході дифузійного насоса здійснюється на основі керування клапаном по статичним контрольним точкам, що викликає перекриття каналу на протязі рівномірних проміжків часу. Використання таких робочих параметрів в системі викликає дестабілізацію у роботі виконавчих вузлів установки та знижує надійність перебігу технологічного процесу.

Матеріали дослідження. Вакуумна система в установках для осадження тонких плівок призначена для викачування об'єму робочої камери та створення вакуумного середовища. Вакуумне середовище є невід'ємною умовою для перебігу процесу магнетронного розпорошення. В таблиці 1 відображено перелік найбільш розповсюджених конфігурацій вакуумних систем установок для осадження тонких плівок [3].

Таблиця 1

Основні конфігурації вакуумних систем обладнання для нанесення тонких плівок.

№	Засоби відкачування	Коротка технічна характеристика	Застосування
1	Вакуумна система з пароструйним дифузійним насосом із азотною пасткою та механічним вакуумним насосом	$P_{\text{зал}} = 3,7 \cdot 10^{-7}$ мм.рт.ст.	В установках призначених для виробництва тонкопліткових елементів та інтегральних схем
2	Вакуумна системи з бустерним насосом із азотною пасткою та механічним вакуумним насосом	$P_{\text{зал}} = 3,7 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст.	В установках для виробництва багат шарових тонко пліткових елементів мікросхем
3	Вакуумна система з іонно-гетерним насосом, пароструйним дифузійним насосом та механічним вакуумним насосом	$P_{\text{зал}} = 3,7 \cdot 10^{-9}$ мм.рт.ст.	В дослідницьких установках, котрі вимагають відпрацювання технології осадження при глибокому вакуумі

Вакуумний універсальний пост ВУП-5М (Рис.1) призначений для отримання плівок з різноманітних матеріалів, із високою продуктивністю, методом магнетронного розпорощення, а також для підготовки об'єктів, що досліджуються за допомогою електронних мікроскопів чи інших аналітичних пристроїв. Установа виготовлена ОАО «SELMI» і володіє рядом переваг та особливостей роботи, а саме [4]:

- універсальність процесу дозволяє отримувати плівки металів, сплавів та напівпровідників;
- висока швидкість осадження з можливістю керування в широких діапазонах;
- збереження співвідношення складових, при розпорощенні багатокomпонентних матеріалів;
- пристрій дозволяє отримати високу адгезію плівок і підкладки;
- можливість зміни властивостей та структури плівок;
- можливість розпорощення декількох матеріалів без розгерметизації робочого об'єму;
- незначний тепловий вплив на оброблювану структуру.

Основні робочі параметри вакуумного універсального поста ВУП-5М:

- залишковий тиск в камері внаслідок викачування паромасляним дифузійним мотором: $1 \cdot 10^{-6}$ мм.рт.ст. ;
- максимальна напруга на виході високовольтного випрямляча: не менше 0,9 кВ;
- максимальний струм магнетрона: не менше 300 мА;
- температура підкладки: до 1000 °С;
- час нагріву підкладки: не більше 30 хв.;

Вакуумна система установки ВУП-5М є різновидом конфігурації 1, що наведена в таблиці 1. Принципова схема вакуумної системи ВУП-5М представлена на рисунку 2. В якості манометричних перетворювачів у вакуумній системі поста ВУП-5М використовуються термопарні перетворювачі ПМТ-2, виготовлені у вигляді манометричних ламп. ПМТ-2 представляє собою скляний корпус, в якому на двох виводах змонтовані платинові підігрівачі, а на двох інших виводах кріпиться термопара хромель-копель.

Термопара та підігрівач з'єднуються між собою за допомогою перемички. Підігрівач нагрівається за допомогою струму, значення якого встановлене. Відповідно, за рахунок з'єднання з нагрівачем нагрівається і термопара та викликає виникнення термо е.р.с. Зі зменшенням тиску у вимірювальному об'ємі чи ланці вакуумної системи – зменшується теплопровідність газу і, відповідно, зростає температура перемички, яка розігріває термопару. Вимірюючи е.р.с. на термопарі можна встановити значення тиску за допомогою градувальних кривих. [5]



Рис.1 Зовнішній вигляд вакуумного універсального поста ВУП-5М

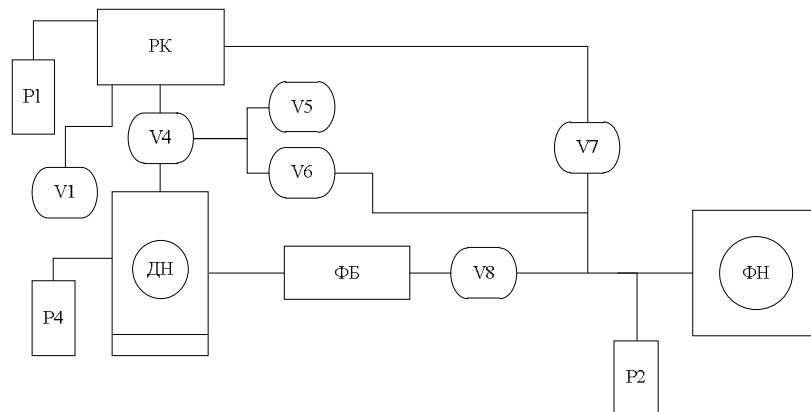


Рис. 2. Принципова схема вакуумної системи ВУП-5М:

P1, P2, P4 – манометричні перетворювачі; V1, V5, V6, V7, V8 – електромагнітні вакуумні клапани; V4 – високо вакуумний затвор; ФН – форвакуумний насос; ФБ – форвакуумний балон; ДН – паромасляний дифузійний насос; РК – робоча камера;

Для керуванням перекриттям ланок вакуумної системи ВУП-5М використовуються електромагнітні клапани V1, V7, V8. Унікальним в конструкції системи є високовакуумний затвор V4. Керування цим затвором здійснюється за допомогою електромагнітних клапанів V5, V6. При відкритті клапана V5 відбувається напуск повітря до корпусу високовакуумного затвора V4 і він перекриває канал вакуумної системи. При відкритті клапана V6 здійснюється викачування об'єму корпусу високовакуумного затвора V4 і він здійснює відкриття каналу вакуумної системи. [6]

Викачування об'ємів вакуумної системи до попереднього вакууму здійснюється за допомогою форвакуумного насоса (ФН) Вакма 2НВР-5ДМ. Форвакуумний насос має наступні робочі характеристики [7]:

- живлення двигуна насоса: 380 В;
- потужність двигуна: 0,55 кВт;
- швидкість викачування: 5,5 л/с;
- залишковий тиск: $5 \cdot 10^{-3}$ мм.рт.ст.;
- габарити: 555x170x280 (мм);
- вага: 26 кг.

Для викачування середовища робочої камери до високого вакууму, використовується паромасляний дифузійний насос (ДН) НВДМ-160. Особливістю роботи паромасляних дифузійних насосів є залежність швидкості викачування від залишкового тиску на виході насоса (Рис.3). Так, розігрів насоса НВДМ-160 можна розпочинати при створенні залишкового тиску в $1 \cdot 10^{-1}$ мм.рт.ст. (2,4 – 3мВ на ПМТ-2) на виході. [8]

Для запобігання забруднення вакуумної системи робочим маслом насоса вакуумна система оснащена форвакуумним балоном (ФБ).

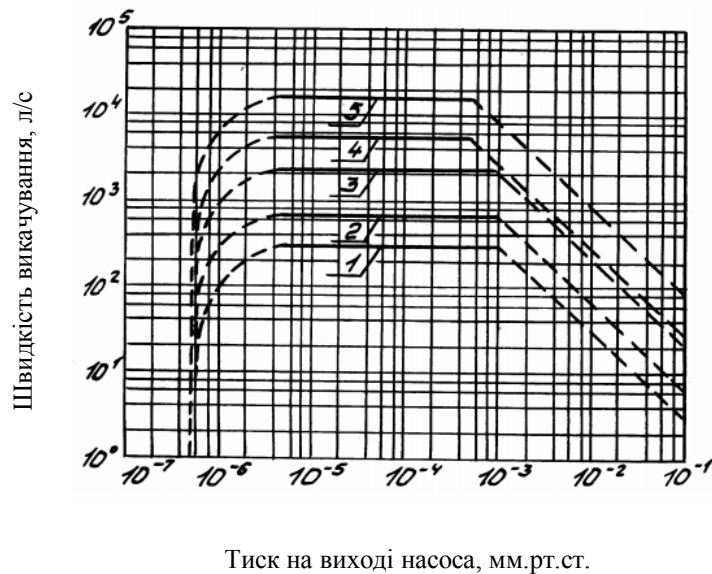


Рис. 3. Залежність швидкості викачування дифузійного насоса НВДМ від тиску на виході:
1 – НВДМ-100; 2 – НВДМ-160; 3 – НВДМ-250; 4 – НВДМ-400; 5 – НВДМ-630;

Розробка алгоритму керування вакуумною системою. На основі проведених досліджень конструкції та характеристик робочих вузлів вакуумної системи ВУП-5М, було розроблено послідовність операцій для викачування об'єму робочої камери до високого вакууму (Рис.4).

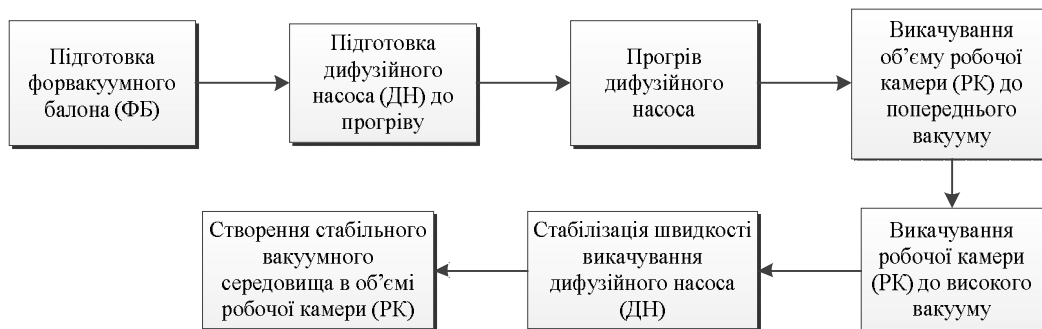


Рис. 4. Послідовність операцій викачування об'єму робочої камери ВУП-5М до високого вакууму

Використовуючи створену послідовність проведення операцій, розроблено алгоритм роботи вакуумної системи з врахуванням відмови вузлів та технічних особливостей (Рис.5).

За побудованим алгоритмом, керування виконавчими вузлами системи здійснюється на основі показів встановлених манометричних перетворювачів. Підготовка дифузійного насоса виконується за допомогою зняття показів манометричних перетворювачів P_2 та P_4 та керування електромагнітним клапаном V_8 . Таким чином, операція перебігає на основі показів номінального стану системи. Для надійності перебігу процесу, в алгоритмі передбачені переходи до попередньої стадії при ймовірних збуреннях в роботі, що унеможливує порушення технічних умов експлуатації обладнання.

Після розробки наведеного алгоритму роботи вакуумної системи, проведено викачування робочого об'єму в ручному режимі згідно із встановленою послідовністю та робочими параметрами. Апробація результатів підтвердила досягнення стабільного вакуумного середовища в об'ємі робочої камери ВУП-5М на протязі тривалого часу.

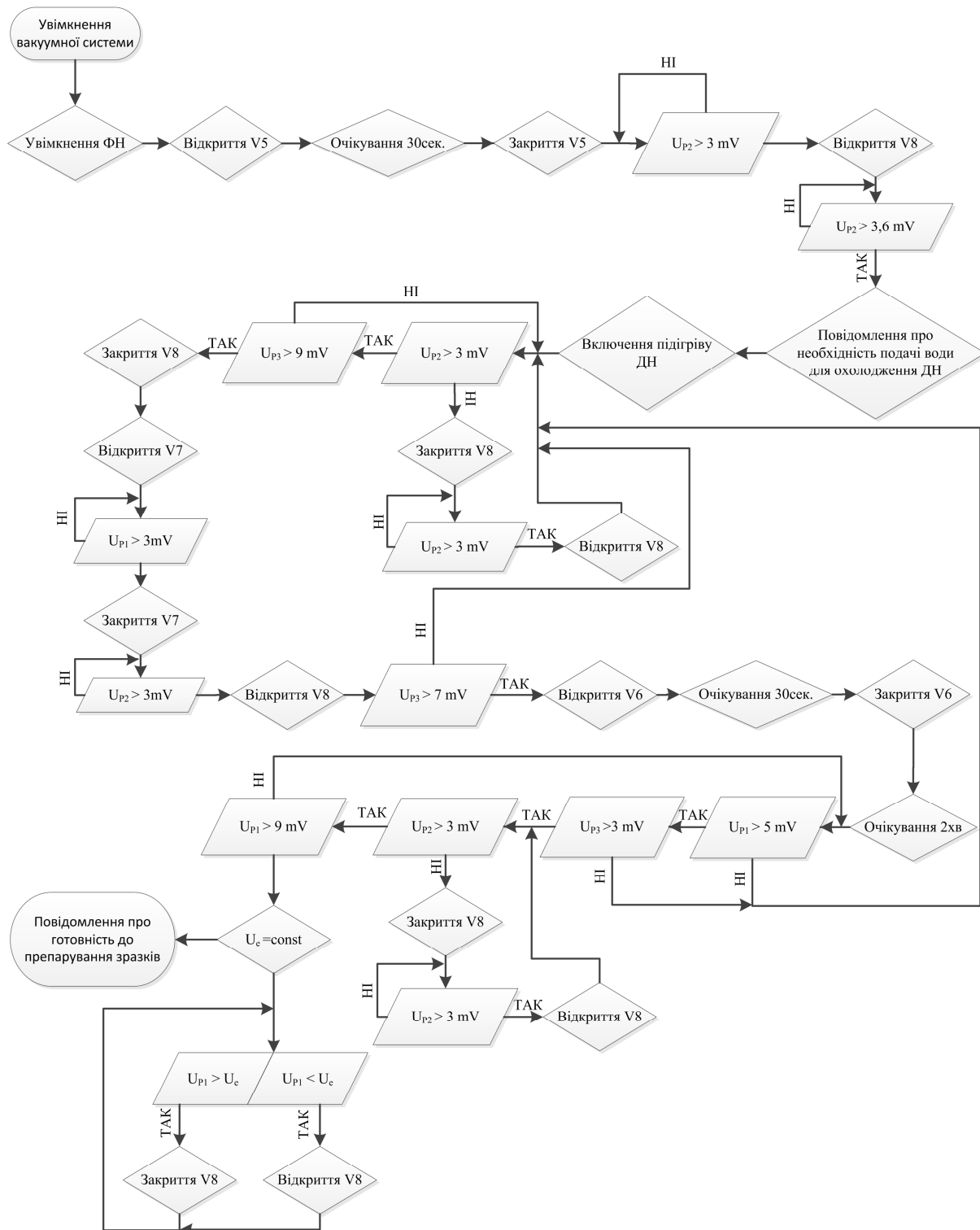


Рис. 5. Алгоритм роботи вакуумної системи ВУП-5М для викачування об'єму робочої камери до високого вакууму.

Висновки. На основі проведених досліджень конструкції та робочих характеристик вакуумної системи ВУП-5М розроблено алгоритм викачування об'єму робочої камери до високого вакууму. Встановлення стабільного вакуумного середовища для препарування зразків дозволить досягнути стабільності та покращення керованості параметрів перебігу технологічного процесу магнетронного розпорощення. Апробація розробленого алгоритму у режимі ручного керування ВУП-5М підтвердила покращення процесу викачування робочого об'єму. Для реалізації створеного алгоритму в автоматизованому режимі роботи здійснюється розробка апаратної частини для вдосконалення ВУП-5М.

1. A. A. Voevodin Nanostructured thin films and nanodispersion strengthened coatings / A. A. Voevodin, D.V. Shtansky, E.A. Levashov, J.J. Moore, Netherlands: Kluwer Academic, 2004 – С. 332.
2. Берлин Е.В. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок. / Берлин Е.В., Двинин С.А., Сейдман Л.А. – Москва: Издательство «Техносфера», 2007. – С. 176.
3. Пипко А.И. Основы вакуумной техники . / Пипко А.И., Плисковский В.Я., Королев Б.И., Кузнецов В.И. – 2-е изд., перераб . и доп. – Москва: Энергоиздат, 1981. – С. 432.
4. ОАО «Selmi» Вакуумная техника. ВУП-5М. [электронный ресурс] / Продукция ОАО «Selmi» - Режим доступа: <http://www.selmi.sumy.ua/index.php?p=production&cid=5&id=65>
5. Руководство по эксплуатации / Преобразователь манометрического термодарный ПМТ-2
6. Пост Вакуумный Универсальный ВУП-5М / Техническое описание и инструкция по эксплуатации – 2.950.161 ТО.
7. Руководство по эксплуатации / Насос вакуумный пластинчато-роторный НВР.
8. Руководство по эксплуатации / Насос вакуумный диффузионный паромасляный НВДМ.