

Міністерство освіти та науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії  
(повна назва)

Кафедра Біомедичної інженерії  
(повна назва)

**АНОТАЦІЯ**  
**кваліфікаційної роботи**

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Засоби контролю технологічних параметрів лабораторної  
ректифікаційної установки  
(тема)

Виконав:  
студент 2(м) курсу, групи БМІм-23-1  
Войтенко Ю.Ю.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 163 Біомедична інженерія  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма «Біомедична інженерія»  
(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. Дацюк О.М.  
посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри БМІ \_\_\_\_\_  
(підпис)

Аврунін О.Г.  
(прізвище, ініціали)

2025 р.

## ВСТУП

Процес ректифікації вважається однією з найважливіших і широко застосовуваних технологій для розділення хімічних сумішей. Цей метод знайшов застосування в багатьох галузях хімічної промисловості завдяки його універсальності та ефективності [1-5]. Ректифікація базується на послідовності рівноважних стадій, де парова і рідинна фази досягають термодинамічної рівноваги. Саме це дозволяє досягти високого рівня чистоти кінцевих продуктів [6-9].

Для розуміння і успішного застосування цього методу важливо розглянути фізико-хімічні принципи паро-рідинної рівноваги, знання яких дає змогу проводити інженерні розрахунки, оптимізувати роботу обладнання та запобігати можливим технологічним помилкам. Ця проблема є основою багатьох наукових досліджень і розробок у хімічній і промисловості, оскільки навіть незначні вдосконалення в процесах ректифікації можуть призвести до суттєвого економічного ефекту [10-13].

Актуальність лабораторної медичної ректифікаційної установки полягає у виробництві високоякісних розчинників та реагентів:

- етанол високої чистоти – розчинник у фармацевтичних препаратах, антисептиках та інших медичних засобах;
- стерильні розчини – забезпечують необхідну чистоту для біохімічних та біологічних досліджень.

Очищення біологічних зразків з відділенням компонентів – ректифікація дозволяє ефективно очищати біологічні матеріали, що необхідно для точного аналізу в лабораторних дослідженнях.

Підготовка зразків – забезпечує необхідну чистоту для проведення клітинних та молекулярно-біологічних досліджень.

У виробництві лікарських засобів це очистка активних інгредієнтів, що забезпечує високу чистоту та якість фармацевтичних компонентів. Контроль

якості – дозволяє проводити детальний аналіз складових лікарських засобів; визначати точний склад рідинних сумішей, що важливо для контролю якості виробництва.

Ректифікація використовується у синтезі та очищенні нових хімічних сполук, що можуть мати медичне застосування; дозволяє досліджувати властивості компонентів, що є важливим для розробки нових технологій та методів лікування [14-17].

Лабораторні ректифікаційні установки дозволяють оптимізувати енергоспоживання та зменшувати екологічний вплив завдяки високій ефективності розділення; забезпечують можливість переробки та повторного використання розчинників, що знижує витрати та екологічний слід.

Об'єкт дослідження – процес контролю технологічних параметрів лабораторної ректифікаційної установки.

Предмет дослідження – засоби контролю технологічних параметрів лабораторної ректифікаційної установки.

Мета дослідження – підвищення ефективності функціонування лабораторної ректифікаційної установки шляхом в умовах роботи зі зниженим тиском в ректифікаційній колоні.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

В першому розділі розглянуті можливості застосування ректифікаційної установки. Ректифікаційна колона використовується для розділення різних речовин у суміші за допомогою фракційної дистиляції. У процесі ректифікації суміш піддається повторному перегріванню та конденсації, що сприяє фракціонованому розділенню компонентів [18-21].

У ректифікаційній колоні можуть розділятися різні речовини, такі як спирт і вода, аміак і вода, нафта і газ тощо. Важливими факторами для успішного розділення є різниця у кипінні компонентів та їх взаємна розчинність. Наведені приклади та основні фізичні характеристики сумішей, що розподіляються в промислових ректифікаційних установках та можливості застосування лабораторної ректифікаційної установки в галузях біології, медицини та фармації. Проведений аналіз особливостей побудови ректифікаційних установок, розглянуті принципи періодичної ректифікація з ректифікаційною колоною, особливості процесів парової вакуумної та екстракційної ректифікації [22].

В другому розділі розглянуті особливості ректифікації під зниженим тиском (вакуумної ректифікації). Вакуумна ректифікація відрізняється від традиційних методів ректифікації тим, що вона працює в умовах зниженої атмосфери. При зниженні тиску в колоні температура кипіння рідин зменшується, що дозволяє зберігати чутливі компоненти від термічного розкладання. Цей метод є безпечним і ефективним, тому що він знижує енергетичні витрати та підвищує виходи корисних сполук.

Запропонована структурна схема лабораторної ректифікаційної установки, що реалізує такий принцип. До складу установки входять ректифікаційна колона, дефлегматор; конденсатор; абсорбер; ємність з вуглевим фільтром для абсорбенту; Вакуумний насос; Насос відкачки води після абсорберу на перегонку. Технологічні параметри контролюються за

допомогою датчиків температури кубу, температури верху РК; температури води на виході; температури відбору ректифікату; латчика розрідження; датчиків нижнього та верхнього тиску РК та датчика рівня ємності з водою після абсорберу.

Контроль розрідження в ректифікаційних колонах є важливим для забезпечення ефективності процесу розділення сумішей, стабільності технологічного та процесу безпеки роботи обладнання.

До складу системи контролю відносяться:

- датчики тиску (розрідження) – вимірюють тиск у колоні та передають дані в систему автоматичного регулювання;
- контролер (ПЛК) – обробляє сигнали датчиків та формує сигнали для відкриття чи закриття електроклапана.
- електроклапан, що керується сигналами від контролера та регулює потік у трубопроводі, з'єднаному з атмосферою;
- система приводу клапана – забезпечує відкриття та закриття клапана залежно від команди.

В третьому розділі на основі розрахунків показано на прикладі двох режимів тиску (105 кПа і 70 кПа), що при вакуумі (70 кПа) ректифікація вимагає меншої теплової потужності в кип'ятильнику (~2,07 кВт), ніж за підвищеного тиску 105 кПа (~2,34 кВт). Цей виграв становить приблизно 10–12% у нашому обраному прикладі.

Водночас робота при вакуумі складніша: потрібне обладнання для відкачування газів, герметичність колони, особливий конденсатор тощо.

Розглянута логіка управління системою розрідження.

Управління клапаном скиду розрідження (Valve\_1) – програма постійно зчитує значення розрідження через датчик Sensor\_1.

Якщо розрідження зменшується (або абсолютний тиск у системі перевищує задане значення Ust\_Pressure), клапан закривається (Valve\_1 := FALSE), щоб зберегти вакуум.

Якщо розрідження стає більшим за заданий рівень ( $Sensor\_1 < Ust\_Pressure$ ), клапан відкривається ( $Valve\_1 := TRUE$ ), щоб дозволити вирівнювання тиску з атмосферою.

Управління насосом ( $Motor\_on$ ) – програма контролює рівень рідини через датчик  $Sensor\_2$ .

Якщо рівень рідини у ємності перевищує або дорівнює заданому ( $Sensor\_2 \geq Ust\_level$ ), насос вмикається ( $Motor\_on := TRUE$ ) для підтримки розрідження.

Якщо рівень рідини стає нижчим за заданий ( $Sensor\_2 < Ust\_level$ ), насос вимикається ( $Motor\_on := FALSE$ ).

Установка обертів мотору – змінна  $Ust\_Motor$  отримує значення  $Motor\_out$ . Це завдання передається в систему управління мотором, щоб встановити відповідну частоту обертів.

Контроль розрідження здійснюється через постійний моніторинг значення розрідження через  $Sensor\_1$ .

Програма може використовуватися як для керування лабораторною ректифікаційною установкою, так і в аналогічних, зокрема, у вакуумних установках для сушіння або випарювання в харчовій промисловості; вакуумних лабораторних або операційних медичних системах тощо.

## ВИСНОВКИ

Лабораторні медичні ректифікаційні установки є важливими інструментами в сучасній медицині та біології. Вони забезпечують високу якість та чистоту хімічних речовин, необхідних для виробництва лікарських засобів, проведення аналітичних досліджень та розробки нових технологій. Однак, для досягнення високої продуктивності (наприклад, 20 л/год) необхідні суттєві збільшення в енергоспоживанні, що може бути складним для лабораторних умов. Для оптимізації роботи установки важливо враховувати ефективність використання пари та інші експлуатаційні параметри.

В першому розділі розглянуті принципи роботи ректифікаційної колони; наведені приклади різних сумішей, їх фізичних характеристик, зокрема, температур кипіння та значення тиску, під дією якого відбувається кипіння. Проведено аналіз можливостей розподілу цих сумішей шляхом ректифікації. Проведено аналіз особливостей побудови ректифікаційних установок, розглянуті принципи періодичної ректифікації, особливості процесів парової вакуумної та екстракційної ректифікації.

В другому розділі розроблена структурна схема лабораторної ректифікаційної установки; розроблена електрична структурна схема системи контролю технологічних параметрів установки, обґрунтовано застосування основних вузлів системи контролю, зокрема, датчиків тиску, температури та рівня суміші. Як складову системи, розглянуто вузли контролю розрідження в ректифікаційній колоні, що є критично важливим для забезпечення ефективності процесу розділення сумішей, стабільності технологічного та процесу безпеки роботи обладнання. Запропоновано побудувати схему контролю розрідження на промисловому контролері розподілених систем автоматизації ПЛК210, вакуумному насосі, датчику тиску та електромагнітному клапані. Обґрунтовано типи та параметри цих вузлів.

В третьому розділі наведено розрахунок геометричного об'єму, продуктивності та теплового балансу ректифікаційної колони. Розрахунки демонструють, як зміна тиску впливає на тепловий баланс ректифікаційної колони та енергоефективність. Розроблено програмний код, призначений для підтримання заданого рівня розрідження у вакуумній системі; управління роботою насоса та клапана, а також для здійснення контролю за рівнем рідини в ємності для забезпечення безперервного функціонування.

Основні результати роботи доповідалися на Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези. доповідей XXXII MicroCAD-2024» 22 – 25 травня 2024 р [1].

## **КЛЮЧОВІ СЛОВА**

ВАКУУМНА РЕКТИФІКАЦІЯ, РОЗРІДЖЕННЯ, РЕКТИФІКАЦІЙНА  
УСТАНОВКА, СУМІШ, ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС, ВАКУУМНИЙ НАСОС,  
ДАТЧИК ТИСКУ, ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРИ, ДАТЧИК РІВНЯ,  
ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ КЛАПАН, ПРОМИСЛОВИЙ КОНТРОЛЕР

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Новіков В.П., Сидоров Ю.І. , Чуєшов В.І. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості. Навч посібник. 2009, 816 с.
2. Ректифікація. Фармацевтична енциклопедія. Реж доступа: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/1070/rektifikasiya> (дата звернення 28.11.2024 р.)
3. Ткачук Н.А., Смітюх Я.В., Малежик І.Ф., Мельник Л.М. Моделювання фазової рівноваги при ректифікації суміші етанол – вода і розрахунок кількості контактних пристроїв в ректифікаційній колоні залежно від значення флегмового числа. Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2002.– №12. – С. 65–66
4. Іванюк О. О., Влах-Вигриновська Г. І., Ковела І. М., Доманський В. М. АСУ ТП ректифікаційної колони регенерації спирту з ПДД-регуляторами // Автоматика, вимірювання та керування Т. 1, № 1, 2019, С. 66 – 71
5. Колона ректифікації: принцип роботи і способи використання – Режим доступа: <https://autoclav.com.ua/ua/blog/rektifikacionnaya-kolonna-rabota/> (дата звернення: 24.11.2024).
6. Patil K. Distillation Operations: Methods, Operational and Design Issues. ChemRxiv. 2023; doi:10.26434/chemrxiv-2022-g36d7-v2.
7. Conceptual Design of Chemical Processes (By James M.Douglas) Реж доступа: <https://pdfcoffee.com/conceptual-design-of-chemical-processes-by-james-m-douglas-pdf-free.html> (дата звернення 28.11.2024 р.)
8. R. H. Perry and D. Green, "Perry's Chemical Engineers' Handbook", Seventh Edition, McGraw-Hill, Реж доступа: [https://www.academia.edu/35783333/Chemical\\_Engineers\\_Handbook\\_Perry\\_Vol](https://www.academia.edu/35783333/Chemical_Engineers_Handbook_Perry_Vol) (дата звернення 28.11.2024 р.)
9. Reactive Distillation Technology for Cleaner Production of Chemicals on Industrial Scale. Kiran Patil. International Journal of Engineering Science, 2010. Реж

50 доступа: [https://www.academia.edu/30993382/Reactive\\_Distillation\\_Technology\\_for\\_Cleaner\\_Production\\_of\\_Chemicals\\_on\\_Industrial\\_Scale](https://www.academia.edu/30993382/Reactive_Distillation_Technology_for_Cleaner_Production_of_Chemicals_on_Industrial_Scale) (дата звернення 30.11.2024 р.)

10. Industrial Applications of Reactive Distillation: Recent Trends. Sanjay Mahajani. International Journal of Chemical Reactor Engineering, 2004 Реж доступа: [https://www.academia.edu/96688103/Industrial\\_Applications\\_of\\_Reactive-Distillation\\_Recent\\_Trends](https://www.academia.edu/96688103/Industrial_Applications_of_Reactive-Distillation_Recent_Trends) (дата звернення 30.11.2024 р.)

11. Designing reactive distillation processes: present and future. Johan Grievink. Computers & Chemical Engineering, 2004 Реж доступа: [https://www.academia.edu/16029625/Designing\\_reactive\\_distillation\\_processes\\_present\\_and\\_future](https://www.academia.edu/16029625/Designing_reactive_distillation_processes_present_and_future) (дата звернення 03.12.2024 р.)

12. Патент №124245 (UA), МПК (2018.01) B01D 3/00. Ректифікаційна колона / Ткачук Максим Володимирович, (UA), Степанюк Андрій Романович (UA). Заявка № 2017 11269, 20.11.2017; Опубл. 26.03.2018, Бюл. № 26

13. ПД100-1x5-EXD. Датчики тиску у вибухонепроникному виконанні Реж доступа: <https://aqteck.com.ua/ua/arhiv-produkciji/pd100-115-exd-datchyky-tusku-u-vyuhonepronyknomu-vykonanniDTCxx4> (дата звернення 10.12.2024 р.)

14. Термоопори з кабельним виводом Реж доступа: <https://aqteck.com.ua/ua/datchyky/dtsxx4-termoopyry-z-kabelnym-vyvodom> (дата звернення 10.12.2024 р.)

15. ПДУ-4.1 [M01]. Датчик рівня для хімічно агресивних середовищ Реж доступа: <https://aqteck.com.ua/ua/arhiv-produkciji/pdu-4-1-datchyk-rivnja-dlja-himichno-agresyvnyh-seredovysch> (дата звернення 12.12.2024 р.)

16. Електромагнітний клапан GEVAX 1901 1/2” непрямої дії НО 0.5 - 16 bar 220VAC Реж доступа: <https://www.shop.gevax.com/solenoid-valves-gevax-1901-kbhd016-120-220ac-12-nc-pilot-operated-hnbr-05-16-bar-220vac-13va1867> (дата звернення 18.12.2024 р.)

17. Насос вакуумний ВВН1-0,3 Реж доступа: <https://vakum.com.ua/uk/products/nasos-vvn1-3/> (дата звернення 18.12.2024 р.)

18. ПЛК210. Контролер для середніх і розподілених систем автоматизації Реж доступа: <https://aqteck.com.ua/ua/programovani-logichni-kontrolery/plk210-programovanyj-logichnyj-kontroler> (дата звернення 18.12.2024 р.)
19. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика : Шиян П.Л., Сосницький В.В., Олійнічук С.Т. К.: Видавничий дім «Асканія», 2009. 424 с.
20. Шейкус А. Р., Левчук И. Л., Тришкин В. Я., Корсун В. И. Моделювання парорідинної рівноваги при рухомому управлінні процесами ректифікації // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ». – 2016. – № 44 (1216). – С. 87–100
21. Оптимізація роботи ректифікаційної колони шляхом комп'ютерного моделювання в програмному Середовищі CHEMCAD. В.В. Іванчук, В.І. Іванчук, Д.Ю. Булій, Ю.В. Булій. Реж доступа: <https://dSPACE.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/fba0ac80-112c-4968-b5ed-becba79a5126/content> (дата звернення 28.12.2024 р.)
22. Войтенко Ю.Ю., Дацок О.М. Засоби автоматизованого контролю рівню реакційної суміші в медичній ректифікаційній установці // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків:НТУ «ХПІ». Реж доступа: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/485b5738-a05a-420d-93b9-f684d15cc047/content> (дата звернення 10.01.2025 р.)