

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

_____ П.В. Леонтєв
_____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА
зі спеціальності 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології
на тему: "Автоматизоване управління процесом абсорбції /
Automated control of the absorption process"

Керівник роботи
доцент, к.ф.-м.н.

Соколов С.В.

Дипломник
студент гр. СУ.м-11

Богулов Б.Р.

РЕФЕРАТ

Богулов Богдан Романович. Автоматизоване управління процесом абсорбції. Кваліфікаційна робота магістра. Сумський Державний Університет, м. Суми, 2022 р.

Робота містить 54 сторінок основного тексту, 32 рисунки; 2 додатки; список використаних джерел з 15 найменувань.

Робота присвячена створенню автоматизованої системи управління масообмінним процесом абсорбції на прикладі очищення газу аміаку з використанням насадкового абсорберу. Запропоновано SCADA систему та алгоритм роботи системи управління.

Ключові слова: очищення газу, абсорбція, аміак, автоматизоване управління, ПІД-регулятор, SCADA система.

ABSTRACT

Boghulov Bohdan Romanovych. Automated control of the absorption process. Master's qualification work. Sumy State University, Sumy, 2022

The work contains 43 pages of main text, 24 drawings; 1 appendix; a list of used sources from 16 items.

The work is devoted to the creation of an automated control system for the mass transfer process of absorption on the example of ammonia gas purification using a nozzle absorber. The SCADA system and the algorithm of the control system are proposed.

Key words: gas purification, absorption, ammonia, automated control, PID controller, SCADA system.

Зміст

Список скорочень та умовних позначень.....	4
Вступ	5
1. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	8
1.1 Абсорбція.....	8
1.2 Екологічна актуальність.....	9
1.3 Фізико–хімічні властивості.....	10
1.4 Вибір абсорбера	12
2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	17
2.1 Математичний опис	17
2.2 Математична модель	20
3. МОДЕЛЮВАННЯ У MATLAB SIMULINK	23
3.1 Постановка завдання моделювання	23
3.2 Створення імітаційної моделі.....	24
3.2.1 Модель контуру управлінням витратами суспензії ...	29
3.2.2 Модель контуру управлінням витратами газу.....	32
3.2.3 Модель контуру управлінням рівнем	35
3.2.4 Модель регулювання співвідношенням витрат.....	37
3.2.5 Дослідження впливу змінних на роботу системи	38
4. РОЗРОБКА SCADA СИСТЕМИ	42
4.1 Постановка задачі при проектуванні SCADA системи	42
4.2 Проектування SCADA системи.....	43
4.3 Алгоритм функціонування	46
5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	49
Висновок	53
Список літературних джерел	54
Додаток А	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток Б	Ошибка! Закладка не определена.

Список скорочень та умовних позначень

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом;

ТП – технологічний процес;

АК – абсорбційна колона;

ДС – дистилерна суспензія;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ПП – первинний перетворювач;

ВМ – виконавчий механізм;

ОУ – об'єкт управління;

САУ – Система автоматичного управління

Вступ

При стрімкому темпі розвитку нафтопереробної промисловості дедалі більше значення набирає надійність роботи абсорбційних систем на підприємствах по виробництву нафтохімічної продукції у зв'язку з тим, що ці установки займають важливе значення для нафтохімічних комплексів, ціна яких перевищує ціну самих установок. Тому до абсорбційних апаратів визначають такі вимоги: висока роздільна здатність та продуктивність, достатня надійність та гнучкість у роботі, низькі експлуатаційні витрати, невелика вага, простота та технологічність конструкції. Останні вимоги не менш важливі, ніж перші, оскільки вони не тільки визначають капітальні витрати, але і значною мірою впливають на величину експлуатаційних витрат, забезпечують легкість і зручність виготовлення апарату (особливо при серійному виготовленні), монтажу та демонтажу, ремонту, контролю, випробування та безпеку експлуатації. [1]

Об'єктом дослідження є автоматизоване управління масообмінними процесами абсорбційної установки.

Предметом дослідження є дослідження абсорбційної установки як об'єкта автоматизації та удосконалення систем автоматизованого керування абсорбцією.

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є автоматизація управління процесом абсорбції газу на прикладі насадочного абсорбера, компонентом вилучення є аміак.

Основні задачі:

- провести аналіз сучасних систем керування абсорбційної установки.

- дослідити фізико-технологічні процеси, що відбуваються під час абсорбції газу аміаку водою.

- розробити динамічну математичну модель
- розробити імітаційну модель для дослідження перехідних характеристик
- синтезувати та налагодити регулятори
- побудувати функціональну схему автоматизації
- проаналізувати показники якості роботи розробленої системи
- проектування SCADA системи
- визначення алгоритму роботи системи

Актуальність. У сьогоденні великого значення набуває ефективність роботи абсорбера як апарату для поглинання компонента з газової суміші, яка характеризується ступенем вилучення компонента. Досяжний ступінь вилучення залежить від технологічного режиму та від досконалості абсорбера як масообмінного апарату.

Методи досліджень ґрунтуються на основних положеннях теорії масообміну, математичного моделювання з використанням комп'ютерних технологій.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробленні нового підходу до автоматизації масообмінного процесу, що забезпечує гнучкість налаштування, можливість контролю параметрами системи у реальному часі та зменшений час перехідних процесів, що підвищує якість вилучення аміаку та, як результат, очищення викидів виробничих відходів у атмосферу.

Практичне призначення одержаних результатів. Розроблені результати САК абсорбцією вносять науковий склад у розвиток промислових підприємств (наприклад підприємств виробництва нітратних добрив) та у подальшому можуть бути використаними у наукових дослідженнях іншої тематики.

З різних типів апаратів в даний час найбільш поширені насадочні та тарілчасті абсорбери.

При виборі типу абсорбера необхідно враховувати фізико-хімічні умови проведення процесу з урахуванням техніко-економічних чинників.

При ідеальному контакті досягається рівновага між фазами. Найбільш повне вилучення компонента можна отримати, якщо газ, що надходить, знаходиться в рівновазі з поступаючою рідиною. Такі умови можуть бути створені при зустрічному напрямку матеріальних потоків, якщо витрата поглинача досить велика.

1. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

1.1 Абсорбція

Абсорбцією називають процес поглинання газів або пар їх газової або парогазових сумішей рідкими поглиначами (абсорбентами).

На відміну від процесу ректифікації, абсорбція відбувається в основному односпрямовано, тобто з газу витягуються відповідні компоненти, а з абсорбенту в газову фазу вони практично не переходять.

Поєднання абсорбції з десорбцією дозволяє багаторазово застосовувати абсорбент та виділяти поглинений компонент у чистому вигляді. У багатьох випадках проводити десорбцію необов'язково, оскільки абсорбент і абсортив є дешевими або відкидними продуктами, які після абсорбції можна знову не використовувати (наприклад, при очищенні газів), або якщо в результаті абсорбції виходить готовий продукт (наприклад, HCl , при абсорбції хлористого водню водою). [2]

У промисловості процеси абсорбції застосовують головним чином для вилучення цінних компонентів з газових сумішей чи очищення цих сумішей від шкідливих домішок.



Рисунок 1.1 - Зовнішній вигляд абсорбційної колони

Абсорбційні процеси широко поширені в хімічній технології і є технологічною стадією низки найважливіших виробництв (наприклад, абсорбція SO_3 у виробництві H_2SO_4 ; абсорбція NH_3 , пари C_6H_6 , H_2S та інших компонентів з коксового газу; абсорбція парів різних вуглеводнів із газів переробки нафти). Крім того, абсорбційні процеси є основними процесами при санітарній очистці газів, що випускаються в атмосферу від шкідливих домішок (наприклад, очищення топкових газів від SO_2 ; очищення від фтористих сполук газів, що виділяються у виробництві мінеральних добрив).

1.2 Екологічна актуальність

Система очищення повітря на підприємстві є невід'ємною складовою виробництва цільового продукту, у процесі чого залишаються промислові відходи. Відсутність даної системи може призвести до забруднення атмосфери та, у результаті, до порушення Закону України "Про охорону атмосферного повітря" (2707-12).

Таблиця 1.1 - Значення гранично допустимих концентрацій

Речовина	Гранично допустимі концентрації в мг/м ³		
	Максимальна разова	Середньо-добова	Клас небезпечності
Аміак	0,2	0,04	4

Порушення правил експлуатації, а також невикористання встановлених споруд, устаткування, апаратури для очищення і контролю викидів в атмосферу - тягнуть за собою попередження або накладення штрафу на посадових осіб від п'яти до восьми неоподатковуваних мінімумів доходів громадян. [3]

1.3 Фізико–хімічні властивості

У якості абсорбента часто використовують воду, яка не вступає в реакцію з видобутим газом.

Вода – бінарна неорганічна сполука з хімічною формулою H₂O. Вода є гарним розчинником полярних речовин. Кожна молекула розчинної речовини оточується молекулами води, причому позитивно заряджені іони розчинної речовини притягують атоми кисню, а негативно заряджені – атоми водню. Оскільки молекула

води не велика за розмірами, досить багато молекул можуть оточити кожную молекулу речовини, що розчиняється.

Таблиця 1.2 – Властивості води при різних температурах

Властивості	Температура, °C					
	0	20	40	60	80	100
Поверхневий натяг, Н/м · 10 ⁻³	75,6	72,8	69,6	66,1	62,3	58,8
Теплоємність, Дж/кг · °C	4231	4190	4182	4190	4190	4231
В'язкість, Па·с·10 ⁻³	1,8	1,3	1	0,8	0,65	0,54
Густина, кг/м ³	1000	998	992	983	972	958

Аміак – це газ, що має щільність майже вдвічі меншу, ніж щільність повітря. За температури 15 °C вона становить 0,73 кг/м³. Щільність рідкого аміаку в нормальних умовах дорівнює 686 кг/м³. Молекулярна вага речовини – 17,2 г/моль. Відмінною рисою аміаку є його висока розчинність у воді. Так, за температури 0 °C її значення досягає близько 1200 об'ємів в обсязі води, при 20 °C – 700 об'ємів.

Атмосферне повітря є сумішшю азоту, кисню, вуглекислого газу, аргону та інших газів. У повітрі завжди міститься кілька водяних пар. Молекулярна маса сухого повітря становить 28,96, щільність дорівнює 1,2928 кг/м³, розчинність у воді – 29,18 см³/л за 0°C та 18,68 см³/л при +20 °C, температура кипіння 193 °C.

У роботі використовується прісна вода для поглинання аміаку з потоку повітря, що містить 28,5 моль% аміаку.

На рисунку 1.2 представлені дані про рівновагу доступні для води, аміаку та повітря при 20 °С. [4]

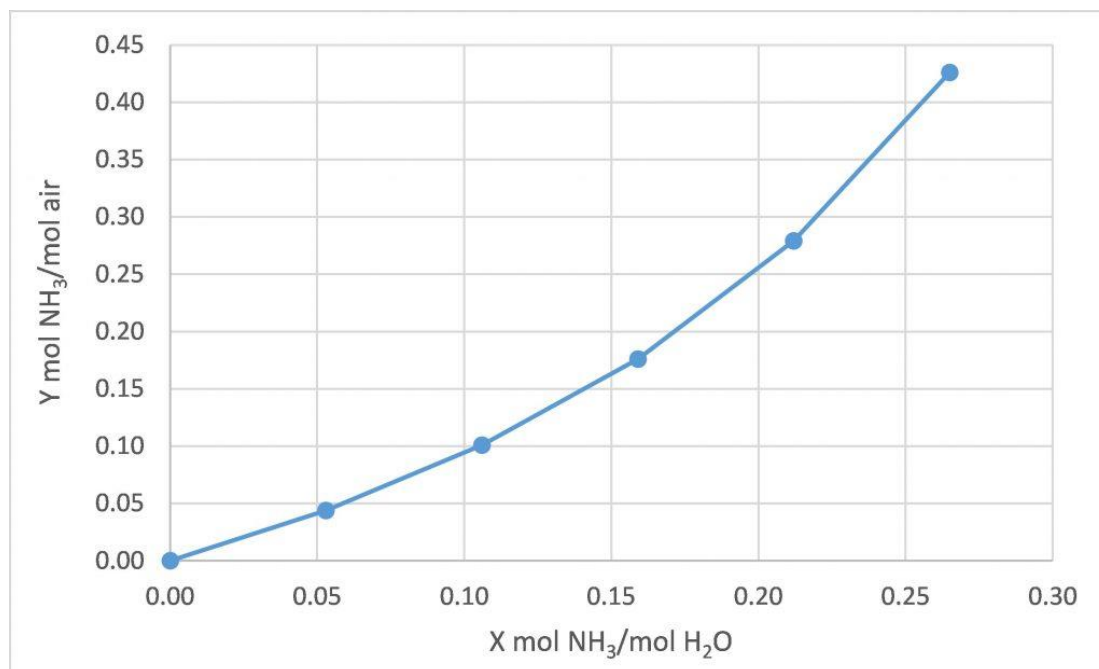


Рисунок 1.2 - Рівновага води, аміаку та повітря при 20 °С

1.4 Вибір абсорбера

У даній роботі я буду розробляти автоматизовану систему управління абсорбцією на прикладі абсорберу, мета якого буде поглинати аміак у газовому агрегатному стані водою для очищення відходів після виробничого процесу, адже допускати потрапляння аміачного газу у навколишнє середовище призведе до його забруднення.

Для поглинання аміаку водою я обрав насадковий абсорбер з насадкою – “керамічні кільця Рашига 15Ч15Ч2 мм”, тому що він має низький коефіцієнт гідравлічного опору, велику питому поверхню, простий у виготовленні та має вільний об'єм насадки. Також існує

можливість здійснення протитечії в одному ступені, можливість роботи в агресивних середовищах.

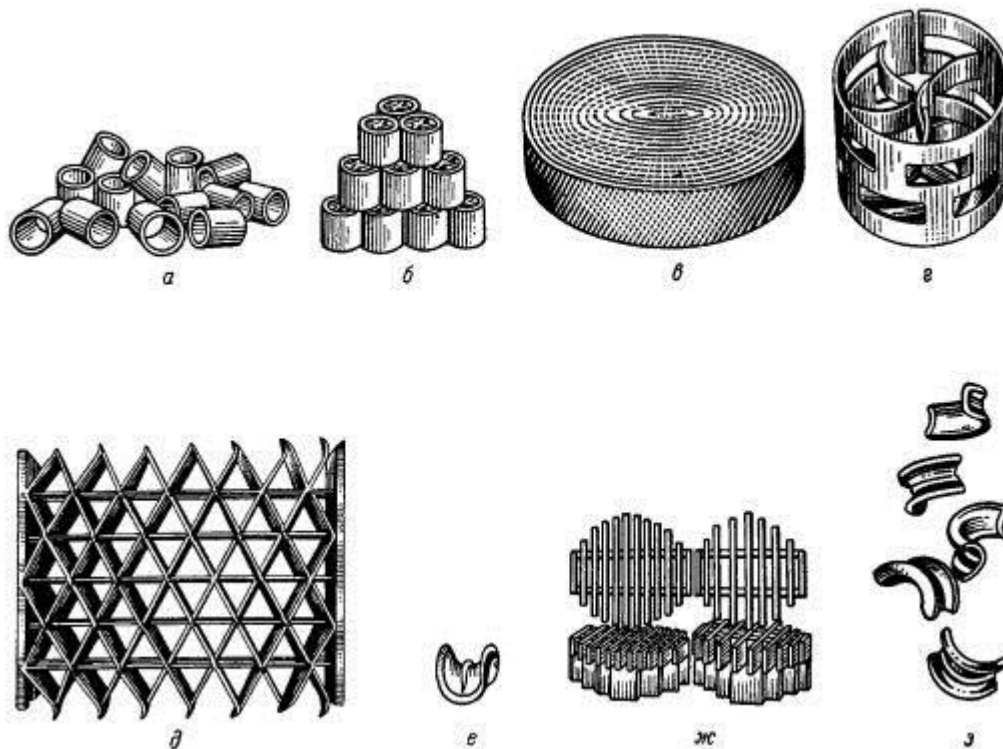


Рисунок 1.4 - Типи насадок для насадочного абсорберу.

а – кільця Рашига, безладно покладені (навалом); б – кільця з перегородками, правильно укладені; в – насадка Гудле; г - коца Палля; д – насадка «Спрейпак»; е – сідла Берля; ж – хордова насадка; з - сідла «Інталокс»

Кільця Рашига (15Ч15Ч2) – тонкостінні керамічні кільця висотою, що дорівнює діаметру, укладені правильними рядами, зсунуті один відносно одного.

Насадка, укладена таким чином, має ряд переваг: має менший гідравлічний опір, допускає великі швидкості газу. Однак для

поліпшення змочування насадок необхідні складніші за конструкцією зрошувачі.

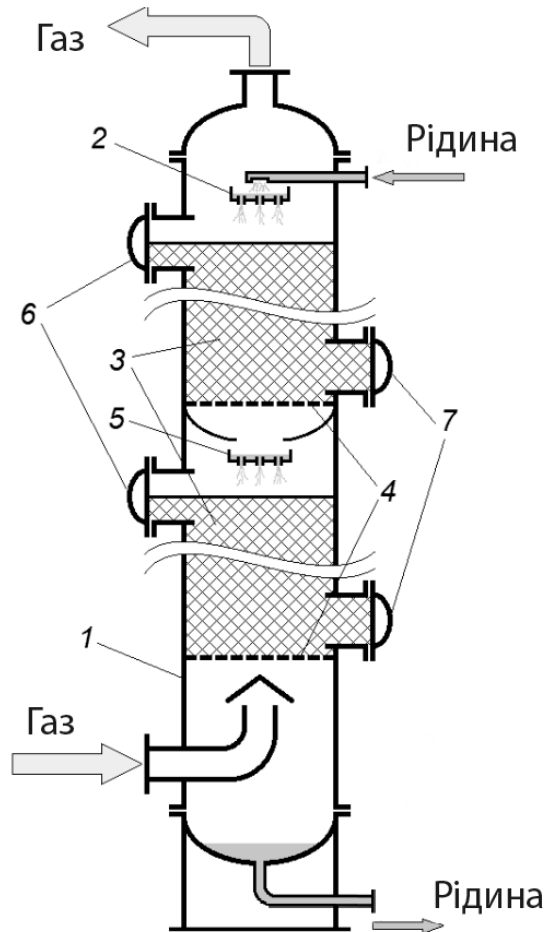


Рисунок 1.3 – Будова насадочного абсорберу:

1 – корпус; 2 – розподільна тарілка; 3 – сегменти насадки; 4 – опорні ґрати; 5 – перерозподільні тарілки; 6 – люки для завантаження насадки; 7 – люки для вивантаження насадки;

Повітря, що містить аміак, подається на абсорбцію в нижню частину абсорбційної колони, де рівномірно розподіляється перед надходженням на контактний елемент (насадку). Вода із проміжної ємності за допомогою насоса подається у верхню частину абсорбційної колони, попередньо охолодившись хладоносієм, і

рівномірно розподіляється за поперечним перерізом колони за допомогою зрошувача, що дозволяє здійснити взаємодію зустрічних потоків абсорбенту та повітря, після чого очищене від аміаку повітря виходить з абсорбера, тоді як абсорбент стікає в проміжну ємність, звідки насосом прямує на регенерацію в десорбер.

Переваги насадочного абсорбера:

1) відносно велика площа поверхні контакту фаз, порівняно з плівковими трубчастими і порожнистими абсорберами, що розпилюють;

2) низький гідравлічний опір, порівняно з тарілчастими абсорберами;

3) висока корозійна стійкість контактних елементів;

4) більш проста і менш металомістка конструкція в порівнянні з тарілчастими апаратами;

5) висока рушійна сила завдяки малому поздовжньому перемішуванню.

Недоліки насадочного плівкового абсорбера:

1) менша поверхня контакту фаз, порівняно з тарілчастими барботажними колонами, і, як наслідок, більші обсяги апаратів;

2) погане змочування насадки при малих витратах рідкої фази;

3) складність відведення теплоти при екзотермічному ефекті абсорбції. [5]

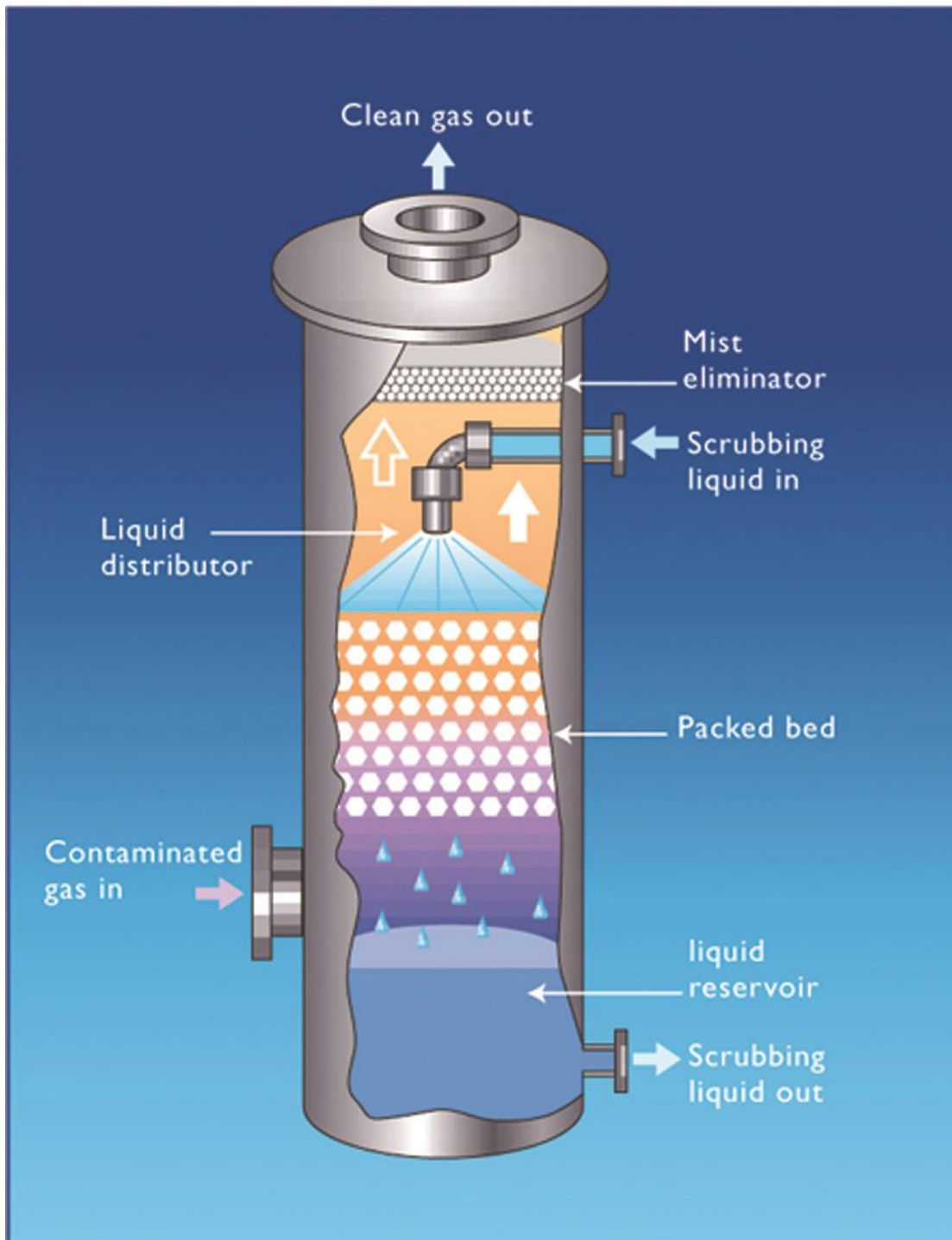


Рисунок 1.4 - Схема, що описує роботу абсорбції усередині колони.

2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Математичний опис

Вхідні дані:

- 1) середня продуктивність 7000 м³/год;
- 2) середня початкова концентрація аміаку 7% об.;
- 3) ступінь вилучення $\varphi=0,95$;
- 4) концентрація аміаку у воді, що надходить на абсорбцію 0%об.;
- 5) тиск атмосферний;
- 6) температура газу та води 20⁰С. [6]

Об'ємні витрати газового носію визначається за формулою:

$$V_r = V \cdot (1 - Y_H) \quad (1)$$

де V – продуктивність абсорбера, м³/год;

Y_H – початкова концентрація аміаку повітря, %.

$$V_r = 7000 \cdot (1 - 0,07) = 6510 \text{ м}^3/\text{год}$$

Визначаю масові витрати

$$G = V_r \cdot \rho \quad (2)$$

де ρ – щільність повітря–носія за нормальних умов, кг/год.

$$G = 6510 \cdot 1,29 = 8398 \text{ кг/год}$$

Відносні масові концентрації газового компонента (на вході та на виході)

$$y = \frac{M_K}{M_H} \cdot \frac{P_r}{P - P_r} \quad (3)$$

де M_k та M_H – молекулярні маси компонента та носія;
 P – загальний тиск суміші;
 P' – пропорційний тиск газового компонента.

Слід зазначити, що під час розрахунку величини тиску замінюються на пропорційні їм об'ємні вмісти.

$$y_1 = \frac{M_k}{M_H} \cdot \frac{Y_H}{100 - Y_H'} \quad (4)$$

$$y_1 = \frac{17}{29} \cdot \frac{7}{100 - 7}$$

$$y_2 = (1 - \phi) \cdot y_1 \quad (5)$$

де ϕ – порядок вилучення.

$$y_2 = (1 - 0,95) \cdot 0,044 = 0,0022$$

Кількість поглинутого газового компонента

$$M = G (y_1 - y_2) \quad (6)$$

де G – масова витрата газу носія, кг/год;
 y_1 , і y_2 – відносні масові частки поглинається компонента в газовій фазі на виході та на вході.

$$M = 8798 (0,044 - 0,0022) = 351 \text{ кг/год}$$

Знайду питому витрату поглинача

$$l_{\min} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{y_1 - y_2}{x'_1 - x_2} \quad (7)$$

$$l_{\min} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{0,044 - 0,0022}{0,035 - 0} = 1,19$$

Питома витрата поглинача

$$l = 1,2 \cdot l_{\min} \quad (8)$$

$$l = 1,2 \cdot 1,19 = 1,428$$

Витрати води

$$L = l \cdot G \quad (9)$$

$$L = 1,428 \cdot 8398 = 12000 \text{ кг/год}$$

Критерій Рейнольдса

$$Re'_r = 0,045 \cdot Ar^{0,57} \cdot \left(\frac{G}{L}\right)^{0,43} \quad (10)$$

де Ar – критерій Архімеда, розрахований за еквівалентним діаметром насадки та в'язкості газу;
 G – кількість повітря, кг/год;
 L – витрата води, кг/год.

$$Re'_r = 0,045 \cdot 26865051,9^{0,57} \cdot \left(\frac{8398}{12000}\right)^{0,43} = 665$$

Визначення фіктивної швидкості газу

$$\omega'_0 = \frac{Re' \cdot f \cdot \mu_r}{4 \cdot \rho_r} \quad (11)$$

де f – питома поверхня насадки, м² / м³;
 μ_r – в'язкість газу при 200С, Па·с;
 ρ_r – густина повітря при 200С, кг/м³.

$$\omega'_0 = \frac{665 \cdot 330 \cdot 17 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 1,293} = 0,72 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Робоча фіктивна швидкість газу

$$\omega_0 = 0,85 \cdot \omega'_0 \quad (12)$$

$$\omega_0 = 0,85 \cdot 0,72 = 0,61 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Витрати рідини при її густині

$$V_B = \frac{L}{\rho_B} \quad (13)$$

де ρ_B – густина води, кг/м³;

L – витрата води, м/год.

$$V_B = \frac{12000}{998} = 12 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

Щільність зрошення

$$U = \frac{V_B}{S} \quad (14)$$

$$U = \frac{12}{3,14} = 3,8 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$$

де S – площа перерізу з урахуванням діаметра $d = 2$ м. (3,14 м)

Коефіцієнт змочуваності

$$\psi = \frac{U}{U_{\text{опт}}} \quad (15)$$

$$\psi = \frac{3,8}{52,14} = 0,073$$

2.2 Математична модель

Моделюванню процесу абсорбції присвячено велику кількість робіт. Дані моделі, як правило, є системою диференціальних рівнянь у частинних похідних, що описують тепло– і масообмінні процеси всередині абсорбера і доповнених граничними умовами. Так, наприклад, у роботі [1] математична модель абсорбера має вигляд наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dC_G}{dt} = -v_G \cdot \frac{dC_G}{dz} - R_G(C_G - C_G^0), z \in (0; l_A) \\ \frac{dC_A}{dt} = f(u) \cdot \frac{dC_A}{dz} + R_A(C_G - C_G^0), \end{cases} \quad (16)$$

тут $C_G = C_G(z,t)$ – концентрація газу на висоті z абсорбера у момент часу t ;

$C_A = C_A(z,t)$ – концентрація абсорбенту на висоті z у момент t ;

C_G^0 – концентрація газу на висоті z в режимі (заздалегідь невідома функція від змінної z , підлягає розрахунку у процесі вирішення системи (16);

R_G та R_A – фізико–технологічні коефіцієнти по газу та абсорбенту відповідно;

v_G – швидкість газу, вона залежить від витрати газу Q_G , температури газу T_G , тиск газу P_G за законом:

$$v_G = \frac{V_m \cdot Q_G \cdot P_0(T_0 + T_G)}{0.785 \cdot T_0 \cdot P_G \cdot D^2}$$

тут $V_m = 22.4$ л – об'єм моля ідеального газу за нормальних умов;

$T_0 = 20$ °С – нормальна температура;

$P_0 = 0.101$ МПа – нормальний тиск;

D – внутрішній діаметр горизонтального перерізу абсорбера (вертикальної колони ректифікації); [7]

$f(u)$ – функція управління процесом;

l_A – висота абсорбера

У стаціонарному режимі рівняння матеріального балансу в абсорбері набуває вигляду:

$$M = F_G(Y_{in} - Y_{out}) = k \cdot F_L(X_{out} - X_{in}), \text{ моль/с} \quad (17)$$

де F_G – витрати газу, $\text{м}^3 / \text{с}$;

F_L – витрати рідини, $\text{м}^3 / \text{с}$;

Y_{IN} – початкова концентрація аміаку в газі, моль/м^3 ;

Y_{OUT} – кінцева концентрація аміаку в газі, моль/м^3 ;

X_{IN} – початкова концентрація аміаку в рідині, моль/м^3 ;

X_{OUT} – кінцева концентрація аміаку в рідині, моль/м^3 ;

k – відносний коефіцієнт поглинання.

Тоді, виразивши керовану змінну Y_{OUT} , кінцева модель масообмінного процесу абсорбції згідно з рівнянням (17) можна представити у вигляді:

$$Y_{out} = Y_{in} - k \cdot \frac{F_L}{F_G} (X_{out} - X_{in}) \quad (18)$$

Перехідні процеси в апараті визначаються швидкістю газової фази (тобто виникають і згасають практично миттєво), тому слід очікувати, що дана математична модель описуватиме керований процес із задовільною точністю. Отримана модель (18) дозволяє розраховувати зміни контрольованих змінних і можлива у використанні для синтезу законів автоматизованого регулювання. [9]

3. МОДЕЛЮВАННЯ У MATLAB SIMULINK

3.1 Постановка завдання моделювання

Схема багатоконтурного регулювання процесом абсорбції (рисунок 3.1) включає у себе усі контури управління процесом абсорбції, а саме:

- контур регулювання тиском у абсорбері;
- контур регулювання температурою хладоносію;
- контур регулюванням рівню рідини у абсорбері;
- контур регулювання витрат рідини;
- контур регулювання витрат газу

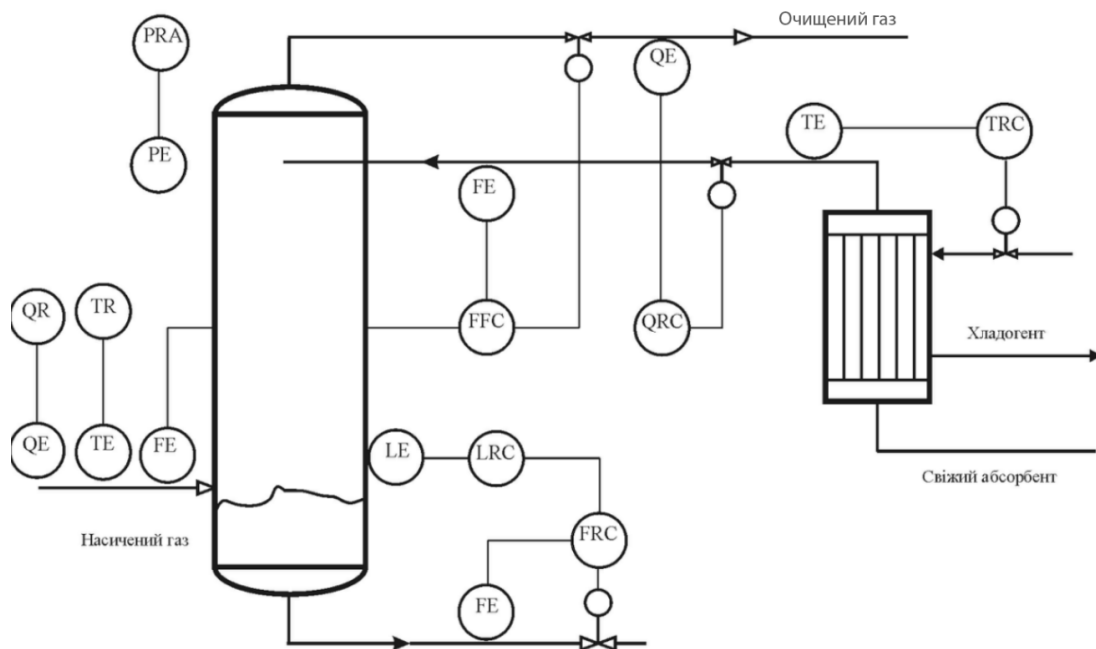


Рисунок 3.1 – Схема багатоконтурного регулювання процесом абсорбції

У даній роботі я концентрую увагу на автоматизації саме масообмінних процесів, що протікають під час абсорбції. Саме тому

такі контури, як регулювання витратами газу, а також витратами та рівнем рідини – є ключовими показниками якості автоматизації. [10]

Слід зауважити, що рівень рідини у абсорбері не має великого впливу на якість очищення газу, але регулювання цього параметру не можна не віднести до масообмінних процесів, тому його теж слід розглянути та автоматизувати управління ним.

Повна функціональна схема автоматизації процесу абсорбції аміаку представлена у додатку Б.

У минулому розділі, розділі розрахунку процесу абсорбції, формулою (8) виведено необхідне співвідношення витрат газу та рідини при нормальних температурних умовах (20 °C).

Підтримка такого співвідношення напряду залежить від якості очищення газу від аміаку. Але кількість поданого газу та насиченість компоненту NO_3 може мати різні значення на вході, а тому система має адаптуватися для роботи з різною продуктивністю очищення.

Для вирішення цього питання можна синтезувати регулятор співвідношення, який буде підтримувати задане співвідношення при будь-якому завданні на вході.

Слід також зазначити, що у разі регулювання співвідношенням не можна регулювати витратами газу, адже цей параметр задається підприємством, яке потребує очищення такої кількості промислових відходів, яку виробляє. Тому завдання регулювання співвідношенням речовин буде виконуватись завдяки управлінню витратами абсорбенту. [11]

3.2 Створення імітаційної моделі

Для створення імітаційної моделі процесу абсорбції я буду використовувати Matlab Simulink.

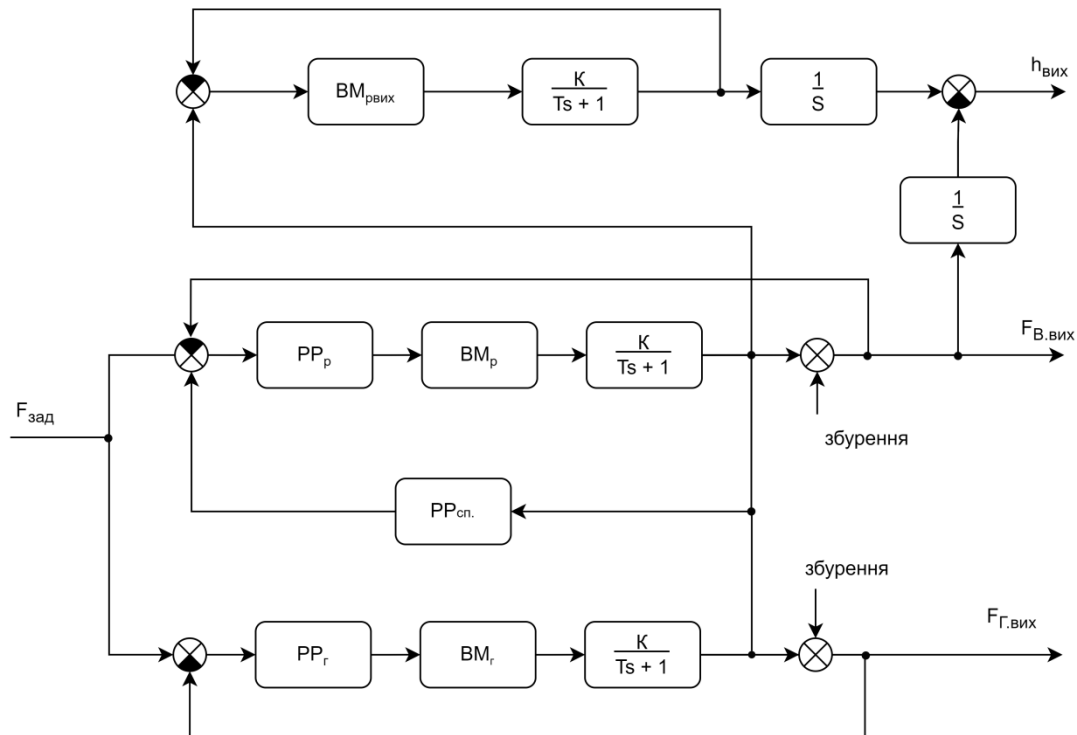


Рисунок 3.2 – Схема керування подачі газу та рідини, а також регулювання рівня рідини у абсорбері.

Рисунок 3.2 демонструє саме ті контури, які будуть розглянуті під час створення моделі. Кожен контур має свій виконавчий механізм та регулятор. На рисунку також зображений регулятор співвідношень, але він дещо буде відрізнятися від регуляторів управління безпосередньо повітряними заслінками та клапанами.

Інтегрування витрат дає змогу кількісно оцінити проходження речовини через клапани входу та виходу абсорбенту, що виключає необхідність робити постійний контроль рівню рідини та використання аналогових датчиків рівня.

На рисунку 3.3 представлений загальний вигляд моделі, що включає у себе 3 підсистеми управління контурами та підсистема регулювання співвідношенням витрат.

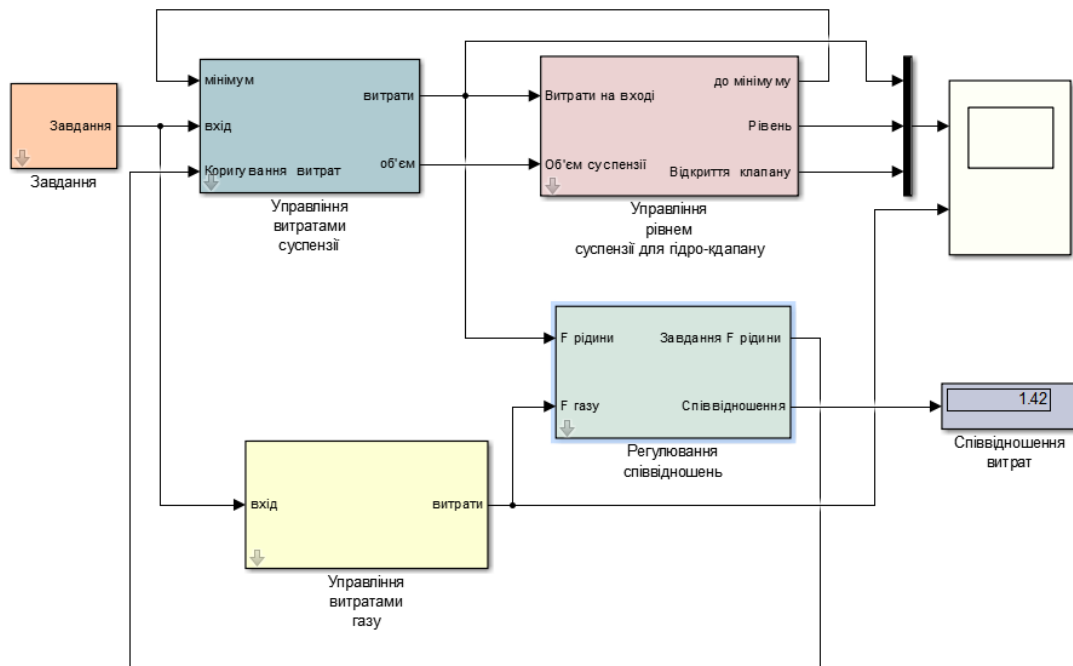


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд моделі у Matlab Simulink

Дана модель передбачає роботу системи навіть у разі, якщо завдання дорівнюватиме 0, тобто налаштування системи перед початком роботи передбачає підготовку та постійні мінімальні витрати газу.

Це необхідно для того, щоб у разі, коли, наприклад, підприємство почало працювати, але промислових відходів ще не виникло (адже цей процес також є динамічним, може займати певний час). Також конструкцією передбачено датчик концентрації компоненту NO_3 на виході абсорберу, що потім повертає сигнал у якості завдання.

На рисунку 3.4 зображений приклад реакції системи на ступінчасте завдання.

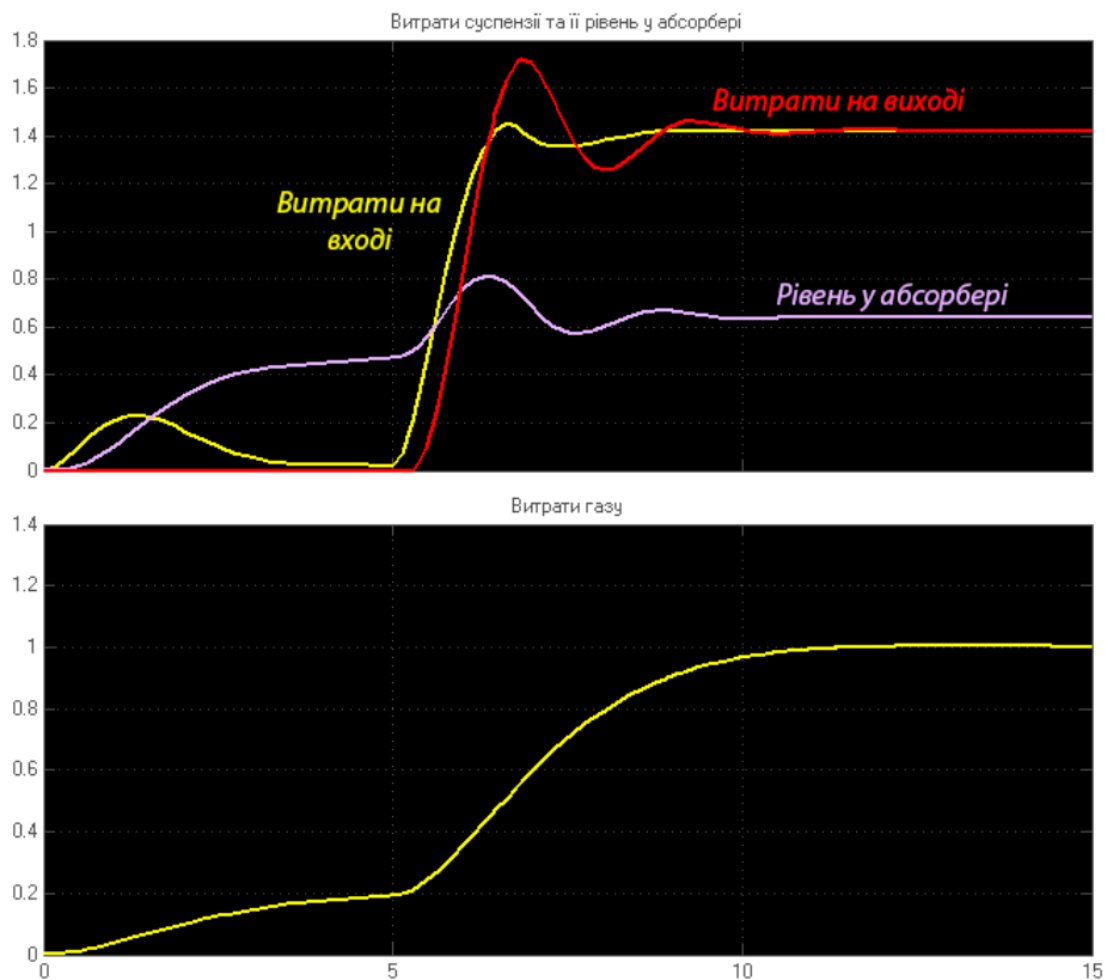


Рисунок 3.4 – Реакція моделі на ступінчасте завдання; величина вхідного. сигналу – 1, час з початку моделювання – 5с.

Якщо не подавати вхідного сигналу, то система буде працювати у режимі “очікування” на завдання (рисунок 3.5)

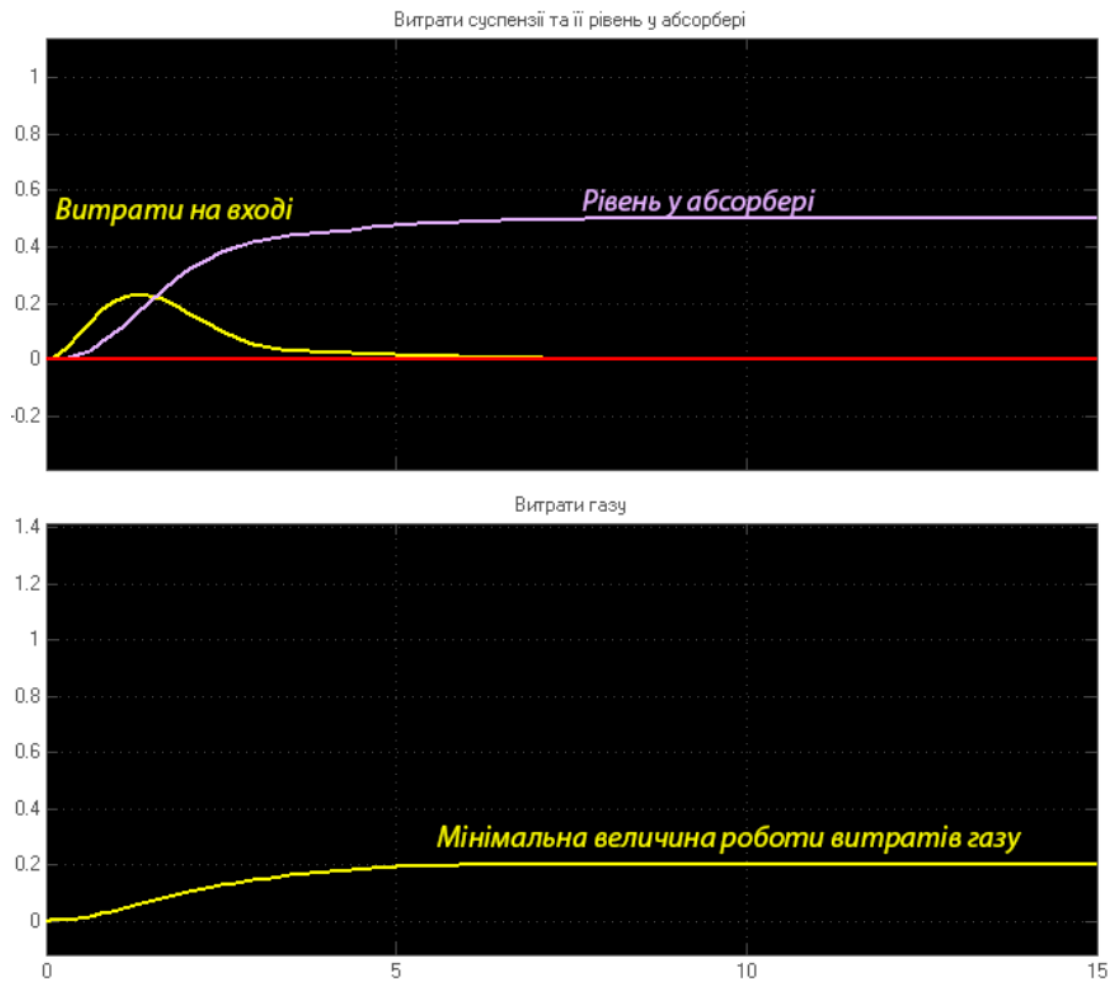


Рисунок 3.5 – Робота моделі без ступінчастого збурення (завдання)

Як видно з рисунків 3.4 та 3.5, з початку моделювання система незалежно від завдання має 2 цілі:

- 1) Підтримка мінімальної постійної витрати газу.
- 2) Заповнення гідра–клапан у нижній частині абсорберу для того, щоб при проходженні газу через абсорбер газ не мав змоги проходити через трубопровід для рідини.

У робочому режимі індикатор, що розраховує співвідношення між результуючими витратами на задане у початкових умовах завдання буде показувати 1.42 (рисунок 3.6).

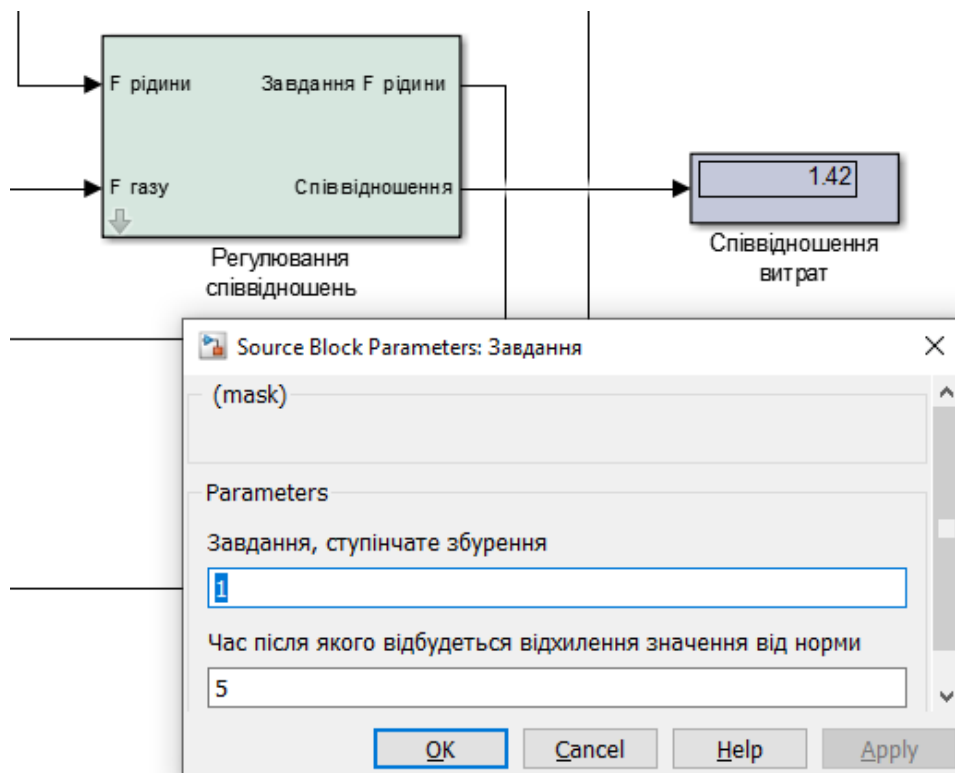


Рисунок 3.6 – Налаштування збурення та результуючі співвідношення на дисплеї.

3.2.1 Модель контуру управління витратами суспензії

Дана підсистема приймає 3 вхідні та 2 вихідні сигнали. Сигнали на вході мають різний коефіцієнт впливу (Gain1, Gain2, Gain3) на управління витратами. Всі 3 значення інкримінуються та надходять на замкнутий контур, який складається з контролера (PID Controller), виконавчого механізму та об'єкта управління.

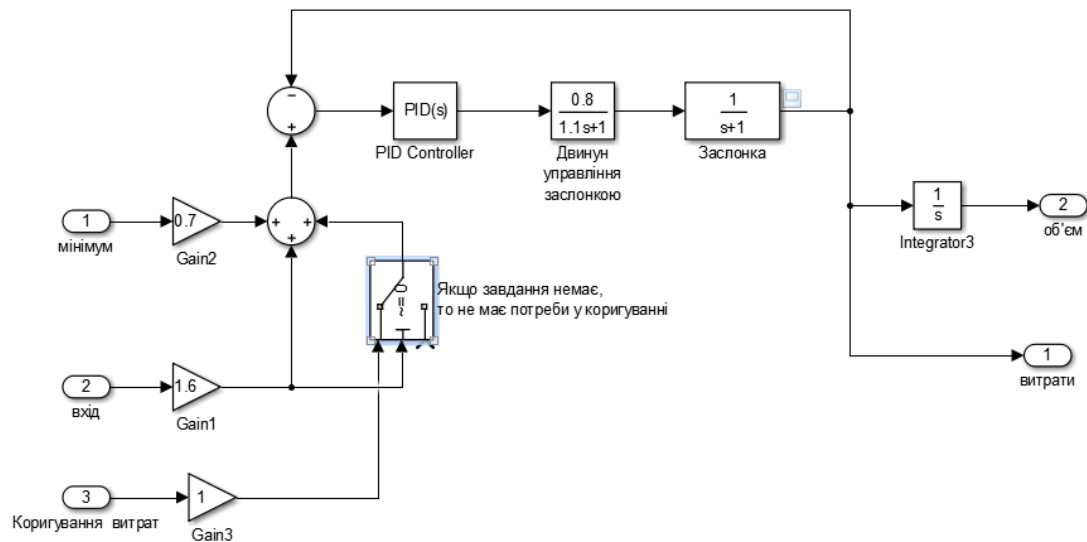


Рисунок 3.7 – Підсистема Simulink управління витратами рідини

Елемент Switch, що фізично виступає у ролі напівпровідникового електронного реле, потрібен для того, щоб нехтувати управлінням співвідношення витрат газу та рідини при умові, якщо завдання дорівнює нулю.

Інтегратор дає змогу отримати об'єм речовини, пройденої через даний контур.

Оцінка стійкості проведена завдяки інструментам аналізу, а саме логарифмічним критерієм (АЧХ, ФЧХ).

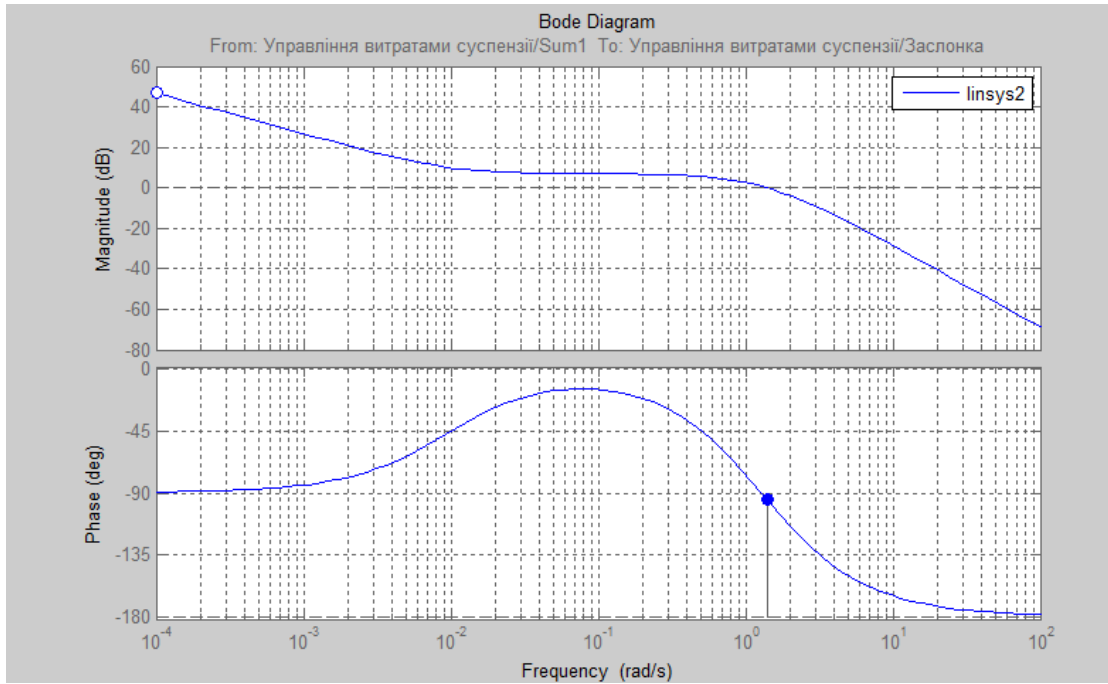


Рисунок 3.8 – Оцінка стійкості діаграмою Боде

На АФЧХ видно, що наявний запас по фазі $\Delta\varphi = 87^\circ$, отже систему можна вважати стійкою.

На рисунку 3.9 показані коефіцієнти налаштування ПІД регулятора.

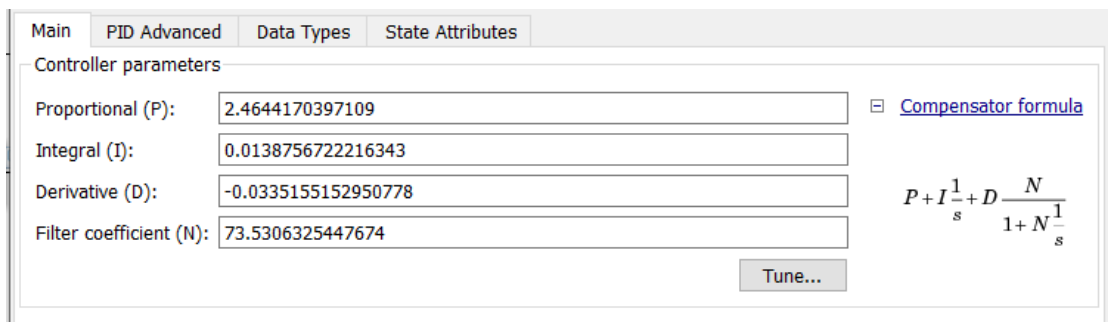


Рисунок 3.9 – Налаштування ПІД регулятора

За допомогою методу Циглера-Никольса та інструменту Tune виконую підбір коефіцієнтів (рисунок 3.10). Вони підбрані таким

чином, щоб зменшення часу перехідного процесу не викликало перерегулювання витрат вище (не перевищувало 10%)

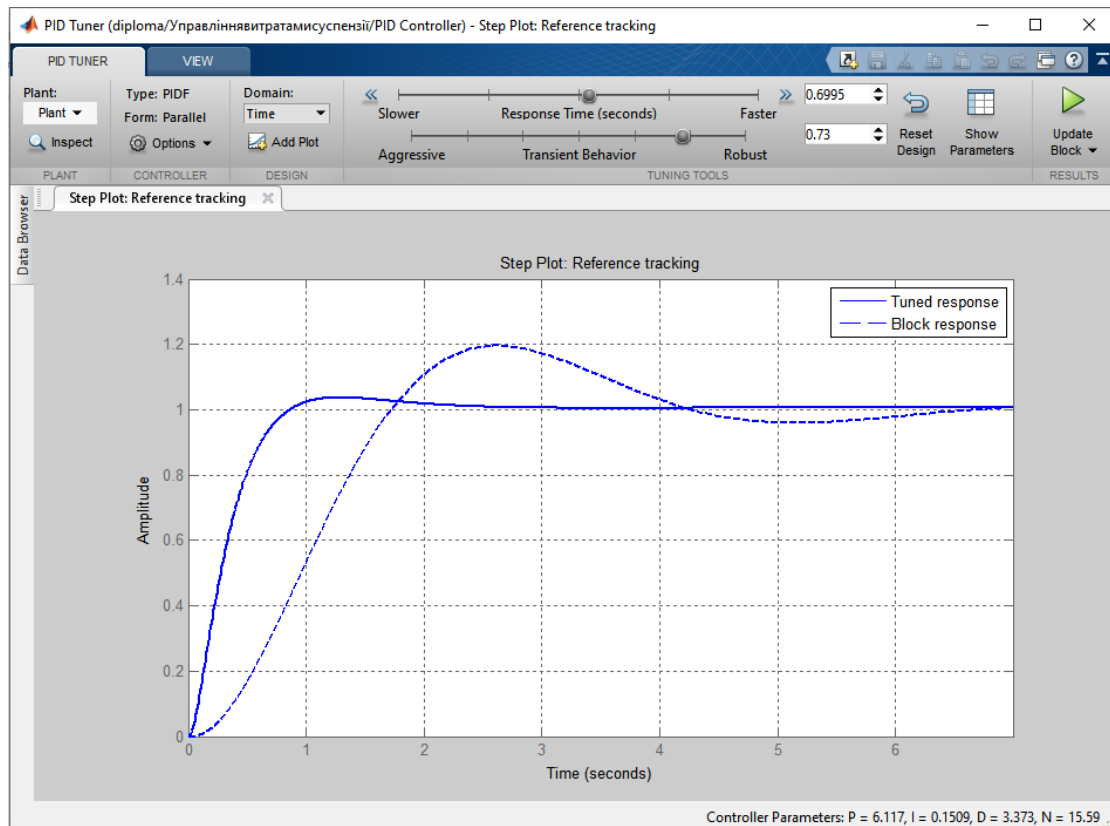


Рисунок 3.10 - Налаштування регулятора

Швидкість перехідного процесу управління витрат на вході є важливим показником, що має вплив на якість технологічного процесу. Це пов'язано з тим, що при появі завдання або його зміні система має у першу чергу підвищити витрати абсорбенту, аби не допустити стрибків концентрації компонента аміаку у газі на виході.

3.2.2 Модель контуру управління витратами газу

Контур управління газу має бути менш динамічним та не мати перерегулювання, тому що це може привести до стрибків тиску та як результат – до аварійної ситуації.

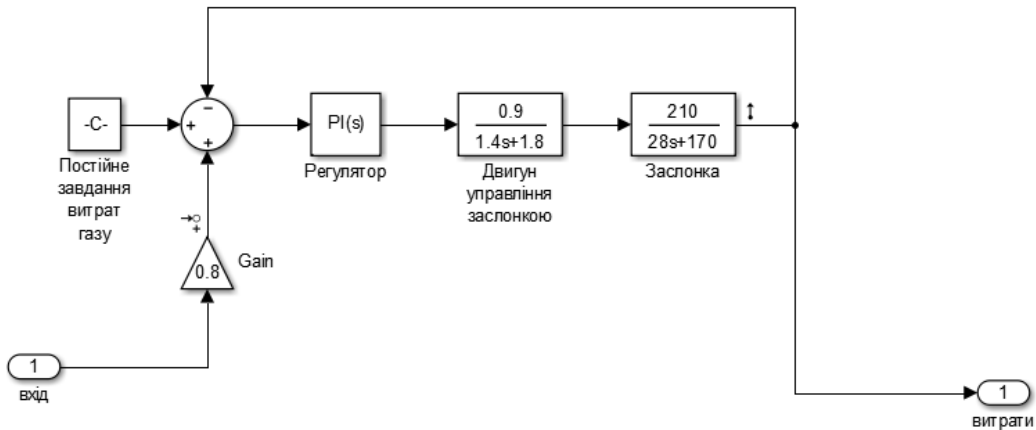


Рисунок 3.11 – Підсистема Simulink управління витратами газу

Постійне значення витрат – це константа, яку повинен задавати оператор при роботі зі SCADA системою. У даному випадку значення виставлене 0.2.

ПІ регулятора буде достатньо для керуванням даним контуром, так як завдяки інтегральній частині можна досягти більш стабільного та плавного перехідного процесу, так як у даному випадку немає великої необхідності занадто зменшувати час перехідного процесу. Підбір коефіцієнтів був виконаний методом Циглера-Никольса.

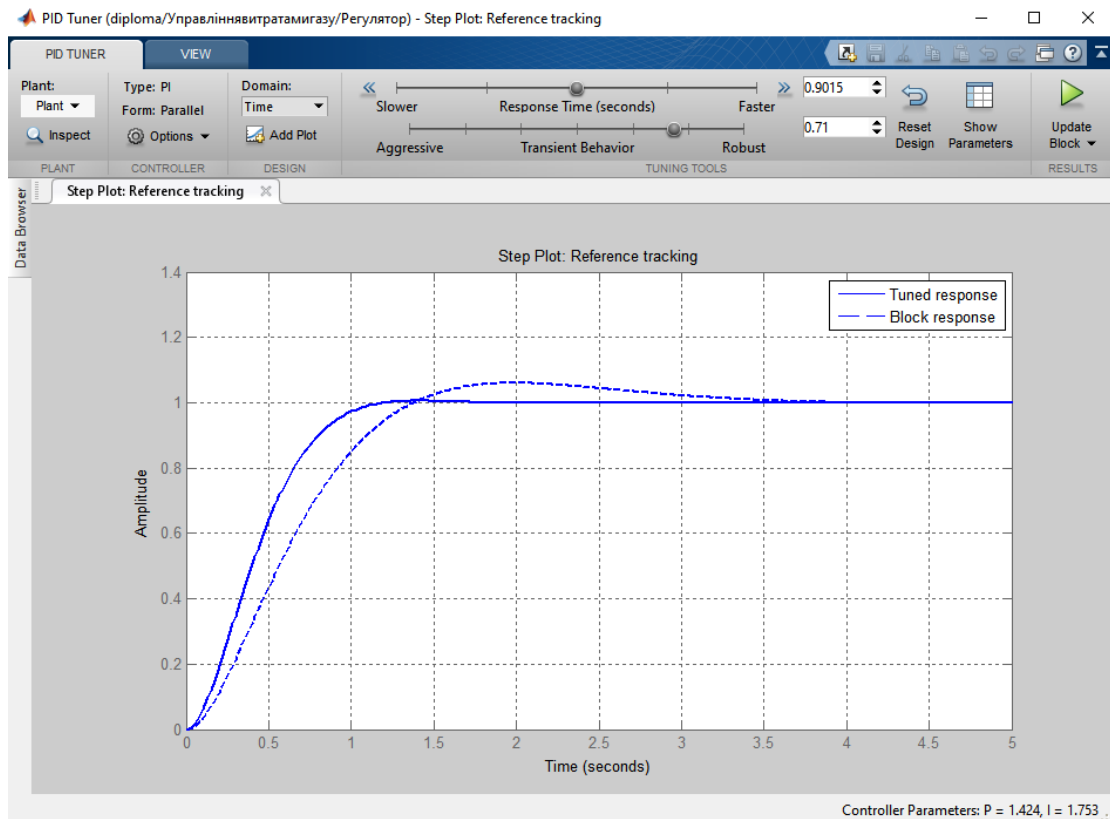


Рисунок 3.12 - Налаштування ПІ регулятора методом Циглера-Никольса

Налаштування ПІ регулятора були підбрані саме для запобігання перерегулювань та аварійних ситуацій (рисунок 3.13).

Controller parameters

Proportional (P): [Compensator formula](#)

Integral (I):

$P + I \frac{1}{s}$

Рисунок 3.13 – Коефіцієнти налаштування ПІ регулятора

З рисунку 3.14 видно, що точка з координатою $[-1; 0]$ не охоплюється кривою, тому дану замкнуту САУ можна вважати стійкою за критерієм стійкості Найквіста.

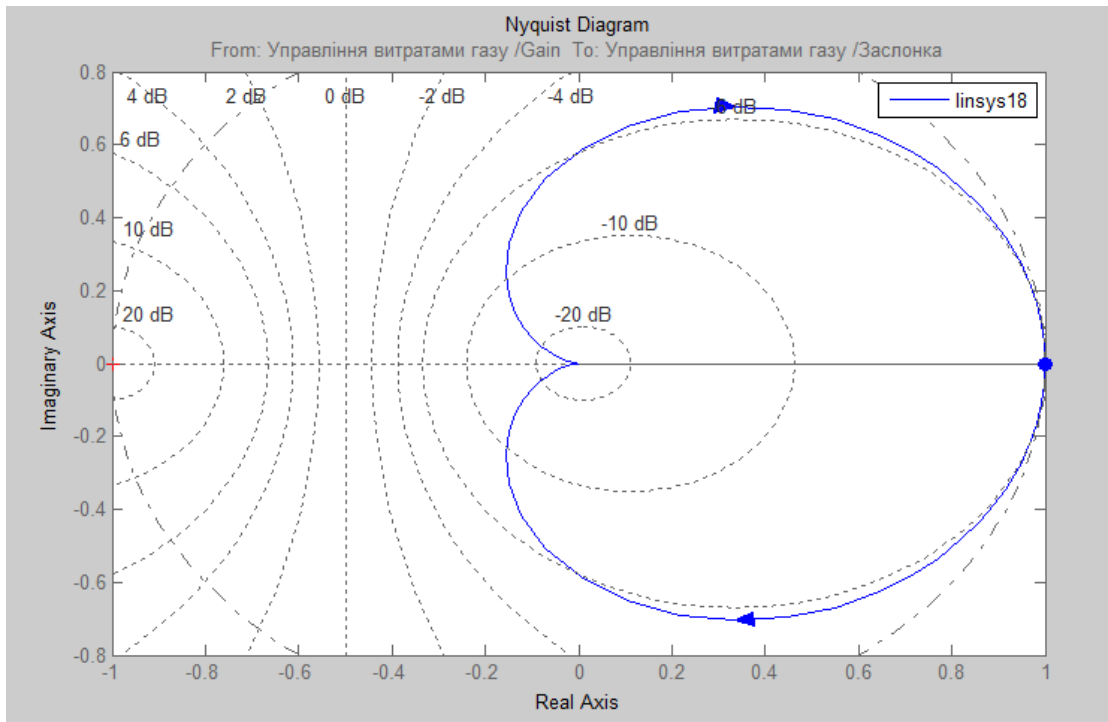


Рисунок 3.14 – Оцінка стійкості критерієм Нейквіста

3.2.3 Модель контуру управління рівнем

Контур управління рідини у нижній частині абсорберу має забезпечувати деяке постійне значення рівня при наявності хоча б найменших витрат газу. Це буде створювати гідра-клапан, що не дасть змоги проходженню газу через трубопровід для абсорбенту.

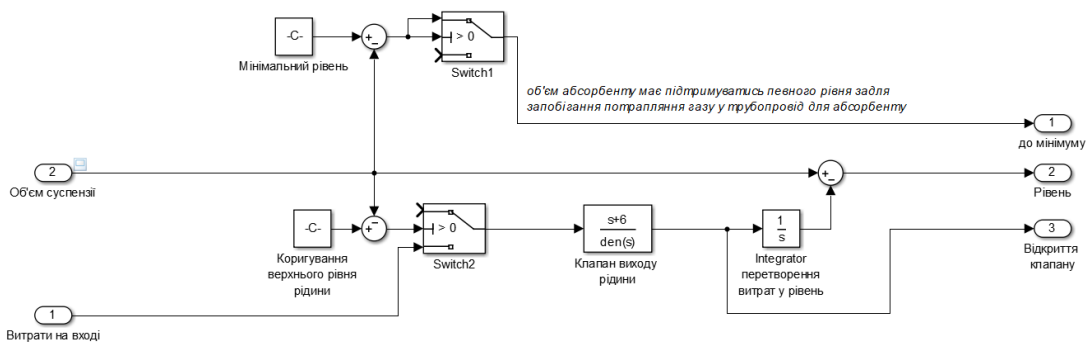


Рисунок 3.15 – Підсистема Simulink управління рівнем рідини у нижній частині абсорбера.

Дана модель (рисунок 3.15) відштовхується від об'єму, який заповнює абсорбер.

Також клапан витрат виходу із абсорберу не має необхідності відкриватися доти, доки не поступило завдання, тобто система знаходиться на етапі підготовки.

Фізично, завдяки дискретним датчикам рівня оператор має змогу з використанням SCADA задавати мінімальне та відносне значення рівня. При необхідності можна було б синтезувати та налагодити регулятор, але, як зазначалось раніше, даний контур не впливає на якість абсорбції.

Дослідження контуру на стійкість проводилось шляхом побудови АФЧХ.

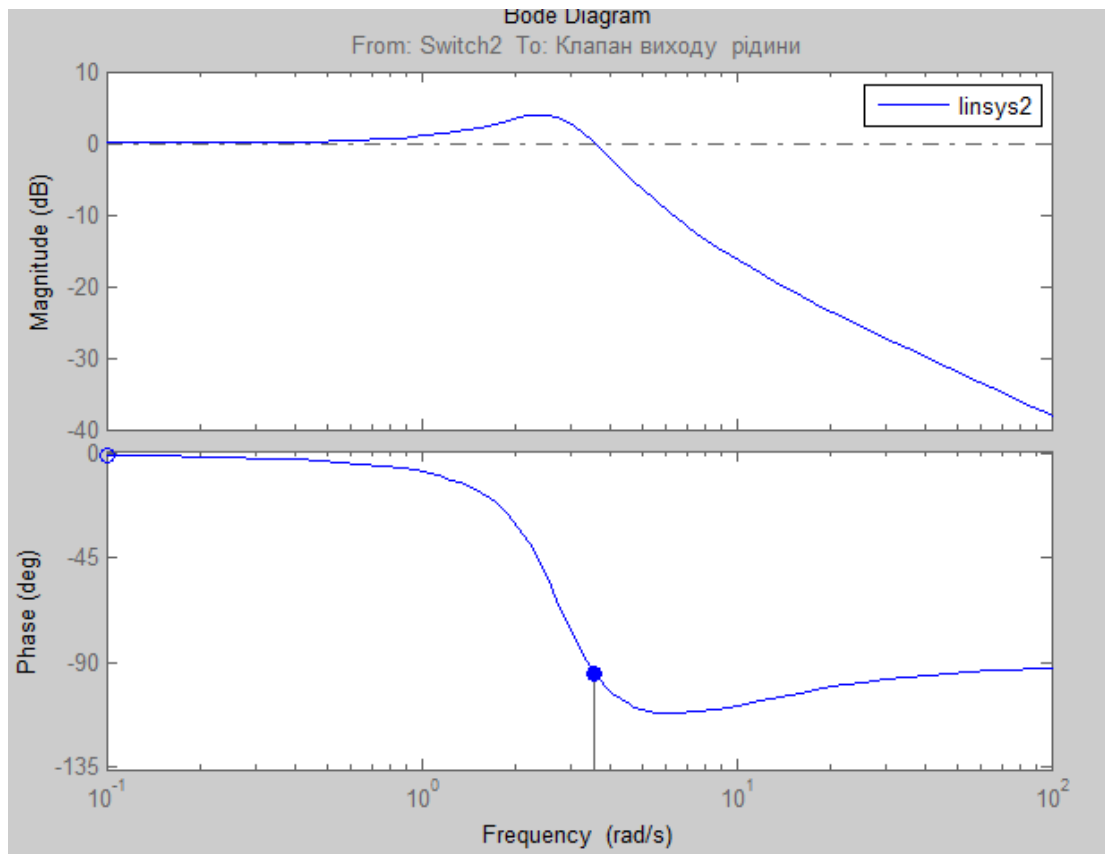


Рисунок 3.16 – Дослідження контуру управління рівнем на стійкість

Запас по фазі та амплітуді говорить про те, що критерій Боде виконується, а тому система є стійкою.

3.2.4 Модель регулювання співвідношенням витрат

Дана підсистема має важливе значення у технологічному процесі та вплив на якість очищення газу. Співвідношення, розраховане у розділі 2, між витратами рідини та газу при нормальних температурах (20 °C) має значення 1.428. На виході цієї підсистеми один із сигналів під назвою “Завдання F рідини” (рисунок 3.17) надходить у якості коригувального сигналу до контуру управління витратами абсорбенту.

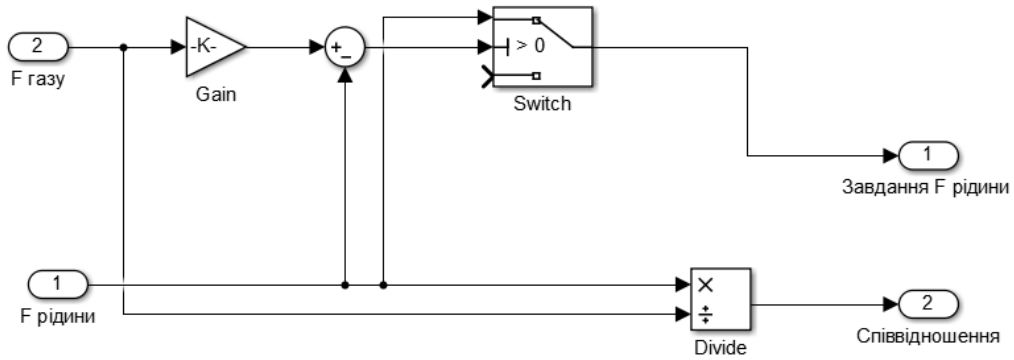


Рисунок 3.17 – Підсистема Simulink регулювання співвідношенням витрат

У подальшому дослідженні та створенні САУ процесом абсорбції даний коефіцієнт буде динамічно змінюватись за табличним значенням в залежності від температури газу, що надходить та абсорбенту, адже цей показник впливає на швидкість хімічної реакції процесу абсорбції.

3.2.5 Дослідження впливу змінних на роботу системи

На рисунку 3.18 зображені реакції моделі на різну величину завдання на вході.

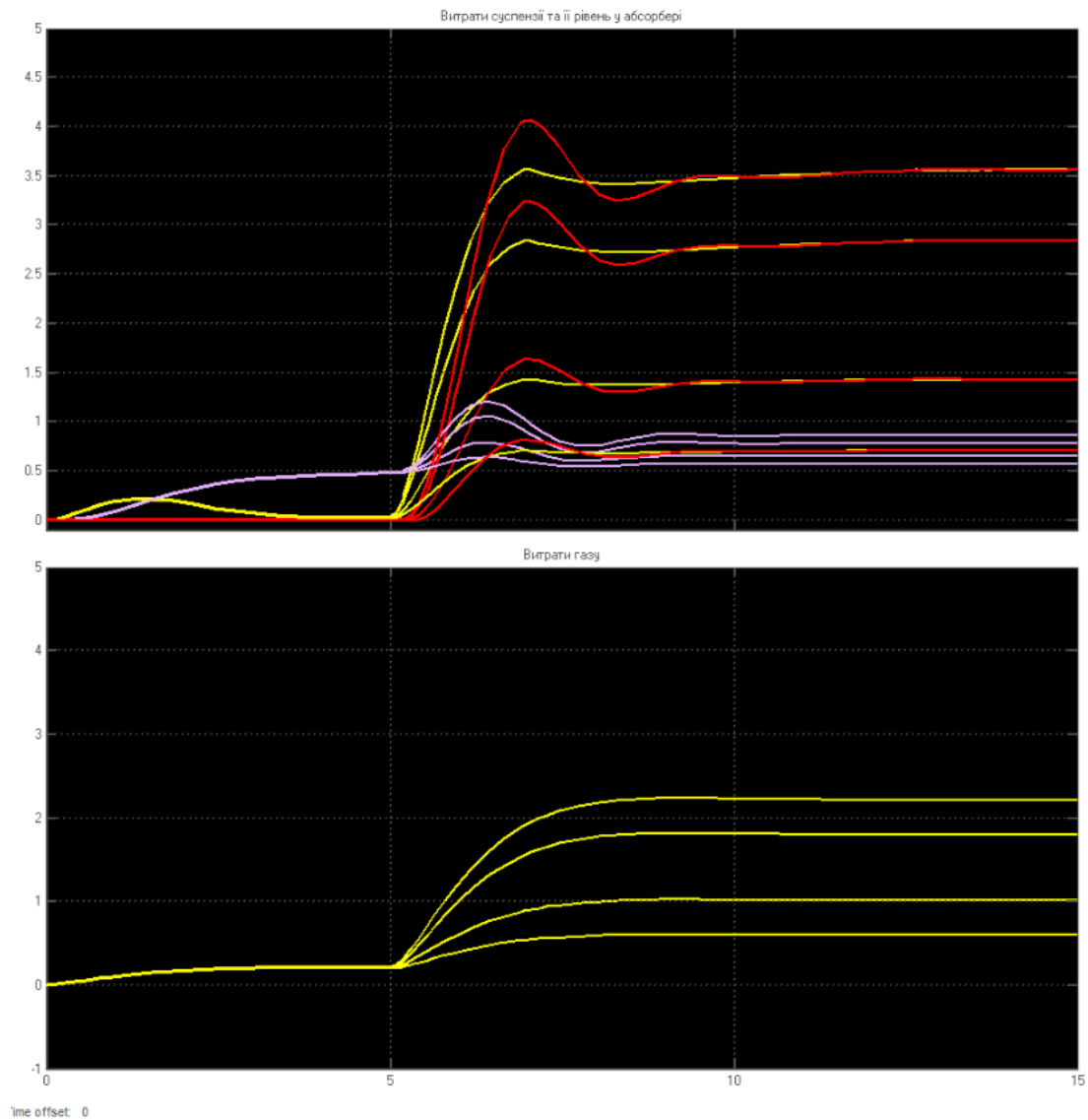


Рисунок 3.18 – Реакція моделі на ступінчасте збурення різних величин

На рисунку 3.19 демонструється вплив змінних, які відповідають за керування рівнем рідини та витратами абсорбенту у абсорбері

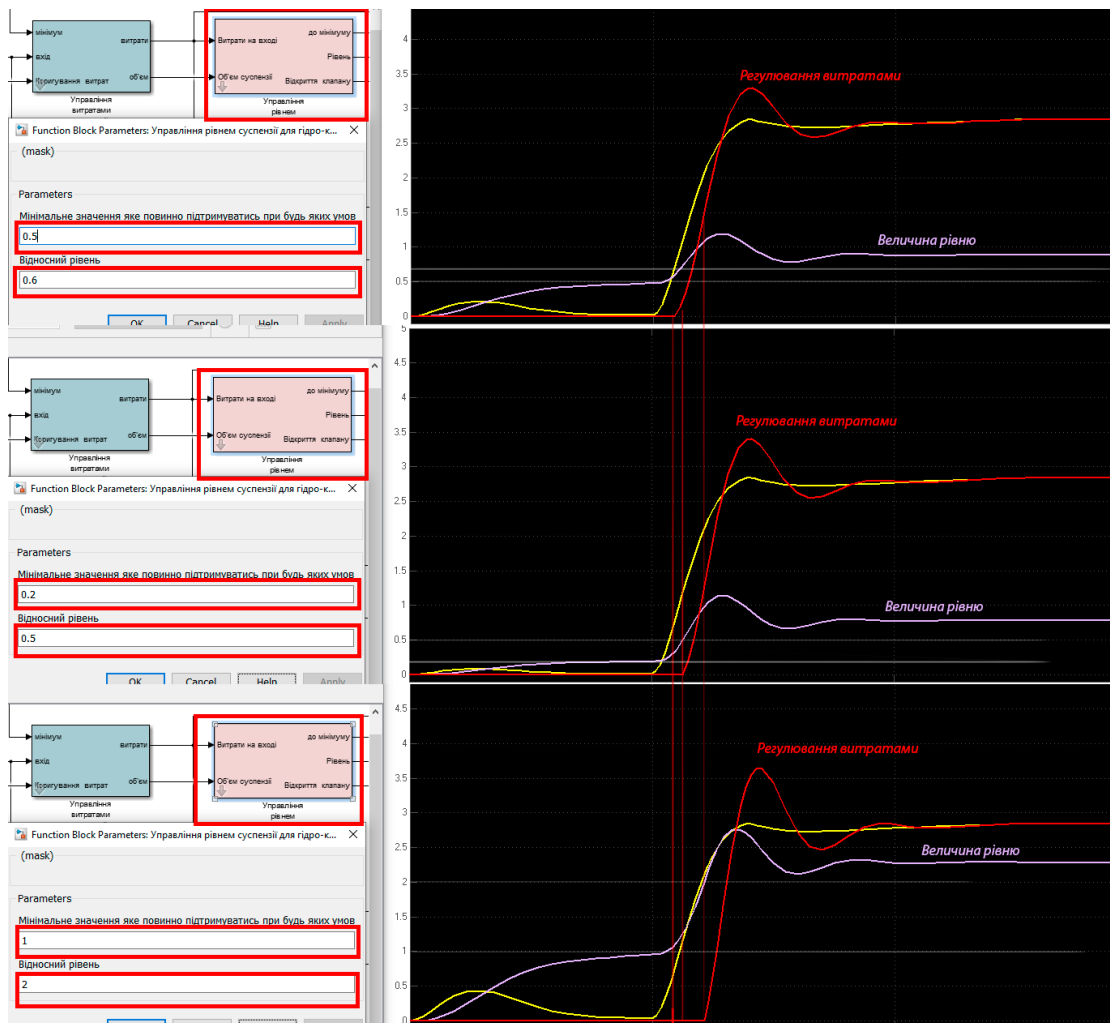


Рисунок 3.19 – Залежність регулюванням рівню та витрат від значень змінних.

Для створення автоматизованої системи з урахуванням контурів температури та тиску буде коефіцієнт співвідношення витрат газу та рідини має бути динамічним та залежати від фізичний параметрів (температура газу, температура рідини, тиск у абсорбері, насиченість або хімічний склад тощо). Рисунок 3.20 демонструє підтримку заданого коефіцієнту.

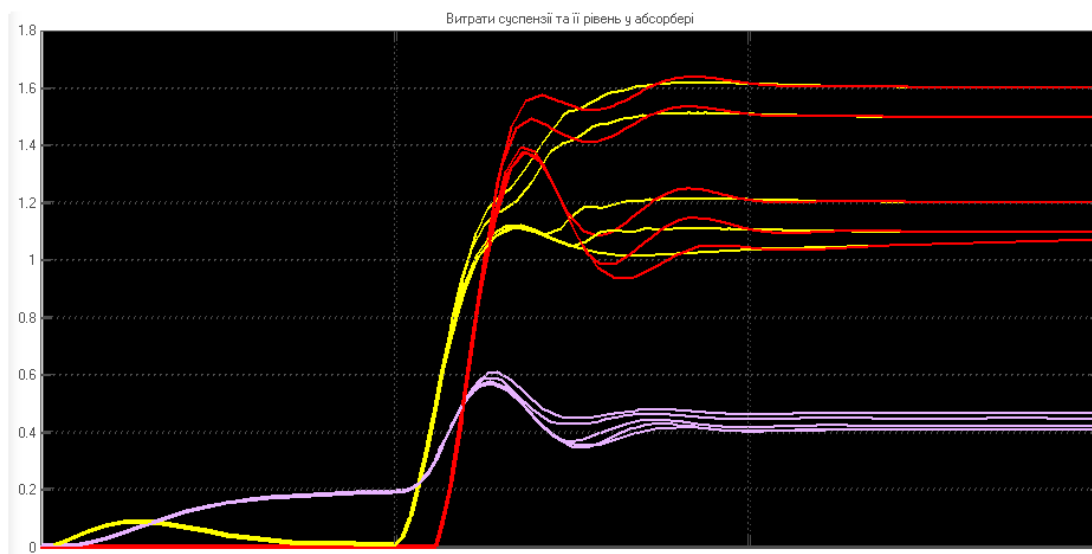


Рисунок 3.20 - Регулювання співвідношенням

4. РОЗРОБКА SCADA СИСТЕМИ

4.1 Постановка задачі при проектуванні SCADA системи

Головною метою проектування SCADA системи є комплексне операторне керування та сигналізація про стан роботи системи.

SCADA система повинна відповідати вимогам: технічній підтримки, відкритості, повноти функціонування, надійності та ефективності.

Вимога технічної підтримки полягає в можливості швидкого налагодження програм функціонування АСУТП, що забезпечують взаємодію різноманітних технічних засобів. Набір технічних засобів, які можуть використовуватися в АСУТП, входять до базового набору SCADA систем.

Вимога відкритості означає можливість поєднання технічних засобів та ПЗ даної SCADA системи з різними продуктами інших фірм виробників.

У якості інструменту для проектування SCADA було використано пакет програмного забезпечення Zenon Editor Supervision (Рисунок 4.1)

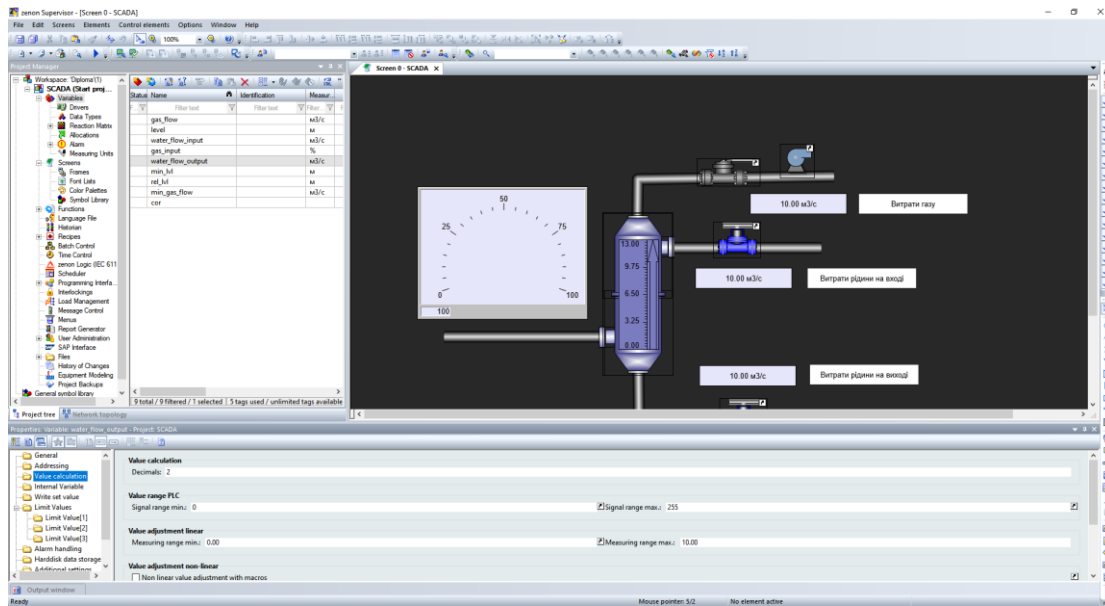


Рисунок 4.1 - Вікно програмного забезпечення Zenon Editor Supervision для проектування SCADA системи.

Вимога повноти функціонування означає здатність пакета вирішувати весь комплекс завдань промислової автоматизації всіх рівнях АСУТП.

Вимога надійності означає не тільки відсутність помилок у програмах пакета, але і його стійкість до помилок та некоректних дій обслуговуючого персоналу.

Вимога ефективності зводиться до мінімальної конфігурації та основним характеристикам обчислювальних засобів, які потрібні для реалізації SCADA системи конкретного проекту.

4.2 Проектування SCADA системи

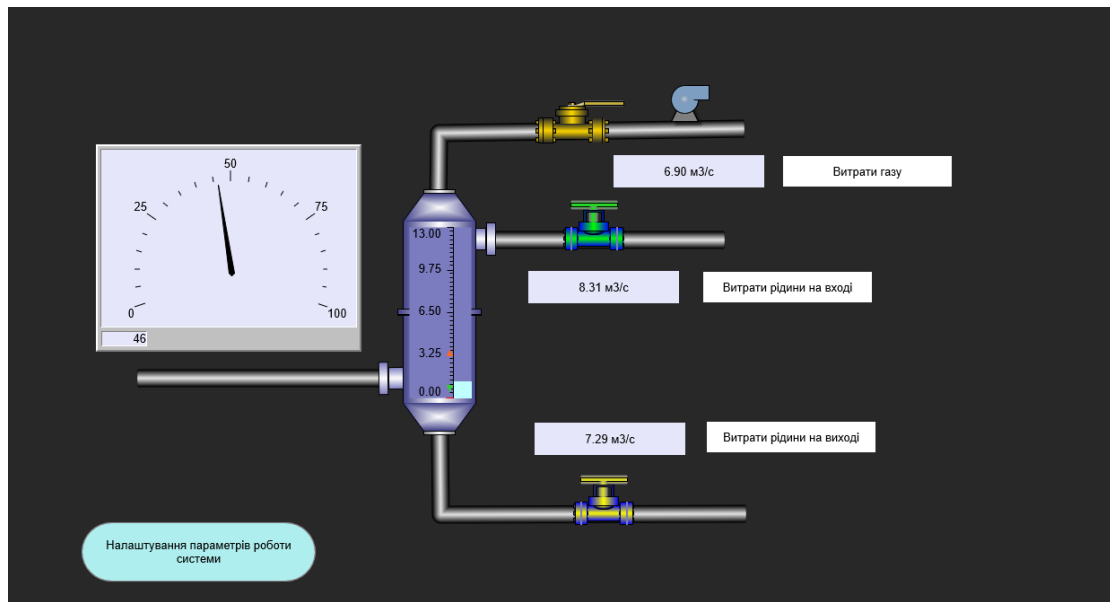


Рисунок 4.1 - Мнемосхема SCADA масообмінного процесу абсорбції

Панель налаштування дає змогу оператору взаємодіяти та коригувати параметрами регулювання системи. Вона включає у себе:

- регулювання рівню рідини у абсорбері (мінімального та відносного)
- регулювання співвідношенням витрат газу та рідини. (в залежності від технології значення може залежати від інших температурних та хімічно-складових показників)
- регулювання витратами газу, а саме мінімальні витрати до очікуваного завдання.

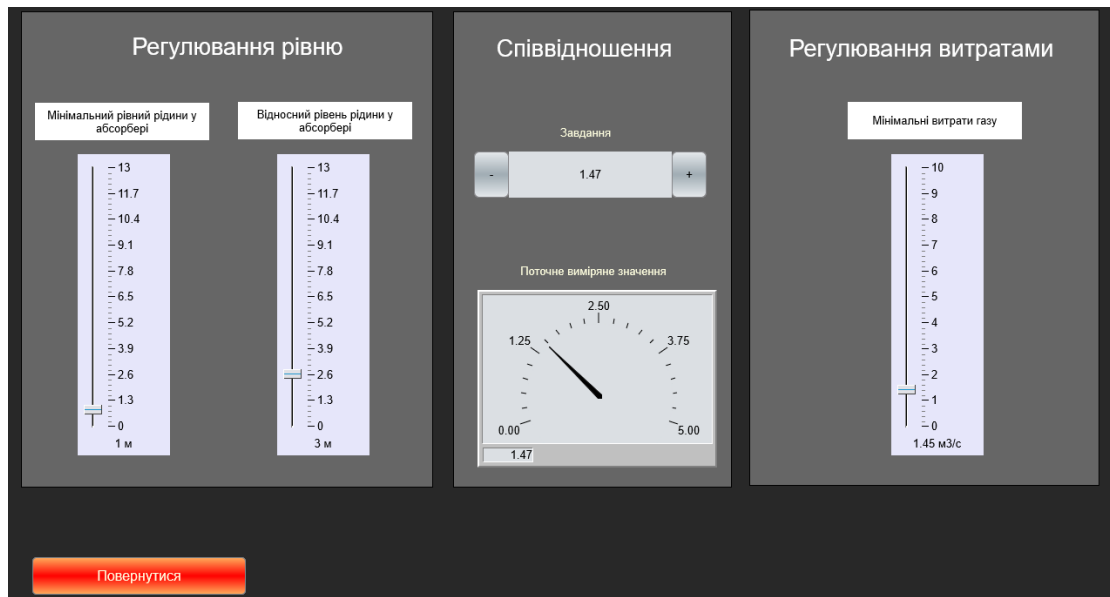


Рисунок 4.2 - Панель налаштування SCADA

На рисунку 4.3 показано приклад, при якому система сповістить оператора про наявність неполадок, якщо такі виникнуть з непередбачених причин. Це дає змогу оцінити стан системи та швидше діагностувати причину збою, оперативно прийняти рішення то її усуненню.

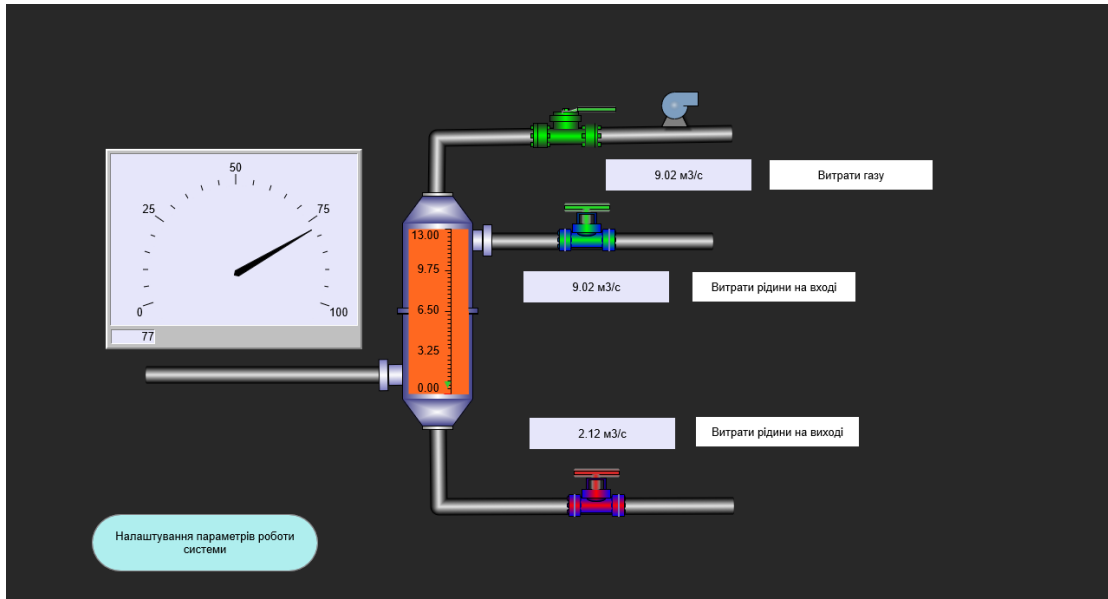


Рисунок 4.3 - Приклад роботи мнемосхеми

4.3 Алгоритм функціонування

Після початку роботи системи відбувається налаштування системи через панель управління оператора, а саме співвідношення витрат, мінімальні витрати газу, рівень у абсорбері.



Рисунок 4.4 - Початок на операторна підготовка системи до роботи

Далі потрібно бути певним, що на дні абсорберу наявний мінімальний рівень рідини. Відбувається наповнення до певного рівня. Даний процес займає від 5 до 20 секунд (в залежності від операторних налаштувань).



Рисунок 4.5 - Алгоритм підготовчого заповнення рівню у абсорбері для гідра-клапану.

Після цього вентилятор на виході газового трубопроводу вмикається та відривається повітряна заслінка на заданий мінімальний рівень витрат. Проводиться вимірювання концентрації газу, що пройшов абсорбер. У разі наявності компонента аміаку у газі - система почне абсорбувати. Якщо ж ні - система буде знаходитись у режимі очікування, так як немає необхідності у абсорбції та очищенні газу.



Рисунок 4.6 - Очікування завдання для системи в залежності від концентрації

При виявленні вмісту концентрації певного рівня формується завдання для витрат газу та абсорбенту. Завдання надходять до управління окремих контурів відповідно. Починається процес вилучення аміаку з газового компонента у рідку фазу. Для підтримки якості виконання технологічного процесу очищення потрібно підтримувати співвідношення витрат у певній пропорції, яку заздалегідь ініціалізовано у системі. Витрати порівнюються, регулятор співвідношення має за мету вирахувати корегувальне завдання для витрат абсорбенту.

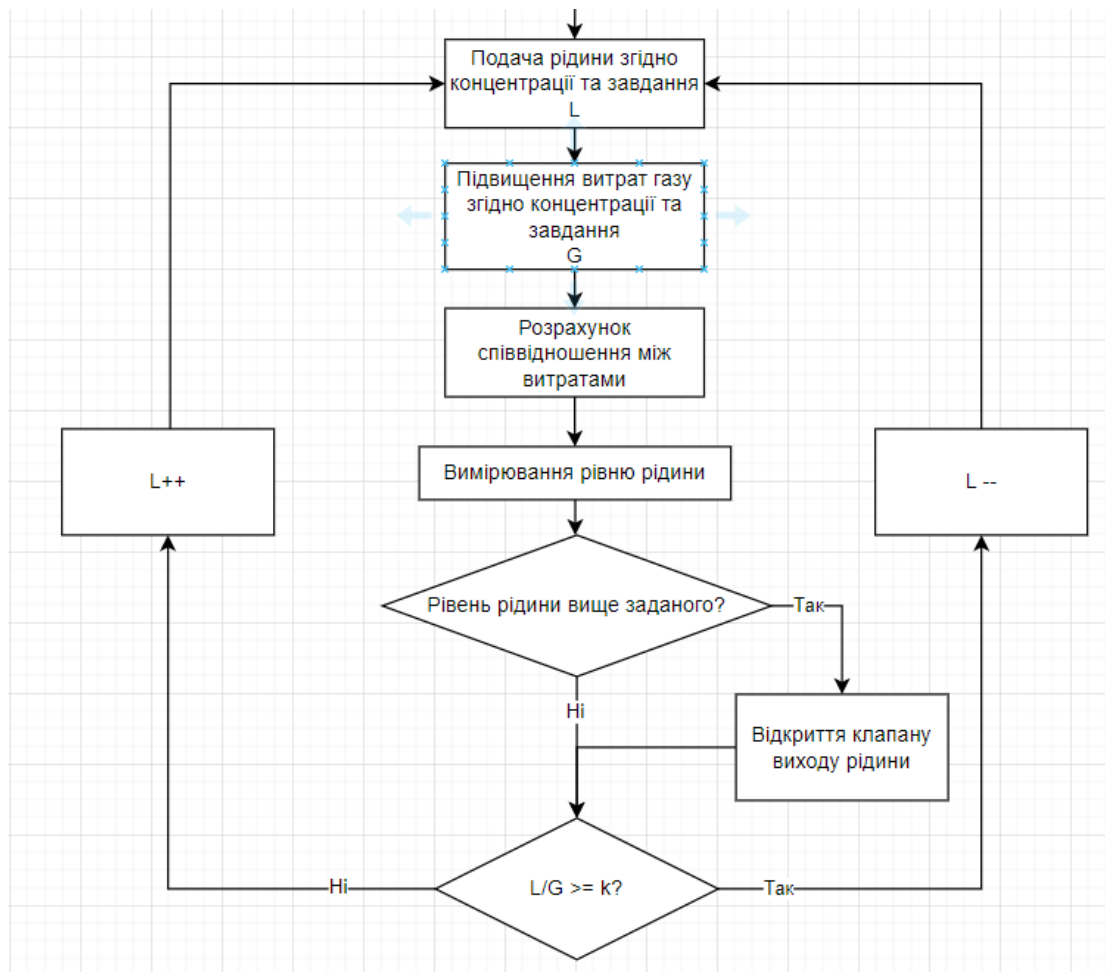


Рисунок 4.7 - Алгоритм управління витратами та співвідношенням витрат

Описаний вище порядок роботи системи очищення газу представлений на рисунку 4.4 у вигляді Блок-схеми алгоритму.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Абсорбція аміаку є небезпечним та токсичним процесом.

Аміак – горючий газ. Світиться при постійному вогні. Під час горіння виділяється водяна пара та азот. Суміш аміачного газу з повітрям (у межах концентрації від 15 до 27%) вибухонебезпечна. Температура, що може призвести до самозаймання, становить 650°C.

Фізіологічна дія на організм можна віднести до групи нейротропної та задушливої дії речовин, що здатні викликати тяжке ураження нервової системи та набряк легень. Цей газ має резорбтивну та місцеву дію. Пари газу подразнюють слизові органів дихання та оболонки очей, а також шкірні покриви. При цьому можуть виникати сльозотеча, хімічний опік кон'юктиви та рогівки, біль в очах та втрата зору, кашель, почервоніння та свербіж шкіри.

При дотику зрідженого аміаку зі шкірою можливий хімічний опік з виразками. Більше того, під час випаровування скраплений аміак втрачає температуру, і при дотику може спричинити обмороження. Наявність аміаку у повітрі можна відчутти при концентрації 36 мг/м³. У приміщенні допускається концентрація повітря 20 мг/м³. Тому, при виявленні запаху аміаку слід працювати в засобах захисту.

Подразнення з'являється при вмісті аміаку в повітрі 280 мг/м³, ока – 490 мг/м³. Під час дії аміаку у дуже високих концентраціях з'являється ураження шкіри. Під час дії аміаку з концентрацією 1,5 г/м³ протягом години розвивається токсичний набряк легень. Короткотривала дія аміачного газу в концентрації 3,5 г/м³ і швидше у більшості випадків може призвести до розвитку загальнотоксичних ефектів. Максимально допустима концентрація аміаку в атмосферному повітрі дорівнює: середньодобова 0,04 мг/м³; максимальна разова 0,2 мг/м³.

Аміак здебільшого зберігається і транспортується у рідкому стані та під тиском власної пари (6–18 кг·с/см²). Також його можна зберігати в ізотермічних резервуарах під дією тиску, близькому до атмосферного. При потраплянні в атмосферу виникає диміння, що швидко поглинається вологістю у повітрі.

Під час викиду парів у атмосферу починає формуватися у першу чергу первинна хмара з високим вмістом аміаку. Хмароутворення відбувається протягом 1-3 хвилин. Цього часу достатньо, щоб перейшло 18-20% речовини в атмосферу.

Вторинна хмара з'являється, коли випаровується аміак з площі розливу. Це зумовлено тим, що вміст парів аміаку в 2–3 рази нижчий, ніж у первинній хмарі. Проте, глибина поширення та тривалість їх дії набагато більші. Час дії вторинної хмари визначається тривалістю випаровування речовини, що розлилася, та залежить від леткості речовини і температури кипіння, кліматичних умов навколишнього середовища, характеру розливу та швидкості вітру. Повітря приблизно у 2 рази важче за аміак, а це суттєво впливає на глибину його розповсюдження.

Абсорбер повинен відповідати вимогам безпеки протягом усього періоду експлуатації.

При виникненні навантажень, що призводять до небезпечних для працюючих дозволів окремих деталей або складальних одиниць абсорбер повинен бути оснащений пристроями, що запобігають виникненню руйнівних навантажень, а деталі та складальні одиниці повинні бути огорожені або розташовані так, щоб їх частини не створювали травмонебезпечних ситуацій.

Конструкцією абсорбера та його окремих частин має бути виключена можливість їх падіння, перекидання та мимовільного зміщення за всіх передбачених умов експлуатації та монтажу.

Абсорбер повинен бути пожежо-, вибухобезпечним в умовах експлуатації. Повинно бути виключено накопичення зарядів статичної електрики в кількості, що становить небезпеку для працюючого, і можливість вибуху та пожежі.

Абсорбер не повинен бути джерелом шуму та вібрації. Конструкція абсорбера повинна бути такою, щоб концентрація шкідливих речовин у робочій зоні, а також їх викид у природне середовище в процесі експлуатації не перевищували допустимих значень.

Ущільнення абсорбера, призначені для робіт з пожежо- та вибухонебезпечними середовищами, повинні перешкоджати утворенню горючих та вибухонебезпечних сумішей у робочому та неробочому стані абсорбера.

Конструкцією абсорбера повинна бути виключена можливість зіткнення працівника з розпеченими частинами або перебування в безпосередній близькості від них, якщо це може спричинити його травмування. Температура зовнішньої поверхні у місцях обслуговування не повинна перевищувати 45 °С. абсорбція поглинання аміак вода

Необхідна наявність на робочих місцях засобів пожежогасіння та інших засобів, що використовуються в аварійних ситуаціях. Як первинні засоби гасіння вогню використовують ручні вогнегасники наступних марок: вуглекислотні ОУ - 2 і ОУ - 5, вуглекислотноброметилові ОУБ - 3 і ОУБ - 7 і порошкові ОП-1, ОП-2, ОП-5.

Абсорбери повинні бути забезпечені сигналізуючими та блокуючими пристроями, які спрацьовують у разі порушення встановленого технологічного режиму експлуатації.

До обслуговування допускаються персонал, який вивчив їх пристрій та прийоми обслуговування.

Усі види робіт усередині корпусу абсорбера проводять з використанням спецодягу та інших засобів захисту працюючих відповідно до порядку правил техніки безпеки. При наявності в повітрі шкідливих речовин у кількості, що перевищує ГДК, необхідно використовувати фільтруючі протигази марок ПФМГ-96 з фільтрами ДОТ 220, ДОТ 250, ДОТ 460 і ПФСГ-98 з фільтрами ДОТ 600, ДОТ М 600, ВК 600 . При вмісті кисню менше 17% об. необхідно застосовувати ізолюючі шлангові протигази типу ПШ-1 (безнапірного типу з довжиною шланга 10 м) та ПШ-20РВ (з повітропідвідним шлангом довжиною 20 м).[8]

Висновок

1. Проведено розрахунково-математичні дослідження процесу очищення повітря з вмістом аміаку шляхом абсорбції водою.
2. Побудована імітаційна модель у MATLAB Simulink, що дало можливість проаналізувати перехідні характеристики масообмінних процесів, що відбуваються під час абсорбції. Синтезовані та налагоджені регулятори контурів управління витратами газу та абсорбенту.
3. Моделювання алгоритмів та перевірка можливостей налаштувань досліджуваних параметрів для процесу абсорбції показало доцільність реалізації та перспективу їх розбудови на контролерах, що наявні на ринку програмно-технічних засобів автоматизації.
4. Спроектвана SCADA система, завдяки якій є можливість оперативно керувати параметрами та станом системи у режимі реального часу.

Список літературних джерел

1. Synthesis and Control Analysis of Gas Absorption Column using MATLAB and SIMULIN M. Attarakiha, M. Abu-Khaderb, H. J. Bartc, 2012. - 9 с.
2. Lamm, M.H. and Jarboa, L.R. Chemical Engineering Separations: A Handbook for Students. Ames, IA: Iowa State University Digital Press [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://iastate.pressbooks.pub/chemicalengineeringseparations/chapter/absorption-and-stripping/> (дата звернення 20.11.2022)
3. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (ДСП-201-97), МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97> (дата звернення 20.11.2022)
4. Absorption and stripping [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/9783110336726-009/html>
5. Modeling and analysis of an Absorption Column Connected to a Microalgae Culture Carlos Martinez, Francis Mairet, Leslie Meier, David Jeison, Andrés Avila, 2020. - 21 с.
6. Приклади розрахунку абсорберів за курсом "Обладнання промислової екології" [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: http://www.gaps.tstu.ru/win51/lab/ochist/primer/baza_primerov.html
7. Modelling of a Gas-Absorption Packed Column for Carbon Dioxide-Sodium Hydroxide System M.A. Olutoye and A. Mohammed. 2006 - 9с.

8. Mathematical Modeling of SO₂ Absorption in a Venturi Scrubber, M.R. Talaie , J. Fathikalajahi & M. Taher [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу:
<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10473289.1997.10464066> (дата звернення 20.11.2022)
9. Multiobjective Evaluation of Amine-Based Absorbents for SO₂ Capture Process Using the pKa Mathematical Model Dongliang Wang, Jiangpeng Xie, Guixian Li, Wenliang Meng, Jingwei Li, Delei Li, and Huairong Zhou [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу:
<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsomega.1c05766> (дата звернення 20.11.2022)
10. CALCULATION OF A PACKED ABSORBER FOR AIR PURIFICATION FROM AMMONIA WITH A CAPACITY OF 4.2 M³ / S Arakelyan AG, Chizhova LA, 2018: - 19 с.
11. ABSORPTION OF AMMONIA BY MOVING DROPS OF WATER T. V. Sidorovich,b and S. P. Fisenko [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу:
https://www.researchgate.net/publication/225608443_Absorption_of_ammonia_by_moving_drops_of_water (дата звернення 20.11.2022)
12. Автоматизація процесу очищення пічних газів від діоксиду сірки [Електронний ресурс] / Б. Р. Богулов // Інформатика, математика, автоматика : матеріали та програма Міжнародної наукової конференції молодих вчених, Суми – Нур-Султан, 18–22 квітня 2022 р. / відп. за вип. О. О. Дрозденко. — Суми : СумДУ, 2022. — С. 132.
13. Застосування абсорбційних методів для очищення газових середовищ від діоксиду сірки - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: Застосування абсорбційних методів для очищення газових середовищ від діоксиду сірки (stud24.ru), 2019.

14. Comac Cal F38 Electro Magnetic Flow Meter - Process Instrumentation - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: Comac Cal F38 Electro Magnetic Flow Meter - Process Instrumentation (fluidic-ltd.co.uk), 2020.
15. Навчальна Інформація для українських студентів - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: схеми автоматизації (ni.biz.ua), 2021.

