

О. О. Іванюк, Г. І. Влах-Вигриновська, І. М. Ковела, В. М. Доманський

Національний університет “Львівська політехніка”,

кафедра комп’ютеризованих систем автоматики

АСУ ТП РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ РЕГЕНЕРАЦІЇ СПИРТУ З ПІД-РЕГУЛЯТОРАМИ

© Іванюк О. О., Влах-Вигриновська Г. І., Ковела І. М., Доманський В. М., 2019

Розглянуто особливості розроблення автоматизованої системи управління технологічним процесом ректифікаційної колони регенерації спирту з ПІД-регуляторами. Побудовано загальну схему роботи системи, ключовим елементом якої є ректифікаційна колона. На базі SCADA розроблено людино-машинний інтерфейс АСУ ТП ректифікаційної колони. Реалізовано ПІД-регулятор як програмний блок системи керування та досліджено його роботу для процесу зміни тиску пари в системі нагріву.

Ключові слова: АСУ ТП, ректифікаційна колона, ПІД-регулятор, регенерація спирту, людино-машинний інтерфейс.

The article discusses the features of the development of an automated process control system for a distillation column for alcohol recovery with PID controllers. A general scheme of the system, in which a distillation column is a key element, is built. Based on SCADA, the human-machine interface of the process control system of a distillation column was developed. The PID controller was implemented as a program unit of the control system and its operation was studied for the process of changing the vapor pressure in the heating system.

Ключові слова: ACS TP, distillation column, PID-controller, alcohol recovery, human-machine interface.

Вступ

Питання автоматизованого керування процесами виробництва спирту активно опрацьовувалися як у нашій країні, так і за межами України, проте і сьогодні розв’язання багатьох задач у цій області є актуальним. Повною мірою це стосується і процесу регенерації спирту в ректифікаційній колоні. Очевидною є необхідність розроблення ефективних і водночас достатньо простих систем керування, які б надійно працювали в реальних умовах сучасного спиртового виробництва [1].

Якщо виходити із традиційного підходу до розроблення АСУ ТП, то необхідною є побудова математичної моделі процесів тепло- і масообміну, котрі відбуваються в ректифікаційних колонах, із подальшим застосуванням складного і дорогого обладнання для контролю концентрації продуктів ректифікації.

Аналіз технологічного процесу ректифікації спирту та розроблення загальної схеми роботи ректифікаційної колони

Розрізняють кілька видів відновлення спирту. Основними є ректифікація і регенерація. Ключовою їх відмінністю є те, що отримують на виході. В процесі ректифікації отримують чистий відновлений спирт, міцність якого досягає 96 градусів, а в процесі регенерації – спирт до 85 градусів. В обох процесах ключовим елементом є ректифікаційна колона.

Ректифікаційна колона призначена для розділення рідких сумішей, складові яких мають різну температуру кипіння. Ректифікаційна колона – вертикальний циліндр із контактними пристроями всередині [2].

Розглянемо принцип роботи ректифікаційної колони. До ректифікаційної колони подають пари рідини, що переганяється. Вони піднімаються знизу, а в режимі протилежного потоку назустріч парам подається рідина, що конденсується вгорі, в холодильнику. У випадку, якщо продукт, що переганяється, складається з двох компонентів, кінцевими продуктами є дистилат, що виходить з верхньої частини колони, і кубовий залишок – менш леткий компонент у рідкому вигляді, що витікає з нижньої частини колони.

Промислові колони можуть сягати 60 метрів у висоту і 6 метрів у діаметрі. Контактними пристроями в ректифікаційних колонах можуть бути тарілки і насадки. Насадки, що заповнюють колону, – це елементи різної форми з металу, кераміки або скла. Конденсація відбувається на поверхні цих елементів.

Загальну схему роботи системи зображено на рис. 1.

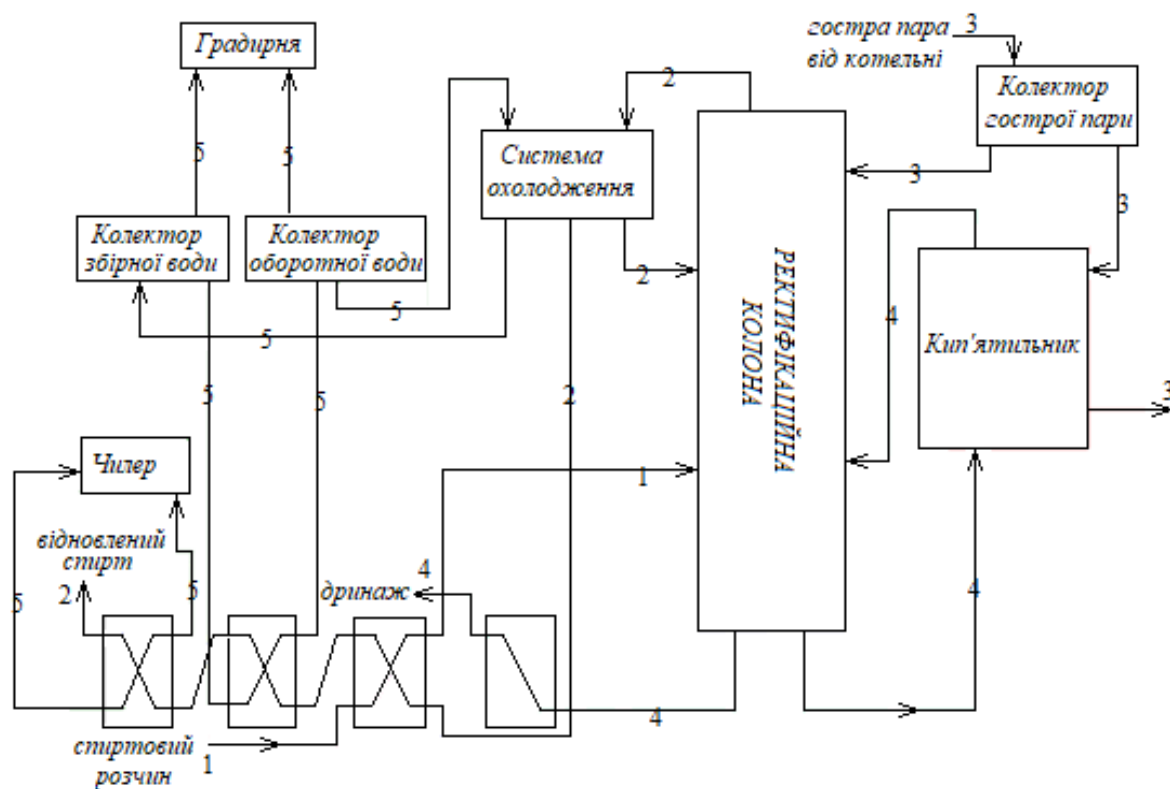


Рис. 1. Загальна схема роботи ректифікаційної колони:
 1 – спиртовий розчин (30–45 градусів); 2 – відновлений спирт;
 3 – гостра пара; 4 – кубовий залишок; 5 – вода, що використовується
 для охолодження (з градирні до чилера)

Спиртовий розчин перед потраплянням до колони надходить у теплообмінник, де він нагрівається до кипіння за рахунок температури спирту, що виходить з колони. Після теплообмінника розчин у вигляді пари потрапляє в нижню частину колони (куб), де він починає конденсуватися, утворюючи регенований спирт та кубовий залишок. Кубовий залишок, що осідає знизу колони, закачується в кип'ятильник, де знову нагрівається до кипіння і подається назад до колони. У разі повної зупинки системи, миття або аварії кубовий залишок зливається в дренаж (каналізацію). Відновлений спирт у вигляді пари виходить з верхньої частини колони, потрапляючи

в систему охолодження. Після неї вже зріджений спирт подається у спиртосховище. У системах охолодження використовують воду, попередньо охолоджену в чилері або градирнях. Для нагрівання колони і роботи кип'ятильника використовують гостру пару, яку подають з котельні.

Розроблена на основі представленої схеми система централізована, побудована з використанням програмованого логічного контролера Siemens S7-1500. Усі виконавчі механізми, регулюючі органи, давачі та перетворювачі сигналів призначені для використання в потенційно вибухонебезпечних середовищах згідно з директивою АTEX 2014/34/EU.

До складу системи входять такі технічні засоби: а) давачі; б) програмований логічний контролер; в) промисловий комп'ютер як засіб відображення і представлення інформації; г) виконавчі механізми; д) регулюючі органи; ж) перетворювачі сигналів

Розроблення людино-машинного інтерфейсу АСУ ТП ректифікаційної колони регенерації спирту

Людино-машинний інтерфейс (human-machine interface – HMI) АСУ ТП ректифікаційної колони регенерації спирту розробляли за допомогою програмного забезпечення Siemens Totally Integrated Automation Portal (TIA PORTAL), у середовищі SCADA Simatic WinCC. SCADA-система SIMATIC WinCC – це потужна універсальна система оперативного моніторингу та керування процесами, виробничими лініями, машинами та установками у всіх секторах промислового виробництва. Вона дозволяє створювати як прості одномісні станції операторів, так і потужні розподілені багатомісні комп'ютерні системи зі звичайними або резервованими серверами та Web-клієнтами [3].

Побудований людино-машинний інтерфейс АСУ ТП ректифікаційної колони регенерації спирту з ПІД-регуляторами в середовищі Simatic WinCC показано на рис. 2. На загальний вигляд системи накладено чутливі зони (кнопки), зі спливаючими вікнами. До спливаючих вікон належать такі, якими керуються двигуни прямого включення, двигуни з керованою частотою (включаються з частотних перетворювачів), клапани (I/O), керовані клапани (регулюються пневмoeлектричними позиціонерами), ПІД-регулятори – як керуюче програмне забезпечення для двигунів, клапанів і т. д.

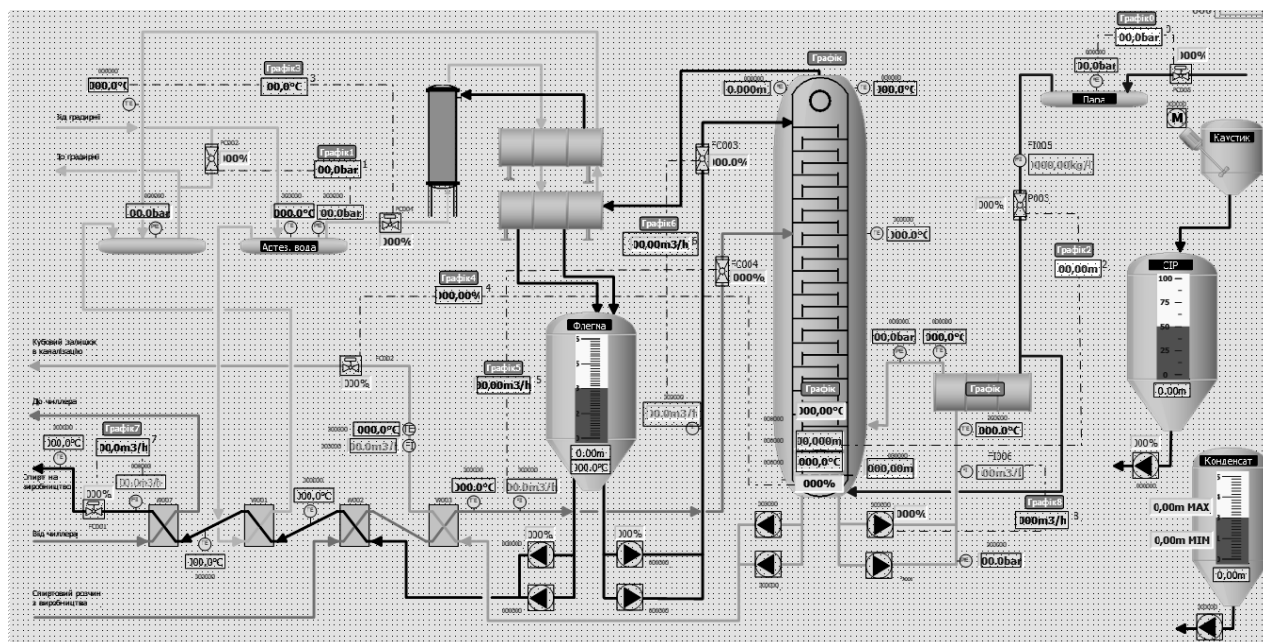


Рис. 2. Загальний вигляд розробленого людино-машинного інтерфейсу АСУ ТП ректифікаційної колони регенерації спирту з ПІД-регулятором у середовищі Simatic WinCC

Вибір і особливості застосування ПІД-регулятора

Для того, щоб забезпечити безперебійну роботу колони, а також задану її продуктивність, необхідно виконувати регулювання різних параметрів, таких як тиск, витрата, температура тощо. Для надійного регулювання, враховуючи їх високу функціональність, було обрано ПІД-регулятори [4]. Оскільки для впровадження АСУ ТП колони використовується програмований логічний контролер Siemens S7-1500, було прийнято рішення запустити програмну реалізацію ПІД-регулятора в середовищі TIA Portal (Step 7) [5]. Це дає змогу один раз створити блок ПІД-регулятора і викликати його в програмі потрібну кількість разів без внесення змін у тілі (програмному коді) самого регулятора. Для кожного окремо викликаного регулятора можна змінювати його основні складові: пропорційну, інтегральну та диференціальну. Це значно спростило введення в експлуатацію, а також позитивно вплинуло на швидкодію АСУ ТП загалом, оскільки заощадило місце самого програмного забезпечення.

Для ПІД-регулятора було розроблено спеціальний користувацький графічний інтерфейс (рис. 3), де обслуговуючий персонал (інженери КВПіА, АСУ ТП) можуть слідкувати за поведінкою будь-якого регулятора, а також за потреби змінювати його параметри.

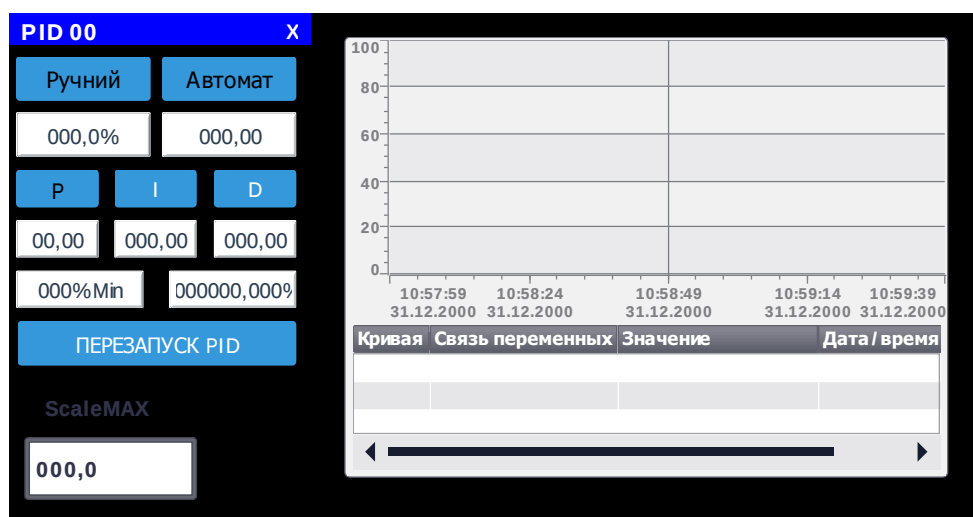


Рис. 3. Користувацький графічний інтерфейс ПІД-регулятора

Налаштування PID-регулятора. Експериментальні результати

Розглянемо роботу ПІД-регулятора на контурі регулювання тиску пари.

У колоні регенерації пару застосовують для швидкого та рівномірного нагрівання самої колони, а також прогрівання труб і флегми. Температура пари, яку подають, може досягати 500 °С, а тиск – до 20 Бар, що створює велику небезпеку. В нормальному режимі роботи колони необхідно забезпечити тиск пари, не більший за 10 Бар. Для цього використовують паровий регульований клапан, який, зменшуючи прохідність труби, знижує тиск, а за рахунок керування його ПІД-регулятором – стабільне нагрівання та безпечну роботу системи.

Сигнал керування ПІД-регулятора формується як сума трьох компонент: пропорційної, інтегральної та диференційної. Він визначається тим, наскільки велика різниця між сигналом уставки і вихідним сигналом (пропорційна складова), як довго зберігається різниця між уставкою і виходом (інтегральна складова) і як швидко змінюється ця різниця (диференціальна складова).

Якість керування залежить від того, наскільки правильно вибрано параметри регулятора відповідно до параметрів системи.

Налаштування ПІД-регулятора відбувається в три етапи. Перший етап – налаштування пропорційної складової. Пропорційну складову вибираємо такою, щоб зона перехідного процесу

були мінімальною. Можна допустити затухаючі коливання, які потім будуть компенсуватися диференційною складовою. Другий етап – налаштування диференційної складової. Диференційна складова повинна мінімізувати затухаючі коливання. Третій етап – налаштування інтегральної складової. Інтегральна складова повинна повністю прибрати різницю між заданим та фактичним значенням налаштування.

На рис. 4 зображено процес зміни тиску пари в системі нагріву з ПІД-регулятором, який забезпечує стабільний заданий тиск пари; позначення: Set Point (SP) – завдання регулятора (уставка). У цьому випадку задаємо тиск пари 5 Бар; Process Value – значення (з датчика), якого досягнуто завдяки роботі PID регулятора. Output – сигнал, що подається на виконавчий механізм, для забезпечення регулювання. На рисунку видно, що регулятор досяг заданого значення за 30 секунд, що в цих умовах не створює небезпеки як для обладнання, так і для людей, які з цим обладнанням працюють.

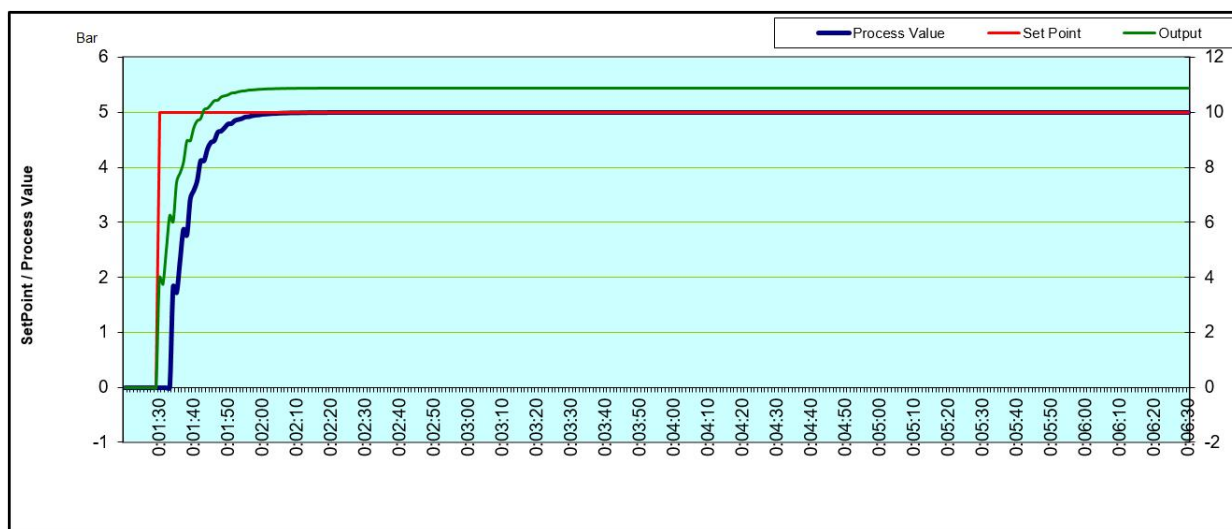


Рис. 4. Перехідний процес зміни тиску пари при заданих параметрах настроювання ПІД-регулятора:
 $P = 0.25, I = 4, D = 0.3$

Висновки

Розглянуто головні аспекти розроблення автоматизованої системи управління технологічним процесом ректифікаційної колони регенерації спирту із ПІД-регуляторами.

На основі SCADA-системи WinCC розроблено людино-машинний інтерфейс автоматизованого робочого місця оператора, що надає широкий набір засобів для контролю та керування роботою проектованої системи. Зокрема реалізовано спеціальний користувацький графічний інтерфейс, який полегшує і робить ефективнішою роботу інженерного персоналу з ПІД-регулятором. ПІД-регулятор розроблено як програмний елемент системи керування, що дало змогу спростити введення в експлуатацію, а також позитивно вплинуло на загальну швидкодію АСУ ТП.

На прикладі керування тиском пари показано ефективність роботи одного з використаних у системі ПІД-регуляторів, що дає підстави стверджувати, що розроблена авторами АСУ ТП ректифікаційної колони регенерації спирту забезпечує зручність та високу якість регулювання.

Список літератури

1. Константинов Е. Н., Фридт А. И., Фридт А. А. Совершенствование процесса получения высококачественного спирта методом замкнутой ректификации // Изв. вузов. "Пищ. технология. 2000". № 4. С. 81.

2. Справочник по производству спирта / Ю. Л. Богданов и др. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 480 с.
3. SIMATIC WinCC V7.0 Getting started Printout of the Online Help A5E02211557-0104/2008 Internet- Режим доступу: http://www.simlogic.pl/pubapp/repository/file/HMI_WinCC_7.0_GettingStarted_en.pdf.
4. Ang K. H., Chong G., Li Y. PID control system analysis, design, and technology // IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2005. Vol. 13. No. 4. P. 559–576.
5. SIMATIC S7-1200 Easy Book Manual A5E02486774-AG 01/2015 Internet- Режим доступу: https://euroec.by/assets/files/siemens/s71200_easy_book_en-US_en-US.pdf.

Reference

1. Konstantinov E. N., Fridt A. I., Fridt A. A. Sovershenstvovanie protsessa polucheniya vyisokokachestvennogo spirta metodom zamknutoy rektifikatsii // Izv. vuzov. Pishch. tehnologiya. 2000, #4. S. 81.
2. Spravochnik po proizvodstvu spirta / Yu. L. Bogdanov i dr. M.: Legkaya i pishhevaya promyshlennost, 1983. 480 s.
3. SIMATIC WinCC V7.0 Getting started Printout of the Online Help A5E02211557-0104/2008 Internet- Rezhym dostupu: http://www.simlogic.pl/pubapp/repository/file/HMI_WinCC_7.0_GettingStarted_en.pdf.
4. Ang K. H., Chong G., Li Y. PID control system analysis, design, and technology //IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2005. Vol. 13. No. 4. P. 559–576.
5. SIMATIC S7-1200 Easy Book Manual A5E02486774-AG 01/2015 Internet- Rezhym dostupu: https://euroec.by/assets/files/siemens/s71200_easy_book_en-US_en-US.pdf.