

АВТОМАТИЗАЦІЯ І КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

УДК 681.51

DOI: 10.31471/1993-9981-2022-2(49)-58-65

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА ЕТИЛЕНУ

*¹В. С. Борин,² І. Р. Головач,¹ А. А. Ікалюк**¹Інститут інформаційних технологій, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019; тел. (03422)4-60-67, e-mail: kafatp@ukr.net**²Інститут енергетики та систем управління, Національний університет «Львівська політехніка», вул. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013; тел. (067)710-45-17, e-mail: ihor.r.holovach@lpnu.ua*

У даній роботі створено проектне рішення та втілено ієрархічне керування етиленовим реактором із структурою керування на двох рівнях автоматизації. Розроблено автоматизовану систему управління технологічним процесом піролізу етилену, програму керування, яка включає математичне моделювання процесу запуску печі при відмінних технологічних параметрах, реалізацію алгоритму управління. Він є складним, і реакції крекінгу не піддаються завжди повному контролю, тому рекомендовано нову схему керування цим процесом та випробувано автоматизовану систему керування процесом виготовлення етилену. Проведено аналіз та вдосконалення процесу піролізу. Спроектовано та реалізовано ієрархічне рішення управління етиленовим реактором із структурою управління на двох рівнях автоматизації. Використано середовище моделювання Matlab Simulink, яке допомогло перевірити ефективність, захищену даними алгоритмами управління. Отримано результати моделювання для випадку, коли амплітуда опорного сигналу для контуру регулювання пари становить третину амплітуди еталонного сигналу для контуру управління бензином. Розглянуто основні процеси під час піролізу етилену. Це забезпечило якісне керування процесом піролізу з більшим виходом етилену. Судячи з відстеження видно, що контролер забезпечує відхилення сигналів збурень ступінчастого типу, що подаються на вихід системи. Отримано відповідне числове подання даних алгоритмів управління для того, щоб мати можливість реалізувати їх на пристрої фізичної обробки. Використано Poles Placement Method, щоб з'ясувати параметри контролера, які могли б забезпечувати необхідні властивості відслідковування та регулювання для систем із замкнутим циклом. Порівнявши алгоритм управління RST з класичним алгоритмом управління ПД ми зупинились на першому тому, що він дозволяє накладати різні характеристики відстеження та регулювання, також він може призвести до надійного алгоритму управління, який, беручи до уваги робочий контекст, є дуже важливим.

Ключові слова: піроліз, етилен, реактор, крекінг, температура, тиск, математична модель, метод, система управління, алгоритм управління, регулятор, програмований логічний контролер.

In this work, a design solution was created and hierarchical control of an ethylene reactor with a control structure at two levels of automation was implemented. An automated control system for the technological process of ethylene pyrolysis has been developed, a control program that includes mathematical modeling of the furnace start-up process with excellent technological parameters, and the implementation of the control algorithm. It is complex and cracking reactions are not always fully controlled, so a new control scheme for this process is recommended and an automated control system for the ethylene production process is tested. The analysis and improvement of the pyrolysis process was carried out. A hierarchical control solution for an ethylene reactor with a control structure at two levels of automation was designed and implemented. The Matlab Simulink simulation environment was used, which helped to verify the efficiency protected by these control algorithms. The simulation results are obtained for the case when the amplitude of the reference signal for the steam regulation circuit is one third of the amplitude of the reference signal for the gasoline control circuit. The main processes during the pyrolysis of ethylene are considered. This ensured high-quality control of the pyrolysis process with a higher yield of ethylene. Judging by the tracking, it can be seen

that the controller provides rejection of step-type disturbance signals applied to the system output. An appropriate numerical representation of control algorithm data is obtained in order to be able to implement them on a physical processing device. The Poles Placement Method was used to find out the controller parameters that could provide the required tracking and regulation properties for closed-loop systems. Comparing the RST control algorithm with the classic PID control algorithm, we settled on the first one because it allows us to impose different tracking and regulation characteristics, and it can also lead to a reliable control algorithm, which, taking into account the working context, is very important.

Key words: pyrolysis, ethylene, reactor, cracking, temperature, pressure, mathematical model, method, control system, control algorithm, regulator, programmable logic controller.

Вступ. Хімічна та нафтохімічна промисловість, в даний час, переживає небачене зростання завдяки оновленню виробничих ліній та модернізації устаткування, а крім того за рахунок масштабування виробничих потужностей. Сьогодні нафтохімічна промисловість є незамінним постачальником продуктів для промисловості та населення (текстильна, харчова, механічна, фармацевтична, електронна тощо). Вона була і є пріоритетом для сучасної економіки. Як базовий продукт для багатьох синтезів у нафтохімічній промисловості застосовується етилен, який є найпростішим з олефінів (наприклад фарб, розчинників, косметики, пластмас та іншого) [1].

Сьогодні на рік використовується понад 125 мільйонів тон етилену на рік, а швидкість зростання необхідної речовини складає 3,5% на рік.

Виробництво етилену є одним з найпотрібніших процесів нафтохімічного комбінату, а реактор крекінгу є основою процесу. Враховуючи те, що етилен є одним із необхідних матеріалів у хімічній промисловості, а ситуація на ринку блискавично змінюється, необхідною є оптимальна робота заводу та контроль за процесом. Рівень контролю виконує наступні завдання: регулювання основних параметрів процесу виробництва етилену та збір даних з фізичної установки (реактора). Другий рівень автоматизації повинен завершувати оптимізацію виробництва етилену. Швидкі зміни економічних умов та глобальну конкуренцію хімічна та нафтохімічна галузі стикалися з багатьма проблемами. Покращення автоматизації, керування процесами виробництва етилену та оптимізація в он-лайн режимі відіграли ключову роль у підвищенні продуктивності виробництва.

Хімічна промисловість в своєму розвитку знаменується збільшенням виробництва

продуктів органічного синтезу. Станом на сьогодні технологічний розвиток нафтохімічної промисловості складає в основному чотири вуглеводню: пропілен, бутадієн, бензол і етилен. Головним джерелом отримання вуглеводнів є термічний піроліз. На виробництві ЕП-300в процес фабрикування етилену і пропілену введено високотемпературний піроліз бензину і рецирку метанової фракції з метою отримання піролізного газу, який має різноманітний склад. Отримання пропілену, етилену і супутніх продуктів (наприклад воднева фракція, метанова фракція, бутилен-бутадієнова фракція, пропанова фракція, піролізний конденсат) з сировини (піролізного газу) за допомогою високотемпературної, середньотемпературної і низькотемпературної ректифікації.

Етилен на сьогодні є основною сировиною важкого органічного синтезу. Процес піролізу є ендотермічним і відноситься до низки енергоємних виробництв, в яких важливе значення має утилізація гарячих газів. Схеми реакційних вузлів мають певні відмінності: зовнішній обігрів топковими газами, за допомогою високо перегрітої водяної пари (гомогенний або адіабатичний піроліз), часткове згоряння тепла при подачі кисню (окислювальний піроліз), нагрівання нерухомим або перемішування твердим теплоносієм (регенеративний піроліз), електрокрекінг. Але в зв'язку з розвитком низки процесів синтезу інтенсивно проводяться дослідження, направлені на отримання шляхом піролізу також нижчих олефінів. Останнім часом ця течія в піролізі стала переважаючою.

Постановка завдання. Забезпечення якісного керування процесом піролізу з більшим виходом етилену. Розробка

автоматизованої системи управління технологічним процесом піролізу етилену.

Метою даної роботи є аналіз та застосування програмного забезпечення, яке включає математичне моделювання процесу запуску печі при відмінних технологічних параметрах та реалізацію алгоритму управління.

Об'єктом дослідження є етиленовий реактором із структурою керування на двох рівнях автоматизації.

Висвітлення результатів. У промисловості найширше застосування отримали трубчасті печі піролізу. Експлуатація пічних блоків відбувається в циклічному режимі: нагрівання - піроліз - випал коксу - охолодження - чистка загартувально-випарних апаратів (ЗВА). Термін пробігу печей залежить від:

1) процесу прогріву печі. Швидкість підйому середньої температури (COT – Coil Outlet Temperature) на виході з змійовиків не повинна перевищувати регламентного значення (поки COT < 540 °C швидкість зростання температури становить ≤ 1 °C / хв., При COT > 540 °C швидкість зростання температури становить ≤ 2 °C / хв.);

2) температури процесу під час піролізу. Чим вища температура, тим більше в пірогазі сполук, що призводять до утворення і відкладання коксу на стінках труб. Глибина перетворення вихідних вуглеводнів в коксі промислових печах є невелика. Вихід коксу складає $\geq 0,01\%$ від розходу сировини, при чому негативний вплив плівки коксу на результати піролізу є відчутним. Час переведення печі зі стану повної зупинки в нормальний робочий режим займає близько 100 годин, в той час як на пуск всього виробництва потрібно 144 год. Зупинка печі на декоксування і ремонтні роботи виконується 10 раз в рік і складає близько 15% від загального обсягу робочого часу устаткування. Матеріальні та енергетичні витрати в період пуску / зупинки складають невикористану частину витрат, які включаються в собівартість продукції. Пуск печей проводиться контролерами в режимі ручного управління, а також по команді шляхом ввімкнення / вимкнення технологічних потоків по місцю печі відповідним апаратником. За таких умов запуск установок є непростим і

вирішальним етапом в процесі роботи виробництва, також його ускладнює взаємодія багатьох працівників цього підприємства і велика кількість параметрів, що мають контролюватися. Розглянута піч за регламентом під час запуску з теплового резерву має виходити на сталий режим піролізу за 14-15 год.

Фактичний час запуску печі з резерву в ручному режимі становить 25,2 год. Така його тривалість пояснюється тим, що через людський фактор в процесі можливі небажані порушення температурного і технологічного режимів у вигляді гідравлічних і температурних ударів. Задля скорочення періоду запуску печі і зменшення впливу людського фактору пропонується змінити процес пуску з ручного управління на автоматичне.

Для втілення цієї ідеї розроблено програму керування, яка включає математичне моделювання процесу запуску печі при відмінних технологічних параметрах, реалізацію алгоритму управління. Програма повинна бути інтегрована в програмований логічний контролер (ПЛК). Для побудови системи управління процесом пуску печі експериментально-статистичним методом внаслідок обробки експериментальних даних при запуску печей піролізу етану (пропан-бутанової фракції) отримані математичні моделі процесу запуску печі для різних контрольованих і регульованих технологічних параметрів в вигляді рівнянь регресії.

Під час аналізу процесу пуску печі було виявлено, що необхідним є складний алгоритм управління з великою кількістю вкладених циклів і кроків. Для реалізації було вирішено використовувати мову структурованого тексту, оскільки схожість синтаксису з такими мовами, як C++ і Open Pascal дозволяє зменшити трудовитрати на реалізацію програмного коду, значною мірою оптимізувати процес налагодження та збільшити зрозумілість програмного коду.

Для написання таких програм система Centum CS 3000R3 пропонує використовувати мову SEBOL, різновид мови ST. Це можливо в блоці SFC, де існують кроки, які можна представити як окремі стадії запуску печі. Програма на мові SEBOL записана в кожному кроці, котрі організовано в циклі WHILE, який

виконується до тих пір, поки змінна закінчення кроку не набуде значення «істина».

Рівень контролю має виконувати наступні завдання: збір даних з фізичної установки та регулювання базових параметрів процесу. Наглядний рівень повинен закінчити оптимізацію виробництва етилену. Останніми роками хімічна та нафтохімічна галузі стикалися з проблемами через загальну конкуренцію та швидкі зміни економічних умов. Збільшена автоматизація, керування процесами та оптимізація в режимі он-лайн зіграли головну роль у збільшенні продуктивності підприємства.

Якщо колись базовою метою рішення управління була стабільність системи, то останніми роками сучасні стратегії управління широкомасштабними виробничими процесами зосереджуються на ефективності та продуктивності даних підприємств.

Вони мають підвищувати саме якість продукції, освоювати весь її асортимент, збільшувати безпеку технологічних процесів та доступність різноманітних установок, розумно використовувати ресурси, а також знижувати викиди в довкілля.

Спосіб практичної реалізації он-лайн схеми оптимізації та управління промисловим процесом розглядає загальну конструкцію як двошарову ієрархічну систему, як показано на рис. 1 [1,2].

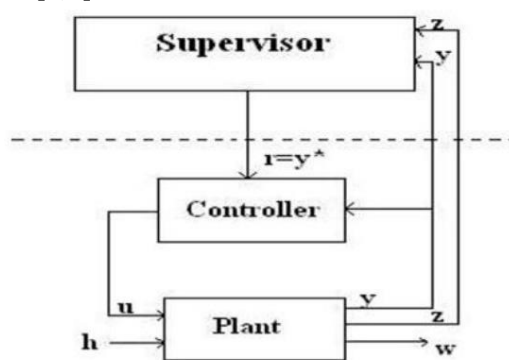


Рисунок 1 – Архітектура двошарової ієрархічної системи

Установка функціонує в номінальному режимі за нормальної технологічної еволюції. Це забезпечується систему управління з нижчого рівня, яка розглядається як рівень виконання. Щоб процес набув оптимального режиму роботи розроблено ефективне рішення щодо управління, нав'язуючи та дотримуючись критерію якості.

Тобто на цьому рівні визначена оптимальна стратегія управління на основі інформації в режимі реального часу для досягнення мети управління шляхом регулювання керованими змінними або заданих точок на рівні виконання.

Оскільки зміни в глобальній еволюції процесу залежать від тимчасових змін збурення v рівень прийняття рішень має повільну динаміку.

На відміну від цього, динаміка рівня виконання є вищою через тимчасовий режим роботи систем управління. Модель процесу на першому етапі повинна оцінюватися процедурою ідентифікації. Загалом, ця модель є багатоваріантною та нелінійною.

Метою другого етапу було визначення та рішення проблеми оптимізації. Для побудови критерію якості $J(y)$ була використана модель процесу. Рішення задачі:

$$\max J(y), y \in D \quad (1)$$

(де D - допустима область зміни параметрів), являє собою оптимальне рішення.

$$r^* = y^* = \operatorname{argmax}_{y \in D} J(y) \quad (2)$$

Основна частина щорічного світового комерційного виробництва олефінів ґрунтується на термічному крекінгу нафтових вуглеводнів з парою; що зазвичай називають піролізом чи «паровим крекінгом». Цей процес не вважається старою технологією, але паровий крекінг не є таким простим, як може здатися. Він включає в себе складні процеси, як реакції тепла, системи переносу маси та тепла, регулювання екстремальних тиску і температури та інші роботи агрегату.

Частиною суперечок між різними дизайнерами та консультантами з технологій є оптимальний потік процесу щодо вихідної сировини. За останні кілька десятиліть розвивалися процеси установки парового крекінгу, оскільки технологія постійно змінюється.

При паровому крекінгу газоподібні або рідкі вуглеводні, такі як нафта, зріджений газ або етан, розбавляються парою і недовго нагріваються в реакторі в анаеробному середовищі. Зазвичай температура реакції дуже висока і складає 850 °C, а тиск низький, зазвичай 4 бари, але реакція може проходити дуже короткочасно.

Час перебування у нових крекінгових печах зменшується до мілісекунд, через що швидкість

руху газу більша швидкості звуку, для покращення виходу. Щоб зупинити реакцію в теплообміннику лінії передачі газ після досягнення температури розтріскування швидко гаситься.

Зазвичай піч парового крекінгу в якості джерела тепла використовує променеве тепло від пальників, таких як звичайні газові чи масляні пальники. Розміщують їх переважно на підлозі та / або стінках печі, і ними визначається високотемпературна зона печі, яку називають «зоною випромінювання» печі.

Зона конвекції розташовується безпосередньо над зоною випромінювання, звідки виходять гарячі гази, що згорають. Її використовують для попереднього нагрівання вуглеводнів, які піддаються крекінгу, які також відомі як «вихідна сировина».

Отже, суміш вуглеводнів попередньо нагрівають до 500°C в зоні конвекції печі, після чого вона потрапляє в зону випромінювання печі, де досягає температури реакції (в діапазоні від 700°C до 900°C). Після цього для відновлення певної кількості тепла та очищення відходів сировину охолоджують і стискають.

Після цього в системі дотримуються послідовності методів розділення та складних хімічних обробок. Для забезпечення необхідних умов розвитку реакції піролізу, важливо в правильних пропорціях розподілити реагенти у співвідношенні 3:1 (1500 м³ / год палива та 500 м³ / год пари).

Рівень управління представляє собою базовий рівень в будь-якій ієрархічній системі управління і включає в себе обладнання, яке використовується для реалізації алгоритмів управління, а також пристрої, що підключають їх до фізичної установки, а саме датчики та виконавчі механізми.

Рівень контролю повинен виконувати два важливі завдання: регулювання основних параметрів процесу та отримання даних з фізичної установки. Отримані з установки фізичні дані обробляються і використовуються для ідентифікації математичних моделей, на основі яких обчислюються команди для різних системами регулювання.

Зрештою, алгоритми управління можуть бути вдосконалені для того, щоб зберегти ефективність, отриману в змодельованому середовищі для системи із замкнутим циклом, з

ідентифікованою моделлю процесу та алгоритмом управління, обчисленим на основі цієї моделі, коли справа доходить до її реалізації на фізичній платформі.

Це означає, що необхідно знайти рішення для того, щоб компенсувати невизначеності, які виникають на етапі моделювання процесу, і забезпечити стабільність реальної системи, а також збереження характеристик номінальної системи для фізичної установки.

Одним з таких рішень є обчислення надійних алгоритмів управління, як показано нижче.

Стандартне рішення для автоматичного управління повинно мати можливість розглянути два основні аспекти, від яких залежить правильний хід процесу. По-перше, це стосується кількості реагентів – алгоритм повинен пропонувати можливість підтримувати належну їх пропорцію. По-друге, алгоритм повинен встановлювати необхідні температуру та тиск, за яких відбуватимуться бажані хімічні реакції всередині реактора [1,4].

Саме тому обрано рішення для автоматизації з чотирма контурами управління, що показано на рис. 2.

Контроль над потоком бензину та пари до етиленового реактора забезпечують перші дві петлі управління. Окрім цієї сировини, ще одним контрольованим технологічним параметром є внутрішній тиск реактора.

Щоб процес функціонував належним чином необхідно зберігати значення тиску в межах допустимого робочого діапазону, одночасно з тим стінки реактора не повинні піддаватися руйнівним впливам. У цьому випадку оптимальний діапазон тиску усередині реактора було встановлено на рівні не менше 3,3 бар і не більше 4,5 бар.

Контролем кількості СН₄ регулюється температура в середній ділянці реактора, яка слугує задля згоряння та нагріває установку. Для автоматизації треба знайти таке рішення, яке дозволяє підтримувати значення температури в межах 820°C і 860°C.

Спершу на основі серії технологічних даних, наданих власниками заводу, ми аналітично визначили математичні моделі двох процесів. Математична модель для процесу потоку бензину [1]:

$$H_{F_1}(s) = \frac{0.24}{(8s+1)(0.67s+1)} \approx \frac{0.24}{8s+1} \quad (3)$$

та для процесу потоку пари:

$$H_{F_2}(s) = \frac{0.21}{(4s+1)(0.2s+1)} \approx \frac{0.21}{4s+1} \quad (4)$$

Далі ми перейшли до проектування контролерів для двох вищезгаданих систем з використанням алгоритму ПД керування.

Щоб визначити параметри контролера, які забезпечували б бажані характеристики для систем із замкнутим циклом застосовано Poles Placement Method.

За допомогою таких пов'язаних передавальних функцій описано два розроблені нами контролери:

$$H_{R_1}(s) = 11.11 \left(1 + \frac{1}{8s} \right), \quad (5)$$

$$H_{R_2}(s) = 6.34 \left(1 + \frac{1}{4s} \right).$$

Використано середовище моделювання Matlab Simulink, яке допомогло перевірити ефективність, захищену даними алгоритмами управління. На рис. 3 показано результати моделювання для випадку, коли амплітуда опорного сигналу для контуру регулювання пари становить третину амплітуди еталонного сигналу для контуру управління бензином.

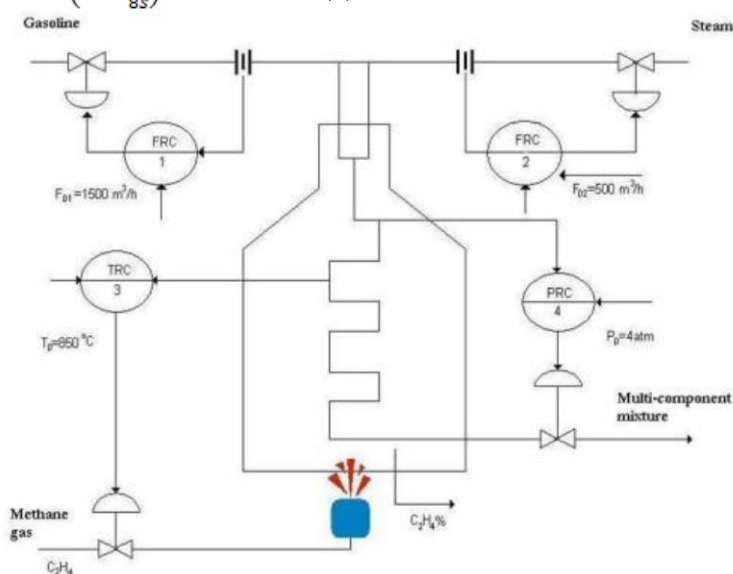


Рисунок 2 – Управління етиленовим піролізним реактором по чотирьох контурах

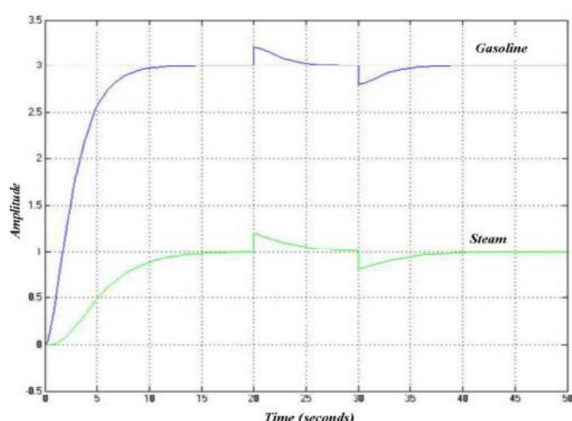


Рисунок 3 – Результати математичного моделювання системи управління

Судячи з відстеження видно, що контролер забезпечує відхилення сигналів збурень ступінчастого типу, що подаються на вихід системи.

Але нам потрібно було отримати відповідне числове подання даних алгоритмів управління для того, щоб мати можливість реалізувати їх на пристрої фізичної обробки. Ми отримали дискретні подання двох алгоритмів управління за допомогою методу наближення Ейлера $\frac{1}{s} \approx \frac{h}{z-1}$ для періоду дискретизації $h=0.1$ секунди:

$$H_{R_1}(z^{-1}) = \frac{11.24 - 11.11z^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad (6)$$

$$H_{R_2}(z^{-1}) = \frac{7.92 - 6.34z^{-1}}{1 - z^{-1}}$$

Виконавши кроки, коротко описані нижче, ми безпосередньо розробили чисельні варіанти

відповідних контролерів для тиску та систем регулювання температури.

За допомогою експериментального методу ідентифікації з використанням даних, отриманих з фізичної установки, ми отримали моделі процесів[1].

Метод найменших квадратів у його рекурсивній формі є найпоширенішим методом параметричної адаптації. Після ідентифікації, моделі перевірено з використанням різних наборів даних. Ми використовували тест на отримання залишків для перевірки отриманої моделі. Цей тест стверджує, що різниця між результатом фізичного процесу після подання на збурення та виходом моделі повинна оцінювати білий шум.

Ми ідентифікували та перевірили модель для системи контролю температури

$$H_{P_2}(z^{-1}) = \frac{0.04711z^{-1}}{1-1.61402z^{-1}+0.65344z^{-2}} \quad (7)$$

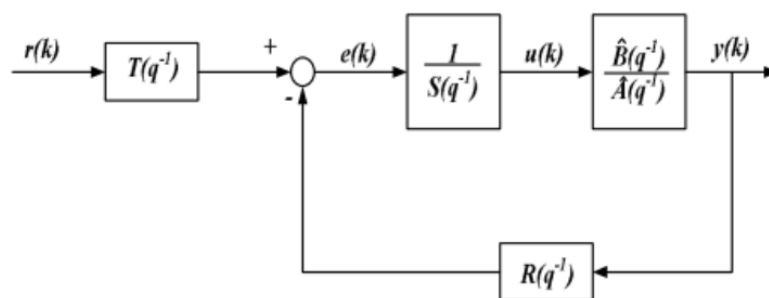


Рисунок 4 – Структура використаного контролера RST

Порівнявши алгоритм управління RST з класичним алгоритмом управління ПДД ми зупинились на першому тому, що він дозволяє накладати різні характеристики відстеження та регулювання, також він може призвести до надійного алгоритму управління, який, беручи до уваги робочий контекст, є дуже важливим.

Висновок. Створено проектне рішення та втілено ієрархічне керування етиленовим реактором із структурою керування на двох рівнях автоматизації. Розроблено автоматизовану систему управління технологічним процесом піролізу етилену, програму керування, яка включає математичне моделювання процесу запуску печі при відмінних технологічних параметрах, реалізацію алгоритму управління. Спроектовано та реалізовано ієрархічне рішення управління етиленовим реактором із структурою управління на двох рівнях автоматизації.

використавши період вибірки 5 секунд. Також розглянуто більший період відбору проб тому, що динаміка процесу повільна.

В ситуації з системою регулювання тиску, модель, яка була ідентифікована та перевірена під час періоду відбору проб протягом 2 секунд, є такою:

$$H_{P_4}(z^{-1}) = \frac{0.00597z^{-1}}{1-1.68364z^{-1}+0.70730z^{-2}} \quad (8)$$

Після, задля забезпечення низки бажаних характеристик відстеження та регулювання, за допомогою алгоритму управління RST розроблено два контролери. Структура алгоритму RST показана на рис. 4.

Даний алгоритм обраний через те, що має два ступені свободи, більшу гнучкість та одноманітність для проектування та реалізації команди в управлінні числовими системами.

Використано середовище моделювання Matlab Simulink, яке допомогло перевірити ефективність, захищену даними алгоритмами управління. Отримано результати моделювання для випадку, коли амплітуда опорного сигналу для контуру регулювання пари становить третину амплітуди еталонного сигналу для контуру управління. Обчислено три контрольні поліноми R, S і T за допомогою методу Poles Placement Method. I, хоча дві отримані номінальні системи управління забезпечували бажані характеристики відстеження та регулювання - це траплялося тільки для збурень з амплітудами максимум 3% амплітуди опорного сигналу. Тому нами перероблено алгоритми управління таким чином, щоб системи із замкнутим циклом були надійними до більш широкого кола можливих порушень.

Список використаних джерел

1. Boryn Vasyl, Holovach Ihor, Ikaliuk Andrii. Автоматизація технологічного процесу піролізу етилену: The 7th International scientific and practical conference “Innovative areas of solving problems of science and practice” (November 08 – 11, 2022) Oslo, Norway. International Science Group. 2022. – P. 595-601, ISBN – 979-8-88831-925-3

DOI – 10.46299/ISG.2022.2.7.

2. Борин В.С., Ікалюк А.А. Оптимізація процесу піролізу етилену: Тези доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів. «ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ, ТЕХНІЦІ ТА ПРОМИСЛОВОСТІ». 13 жовтня 2022 року. ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ. С. 64-65

3. Дубовой В.М., Кветний Р.Н, Михальов О.І., Усов А.В. Моделювання та оптимізація систем: підручник. Вінниця: ПП «Едельвейс», 2017. 804 с.

4. Борин В.С., Ікалюк А.А. Автоматизоване управління етиленовим піролізним реактором: Тези доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів «ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ, ТЕХНІЦІ ТА ПРОМИСЛОВОСТІ» 13 жовтня 2022 року. ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ. – С. 73-74.

References

1. Boryn Vasyl, Holovach Ihor, Ikaliuk Andrii. Avtomatyzatsiya tekhnolohichnoho protsesu pirolizu etylenу: The 7th International scientific and practical conference “Innovative areas of solving problems of science and practice” (November 08 – 11, 2022) Oslo, Norway. International Science Group. 2022. – P.. 595-601, ISBN – 979-8-88831-925-3 [in Ukrainian]

DOI – 10.46299/ISG.2022.2.7.

2. Boryn V.S., Ikalyuk A.A. Optymizatsiya protsesu pirolizu etylenу: Tezy dopovidey vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi molodykh uchenykh i studentiv. «INFORMATSIYNI TEKHNOLOHIIYI V OSVITI, TEKHNITSI TA PROMYSLOVOSTI». 13 zhovtnya 2022 roku. IFNTUNH, m. Ivano-Frankivs'k. S. 64-65 [in Ukrainian]

3. Dubovoy V.M., Kvyetnyy R.N, Mykhal'ov O.I., Usov A.V. Modelyuvannya ta optymizatsiya system: pidruchnyk. Vinnytsya: PP «Edel'veys», 2017. 804 st. [in Ukrainian]

4. Boryn V.S., Ikalyuk A.A. Avtomatyzovane upravlinnya etylenovym piroliznym reaktorom: Tezy dopovidey vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi molodykh uchenykh i studentiv «INFORMATSIYNI TEKHNOLOHIIYI V OSVITI, TEKHNITSI TA PROMYSLOVOSTI» 13 zhovtnya 2022 roku. IFNTUNH, m. Ivano-Frankivs'k. – S. 73-74. [in Ukrainian]