

Міністерство освіти і науки України
 Національний технічний університет
 «Дніпровська політехніка»
Навчально-науковий інститут електроенергетики
 (інститут)
Електротехнічний факультет
 (факультет)
Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
 (повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

студента Лупало Сергій Сергійович

(П.І.Б.)

академічної групи 151-19-1

(шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва спеціальності)

за **освітньо-професійною програмою** 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(офіційна назва)

на тему Автоматизація системи керування процесом утилізації та переробки пластикових виробів

(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	ас. Воскобойник Є.К.			
Провідний консультант	ас. Воскобойник Є.К.			
Розробка апаратного забезпечення системи керування	доц. Соснін К.В.			
Визначення моделі об'єкта керування	ст.викл. Бойко О.О.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Воскобойник Є.К.			

Дніпро
2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірювальних систем
(повна назва)

_____ Бублік А.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)
« _____ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавр

студенту Лупало С.С. _____ академічної групи 151-19-1 _____
(прізвище та ініціали) (шифр)
спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології
(офіційна назва)
на тему Автоматизація системи керування процесом утилізації та переробки пластикових
виробів
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» № 328-с від 08.05.2023 р.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	Вступ. Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи.	01.05.2023
Розробка апаратного забезпечення системи керування	Обрання датчиків, виконавчих пристроїв та пристрою керування, розробка структурних схем, функціональної схеми автоматизації та принципової схеми електричної.	10.05.2023
Визначення моделі об'єкта керування	Виконання експерименту. Обробка результатів експерименту. Створення моделі об'єкта керування. Перевірка отриманої моделі на адекватність.	15.05.2023
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	25.05.2023
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	31.05.2023

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

ас. Воскобойник Є.К.

_____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі

01.05.2023

Дата подання до екзаменаційної комісії

10.06.2023

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

Лупало С.С.

_____ (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 109 стор., 59 рис., 22 табл., 2 дод.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування технологічний апарат - реактор термокрекінгу ТС-PW-RT7000, який використовується у технологічному процесі безперервної хімічної переробки пластику на заводі «Greenstep» (м. Харків).

Об'єкт дослідження - реактор термокрекінгу ТС-PW-RT7000 продуктивністю переробки 7 т/г пластикових відходів.

Предмет дослідження – модель реактору термокрекінгу ТС-PW-RT7000.

Мета роботи - розробка моделі об'єкта керування за каналом «продуктивність подачі пластмаси – продуктивність вихідних продуктів» як більш впливового на якість роботи реактору термокрекінгу ТС-PW-RT7000 . При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що розроблена модель відповідає об'єкту керування, та може бути використана для подальшої розробки системи керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії. Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення підсистеми керування.

Розглянуто техніко-економічного обґрунтування ефективності результатів розробки і впровадження автоматизованої системи керування реактором термокрекінгу ТС-PW-RT7000.

Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників, проведено розрахунок компенсації від нещасного випадку на виробництві.

ПЛАСТИКОВІ ВІДХОДИ, КРЕКІНГ, НАФТОВІ ФРАКЦІЇ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ДАТЧИК, ВИКОНАВЧИЙ ПРИСТРІЙ, ДОСЛІДНИЦЬКА СИСТЕМА, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Стан питання та постановка завдання	9
1.1 Загальні відомості	9
1.1.1 Загальні відомості	9
1.1.2 Утилізація пластику	10
1.1.3 Способи переробки пластикових відходів	12
1.1.4 Сортування пластикових відходів	16
1.2 Технологія переробки пластикових відходів	19
1.2.1 Механічна переробка	19
1.2.2 Хімічна переробка	21
1.2.2.1 Технологія хімічної переробки сировини	22
1.3 Об'єкта керування	27
1.3.1 Завод Greenstep	27
1.3.2 Реактор термокрекінгу	28
1.3.3 Характеристика об'єкта керування	30
1.3.3.1 Термічний крекінг	30
1.3.3.2 Технологічний показники реактора термокрекінгу	30
1.3.4 Структура об'єкту керування	31
1.4 Формулювання задачі дослідження	32
1.5 Висновки за розділом	33
2 Розробка апаратного забезпечення системи керування	35
2.1 Розробка структурної схеми підсистеми керування	35
2.2 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування	37
2.2.1 Вибір датчиків	37
2.2.1.1 Датчики температури	37
2.2.1.2 Датчики тиску	39
2.2.1.3 Датчики витрати	40
2.2.1.4 Датчик положення засувки	41

	5
2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв	43
2.2.2.1 Частотні перетворювачі	43
2.2.2.2 Засувка шарова	44
2.2.2.3 Твердотільне реле	45
2.2.3 Вибір пристроїв керування	46
2.2.4 Вибір джерел живлення	54
2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації	56
2.4 Розробка схеми електричної принципової	58
2.5 Висновки за розділом	60
3 Визначення моделі об'єкта керування	61
3.1 Загальні відомості	61
3.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи	63
3.3 Розробка методики дослідження об'єкта керування	64
3.4 Виконання експерименту	66
3.5 Обробка результатів експерименту	70
3.5.1 Підготовка даних	70
3.5.2 Структурна ідентифікація	72
3.5.3 Параметрична ідентифікація	76
3.5.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink	79
3.5.5 Перевірка моделі на адекватність	81
3.6 Розробка схеми моделі шнекового дозатора	82
3.7 Остаточна комплексна модель об'єкту керування	83
3.8 Висновки за розділом	84
4 Економічна частина	86
4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування	86
4.2 Розрахунок капітальних витрат при впровадженні системи керування	87
4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	89
4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення	89
4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення	91
4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	92

	6
4.4.1 Амортизація основних фондів	92
4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати	93
4.4.3 Відрахування на соціальні заходи	94
4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт	94
4.4.5 Витрати на електроенергію	94
4.4.6 Інші витрати	95
4.5 Висновки за розділом	95
5 Охорона праці	96
5.1 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори	96
5.1.1 Санітарні вимоги та вимоги до повітряного середовища на виробництві	96
5.1.2 Правила пожежної безпеки	97
5.1.3 Вимоги електробезпеки	99
5.1.4 Вимоги до технологічного режиму виробництва	99
5.1.5 Вимоги безпеки під час поводження з відходами пластмаси	101
5.2 Розрахунок страхових виплат потерпілому від нещасного випадку на виробництві	102
5.3 Висновки за розділом	103
Висновки	104
Перелік посилань	107
Додаток А	110
Додаток Б	111
Відгуки консультантів кваліфікаційної роботи	112
Відгук	114
Рецензія	116

ВСТУП

Пластмаси є невід'ємною складовою нашого сучасного життя завдяки широкому спектру застосування в побуті та промисловості. Світове виробництво пластику оцінюється приблизно в 1,1 млрд. т пластику в 2050 році. Зростання інтересу до пластмас як сировини в різних секторах пояснюється простотою обробки, прозорістю та економічною ефективністю. Пластмаси показали надзвичайні показники упаковки для харчових продуктів, кондитерських виробів, хімічної продукції та лікарських засобів.

Близько 40 % пластикових матеріалів у всьому світі використовуються для зберігання та упаковки готових виробів з різних заводів. Проте утворюються масові пластикові відходи, завдяки їх масовому споживанню. Упаковка є найбільш значним внеском у світові пластикові відходи, вносячи близько 50 % від загальної ваги. Пластикові відходи з термопластів, термореактивних і еластомерів полімерних матеріалів нелегко розкладаються і можуть стати в достатку, виробляючи первинне забруднення навколишнього середовища. Крім того, надмірна кількість пластмас, що утворилися за останнє століття, і погане поводження з відходами викликали занепокоєння з приводу виснаження викопних ресурсів, руйнування морських і наземних екосистем, зміни клімату. Тому застосування належного поводження з пластиковими відходами має вирішальне значення для вирішення проблем сталого розвитку та навколишнього середовища.

Надмірна кількість світового пластику, виробленого за останнє століття, разом з поганим управлінням відходами викликали занепокоєння щодо екологічної стійкості. Переробка пластику стала практичним підходом для зменшення пластикових відходів та підтримки стійкості серед методів поводження з пластиковими відходами. Хімічна та механічна переробка є типовими підходами до переробки пластикових відходів, з простим процесом, низькою вартістю, екологічно чистим процесом та потенційною рентабельністю.

Кілька пластикових матеріалів, таких як поліпропілен, полістирол, полівінілхлорид, поліетилен високої щільності, поліетилен низької щільності та

поліуретани, можуть бути перероблені за допомогою хімічних та механічних підходів до переробки. Тим не менш, через різні фізичні та хімічні властивості пластикових відходів, розділення пластикових відходів стає проблемою. Отже, надійна та ефективна технологія розділення пластикових відходів має вирішальне значення для підвищення вартості пластикових відходів та швидкості переробки. Інтеграція технологій переробки та розділення пластикових відходів буде ефективним методом зменшення накопичення забруднюючих речовин у навколишньому середовищі, що утворюються пластиковими відходами [1].

Широке використання інноваційних технологій переробки може сприяти замкнутій круговій економіці від проектування матеріалів, розділення, переробки та нового життя старим пластмасам. Технології хімічної переробки, наприклад, можуть покращити або замінити механічну обробку, що використовується в даний час. При цьому висока температура, хімічні реакції або і те, і інше використовуються для перетворення використаних пластмас в нові первинні пластмаси, паливо або інші нові хімічні речовини або продукти. Ці технології зменшують величезну кількість невідновлюваних пластмас, які потенційно можуть просочитися в навколишнє середовище. Ці технології необхідні для видалення забруднень з використовуваного пластику [2].

На сьогодні, в Україні працюють 35 підприємств, які переробляють відходи із пластику. Не так вже й багато, як може здатися на перший погляд. Але, вони завантажені менш ніж на 50 %. Перша причина - це відсутність у людей звички розділяти сміття. Не допомагають навіть спеціальні контейнери за типами сміття. Люди просто скидали в них все підряд. Друге - це ціна на переробку сміття, вона в 3 рази вище, ніж просте вивезення сміття. Тому комерційно, сортування і переробка відходів, не вигідна справа. Незважаючи на складності в цій сфері, утилізацією пластику в Україні все-таки займаються [7].

Крім того, автоматизація технологічного обладнання, може зіграти невід'ємну роль у перетворенні пластмас, що закінчилися, в нові продукти, щоб зменшити відходи і забруднення, а також знизити витрати на виробництво пластику [2].

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Загальні відомості

1.1.1 Загальні відомості

Переробка пластику почалася в 1970-х роках, через 20 років після повсюдного прийняття матеріалу в повсякденне життя. Але вчорашня переробка не могла встигати за нашим споживанням пластику тоді, і вона не може йти в ногу з сучасним світом, що швидко змінюється.

У 1950 р. світове виробництво пластику становило близько 2 млн т. У 2021 році загальне світове виробництво пластику становило близько 367 2 млн т., і це було невеликим скороченням у порівнянні з попередніми роками через вплив COVID-19 на промисловість пластмас.

З усім цим новим пластиком, випущеним в обіг, можна подумати, що багато з нього буде перероблено, але це не так. Лише частина всього пластику, створеного щороку, збирається для переробки в першу чергу, і більшість того, що є, насправді не переробляється. В результаті більшість пластмас потрапляють на звалища і, в кінцевому підсумку, в навколишнє середовище, збільшуючи глобальні відходи і забруднення як на суші, так і в морі.

З 1992 р. більше половини пластикових відходів країн з високим рівнем доходу, призначених для переробки, експортуються в сотні країн з низьким рівнем доходу для переробки, причому лєвова частка цього йде в Китай. Це забезпечило вихід для управління пластиковими відходами, запобігаючи їх потраплянню на звалища або спалювання, повідомляє Національний центр біотехнологічної інформації.

Але політика Китаю щодо національної політики з 2018 р. змінює це. До цієї політики Міністерство екології та навколишнього середовища країни заявляло, що імпортувало 42,3 млн т. брудної та змішаної вторинної сировини на піку в 2017 р., і більша частина цього була занадто брудною для переробки. У звіті за 2018 р. в зазначено, що ще до заборони менше 13 % імпортованих в країну пластмас перероблялися або спалювалися. Решта пішла на звалища або опинилася

в річках і океанах, і однією з головних причин того, що Китай запровадив нову політику, було зменшення імпорту цих низькоякісних пластмас, які важко сортувати та переробляти.

Забруднення пластиком є зростаючою загрозою для всіх екосистем, і оскільки Китай та інші країни більше не приймають половину відходів у світі - проблема зараз на шляху до більш ніж удвічі до 2030 року, згідно з доповіддю Організації Об'єднаних Націй за 2021 р. Сполучені Штати переробили менше десятої частини своїх пластикових відходів, а Європа справляється краще приблизно з третиною, але тепер у всіх цих країнах буде більше пластику, який вони більше не зможуть експортувати, і з цим ситуація з пластмасами може погіршитися [2].

Переробка пластмас в даний час відстає від переробки інших матеріалів.

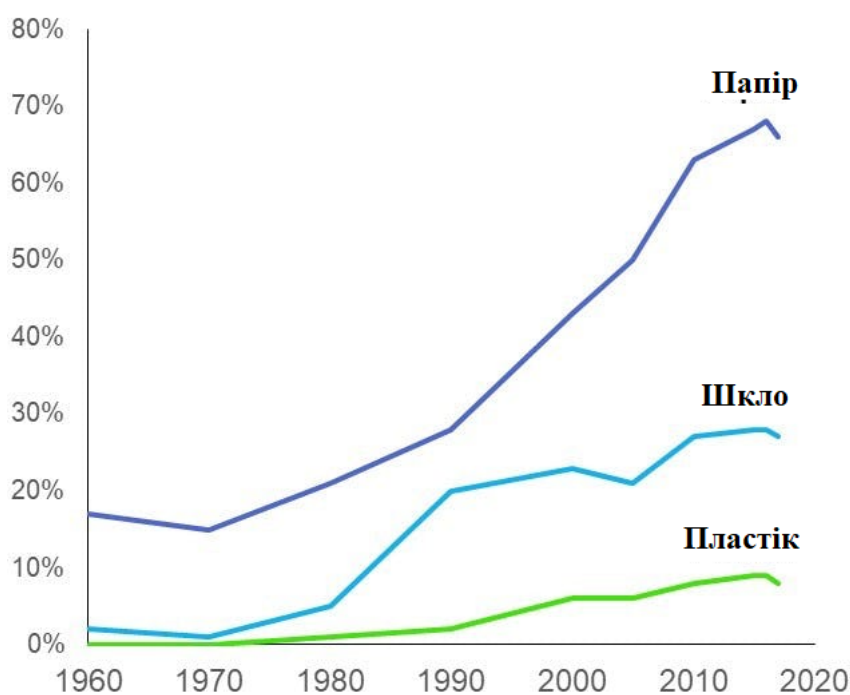


Рисунок 1.1 – Вторинна переробка різних матеріалів [7]

1.1.2 Утилізація пластику

Пластикові відходи в основному утилізуються на звалищах і скидаються в навколишнє середовище. Ці відходи, особливо пластикова упаковка, потрапляють у річки та моря, створюючи значну небезпеку для водного середовища існування.



Рисунок 1.2 - Пластикові відходи



Рисунок 1.3 - Традиційний пластиковий життєвий цикл

Звалища стають все більш дорогими, оскільки збільшується обсяг відходів і зменшується пропускну здатність полігону. Що ще важливіше, скидання пластикових відходів на звалище може призвести до втрати цінних ресурсів і

викликає ряд проблем, таких як адитивне вилуговування та відчуження ділянок землі під звалища [1].

Тим часом, спалювання зазвичай використовується при енергетичній переробці пластикових відходів, оскільки значна кількість енергії може бути відновлена, а енергія може бути використана для виробництва електроенергії, комбінованого тепла, електроенергії або для інших операцій. Однак переробка відходів пластмас шляхом спалювання може завдати шкоди, оскільки в золі і залишках летючої золи виявляються різні токсичні компоненти, які можуть викликати канцерогенез, тератогенез, мутагенез, при концентраціях, що перевищують допустимі межі. Серед цих методів переробка пластикових відходів одночасно пропонує прийнятний і екологічно чистий підхід [1].

1.1.3 Способи переробки пластикових відходів

Переробка пластикових відходів відноситься до процесу управління відходами, який збирає пластикові відходи та перетворює їх на сировину, повторно використану для виробництва інших цінних продуктів. Переробка є не тільки методом утилізації пластикових відходів, але це також ефективний процес мінімізації потреби в первинних пластмасах, що може допомогти зменшити глобальне потепління [1].

Більше переробки, здавалося б, логічне рішення проблеми. На жаль, не всі пластмаси традиційно підлягають вторинній переробці, і більшість з них не можуть бути перероблені багато разів. Більшість постспоживчих пластмас, таких як пакети, в які надходять ваші контейнери для їжі на винос, або упаковки з маргарином і йогуртом, вважаються «непереробленими» за допомогою традиційних методів механічної переробки, при цьому переважна більшість з них спалюється або відправляється на звалища.

Цей пластик, поліпропілен, рідко переробляється. Більш відомий як «Код смоли №5», він використовується у всьому, від пляшок шампуню та пластикових стаканчиків до автомобільних деталей та медичних пристроїв. Видалення

забруднень, кольору і запаху з цих пластмас для їх переробки традиційно було дорогим і складним, часто приносячи погані результати.

Фактично, менше 1% з 7,8 млн. т. поліпропіленового пластику, виробленого щороку, утилізується для переробки та повторного використання. Це також означає, що існує величезна можливість надати найбільш універсальному і широко використовуваному в світі пластику все більше і кращі зусилля з переробки, щоб допомогти йому вписатися в економіку замкненого циклу. Відновлюючи ресурси в кінці терміну служби продукту і направляючи їх назад у виробництво, циркулярна економіка мінімізує тиск продуктів на навколишнє середовище. Коли справа доходить до переробки та повторного використання існуючих продуктів, зокрема, основною метою також є зменшення введення більшої кількості вуглецю в навколишнє середовище [2].

Відповідно до стандарту ASTM D5033, переробка пластику може бути класифікована як первинна, вторинна, третинна та четвертинна переробка.



Рисунок 1.4 - Життєвий цикл відновлюваного пластику

Виходячи з механізму методів, переробку пластикових відходів можна класифікувати як механічну, хімічну та біологічну переробку.

Механічну переробку часто класифікують як первинну або вторинну переробку, а хімічну та біологічну переробку зазвичай класифікують як третинну та четвертинну переробку. Кожен спосіб має свої переваги і недоліки, в залежності від потреб користувача. Іншим аспектом, необхідним при переробці пластикових відходів, є поділ різних матеріалів. Наприклад, полівінілхлорид, (ПВХ, або Лавсан) в процесі екструзії пошкоджує обладнання через хлор, знижуючи якості продукту, такі як колір і в'язкість.

Хімічна переробка, така як каталітичні та термічні процеси, може перетворити пластикові відходи на хімічні речовини / паливо з доданою вартістю. Цей процес є потенційним методом скорочення пластикових відходів як основного джерела екологічних проблем. Оскільки промисловість з виробництва пластмас споживає майже 6 % всієї нафти, виробленої в усьому світі, вилучення мазуту з відходів пластмас може допомогти зменшити глобальну залежність від нафти. Енергія активації каталітичного піролізу з присутністю каталізатора зменшується, і каталітичний піроліз може проводитися при більш низькій температурі, збільшуючи коефіцієнт конверсії полімеру. Каталізатори включають молекулярні сита, перехідні метали, оксиди металів, глини та активоване вугілля, що використовуються для переробки пластику, а також молекулярні сита та відповідний каталізатор для обробки нафтового шламу. Хімічна переробка відноситься до деградації полімерних зав'язків. В результаті відновлення мономерів олігомерів утворюється менша молекулярна маса.

Газифікація: полімер використовується як паливо, отримане з відходів, використовуючи високу температуру. Він перетворюється в синтез-газ з молярним співвідношенням H_2/CO 2:1 в газифікаторі. Вироблений синтез-газ залежить від різних полімерів.

Піроліз: пластикові відходи перетворюються на піролітичне масло, яке еквівалентно дизельному маслу. При даній хімічній переробці теплотворна здатність полімеру впливає на вміст енергії в дизельному паливі.

Гліколіз: етиленгліколь і відходи пластику додаються в присутності каталізатора. Довгий полімерний ланцюг розкладається на базові компоненти, які можуть бути перероблені для виробництва нових полімерів.

Гідроліз: коли біополімери нагріваються і розщеплюються до мономерних базових компонентів, вони можуть бути розчинені у воді. Ці мономери можуть бути перероблені і використані для виготовлення нових продуктів.

Четвертинна переробка - це метод рекуперації енергії за допомогою процесу спалювання відпрацьованого полімеру. Пластикові відходи спалюються. Проте вивільнена енергія захоплюється і заміщується теплом і енергією.

Ці стратегії представляють ієрархію вибору в порядку зростання, від первинної до четвертинної, для управління ресурсами та мінімізації витрат на обробку перетворювачів.

У табл. 1.1 перераховані переваги і недоліки різних способів переробки відходів пластику.

Таблиця 1.1 - Характеристика методів переробки пластикових відходів

Методи	Переваги	Обмеження посилення
Механічний	Це найпростіший процес переробки композитів з металевою матрицею, і він особливо добре підходить для армованих волокнами полімерів, де руйнування волокон здійснюється шляхом подрібнення	Зниження в'язкості розплаву за рахунок гідролітичної та термічної деполімеризації
	Об'єкти переробки прості та економічні, вони споживають менше енергії та ресурсів, ніж процеси хімічної або фізичної переробки	Утворення циклічних і лінійних олігомерів впливає на придатність для друку та фарбування кінцевого продукту
Хімічний	Більші швидкості мономеру з меншим часом реакції	Дорогі інвестиції в розвиток технічної інфраструктури/процесів
	Вищий потенціал рентабельності завдяки застосуванню нових матеріалів	Доцільність промислового масштабу ще не повністю встановлена
	Найбільш економічно ефективні підходи до вискоєфективних композитів для переробки	Потрібна висока температура і багато енергії
Біологічний	Процедура проста у виконанні, а також є екологічно чистою	Деполімеризація відбувається надзвичайно повільно для високомолекулярної маси гідрофобних пластикових полімерів

Пластикові відходи зазвичай піддаються механічному перетворенню методом переробки замкнутого циклу. Проте в мегаполісах ця стратегія не може полегшити накопичені пластикові відходи [1].

1.1.4 Сортування пластикових відходів

На сьогоднішній день поводження з пластиковими відходами привернуло все більшу увагу в усьому світі завдяки своєму впливу на стійкість життя людини. Типові стратегії поводження з пластиковими відходами включають звалища, спалювання, розкладання мікробів, термічне розкладання, механічне подрібнення та переробку, так як швидка та ефективна ідентифікація та класифікація окремих сумішей відходів пластику є складним практичним завданням, і це буде найважливішим компонентом у відходах пластикової промисловості.

Існують різні методи розділення для переробки пластикових відходів, включаючи оптичне сортування (на основі кольорів і піків), розділення щільності (на основі щільності), флотацію (на основі властивостей поверхні) і електростатичне розділення Tribo (на основі ефективної функції поверхневої роботи). Поєднання методів переробки та розділення пластикових це потужний спосіб зменшення накопичення забруднюючих речовин у навколишньому середовищі, спричинених пластиковими відходами.

В даний час певні технології стали найбільш використовуваними методиками ідентифікації та аналізу пластмас. Ці методи можна розділити на елементні/атомні спектроскопії та молекулярні спектроскопії. Проте ці методи використовують різні типи фізичних явищ. Існують різні датчики ідентифікації та сортування відходів пластику.

Молекулярні спектроскопії дають інформацію про молекулярну ідентичність зразка та його молекулярну структуру або конформацію (спектральна сигнатура майже будь-якої речовини), що дозволяє точно ідентифікувати та охарактеризувати. Інфрачервона спектроскопія перетворення Фур'є, терагерцова спектроскопія, комбінаційна спектроскопія та спектроскопія

ближнього інфрачервоного діапазону є важливими методами молекулярної спектроскопії.

При транспортуванні і зберіганні пластикових стаканчиків і пляшок, що використовуються для упаковки мінеральної води, частинки пластику можуть виділятися через тривалий вплив світла, тепла і несприятливих хімічних середовищ. Ці типи пластикових частинок можна ідентифікувати за допомогою кількісної поверхневої комбінаційної спектроскопії та комбінаційної спектроскопія.

Молекули можуть бути стимульовані до більшого енергетичного рівня, коли фотони від лазера взаємодіють з молекулярними коливаннями. Більша частина цієї енергії буде розсіяна за допомогою пружного розсіювання (або розсіювання Релея), при якому енергія вивільнених фотонів дорівнює енергії лазерного фотона. Комбінаційна спектроскопія визначає довжину хвилі непружно розсіяних фотонів. Вивільнений фотон має більш високу або меншу енергію, ніж фотон, що випускається лазером, який можна розглядати як спектр інтенсивності по довжині хвилі. Хіміометрична характеристика спектрів комбінаційного розсіювання виявилася успішною для класифікації матеріалів з різною щільністю.

Лазерно-індукована спектроскопія пробую – це технологія елементного аналізу, яку вже назвали «майбутньою суперзіркою». Цей метод вже широко використовується для аналізаторів сортування пластику. Класифікація та ідентифікація різних видів відходів пластмас є найбільш поширеним використанням, що складається з різних пластикових предметів. Наприклад, побутові матеріали, іграшки, електричні кабелі, контейнери, упаковки та різні види електронних відходів. Крім того, цей метод привернув велику увагу до кількох пластикових сполук, таких як плівки на основі пластику, вибухові речовини з пластиковими зв'язками та біопластик.

Кілька хіміометричних технологій дозволяють ідентифікувати пластикові полімери, а дані збираються за допомогою спектроскопічних підходів. Широка категорія хіміометричних технологій включає часткову регресію найменших квадратів, аналіз головних компонент та аналіз лінійної дискримінації.

Крім того, найбільш широко використовуваним методом сортування відходів пластику шляхом багатофакторного аналізу є аналіз часткової дискримінації найменших квадратів, який є дуже стабільним і простим підходом до даних спектрів.

Ближня інфрачервона гіперспектральна візуалізація - це добре налагоджена технологія для відділення великих пластмас на переробних заводах та управління відходами. Цей метод сортування є неруйнівним, а спектральний діапазон являє собою полімерну область, що легко виявляються за смугами поглинання. Мікропластик має невеликі розміри частинок (< 600 мкм) і його можна легко розпізнати, навіть якщо він невидимий при візуальному огляді або під час обробки. Цей метод є вигідним порівняно з традиційними інфрачервоними (ІЧ) спектрометрами. Специфічність і чутливість відходів пластмас за методом до ближньої інфрачервона гіперспектральної візуалізація становить понад 99 % [1].

Існують пропозиції з широкого спектру передових технологій виявлення для ідентифікації та розділення різноманітних матеріалів, що вже використовуються як основа сортувальних машин. Датчики, які містяться в сучасному обладнанні, схожі на хороші очі; вони бачать більше і тому можуть надати більше інформації (рис. 1.5).

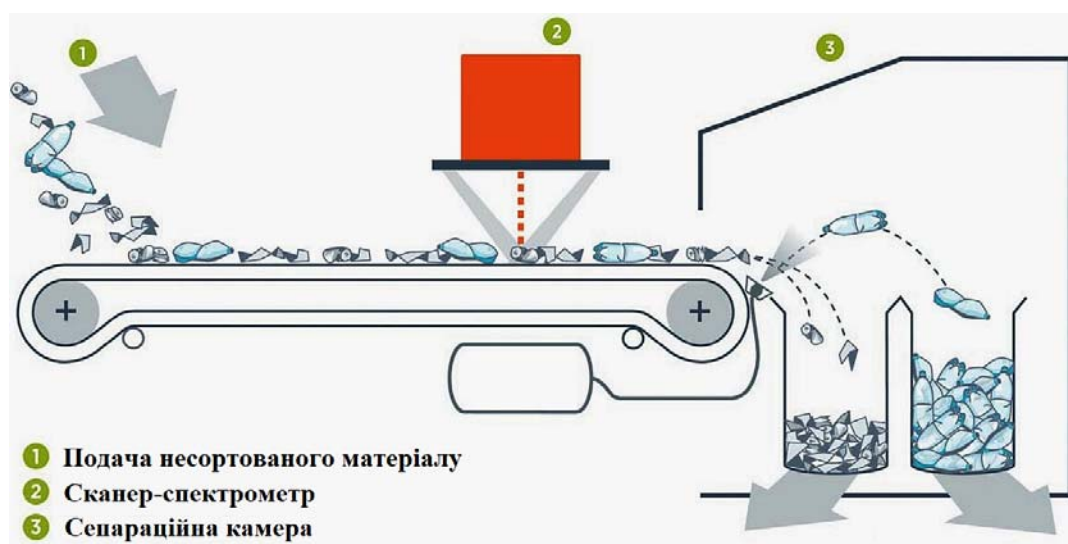


Рисунок 1.5 -Сортування різноманітних матеріалів

Датчики високої роздільної здатності працюють зі швидкістю до 320 000 точок сканування в секунду. Це означає, що навіть найдрібніші об'єкти не

потраплять крізь сітку виявлення, тоді як великі об'єкти можна сканувати набагато точніше, ніж раніше.

Сенсорна технологія розпізнавання пластикових відходів спирається на використання наступного:

- розпізнавання кольорів (COLOR) - розпізнає матеріали за їх кольором, їх можливості виходять за межі видимого спектра і включають інфрачервоний, ультрафіолетовий та інші спектри;
- близький інфрачервоний спектр (NIR) - розпізнає матеріали на основі їхніх специфічних та унікальних спектральних властивостей відбитого світла;
- передача рентгенівського випромінювання (XRT) - розпізнає матеріали на основі їх питомої атомної густини;
- електромагнітне поле (EM) - розпізнає метали за їх провідністю та проникністю;
- візуальна спектрометрія (VIS) - розпізнає всі кольори у видимому спектрі для прозорих, а також для всіх непрозорих об'єктів;
- рентгенівська флуоресцентна технологія (XRF) - розпізнає матеріали за їх атомними характеристиками.

Сортувальні машини працюють на однакових основних принципах. Вхідний матеріал сканує по транспортному жолобу або конвеєрній стрічці через зону датчика. Отримана інформація обробляється в електронному вигляді, щоб, залежно від налаштування критерію сортування, виявлені матеріали вибірково викидалися з потоку матеріалу в сепараційну камеру за допомогою високоточних струменів повітря під тиском [4].

1.2 Технологія переробки пластикових відходів

1.2.1 Механічна переробка

Процес переробки пластику можна розділити на різні види: первинну, вторинну, третинну і четвертинну переробку.

Первинна переробка - це переробка певного та незабрудненого матеріалу, зазвичай брухту, від промислового процесу. Крім того, для забезпечення хорошої якості продукції, перероблений лом або відходи пластмас можна змішувати з новими матеріалами. Тим не менш, процес первинної переробки потребує однорідних, чистих і нерозкладених матеріалів, таких як упаковка, пляшки та товари попереднього споживання, причому продукт первинної переробки дуже схожий на первинний.

Механічна переробка пластикових відходів - це вторинна переробка; Найпоширеніший метод переробки пластикових відходів. Механічна переробка переробляє пост-споживчі пластмаси, виробляє сировину для різних пластмасових виробів. Для порівняння, процес переробки залежить від хімічних і фізичних властивостей відходів пластикових кормів, з точки зору їх походження, складу і форми. На рис. 1.6 показано загальний хід технологічного процесу переробки відходів пластмас механічним способом. Механічна переробка включає кілька методів, наприклад, збір, розділення, сортування та мийку.

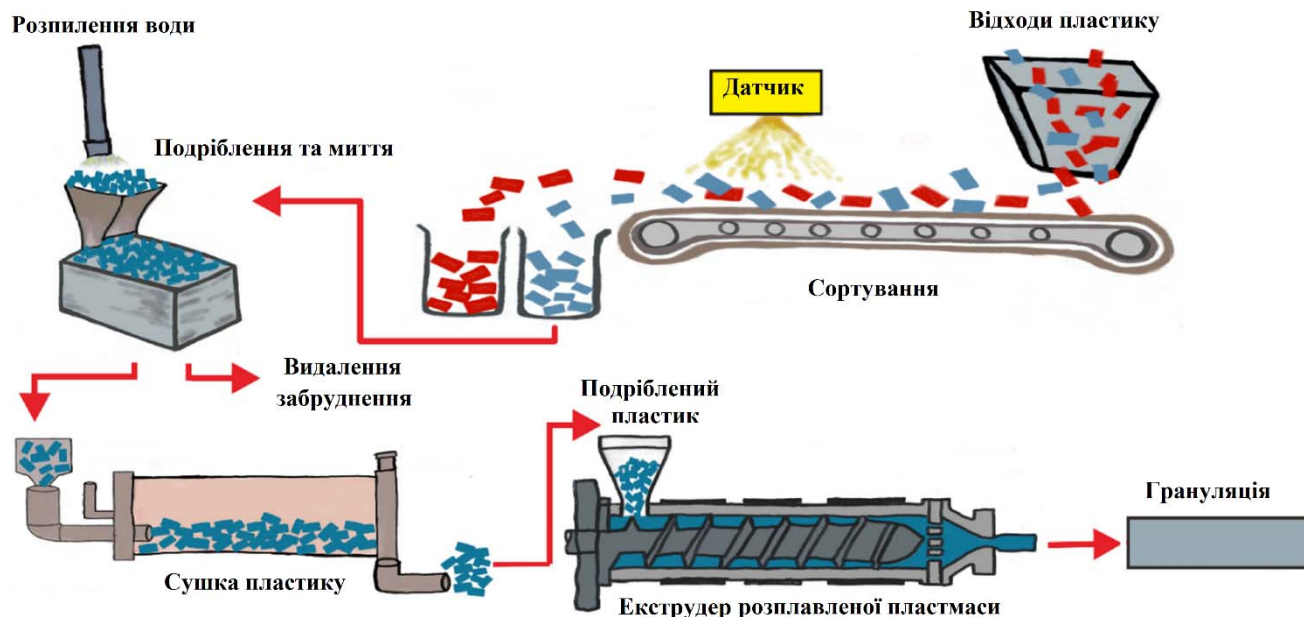


Рисунок 1.6 - Технологічний процес переробки пластмас механічним способом

Основним завданням процесу сортування відходів пластику є отримання високоякісних виробів з переробленого пластику, особливо з одного полімерного потоку. Технології сортування відходів базуються на різних хіміко-фізичних властивостях пластику, наприклад, хімічних сполуках, розмірі, кольорі, формі.

Крім того, матеріали з пост-споживчих відходів містять різні полімерні матеріали та органічні речовини. Подальший процес - зменшення розмірів. Типовий процес зменшення розмірів включає різання або подрібнення; Проте цей процес залежить від типу потоку пластикових відходів і планування заводу. Ці процеси можуть відбуватися до або після стадії сортування.

Інші процеси включають зменшення розмірів, екструзію та грануляцію. Вони можуть відбуватися в різній послідовності і в різний час. Процеси екструзії та гранулювання потрібні для створення гранулювання, яке можливо перетворити в гранули. Крім того, полімерні гранули, як правило, завантажуються в екструдер, нагріваються і пресуються через матрицю, утворюючи суцільний твердий полімерний продукт (нитку). Яку можна охолодити на водяній бані перед процесом гранулювання. Метод гранулювання часто використовується для перетворення пасом в гранули, які потім можуть бути використані для отримання нової продукції [1].

1.2.2 Хімічна переробка

Враховуючи технологічні проблеми з сучасними методами переробки, для вирішення цієї зростаючої проблеми потрібні нові рішення, і хімічна переробка стає визнаним ключовим компонентом переходу від лінійної економіки до економіки замкненого циклу, відокремлення виробництва пластику від джерел викопного палива та відновлення вартості з пластикових відходів.

Хімічна переробка - це широкий термін, який використовується для опису ряду нових технологій, які дозволяють переробляти пластмаси, які або технічно важко переробляти, або неекономічно відновлюватися. Перетворюючи пластикові відходи назад в базові хімічні речовини і хімічну сировину, процеси хімічної переробки мають потенціал для різкого поліпшення темпів переробки і відведення пластикових відходів зі звалищ або спалювання.

Хімічна переробка сировини перетворює залишкові пластикові відходи, які зазвичай потрапляють на звалища або спалюються, в нафту, яка може

використовуватися нафтохімічною промисловістю як сировина для виробництва первинного пластику.

При цій технології здійснюється розділ довгих молекул полімеру назад у мономерний базовий блок молекул, наприклад, полістирол у стирол, з якого можна отримати більше полістиролу.

1.2.2.1 Технологія хімічної переробки сировини

Технологічний комплекс RT7000 є модульним і розробленим для масового використання для хімічної переробки пластикових відходів, що дозволяє легко транспортувати в стандартних вантажних рамах ISO (6 м) і швидко встановлювати на місці, полегшуючи інтеграцію з існуючою інфраструктурою поводження з відходами. Технологічний комплекс RT7000 може обробляти більшість видів пластмас, які рутинно не переробляються, такі як:

- м'яка та гнучка упаковка (наприклад, плівки);
- багатошарові та ламіновані пластмаси (наприклад, хрусткі пакети);
- складний або навіть забруднений пластик (наприклад, лотки для їжі).

Плаxx є вуглеводневим продуктом, який може за своїми властивостями замінити сиру нафту, це цінна хімічна сировина, яка після доопрацювання може бути використана у виробництві нового первинного якісного пластику.

Плаxx не призначений для використання в якості палива. Це цінний матеріал у круговій економіці та ланцюжку створення доданої вартості пластмас, забезпечуючи перероблений вміст нових пластикових виробів відповідно до державних цілей [4].

Технологічний комплекс RT7000 використовує – технологічний процес званий термічним крекінгом, для розбиття довгих ланцюгів полімерів на більш короткі ланцюги за рахунок використання тепла за відсутності кисню.

Технологічний комплекс RT7000 розроблена перш за все для інтеграції з існуючою інфраструктурою з механічною переробкою пластику, з метою збільшення загальної потужності переробки обох методів.

Технологічний комплекс RT7000 (рис. 1.7) перш за все призначений для вирішення проблеми, уникаючи непотрібного додаткового транспортування пластикових відходів і викидів вуглецю, пов'язаних з технологічним процесом механічної переробки пластикових відходів.

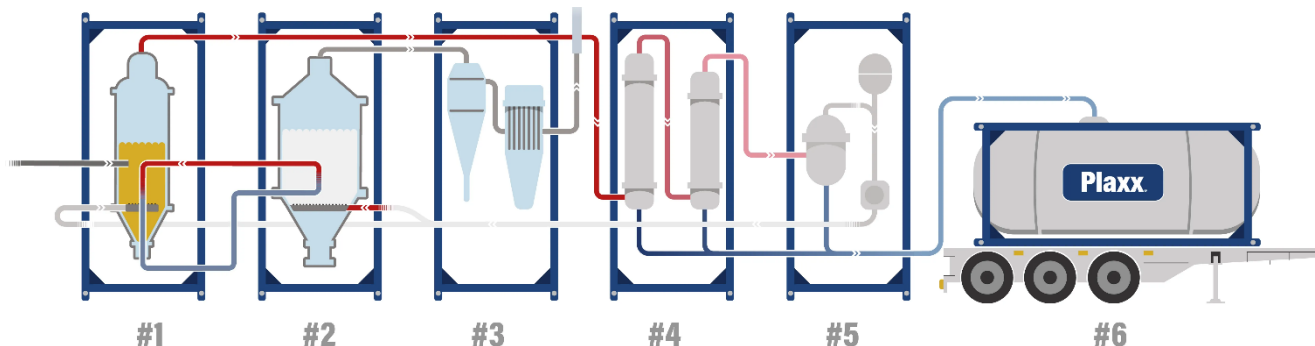


Рисунок 1.7 - Технологічний комплекс з технологією RT7000

Технологічний комплекс з технологією RT7000 містить наступні технологічні апарати:

- модуль #1 - реактор термокрекінгу

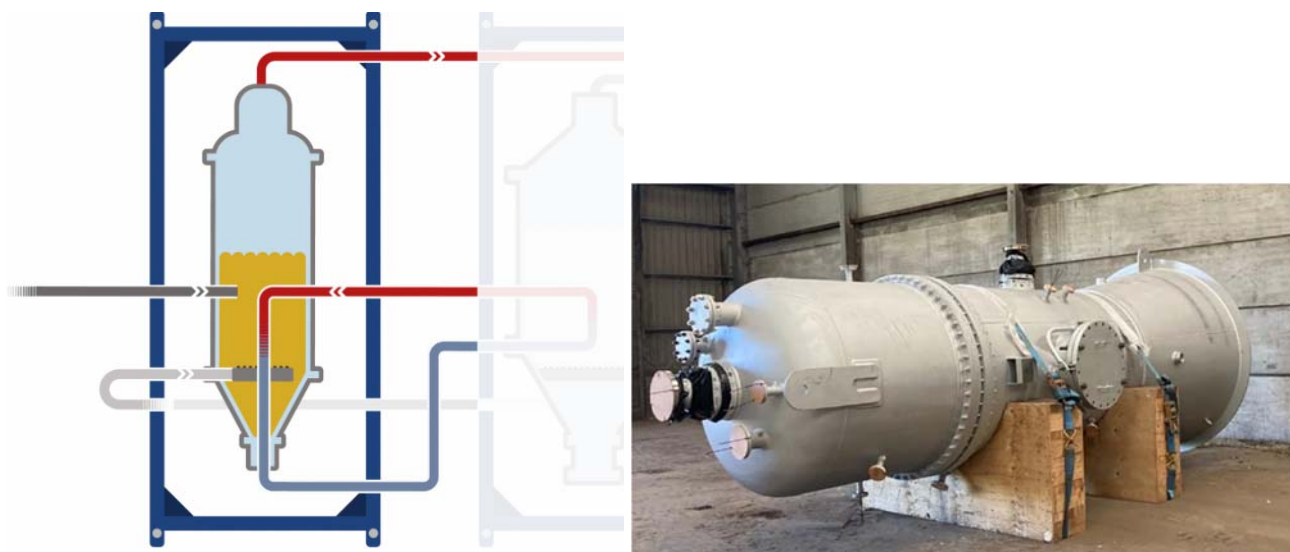


Рисунок 1.8 - Модуль #1 - реактор термокрекінгу

Цей модуль використовує киплячий шар, що складається з матеріалу піщаного типу, який працює при високих температурах. Енергія для термічного крекінгу для цього надходить від матеріалу гарячого піщаного типу, завдяки чому «розбиваються» довголанцюгові молекули, які є в змішаних пластикових відходах, на пар коротколанцюгових вуглеводнів. Ця вуглеводнева пара транспортується до модуля #4 для подальшої перегонки в кінцеві продукти.

– модуль #2 – регенератор;

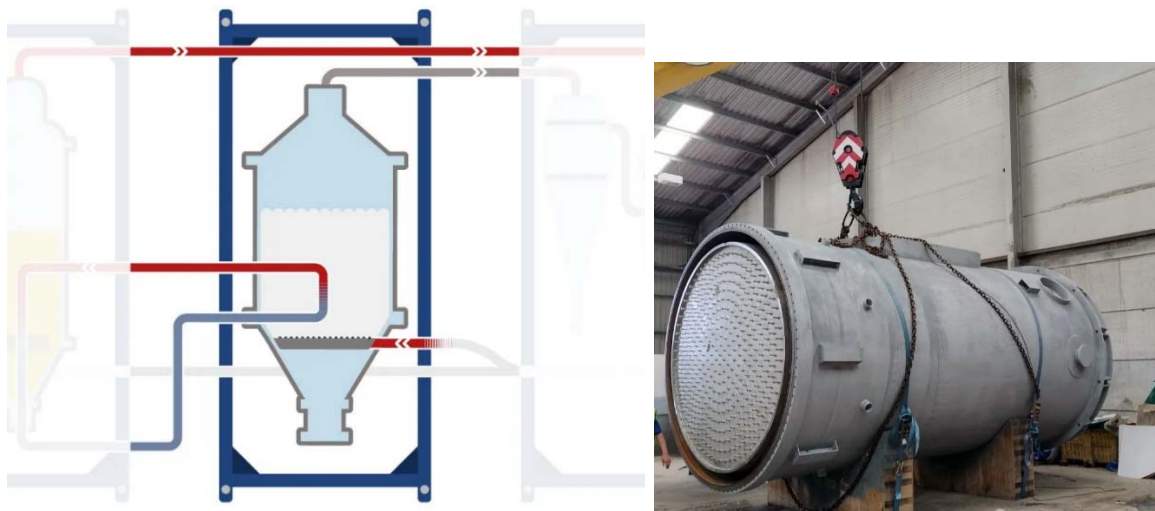


Рисунок 1.9 - Модуль #2 - регенератор

Регенератор працює разом з реактором термокрекінгу (модуль #1), забезпечуючи його теплом і енергією, необхідними для процесу крекінгу. Він робить це шляхом спалювання частини легких вуглеводневих газів, які утворюються в цьому технологічному процесі. Регенератор також забезпечує безперервне підігрівання легких вуглеводневих газів киплячого шару, які необхідні для видалення вуглеводів, що утворюється в реакторі термокрекінгу (модуль #1).

– модуль #3 – установка рекуперації тепла та очищення димоходу;

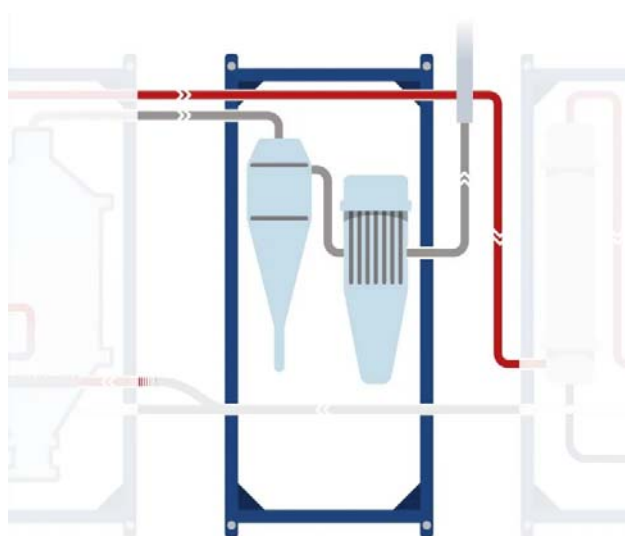


Рисунок 1.10 - Модуль #3 – установка рекуперації тепла та очищення димоходу

Цей модуль очищає продукти згоряння, які передаються в нього від регенератора (модуль #2) через процес очищення. Процес очищення в рамках цього модуля забезпечує високий стандарт кондиціонування та фільтрації димових газів з регенератора. Це гарантує, що газ викидається в атмосферу тільки після його ретельної фільтрації відповідно до нормативних стандартів.

- модуль #4 - установка дистиляції продукту;

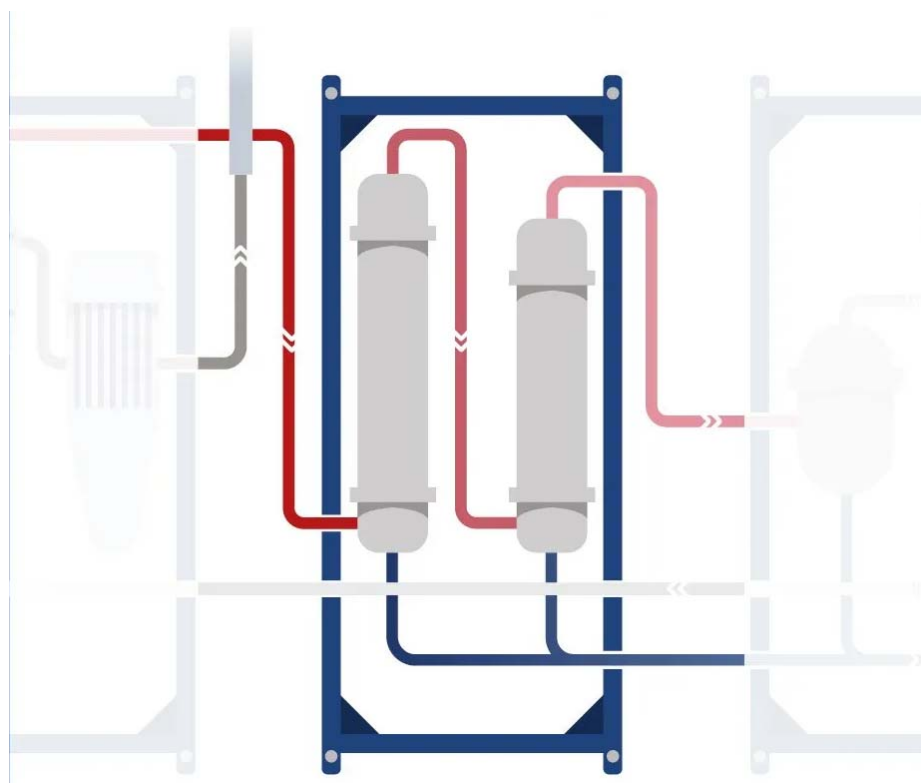


Рисунок 1.11 - Модуль #4 – установка дистиляції продукту

Пари вуглеводнів, вироблені в термічному крекері (модуль #1), транспортуються до цього модуля, установки дистиляції продукту, в якому є послідовна серія з ректифікаційних колон. Тут пар «переганяється» в продукти Рлахх, починаючи від воску і закінчуючи рідиною.

- модуль #5 – установка утилізації легкого вуглеводневого газу;

У цьому модулі легкий вуглеводневий газ відокремлюється від дистильованих рідких продуктів і циркулює назад до регенератора (модуль #5) для використання в якості джерела енергії для процесу горіння і безперервного видалення легких вуглеводневих, що утворюється в реакторі термокрекінгу (модуль #1).

Окремо ще раз зазначимо, що енергія, необхідна для процесу термічного крекінгу, надходить від самого перероблюємого пластику, що робить технологічний комплекс RT7000 високоефективним.

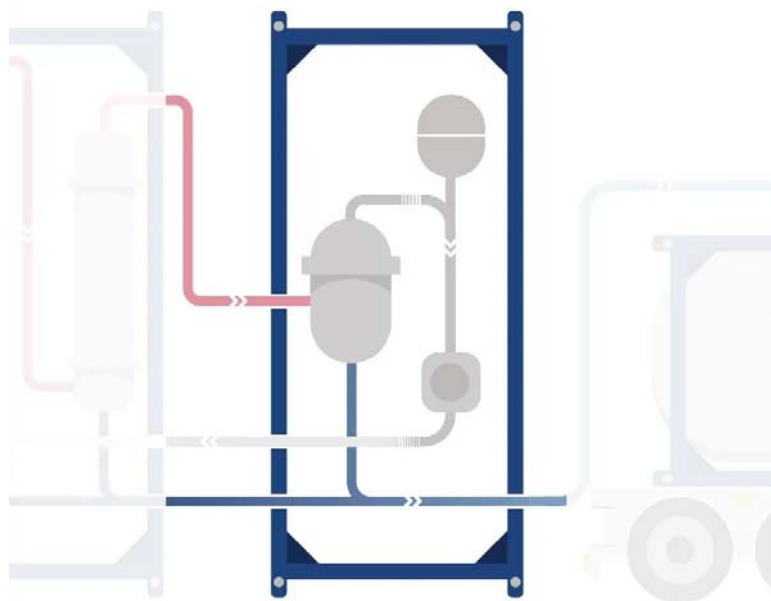


Рисунок 1.12 - Модуль #5 – установка утилізації легкого вуглеводневого газу

– модуль #6 – ємності для транспортування готової сировини Plaxx.



Рисунок 1.13 - Модуль #6 – ємність для транспортування сировини Plaxx

Нарешті за допомогою ємностей для транспортування (модуль #6) здійснюється транспортується всього спектру готового продукту Plaxx до наступного пункту призначення.

Найважча фракція - віск, може бути змішана і використана в ряді застосувань, включаючи такі як гідроізоляція або навіть свічки. Фракція нафти може бути використана як заміник хімічної сировини, отриманої з викопного палива, і подаватися в нафтохімічний процес для подальшого виробництва нових первинних пластмас [5].

1.3 Об'єкта керування

1.3.1 Завод Greenstep

Завод з механічної переробки пластику «Greenstep» знаходиться в Харкові, він має сучасне обладнання, власну лабораторію та досвідчених технологів. Завод успішно займається переробкою пластикових пляшок.

На заводі успішно працює технологія з механічної переробки пластикових пляшок, які проходять весь цикл переробки - сортування, миття, дроблення, потім, вже з підготовленої сировини, на цьому ж заводі виготовляється синтепон, синтепух, холлофайбер, струтопласт. На підприємстві можна також купити готові ПЕТ гранули - це вже перероблений пластик, сформований в гранули для подальшого використання [7].

Завод має бажання значно розширити асортимент з переробки пластику за сучасними технологіями – перш за все хімічної переробки.



Рисунок 1.14 - Завод Greenstep

Нещодавно завод придбав технологічний комплекс RT7000.



Рисунок 1.15 - Технологічний комплекс за технологією RT7000

Для пошуку додаткових шляхів удосконалення своєї продукції завод має плани з модернізації свого обладнання.

1.3.2 Реактор термкрекінгу

У кваліфікаційній роботі бакалавра об'єктом керування було обрано реактор термкрекінгу (реактор киплячого шару) типу TC-PW-RT7000, який використовується у технологічному процесі безперервної хімічної переробки пластику (рис. 1.16).

Киплячий шар - найбільш масштабована технологія реактора, що забезпечує гнучкість у тому технологічному процесі, де вона використовується.

Реактор самоочищається, що дозволяє переробляти залишкові пластмаси.

Однорідні і швидкі параметри нагріву дають високий вихід піролізних вуглеводів. Безперервний процес призводить до підвищення теплової ефективності.

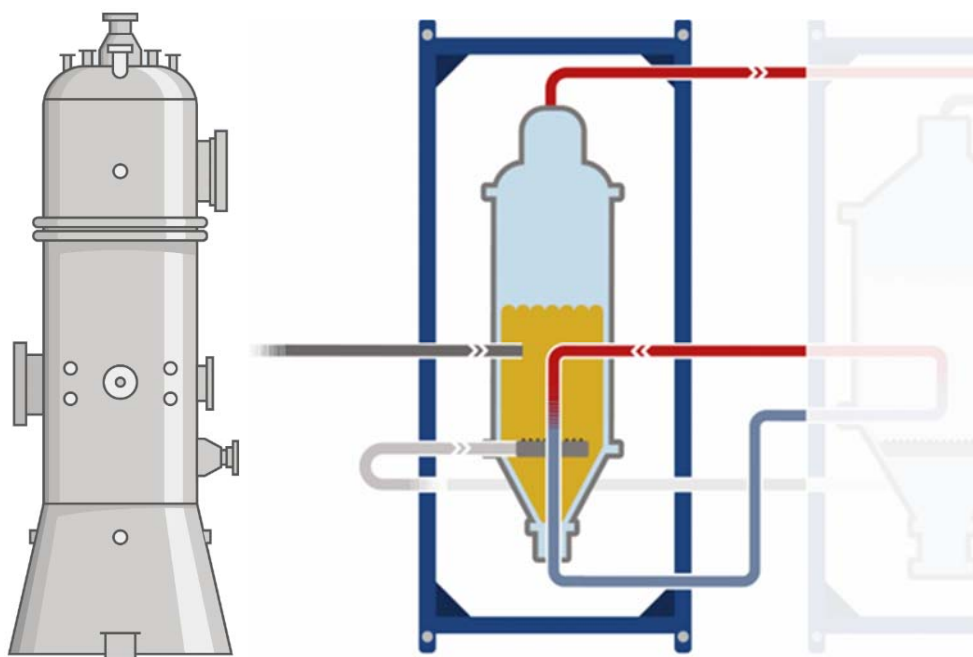


Рисунок 1.16 - реактор термокрекінгу

Пластикові відходи з лінії технологічного процесу механічної переробки у подробленому (перемеленому) вигляді шнековим дозатором подаються у реактор термокрекінгу TC-PW-RT7000. Реактор термокрекінгу використовує киплячий шар, що складається зі спеціального матеріалу піщаного типу, який нагрітий до високої температурах. Енергія для термічного крекінгу пластику надходить від цього піщаного матеріалу, завдяки чому і здійснюється розкладання довголанцюгових молекули, які є в змішаних пластикових відходах, на пар коротколанцюгових вуглеводнів. Ця утворена вуглеводнева пара транспортується до наступних апаратів для подальшої її перегонки в кінцевий продукт – відновлених важких фракцій нафти, які в подальшому можуть бути використана як замітники нафтової сировини, отриманої з викопного палива, і подаватися в нафтохімічний процес для виробництва нових первинних пластмас.

Теплова енергія для реактора термокрекінгу надходить з регенератора. Регенератор також забезпечує безперервне підігрівання легких вуглеводневих газів киплячого шару, які необхідні для потокового видалення вуглеводів, що утворюється в реакторі термокрекінгу в процесі переробки пластику.

1.3.3 Характеристика об'єкта керування

1.3.3.1 Термічний крекінг

Напрямок термічного крекінгу залежить від природи вуглеводневої сировини, її молекулярної маси та умов проведення процесу. Термічний крекінг протікає в основному по радикально-ланцюговому механізму з розривом зв'язку С-С в парафінових молекулах (С₅ і вище), нафтових, алкілароматичних і висококиплячих неграничних вуглеводнів нафтової сировини і зв'язку С-Н в низькомолекулярних парафінових та інших вуглеводнях.

Одночасно з розривом зв'язку відбуваються реакції полімеризації (неграничні і циклопарафінові вуглеводні) і конденсації (циклізації; неграничні, нафто- і алкілароматичні та інші вуглеводні), що призводять до утворення смолисто-асфальтенового крекінг-залишку і коксу.

Найважливішими параметрами, що визначають напрямок і швидкість протікання термічного крекінгу, є температура, тривалість і тиск. Процес починає в помітному ступені протікати при 300...350 °С і описується кінетичним рівнянням першого порядку.

Температурна залежність константи швидкості підпорядковується рівнянню Арреніуса. Зміни тиску впливають на склад продуктів процесу (наприклад, на вихід залишкових фракцій і коксу) внаслідок зміни швидкостей і характеру вторинних реакцій полімеризації і конденсації, а також обсягу реакційної суміші [8].

Зазвичай термічний крекінг проводиться за температури 470...540 °С і тиску 2...4 МПа [9].

1.3.3.2 Технологічний показники реактора термокрекінгу

Технологічні показники реактора термокрекінгу ТС-PW-RT7000:

– продуктивність переробки пластмас, т/г	3,2...7,0;
– продуктивність вихідних продуктів, тис. м ³ /г	2,9...6,12;
– температура термічного крекінгу, °С	450...520;
– температура повітряного теплоносія, °С	500...570;

- продуктивність повітряного теплоносія, тис. м³/Г 5,1...9,5;
- тиск термічного крекінгу, МПа 2,4...3,8;
- час термічного крекінгу, хв 25...45;
- продуктивність подачі газу киплячого шару, тис. м³/Г 4,3...8,5.

1.3.4 Структура об'єкту керування

На рис. 1.17 представлена структурна схема реактору термокрекінгу типу



Рисунок 1.17 – Структура об'єкту керування – реактор термокрекінгу TC-PW-RT7000

TC-PW-RT7000, де зазначені вхідні і вихідні сигнали.

Об'єкт має наступні вихідні сигнали:

- продуктивність пластмаси, т/Г 10,0;
- продуктивність вихідних газів, т/Г 15,0;
- продуктивність повітряного теплоносія, тис. м³/Г 10,0.
- температура повітряного теплоносія, °С 600;
- тиск у реакторі, МПа 5,0;
- продуктивність газу киплячого шару, тис. м³/Г 10;
- температура газу киплячого шару, тис. м³/Г 600;

Об'єкт має наступні вхідні сигнали:

- шнековий дозатор подачі пластмаси, кВт 12,6;

- засувка повітряного теплоносія, тис. м³/г 10,0;
- насос тиску у реакторі, кВт 7,6;
- насос газу киплячого шару, тис. м³/г 10.

Датчики збирають інформацію про технологічний процес у реакторі термокрекінгу ТС-PW-RT7000.

В залежності від показників датчиків відбувається керування реактором термокрекінгу ТС-PW-RT7000 у відповідності до заданих технологічних показників роботи.

1.4 Формулювання задачі дослідження

Система керування реактором термокрекінгу ТС-PW-RT7000 має підтримувати задані технологічні параметри, які необхідні здійснення якісного виділення продуктів термічного крекінгу пластмаси.

Основними каналами керування є канали:

- «продуктивність подачі пластмаси – продуктивність вихідних газів»;
- «продуктивність повітряного теплоносія – продуктивність вихідних газів»;
- «температура повітряного теплоносія – продуктивність вихідних газів»;
- «тиску у реакторі – продуктивність вихідних газів»;
- «продуктивність газів киплячого шару – продуктивність вихідних газів»;
- «температура газів киплячого шару – продуктивність вихідних газів»;

Основними збурючим фактором є:

- температура подачі пластмаси;

Для автоматизації роботи реактору термокрекінгу ТС-PW-RT7000 обрано варіант побудови системи керування за каналом «продуктивність подачі пластмаси – продуктивність вихідних продуктів» як більш впливового на якість роботи реактору термокрекінгу ТС-PW-RT7000.

Для побудови системи керування за обраним каналом маємо наступні показники:

- продуктивність переробки пластмас, т/г 3,2...7,0;
- продуктивність вихідних газів, тис. м³/г 2,9...6,12;

Система керування реактором термокрекінгу ТС-PW-RT7000 має відповідати вимогам технологічного процесу, наведеного раніше при його огляді і обов'язково бути виконана за допомогою стандартних компонентів, які мають відповідні сертифікати відповідності.

1.5 Висновки за розділом

Об'єктом керування виступає технологічний апарат - реактор термокрекінгу ТС-PW-RT7000, який використовується у технологічному процесі який використовується у технологічному процесі безперервної хімічної переробки пластику на заводі «Greenstep» (м. Харків).

Автоматизація реактору термокрекінгу ТС-PW-RT7000 включає в себе автоматичне керування, дистанційне керування, технологічний захист, тепловий контроль, технологічні блокування і сигналізацію. Експлуатація реактору термокрекінгу ТС-PW-RT7000 повинна забезпечувати надійний і ефективний процес при хімічній переробці пластику. Система керування також має забезпечити для обслуговуючого персоналу безпечні умови праці. Для виконання цих вимог експлуатація повинна здійснюватися в суворій відповідності з законами, правилами, стандартами і директивами.

Керування роботою реактором термокрекінгу ТС-PW-RT7000 повинно здійснюватися за основним каналом «продуктивність подачі пластмаси – продуктивність вихідних газів».

Для підвищення ефективності роботи технологічного обладнання безперервної хімічної переробки пластику на заводі «Greenstep» треба модернізувати систему керування реактором термокрекінгу ТС-PW-RT7000. Таким чином є гостра потреба у математичній моделі об'єкту керування, працюючого у допустимих технологічних межах, які у наступному мають бути

використані при синтезі нової системи керування цим технологічним об'єктом керування.

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування - реактором термореакції TC-PW-RT7000 для регульованої продуктивності вихідних газів в залежності від продуктивності подачі пластмаси. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Сучасна система керування дозволить контролювати процес виробництва і отримати кінцевий продукт з заданими технічними характеристиками.

Також ця система керування матиме можливість фіксації та збереження параметрів роботи всього технологічного обладнання.

2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми підсистеми керування

У кваліфікаційній роботі бакалавра об'єктом керування виступає технологічний апарат - реактор термокрекінгу ТС-PW-RT7000, який використовується у технологічному процесі безперервної хімічної переробки пластику на заводі «Greenstep» (м. Харків).

Реактор термокрекінгу ТС-PW-RT7000 виконано по найбільш масштабованій технології реактора з киплячий шаром. Такий тип реактора забезпечує гнучкість у тому технологічному процесі, де він використовується.

Реактор киплячого шара самоочищається, що дозволяє переробляти залишкові пластмаси. Однорідні і швидкі параметри нагріву дають високий вихід піролізних вуглеводів. Безперервний процес призводить до підвищення теплової ефективності.

Пластикові відходи з лінії технологічного процесу механічної переробки у подробленому (перемеленому) вигляді шнековим дозатором подаються у реактор термокрекінгу ТС-PW-RT7000. Реактор термокрекінгу використовує киплячий шар виконаний зі спеціального матеріалу піщаного типу, який нагрівається до високої температурах. Енергія для термічного крекінгу відходів з пластику надходить від цього піщаного матеріалу, завдяки чому і здійснюється розкладання довголанцюгових молекули, які є в змішаних пластикових відходах, на пар коротколанцюгових вуглеводнів. Ця утворена вуглеводнева пара транспортується до наступних апаратів для подальшої її перегонки в кінцевий продукт – відновлених важких фракцій нафти, які в подальшому можуть бути використана як замітники нафтової сировини, отриманої з викопного палива, і подаватися в нафтохімічний процес для виробництва нових первинних пластмас.

Теплова енергія для реактора термокрекінгу надходить з регенератора. Регенератор також забезпечує безперервне підігрівання легких вуглеводневих

газів киплячого шару, які необхідні для потокового видалення вуглеводів, що утворюється в реакторі термокрекінгу в процесі переробки пластику.

На об'єкті керування розташовані наступні датчики:

– продуктивність пластмаси, т/г	10,0;
– продуктивність вихідних газів, т/г	10,0;
– продуктивність повітряного теплоносія, тис. м ³ /г	10,0.
– температура вихідних газів, °С	600;
– температура повітряного теплоносія, °С	600;
– тиск у реакторі, МПа	5,0;

На об'єкті розташовані наступні виконавчі пристрої:

– шнековий дозатор подачі пластмаси, кВт	12,6;
– засувка повітряного теплоносія, тис. м ³ /г	10,0;
– насос тиску у реакторі, кВт	7,6;
– насос газу киплячого шару, тис. м ³ /г	10.

Призначення відповідних датчиків и виконавчих пристроїв описано у попередньому розділі.

Основними каналами керування є канали:

- «продуктивність подачі пластмаси – продуктивність вихідних газів»;
- «продуктивність повітряного теплоносія – продуктивність вихідних газів»;
- «температура повітряного теплоносія – продуктивність вихідних газів»;
- «тиску у реакторі – продуктивність вихідних газів»;
- «продуктивність газів киплячого шару – продуктивність вихідних газів»;
- «температура газів киплячого шару – продуктивність вихідних газів»;

Основними збурючим фактором є:

- температура подачі пластмаси;

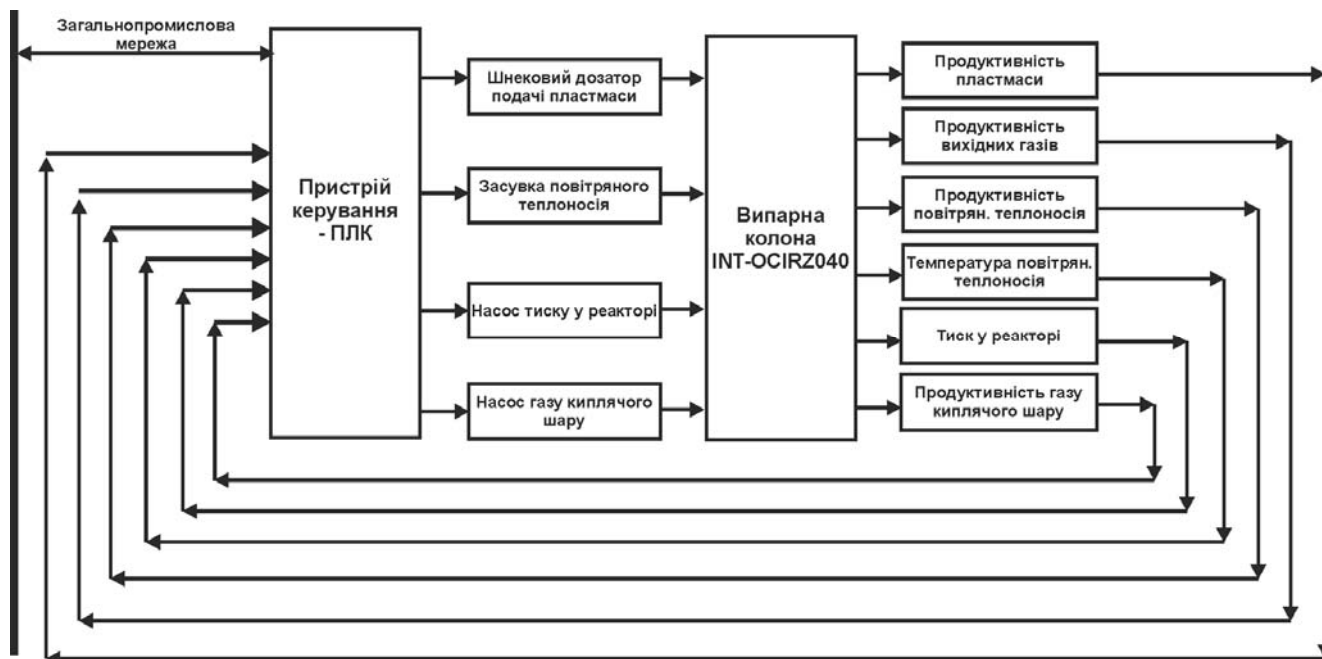


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи керування

Вибір компонентів автоматизації, необхідних для побудови системи керування треба здійснювати на основі існуючих пропозицій з серійних засобів автоматизації, сертифікованих в Україні. Якщо є можливість, то необхідно обирати з пристрої які вироблені в Україні, або які вже поставляються в Україну.

Вибір приладів буде проводитися відповідно до необхідного діапазону показників сигналів та умов експлуатації.

2.2 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування

Датчики слід обирати відповідно до переліку входних сигналів, параметри яких треба вимірювати, враховуючи можливий розширений діапазон їх можливих змін.

2.2.1 Вибір датчиків

2.2.1.1 Датчики температури

Для системи керування необхідно здійснювати вимірювання параметрів температури у в різних точках реактору термокрекінгу ТС-РW-RT7000:

- температура вихідних газів, °С 600;
- температура повітряного теплоносія, °С 600.

Сімейство вимірювальних перетворювачів температури фірми Siemens представлено термоперетворювачами опору і термопарами для якісного вимірювання температури в будь-яких, навіть самих екстремальних, умовах. Датчики застосовуються в хімічній, фармацевтичній, харчовій, енергетичній та інших галузях промисловості. Існують варіанти датчиків з цифровою індикацією показань. Також доступні вибухозахищене виконання датчиків. Використаємо перетворювач SIEMENS TC моделі SITRANS TSinsert, які являються змінними вимірювальними вставками для TC моделі SITRANS TS500. Діапазон вимірюваних температур: $-50...400\text{ }^{\circ}\text{C}$; $-196...600\text{ }^{\circ}\text{C}$; $-40...+1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ термопара. Датчики мають варіант виконання з виходом $4...20\text{ mA}$ [10].



Рисунок 2.2 – Датчик температури Siemens SITRANS TS500-TSinsert

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики датчику температури Siemens SITRANS TS500-TSinsert

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	Siemens SITRANS TS
2	Номинальний діапазон вимірювання, $^{\circ}\text{C}$	$-196...600$
3	Принцип вимірювання	Термопара
4	Точність, %	0,05
5	Вихідний сигнал, мА	$4...20$
6	Напруга живлення, В	$12...30$
7	Потужність споживання, Вт	2
8	Температура експлуатації, $^{\circ}\text{C}$	$-25...+85$
9	Матеріал корпусу	сталь 1.4571/316Ti
10	Різьба	G1/2В зовнішня і G1/8В внутрішня

2.2.1.2 Датчики тиску

Для системи керування необхідно здійснювати вимірювання тиску у реакторі термокрекінгу TC-PW-RT7000:

– тиск у реакторі, МПа 5,0;

Для контролю тиску використаємо вимірювальний перетворювач тиску Siemens SITRANS P ZD, сконструйований відповідно до особливих вимог харчової, фармацевтичної та біотехнічної промисловості. Використання високоякісних матеріалів забезпечує виконання гігієнічних вимог [11].



Рисунок 2.3 – Датчик тиску Siemens SITRANS P ZD

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики датчику тиску Siemens SITRANS P ZD

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	Siemens SITRANS P ZD
2	Номінальний діапазон вимірювання, МПа	0...5,0
3	Принцип вимірювання	Тонко-плівковий техно-датчик
4	Точність, %	0,2
5	Масштабування	1:10
5	Вихідний сигнал, мА	4...20
6	Напруга живлення, В	12...30
7	Потужність споживання, Вт	2
8	Температура вимірювання, °С	-25...+200
9	Температура експлуатації, °С	-25...+85
10	Матеріал корпусу	нерж. сталь с класом захисту IP65
11	Різьба	G3/4В внутрішня

Датчик тиску Siemens SITRANS P ZD може замовлятися у багатьох варіантах виконання. Завдяки цьому можливе точне узгодження вимірювального перетворювача тиску з умовами у місці використання.

Датчик тиску Siemens SITRANS P ZD слід встановлювати через додатковий подовжувач – для компенсації надлишкової температури в зоні вимірювання (яка може сягати 600 °C, а температура вимірювання обмежена на рівні 200°C).

2.2.1.3 Датчики витрати

Для системи керування необхідно здійснювати вимірювання продуктивності вхідних і вихідних параметрів реактору термокрекінгу TC-PW-RT7000:

- продуктивність пластмаси, т/Г 10,0;
- продуктивність вихідних газів, т/Г 10,0;
- продуктивність повітряного теплоносія, тис. м³/Г 10,0.

Siemens пропонує повну гаму високоточних масових витратомірів для застосування у багатьох галузях промисловості та у критичних технологічних процесах. Завдяки своїй точності вимірювання прилади Siemens надають точну інформацію про рідини або гази, що рухаються трубами, для дозування, змішування продуктів, розрахунку витрат та багатьох інших застосувань. Витратоміри мають висока точність – 0,1 % від масової витрати – та стабільність повторюваності, здійснюють вимірювання цілого ряду параметрів - масової витрати, об'ємної витрати, щільності, фракції та температури. Зміна тиску або температури не впливає на вимірювання.

Кожен витратомір калібрується перед постачанням на заводі-виробнику. Техобслуговування не потрібне завдяки відсутності рухомих компонентів.

Ці витратоміри є єдиними витратомірами на ринку, які можуть повністю конфігуруватися користувачем, як програмного, так і апаратного забезпечення. Інтелектуальна платформа USM II (Universal Signal Modul – універсальний сигнальний модуль) дозволяє додавати окремі необхідні функції завдяки додатковим модулям з опціональними функціями. Одного разу встановлений

модуль автоматично розпізнається і програмується за допомогою модуля пам'яті SENSORPROM на заводські установки. Крім того, модульність підвищується за рахунок підтримки платформою USM II всіх сучасних і стадії розробки комунікаційних протоколів, таких як HART, Profibus або CANopen.

Для вимірювання витрати використаємо витратомір Siemens Promass 84F [12].



Рисунок 2.4 – Витратомір Siemens Promass 84F

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики витратоміра Siemens SONO 3300/FUS060

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	Siemens SITRANS FX300
2	Номінальний діапазон вимірювання, т/Г (тис.м ³)	0...10
3	Точність, %	0,1
4	Вихідний сигнал, мА	4...20
5	Напруга живлення, В	14...36
6	Потужність споживання, Вт	4
7	Температура експлуатації, °С	-20...+85
8	Температура потоку, °С	-0...+600
9	Номінальний тиск, МПа	35
10	Матеріал корпусу	Сталь 1.4404/316L
11	З'єднання	Фланець DN 250

2.2.1.4 Датчик положення засувки

Ступінь відкриття засувки будемо контролювати за допомогою енкодера E40H 012 2000 2 N 24 з 2 000 імпульсами на обороті і напругою живлення 24 В (рис. 2.5) які будуть змонтований на вісь засувки [13].

В табл. 2.4 наводяться технічні характеристики енкодера.

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики енкодера E40H-012-2000-2-N-24

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип з'єднання	Прохідний отвір
2	Діаметр отвору, мм	12
3	Чутливість, імп. / об	2 000
4	вихідні фази	A, B
5	Тип виходу	NPN
6	Напруга живлення, В	12...24



Рисунок 2.5 – Енкодер E40H-012-2000-2-N-24

На підставі обраних датчиків та їх технічних характеристик складена табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Датчики

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Точність	Значення виходу	Період оновлення	Напруга живлення	Споживання, Вт
1	Температура повітряного теплоносія	Термопара	Аналоговий	-196...600 °С	±0,05 %	4...20 мА	0,1 с	12...30 В	2
2	Температура вихідних газів	Термопара	Аналоговий	-196...600 °С	±0,05 %	4...20 мА	0,1 с	12...30 В	2
3	Тиск у реакторі	Тонкоплівковий	Аналоговий	0...10 МПа	0,2 %	4...20 мА	0,1 с	12...30 В	2
4	Продуктивність пластмаси	Витратомір	Аналоговий	0...10 т/г	±0,1 %	4...20 мА	0,1 с	14...36 В	3
5	Продуктивність вихідних газів	Витратомір	Аналоговий	0...10 т/г	±0,1 %	4...20 мА	0,1 с	14...36 В	3
6	Продуктивність повітряного теплоносія	Витратомір	Аналоговий	0...10 т/г	±0,1 %	4...20 мА	0,1 с	14...36 В	3

2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв

В системі керування мають бути вихідні ланцюг узгодження з наступним технологічним електрообладнанням:

– шнековий дозатор подачі пластмаси, кВт	12,6;
– насос тиску у реакторі, кВт	7,6;
– насос повітряного теплоносія, тис. м ³ /Г	10,0;
– засувка повітряного теплоносія, тис. м ³ /Г	10,0.

2.2.2.1 Частотні перетворювачі

Для шнекового дозатору подачі пластмаси, насосу тиску у реакторі і насос газу киплячого шару використовуються асинхронні трьох фазні електропривод потужністю 12,6 ; 7,6; та 10,0 кВт. Згідно з завданням система керування повинна реалізувати плавне регулювання продуктивності їх роботи. Таким чином керування цими електроприводами повинно бути лінійним (безперервним), тобто треба забезпечувати пропорційне керування.

Таким чином для керування електроприводами цього обладнання обрано трьох фазний частотний перетворювач 15 кВт (~380...500 В) Schneider ATV320D15N4B книжкового виконання з аналоговим входом керування 4...20 мА, та RS-485 (рис. 2.6) [14].



Рисунок 2.6 – Частотний перетворювач Schneider ATV320D15N4B

Технічні характеристики частотного перетворювача наведені в табл. 2.8.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики частотного перетворювача Schneider ATV320D15N4B

Найменування параметра	Значення
Тип	Скалярний
Напруга живлення, В	~380...~500
Потужність, кВт	15
Діапазон частот, Гц	0...240
Діапазон аналогового сигналу керування, мА	4...20
Ступінь захисту	IP20

2.2.2.2 Засувка шарова

Згідно з завданням система керування повинна реалізовувати плавне регулювання продуктивності подачі повітряного теплоносія до 600 С, тиском до 10 МПа та продуктивністю до 10 тис. м³/г. Використаємо високотемпературну шарову засувку UFL -150-AS з електроприводом (табл. 2.7) [15].

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики високотемпературної шарової засувки UFL -150-AS

Найменування параметра	Значення
Тип	клиновий
Напруга живлення, В	~380 В
Потужність, кВт	3,75 кВт
Діаметр, Ду	150
Робочий тиск, МПа	15
Робоча температура, °С	0...600
Час відкриття закриття, с	10



Рисунок 2.7 – Високотемпературна шарова засувка UFL -150-AS

2.2.2.3 Твердотільне реле

Керування електродвигуном високотемпературної шарової засувку UFL - 150-AS (~380 В/ 3,75 кВт) продуктивності подачі повітряного теплоносія, будемо здійснювати за допомогою трифазного твердотільного реле змінного струму RZ3A, яке будемо використовувати у дискретному режимі керування [16].



Рисунок 2.8 – Твердотільне реле RZ3A

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики твердотільне RZ3A

Найменування параметра	Значення
Тип	NBR
Напруга навантаження, В	~42...660 В
Струм навантаження, А	0...55
Напруга керування, В	0...24
Струм керування, мА	0...20

На підставі наведеного вище для виконавчих пристроїв, та їх технічних характеристик складена табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Виконавчі пристрої

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Лінійність	Значення входу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Шнековий дозатор подачі пластмаси	4...20 мА	Пропорційний	0...100 %	Лінійний	-	0,1 с	-	-
2	Насос тиску у реакторі	4...20 мА	Пропорційний	0...100 %	Лінійний	-	0,1 с	-	-
3	Насос газу киплячого шару	4...20 мА	Пропорційний	0...100 %	Лінійний	-	0,1 с	-	-
4	Продуктивність повітряного теплоносія (збільшення)	Час відкривання 15 с	Дискретний	0...100 %	Лінійний	24 В	0,1 с	24 В	1 Вт
5	Продуктивність повітряного теплоносія (зменшення)	Час відкривання 15 с	Дискретний	0...100 %	Лінійний	24 В	0,1 с	24 В	1 Вт

2.2.3 Вибір пристроїв керування

В якості пристрою керування реактором термокрекінгу TC-PW-RT7000, обрано програмований логічний контролер компанії VIPA. Цикл роботи контролера 100 мс, контролер має 1 кбайт вільної робочої пам'яті для реалізації програми керування. Контролер має модульну структуру, яка забезпечує підключення обраного обладнання і має легке розширення подальшого функціоналу.

1. До контролеру повинні бути підключені шість аналогових датчиків з типом вихідного сигналу 4...20 мА:

- температура повітряного теплоносія;
- температура вихідних газів;
- тиск у реакторі;
- продуктивність пластмаси;
- продуктивність вихідних газів;
- продуктивність повітряного теплоносія.

2. До контролеру повинні бути підключено енкодер положення засувки подачі повітряного теплоносія з типом вихідного сигналу – фазо-імпульсні сигнали.

3. До контролеру мають бути підключено три аналогових виконавчих пристроїв з типом входу керування 4...20 мА:

- шнековий дозатор подачі пластмаси;
- насос тиску у реакторі;
- насос газу киплячого шару.

4. До контролеру має бути підключено два дискретних виконавчих пристроїв з типом входу керування 0;24 В:

- відкриття засувки повітряного теплоносія;
- закриття засувки повітряного теплоносія.

Система керування реактором термокрекінгу TC-PW-RT7000 інтегрується у загально-заводську автоматизовану систему керування хімічної переробки

пластикових відходів, завдяки використанню інформаційного протоколу MODBUS з послідовним цифровим каналом зв'язку типу RS-485.

Наведеним вимогам відповідає програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33.

Контролер має час арифметичної операції над речовим числом 40 мкс, об'єм пам'яті програм 144 кбайт, об'єм робочої пам'яті 96 кбайт та інтерфейс RS-485.

Основні технічні показники програмованого логічного контролера VIPA 214-2BS33 наведено у табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	CPU 214SER
2	Пам'ять, кбайт	144
3	Робоча пам'ять, кбайт	96
4	Максимальна кількість модулів, штук	32
5	Час виконання команди над бітом, мкс	0,18
6	Час виконання команди над байтом, мкс	0,78
7	Час виконання команди над словом, мкс	1,8
8	Час виконання команди над двійним словом, мкс	40,0
9	RS-485 інтерфейс	Присутній
10	Напруга живлення, В	24
11	Споживана потужність, Вт	5



Рисунок 2.9 – Програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33

Для підключення усіх шести аналогових датчиків, які мають стандартний струмовий сигнал 4...20 мА, обрано два модулі аналогового вводу VIPA 231-1BD40, кожних з яких має по чотири аналогових входів.

Таблиця 2.11 – Технічні характеристики модуля аналогового вводу
VIPА 231-1BD40

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SM 231, ECO
2	Кількість каналів	4
3	Тип каналу	Аналоговий
4	Діапазон вхідного сигналу, мА	4...20
5	Довжина екранованого провідника, м	200
6	Споживана потужність, Вт	0.6



Рисунок 2.10 – Модуль аналогового вводу VIPА 231-1BD40

Приклад схеми підключення датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА до модуля аналогового вводу наведено на рис. 2.11.

До контролеру є бути підключено три аналогових виконавчій пристрої з типом входу керування 4...20 мА.

Таким чином потрібен модуль аналогового виводу з діапазоном аналогового сигналу 4...20 мА. Даним вимогам відповідає модуль VIPА 232-1BD40 який має чотири аналогових виходи 4...20 мА.

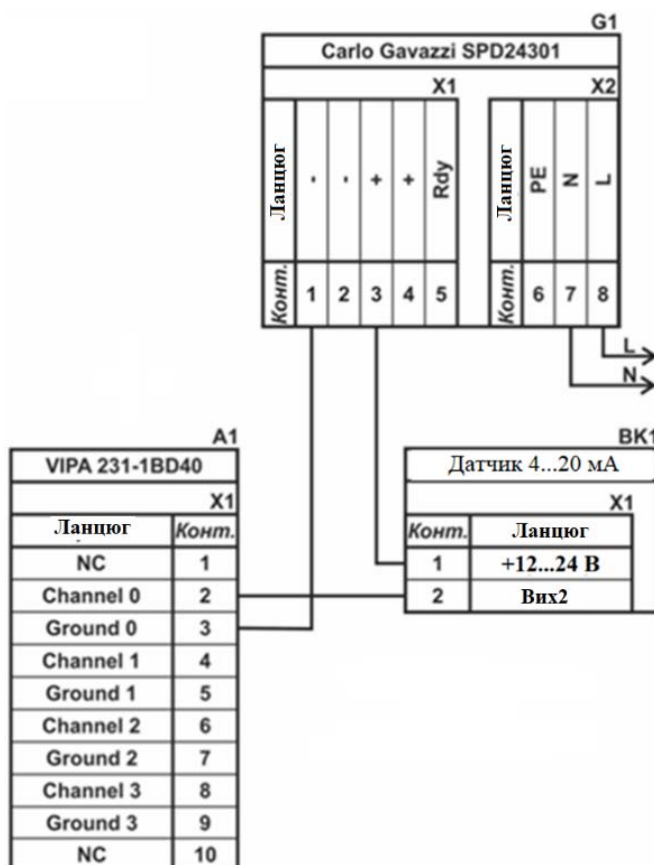


Рисунок 2.11 – Схема підключення датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА

Таблиця 2.12 – Технічні характеристики модуля аналогового виводу 232-1BD40

Найменування параметра	Значення
Тип	SM 232, ECO
Кількість каналів	4
Тип каналу	аналоговий
Діапазон вхідного сигналу, мА	4...20, -20...+20
Довжина екранованого провідника, м	200
Споживана потужність, Вт	1,5



Рисунок 2.12 – Модуль аналогового виводу 232-1BD40

Схема підключення частотного перетворювача, для здійснення пропорційного керування електродвигуном, до модуля аналогового виводу наведена на рис. 2.13.

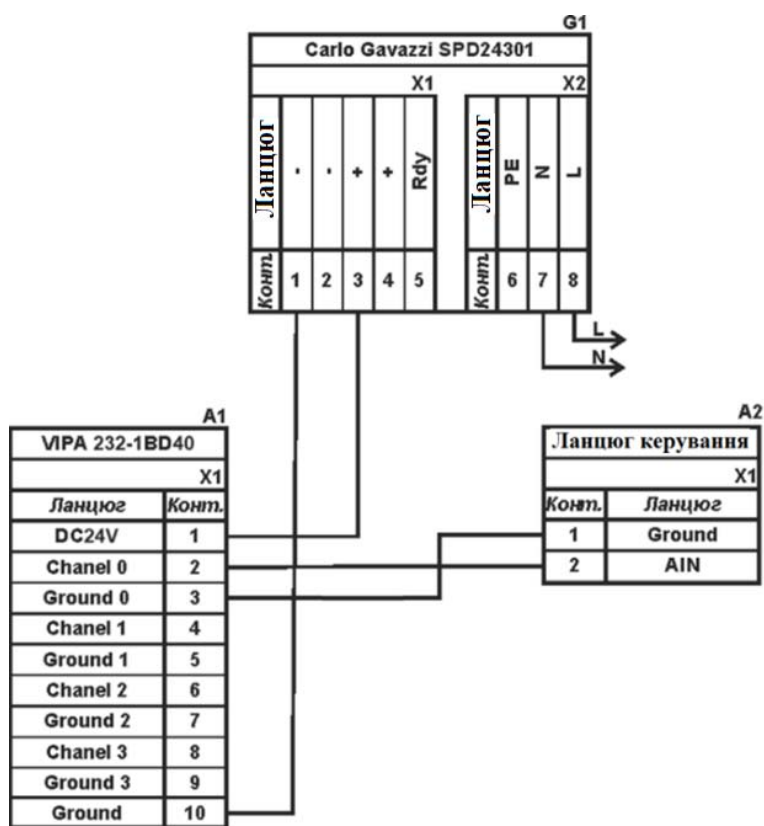


Рисунок 2.13 – Схема підключення частотного перетворювача

До контролеру повинні бути підключені два дискретних каналів керування клинвою засувкою (тип виходу 0, +24 В), тому для підключення цих пристроїв обрано модуль дискретного вводу VIPA 222-1BF00, який має по вісім незалежних каналів керування (рис. 2.14). Технічні характеристики модуля наведені в табл. 2.13.



Рисунок 2.14 – Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00

Таблиця 2.14 – Технічні характеристики модуля дискретного виводу VIPA 222-1BF40

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SM 222
2	Кількість каналів	8
3	Тип каналу	Дискретний
4	Діапазон вихідного сигналу, В	0...24
5	Максимальний струм вихідного сигналу, А	1
6	Довжина екранованого провідника, м	600
7	Споживана потужність, Вт	2

Схема підключення до модуля дискретного виводу наведена на рис. 2.15.

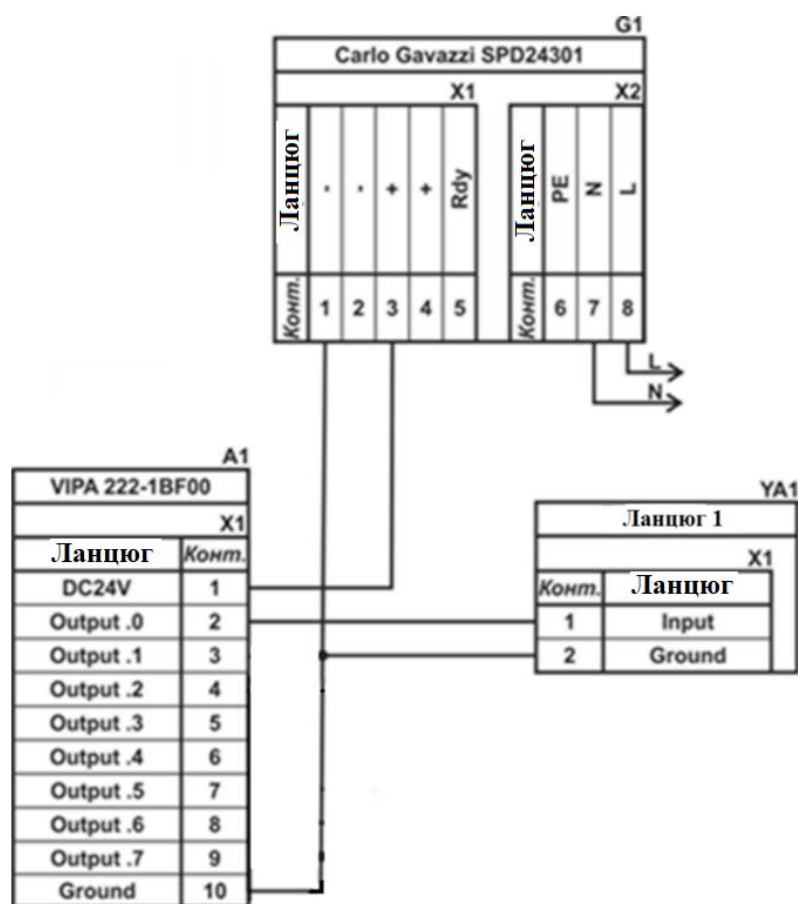


Рисунок 2.15 – Схема підключення дискретних пристроїв узгодження

Відповідно до схеми підключення модуль має вісім незалежних каналів, кожний з яких може бути використаний для керування дискретним виконавчим пристроєм з напругою +24 В. Блок живлення підключено до 1 та 10 входів модуля. Для прикладу показана схема підключення умовного ланцюга 1 (одного з двох). Відповідний вихід модуля 2 підключено до входу пристрою узгодження (Ланцюг 1). Земляний вихід пристрою узгодження підключено до земляного

входу блока живлення. Аналогічно підключено інші ланцюги пристроїв узгодження навантаження, але до відповідних до виходів цього модуля.

Датчики контролю положення засувки здійснено за допомогою енкодера E40H-012-2000-2-N-24 для підключення якого до системи керування обрано функціональний модуль лічильника VIPA 250-1BA00 (рис. 2.16). Технічні характеристики модулю наведені в табл. 2.15.



Рисунок 2.16 – Функціональний модуль 250-1BS00

Таблиця 2.15 – Технічні характеристики функціонального модуля 250-1BS00

Найменування параметра	Значення
Тип	FM 250S
Кількість каналів	2/4
Розрядність лічильника, біт	32/16
Довжина екранованого провідника, м	600
Споживана потужність, Вт	2.5

Згідно з технічною документацією модуль має два або чотири лічильні канали. В якості лічильників будуть використовуватися 32 бітні регістри тому у цьому режимі він має два канали. До входів модуля підключені виходи енкодера A, B та Z, що забезпечує отримання програмованим логічним контролером від лічильника кількості імпульсів енкодера, при цьому лічильник автоматично визначає напрям обертання енкодера.

Схема підключення датчика до функціонального модуля VIPA 250-1BS00 наведена на рис. 2.17.

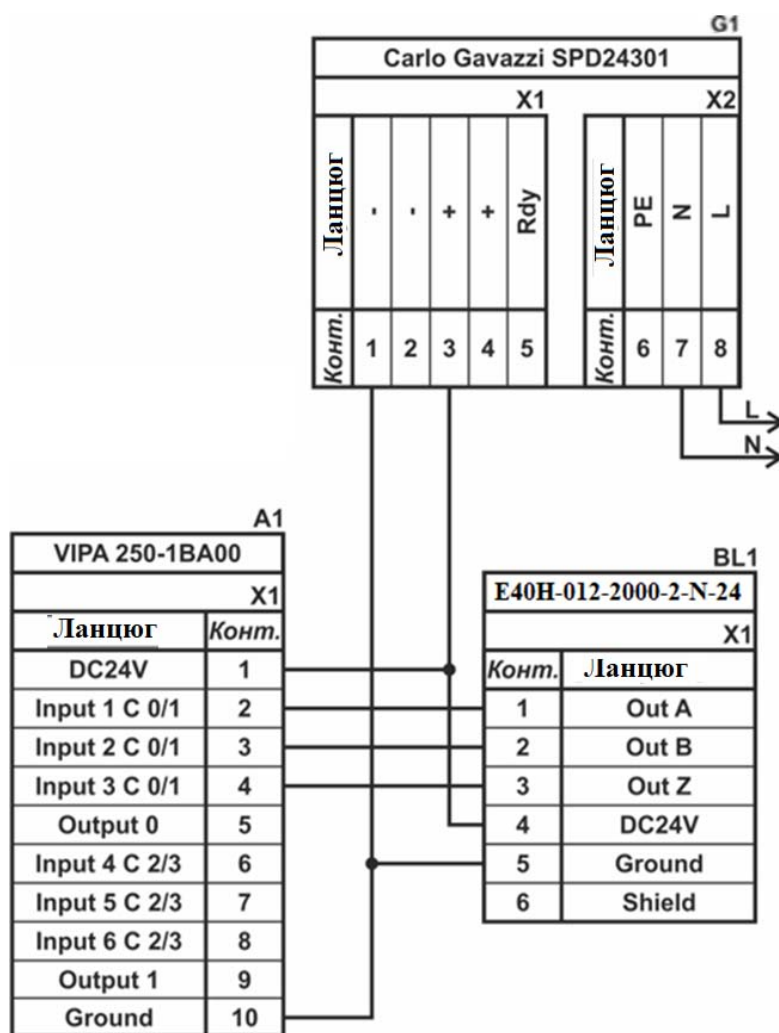


Рисунок 2.17 – Схема підключення датчика положення засувки

Схема підключення персонального комп'ютеру до програмованого логічного контролеру за допомогою інтерфейс RS-485 наведена на рис. 2.18.

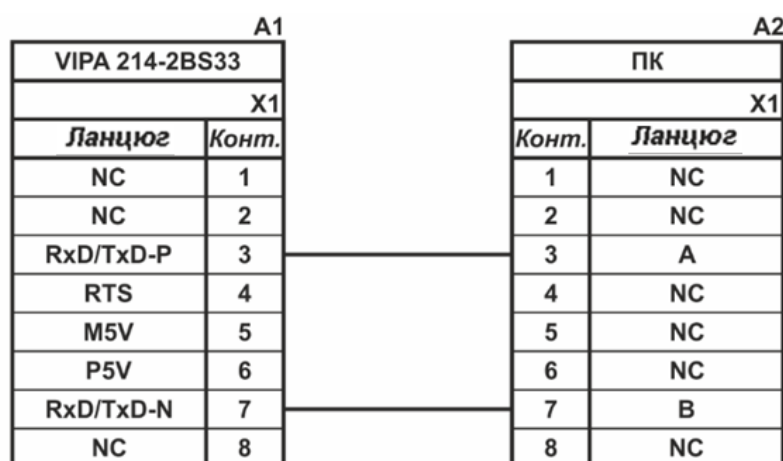


Рисунок 2.18 – Схема підключення по інтерфейсу RS-485

На підставі обраних пристроїв керування складена табл. 2.16.

Таблиця 2.16 – Пристрій керування та його модулі

№	Назва модуля	Пристрій	Напруга	Потужність
1	VIPA 214-2BS33	Центральний процесорний модуль	24 В	5,0 Вт
		Зв'язок з АСК ТП и СК газовим пальником		
2	VIPA 231-1BD40	Модуль аналогового вводу 1	24 В	0,6 Вт
		Температура повітряного теплоносія	24 В	2,0 Вт
		Температура вихідних газів	24 В	2,0 Вт
		Тиск у реакторі	24 В	2,0 Вт
		Продуктивність пластмаси	24 В	2,0 Вт
3	VIPA 231-1BD40	Модуль аналогового вводу 2	24 В	0,6 Вт
		Продуктивність вихідних газів	24 В	2,0 Вт
		Продуктивність повітряного теплоносія	24 В	2,0 Вт
4	VIPA 232-1BD40	Модуль аналогового виводу 1	24 В	1,5 Вт
		Шнековий дозатор подачі пластмаси	24 В	1,0 Вт
		Насос тиску у реакторі	24 В	1,0 Вт
		Насос повітряного теплоносія	24 В	1,0 Вт
5	VIPA 250-1BS00	Функціональний модуль 1	24 В	2,5 Вт
		Енкодер засувки подачі повітряного теплоносія	24 В	2,0 Вт
6	VIPA 222-1BF00	Модуль дискретного виводу 1	24 В	2,0 Вт
		Відкриття засувки подачі повітряного теплоносія	24 В	1,0 Вт
		Закриття засувки подачі повітряного теплоносія	24 В	1,0 Вт

2.2.4 Вибір джерел живлення

Програмований логічний контролер та його модулі мають напругу живлення +24 В. Загальна потужність пристрою керування:

$$P = 5,0 + 2 * 0,6 + 1 * 1,5 + 1 * 2,5 + 1 * 2,0 = 12,2 \text{ Вт.} \quad (2.1)$$

Виходячи з потужності споживання контролеру та його модулів у якості джерела живлення обрано блок живлення SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт.



Рисунок 2.19 – Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301

Таблиця 2.17 – Технічні характеристики блока живлення Carlo Gavazzi SPD24301

№	Найменування параметра	Значення
1	Напруга живлення, В	~85...~264
2	Вихідна напруга, В	24
3	Потужність, Вт	30
4	Максимальний вихідний струм, А	1,25

Схему підключення програмованого логічного контролера до блока живлення наведена на рис. 2.20.

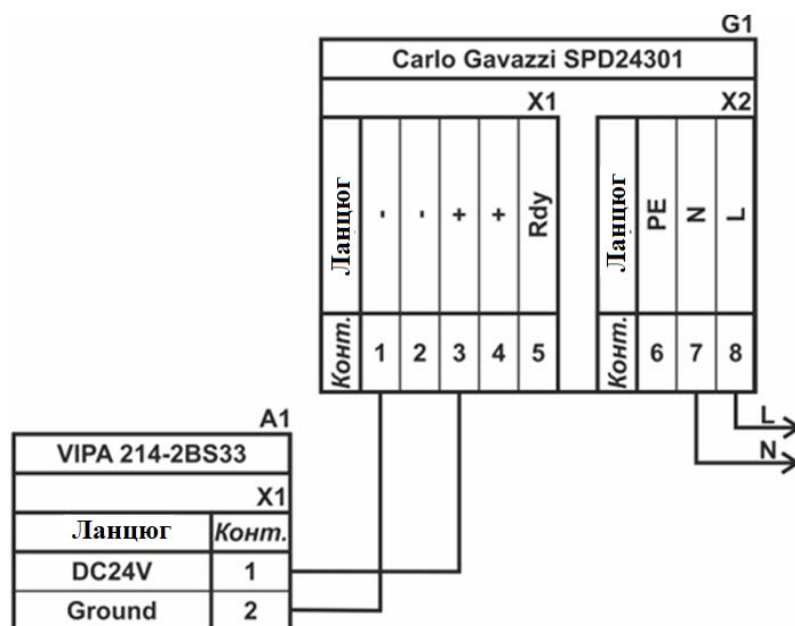


Рисунок 2.20 – Схема підключення програмованого логічного до блока живлення

Виконавши аналіз обраного обладнання можливо зробити вивід, що зовнішній блок живлення потрібен для восьми аналогових датчиків, двох аналогових ланцюгів керування, одного фазо-імпульсного датчика, двох цифрових ланцюгів керування, які мають напругу живлення +24 В та потужність споживання:

$$P = 6 * 2,0 + 3 * 3,0 + 3 * 1,0 + 1 * 2,0 + 2 * 1,0 = 28,0 \text{ Вт.} \quad (2.2)$$

Виходячи з потужності споживання датчиків та виконавчого пристрою у якості джерела живлення обрано блок живлення такий самий як і для програмованого логічного контролера SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт.

2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації

Виходячи з вимог до підсистеми керування реактором термокрекінгу ТС-РW-RT7000 розроблена функціональна схема автоматизації, яка наведена на рис. 2.21.

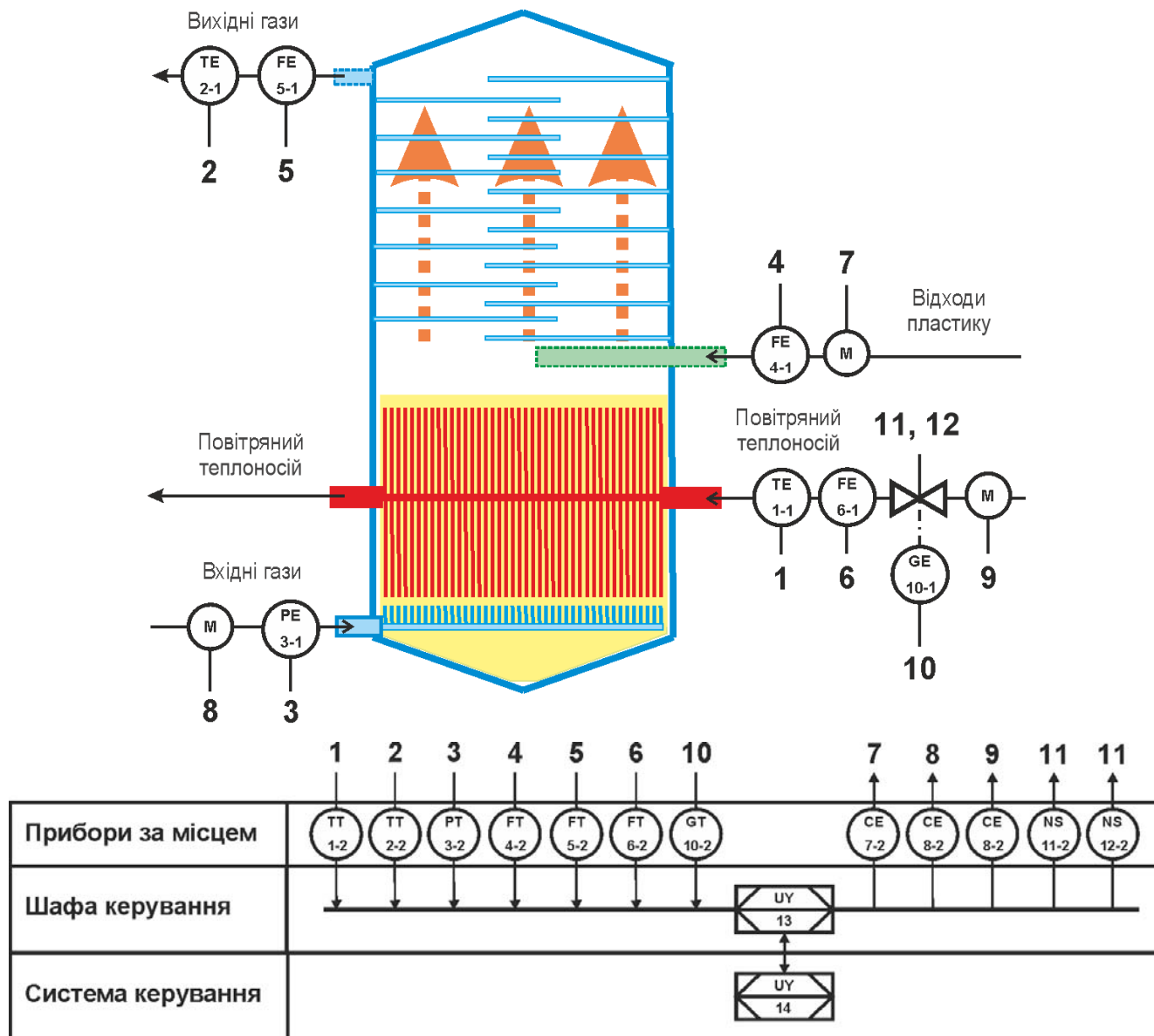


Рисунок 2.21 – Функціональна схема автоматизації реактором термокрекінгу ТС-РW-RT7000

У якості пристрою керування технологічним процесом використовується програмований логічний контролер (UY 13) – VIPA 214-2BS33. Програмований логічний контролер в складі підсистеми керування підключено до АСУ ТП, за що відповідає контролер більш високого рівня (UY 14), зв'язок між ними реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

Температура повітряного теплоносія вимірюється у вхідному трубопроводі за допомогою датчика температури (TE 1-1 – Siemens SITRANS TS500-TSinsert), вимірне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (ТТ 1-2 - Siemens SITRANS TS500-TSinsert) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Температура вихідних газів вимірюється у вихідному трубопроводі за допомогою датчика температури (TE 2-1 – Siemens SITRANS TS500-TSinsert), вимірне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (ТТ 2-2 - Siemens SITRANS TS500-TSinsert) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Тиску у реакторі вимірюється за допомогою датчика тиску, встановленого на відповідному газопроводі (PE 3-1 – Siemens SITRANS P ZD, вимірне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (PT 3-2 – Siemens SITRANS P ZD) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Продуктивність подачі пластмаси вимірюється за допомогою витратоміру, встановленого на трубопроводі (FE 4-1 – Siemens Promass 84F), вимірне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (FT 4-2 – Siemens Promass 84F) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Продуктивність вихідних газів вимірюється за допомогою витратоміру, встановленого на трубопроводі (FE 5-1 – Siemens Promass 84F), вимірне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (FT 5-2 – Siemens Promass 84F) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Продуктивність подачі повітряного теплоносія вимірюється за допомогою витратоміру, встановленого на трубопроводі (FE 6-1 – Siemens Promass 84F), вимірне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (FT 6-2 – Siemens Promass 84F) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Регулювання продуктивності шнекового дозатору подачі пластмаси здійснюється частотним перетворювачем по каналу керування 4...20 мА (CE 7-2 – Schneider ATV320D15N4B).

Регулювання продуктивності насос тиску у реакторі здійснюється частотним перетворювачем по каналу керування 4...20 мА (CE 8-2 – Schneider ATV320D15N4B).

Регулювання продуктивності насосу повітряного теплоносія здійснюється частотним перетворювачем по каналу керування 4...20 мА (CE 9-2 – Schneider ATV320D15N4B).

Регулювання продуктивності подачі повітряного теплоносія здійснюються за допомогою високотемпературної шарової засувки UFL -150-AS з реверсивним керуванням, виконаним за допомогою дискретних модулів твердотільних реле (NS 11-2 - RZ3A; NS 12-2 - RZ3A).

Ступінь відкриття / закриття високотемпературної шарової засувки UFL -150-AS контролюється енкодером (GE10-1 E40H 012 2000 2 N 24) спеціалізованим перетворювачем (GT10-2 E40H 012 2000 2 N 24).

На підставі отриманих первинних значень з відповідних датчиків програмований логічний контролер (UY 13 – VIPA 214-2BS33) за допомогою виконавчих пристроїв формує керуючі впливи по підтримці заданого режиму роботи реактором термокрекінгу TC-PW-RT7000.

2.4 Розробка схеми електричної принципової

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблена схема електрична принципова системи керування реактором термокрекінгу TC-PW-RT7000, яка наведена на рис. 2.22.

У системі керування використовуються два блока живлення. Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G1) підключено до програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33 (A1). До блоку живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G2) підключено два модулі аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 – X3, A1 – X4), модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00 (A1 – X5), спеціалізований модуль роботи с енкодером VIPA 250-1BA00 (A1 – X6), модуль аналогового

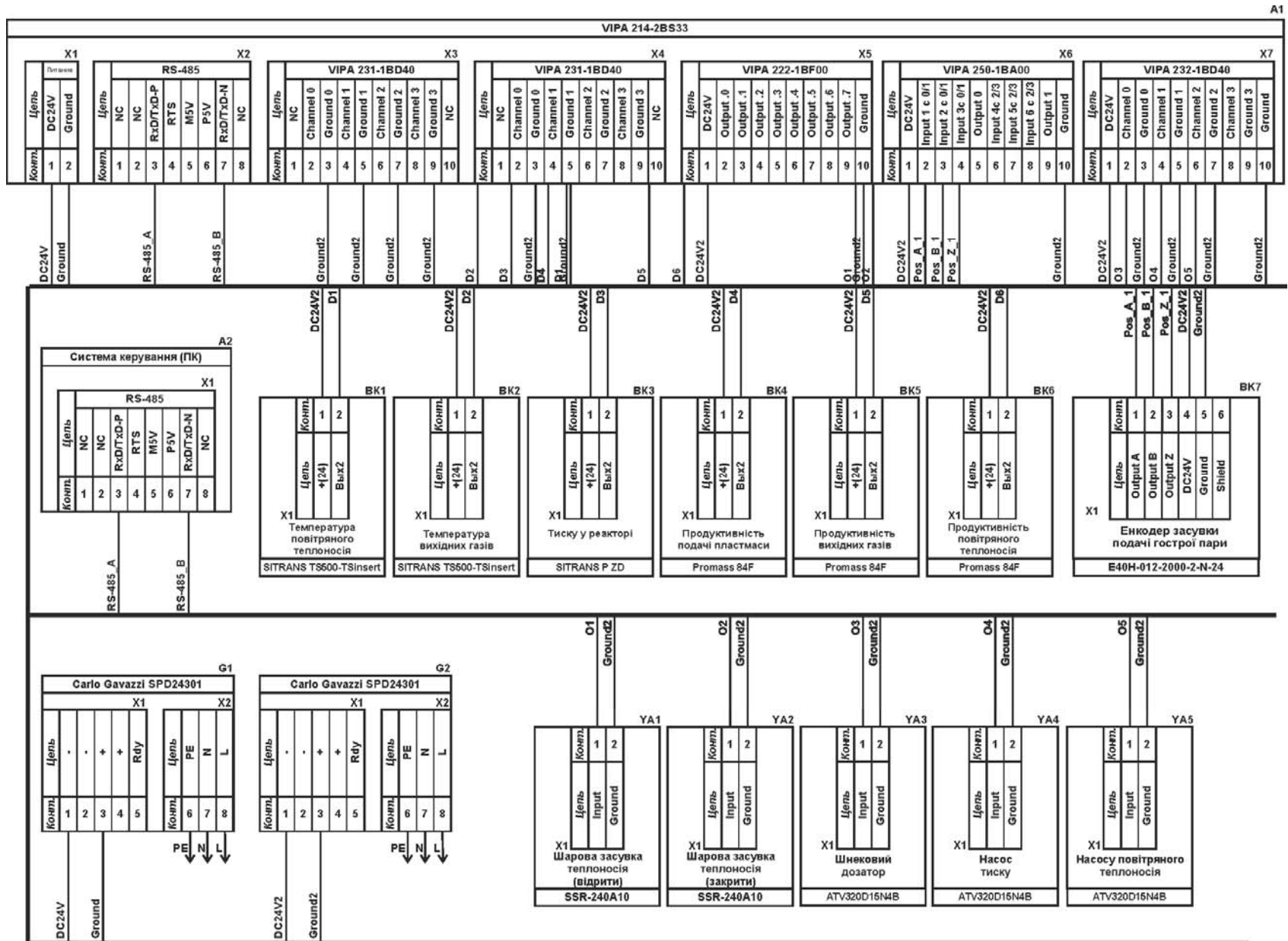


Рисунок 2.22 – Схема електрична принципова системи керування реактором термокрекінгу TC-PW-RT7000

виводу VIPA 233-1BD40 (A1 – X7), усі шість аналогових датчиків (BK1...BK6), енкодер (BK7), цифрові канали керування твердотільними реле (YA1...YA3) та аналогові канали керування частотними перетворювачами (YA3...YA5).

Усі шість аналогових датчиків мають уніфікований сигнал 4...20 мА, таким чином ці датчики підключені до модулів аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 – X3) до каналів 0, 1, 3, 4 та VIPA 231-1BD40 (A1 – X4) до каналів 0, 1.

Керування продуктивністю роботи виконавчих пристроїв з електроприводом здійснюється по каналам керування 4...20 мА, які підключено до підключено до модуля аналогового виводу VIPA 232-1BD40 (A1 – X5) до каналу 0, 1, 2.

Керування засувкою здійснюється за принципом дискретного реверсивного керуванням за часом подачі керуючого сигналу, які подаються за допомогою твердотільних реле (YA1, YA2), які підключені до дискретного модуля VIPA 231-1BF40 (A1 – X5) до каналів 0, 1. Ступінь відкриття / закриття засувки контролюється енкодером BK9 за допомогою спеціалізованого модуля A1 – X6 типу VIPA 250-1BA00.

Зв'язок між програмованим логічним контролером VIPA 214-2BS33 (A1) та АСК ТП верхнього рівня (A2) реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

2.5 Висновки за розділом

Для синтезу апаратної частини системи керування реактором термокрекінгу ТС-PW-RT7000, якій використовується у технологічному процесі безперервної хімічної переробки пластику на заводі «Greenstep» (м. Харків), були обрані необхідні технічні засоби, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема принципова системи керування, складено перелік елементів до схеми електричної принципової.

3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

3.1 Загальні відомості

Пластик - це фантастичний матеріал з багатьма корисними застосуваннями, який став частиною нашого повсякденного життя. З цієї причини прогнози припускають, що до 2050 року може вироблятися до мільярда тонн щороку. Однак лише 12 % пластику, який виробляється сьогодні, переробляється. Більшість пластику це або звалища, або спалюється, або просочується в навколишнє середовище, що видно через підвищення рівня пластику в наших океанах. Враховуючи технологічні проблеми з сучасними методами переробки, для вирішення цієї зростаючої проблеми потрібні нові рішення, і хімічна переробка стає визнаним ключовим компонентом переходу від лінійної економіки до економіки замкненого циклу, відокремлення виробництва пластику від джерел викопного палива та відновлення вартості з пластикових відходів.

У кваліфікаційній роботі бакалавра об'єктом керування було обрано реактор термокрекінгу TC-PW-RT7000, який використовується у технологічному процесі безперервної хімічної переробки пластику на заводі «Greenstep» (м. Харків).

Технологічний апарат TC-PW-RT7000 виконано по технології реактора з киплячий шаром, який самоочищається, що дозволяє переробляти майже всі типи пластику. Однорідні і швидкі параметри нагріву дають високий вихід піролізних вуглеводів, безперервний процес призводить до підвищення коефіцієнту теплової ефективності.

Пластикові відходи з лінії технологічного процесу механічної переробки у подробленому (майже перемеленому) вигляді шнековим дозатором подаються у реактор термокрекінгу TC-PW-RT7000 у зону киплячого шару, який виконаний зі спеціального матеріалу піщаного типу, що нагрівається до високої температури. Енергія для термічного крекінгу пластикових відходів надходить від цього піщаного матеріалу, завдяки чому і здійснюється розкладання довголанцюгових молекул, які є в змішаних пластикових відходах, на пар коротколанцюгових вуглеводнів. Ця утворена вуглеводнева пара транспортується далі до наступних

технологічних апаратів для подальшої утилізації і перегонки в кінцевий продукт – відновлені важкі фракції нафти, які в подальшому можуть бути використані як замітники нафтової сировини, отриманої з викопного палива, і подаватися в нафтохімічний процес для виробництва нових первинних пластмас.

Теплова енергія для реактора термокрекінгу надходить з регенератора за допомогою повітряного теплоносія у теплообмінник з киплячим шаром. Регенератор також забезпечує безперервне подавання частини несконденсованих легких вуглеводневих газів до киплячого шару, які необхідні для потокового видалення знов утворених вуглеводів, отриманих у процесі термокрекінгу з переробки пластику.

Для автоматизації роботи реактору термокрекінгу TC-PW-RT7000 обрано варіант побудови системи керування за каналом «продуктивність подачі пластику – продуктивність вихідних газів» як більш впливового на якість роботи реактору термокрекінгу TC-PW-RT7000 .

Для побудови системи керування за обраним каналом маємо наступні показники:

- продуктивність подачі пластику, т/г 3,2...7,0 (датчик 0...10);
- продуктивність вихідних газів, тис. м³/г 2,9...6,12 (датчик 0...10);

Для синтезу системи керування, моделювання її роботи з метою перевірки її працездатності, перш за все треба мати модель самого об'єкту керування – реактору термокрекінгу TC-PW-RT7000, який є регульованим за продуктивністю вихідних газів в залежності від продуктивності подачі пластикових відходів. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Продуктивність вихідних газів вимірюється за допомогою витратоміру Siemens Promass 84F з аналоговим вихідним сигналом 4...20 мА.

Регулювання продуктивності подачі пластикових відходів здійснюються за допомогою шнекового дозатору з асинхронним трьох фазним електроприводом потужністю 12,6 кВт, який керується трьох фазним частотним перетворювачем,

потужністю 15 кВт (~380...500 В) - Schneider ATV320D15N4В з аналоговим входом керування 4...20 мА.

3.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи

Система дослідження призначена для збору інформації про об'єкт керування. Основними функціями цієї системи є формування і реєстрування керуючого впливу, який подається на об'єкт керування, реєстрування його дійсного значення на виході об'єкта, візуалізація отриманих даних та їх надання у зручному для подальшої обробки виді.

У кваліфікаційній роботі будуть розглядатися питання по створенню системи керування реактор термокрекінгу TC-PW-RT7000 за каналом керування «продуктивність подачі пластмаси – продуктивність вихідних газів».

Для отримання математичної моделі об'єкту керування треба провести комплексні заходи по дослідженню поведінки об'єкту керування під впливом ряду стандартних вхідних впливів. Візуалізація процесу керування у дослідницькій системі відбувається за допомогою персонального комп'ютера зі SCADA системою zenon. Така система дозволяє, крім функцій керування, виконувати також функції дослідження об'єкта керування, для чого достатньо використати дослідницьке програмне забезпечення. Виходячи з цього і розроблена структурна схема системи керування, яка наведена на рис. 3.1.

Згідно зі структурною схемою, система дослідження має формувати керуючий вплив, в якості якого виступає продуктивність подачі пластику, яка номінально змінюється у діапазоні 3,2...7,0 т/г, за рахунок чого через певний час виконуються відповідна зміна дійсного значення – продуктивність вихідних газів, у межах номінальних значень 2,9...6,12 тис. м³/г.

Зв'язок між програмованим логічним контролером та персональним комп'ютером зі SCADA системою zenon реалізується за допомогою інтерфейсу RS-485.

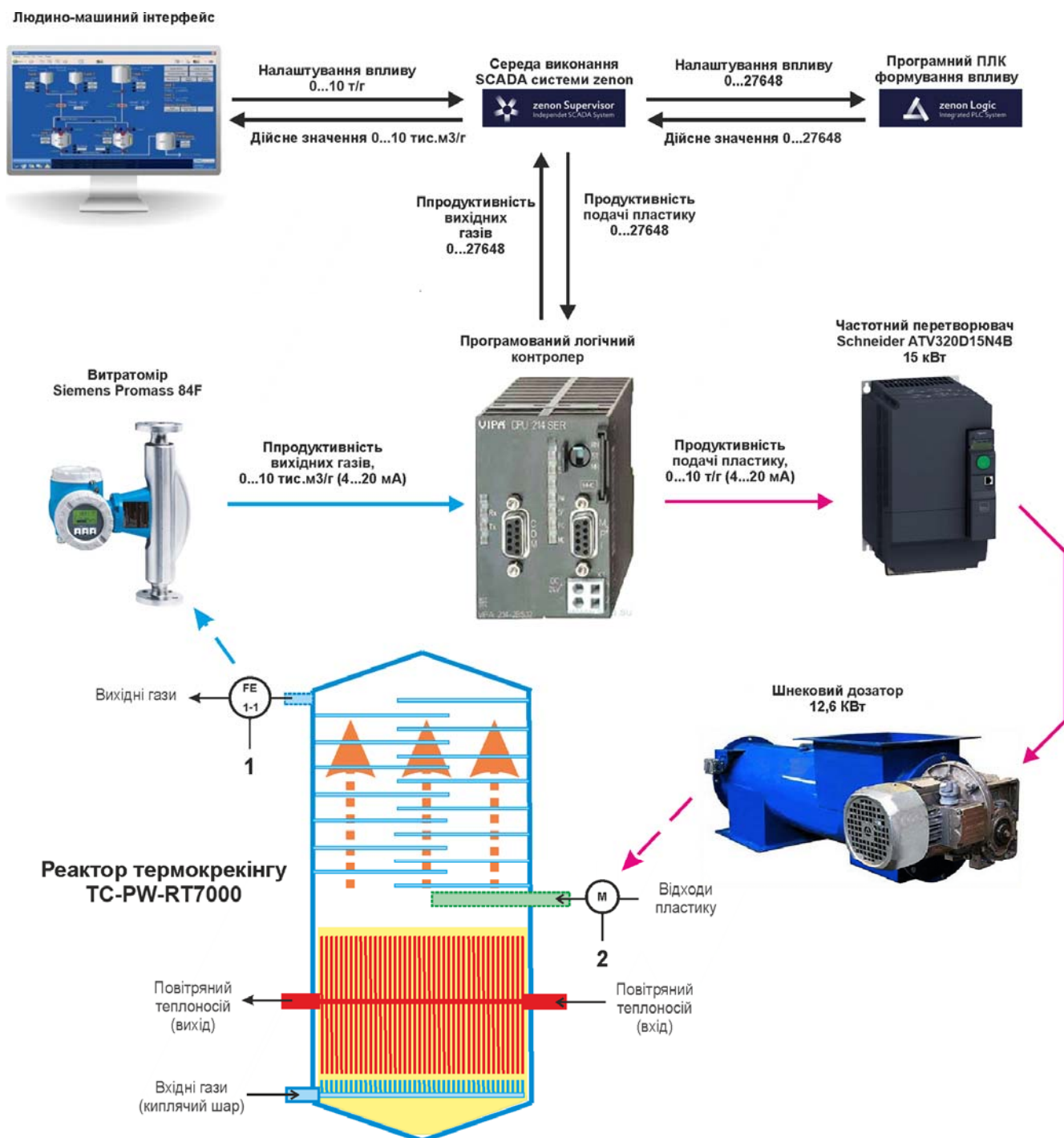


Рисунок 3.1 – Структурна схема інформаційних потоків дослідницької системи

3.3 Розробка методики дослідження об'єкта керування

Система дослідження дозволяє формування різноманітних керуючих впливів для подання їх через систему керування на об'єкт керування. При цьому об'єкт керування не накладає ні яких обмежень на керуючий вплив. Виходячи з цього об'єкт керування можливо дослідити за допомогою метода активного експерименту.

З метою виконання ідентифікації об'єкта керування, використовуючи метод активного експерименту, при якому необхідно отримати його динамічну характеристику, данні для побудови статичної характеристики, характеристику при П-образному керуючому впливі, та перевірочні данні. Виходячи з цього і складено наступний план експерименту:

1. Налаштувати систему дослідження.

2. Отримати динамічну характеристику.

2.1. Привести об'єкт керування до початкових умов, дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення.

2.2. Запустити процес реєстрування.

2.3. Задати максимальну амплітуду керуючого впливу (100 %), дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення.

2.5. Зупинити процес реєстрації.

3. Отримання даних за для побудови статичної характеристики.

3.1. Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).

3.2. Розбити весь діапазон керуючого впливу на 5...10 рівних частин. Далі запустити процес реєстрування та поетапно подавати ці значення керуючого впливу на об'єкт керування, поетапно дочекавшись усталеного режиму дійсного значення фіксувати його.

3.3. Зупинити процес реєстрації.

4. Отримання даних при П-образному впливі.

4.1 Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).

4.2 Запустити процес реєстрування.

4.3. Задати керуючий вплив на рівні 100 %, обов'язково дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення, зафіксувати його.

4.4. Задати керуючий вплив на рівні 0 %, обов'язково дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення, зафіксувати його.

4.5. Зупинити процес реєстрації.

5. Отримання перевірочних даних.

5.1. Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).

5.2. Налаштувати псевдовипадковий вплив таким чином, щоб період зміни впливу був бажано у 5...10 разів менший за час перехідного процесу, а амплітуда керуючого впливу змінювалася дискретно (бажано випадково) в діапазоні 0...100 %.

5.3. Запустити процес реєстрування.

5.4. Запустити формування псевдовипадкового впливу.

5.5. Виконувати реєстрацію бажано на протязі часу не менш ніж за 5...10 інтервалів часу перехідного процесу плюс час затримки.

5.6. Зупинити процес реєстрації.

3.4 Виконання експерименту

На першому етапі проведення експерименту виконано налаштування системи дослідження таким чином, що керуючий вплив – продуктивність подачі пластику буде змінюватися дискретно з мінімально можливого значення до максимального, а відповідне дійсне значення – продуктивність утворення вихідних газів, під впливом керуючого значення з часом буде теж поступово буде змінюватися з мінімального значення до максимального значення.

На другому етапі було виконано отримання динамічної характеристики об'єкта керування (рис. 3.2).

За технічними параметрами для реактору термокрекінгу TC-PW-RT7000 дійсне значення - продуктивність вихідних газів, має регулюватися у межах 2,9...6,12 тис. м³/г, що становить відповідно повний діапазон змін (0...100 %), під номінальним значенням керуючого впливу - продуктивність подачі пластику з номінальним діапазоном змін 3,2...7,0 т/г, що становить відповідно теж повний діапазон, але вже регулювання.(0...100 %).

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні мінімально можливого значення близького до 3,2 т/г (0 %). Після досягнення усталеного режиму з мінімальним показником дійсного значення близько 2,9 тис. м³/г, керуючий сигнал було встановлено на рівні максимально можливого значення у 7,0 т/г (100 %), а після досягнення дійсним значенням усталеного режиму –

близького до максимального значення у 6,12 тис. м³/г експеримент було закінчено.

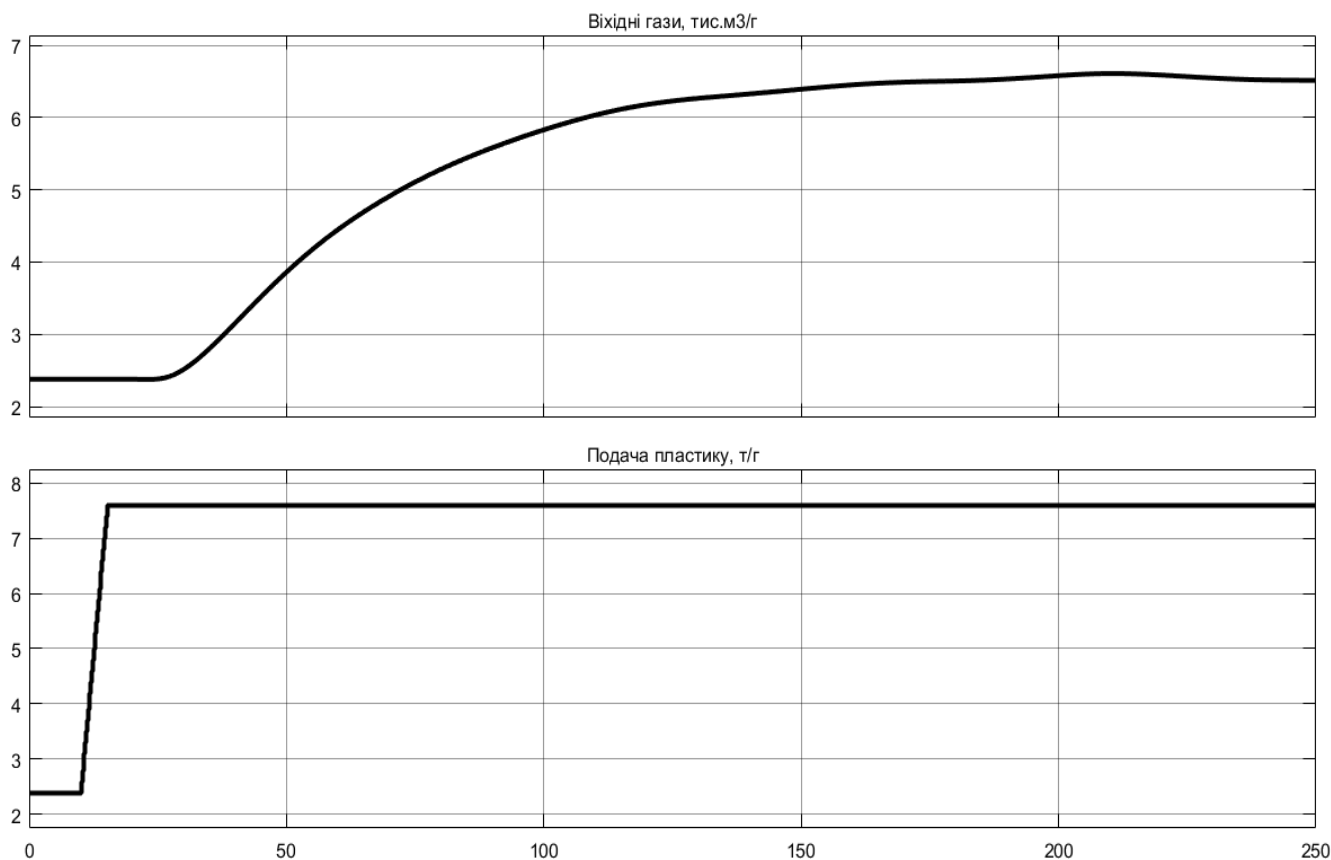


Рисунок 3.2 – Отримання динамічної характеристики

На третьому етапі було виконано отримання даних для побудови статичної характеристики (рис. 3.3). Враховуючі реальний максимальний діапазон змін керуючого впливу (витрати пари), який приблизно склав діапазон значень 2.4....7.6 т/г, що тепер становитиме діапазон можливих змін 0...100 % для керуючого впливу.

Далі цей діапазон керуючого впливу розбили на п'ять зон.

Спочатку було встановлено керуючий вплив на рівні мінімально можливого показника 2,4 т/г, після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, перейшли до етапу отримання статичної характеристики.

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні 3,44 т/г, після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні 4,48 т/г, після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні 5,52 т/г, після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні 6,56 т/г, після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

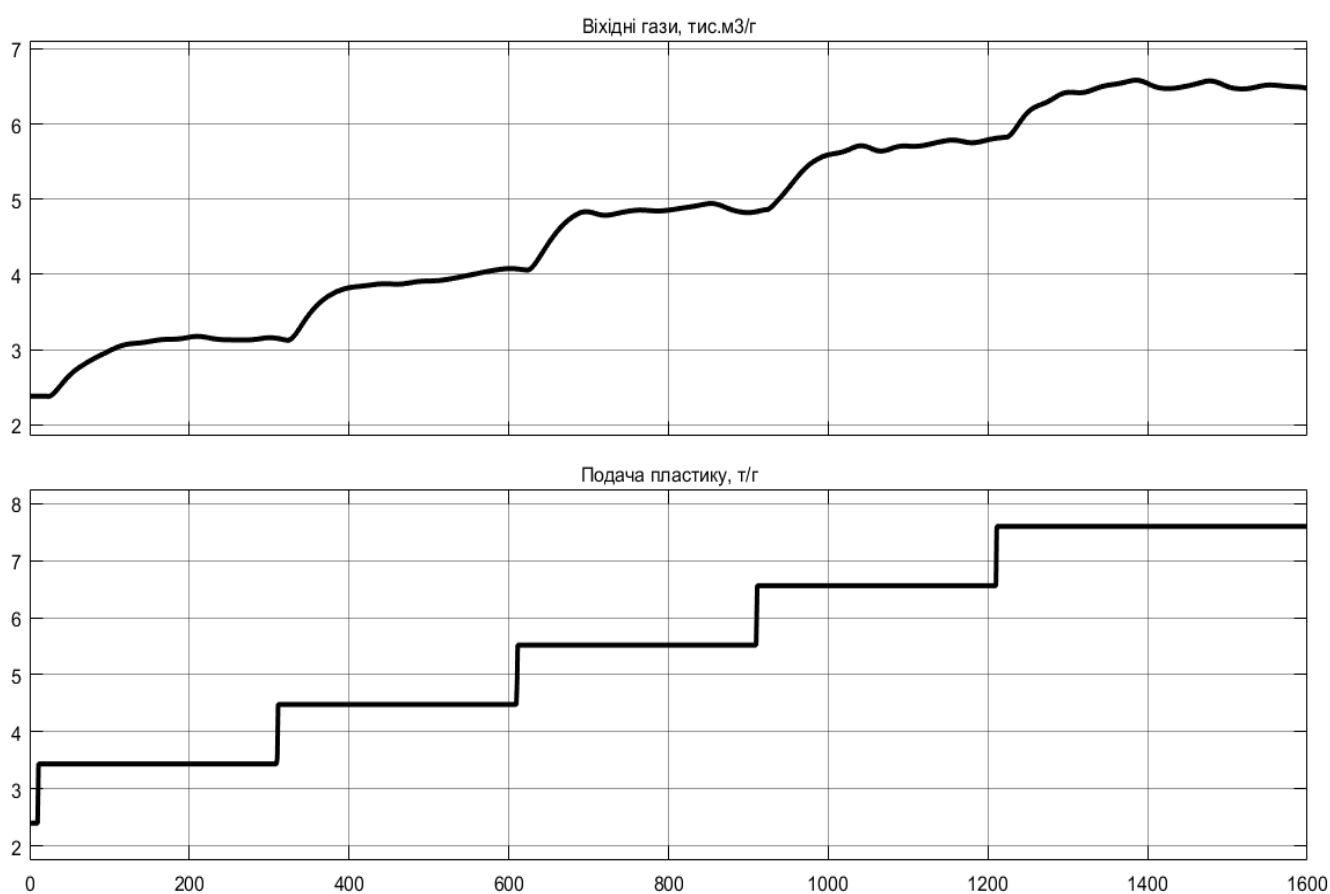


Рисунок 3.3 – Отримання даних для побудови статичної характеристики

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні 7,60 т/г, після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

Після цього експеримент було закінчено.

На четвертому етапі було виконано отримання даних П-образному керуючому впливі (рис. 3.4).

Для цього було встановлено керуючий вплив на рівні мінімально можливого значення у 2,4 т/г (0 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина, після досягнення усталеного режиму дійсного керуючий вплив значення було встановлено на рівні максимально можливого значення у 7,6 т/г (100 %), після досягнення усталеного режиму знов було встановлено керуючий вплив на рівні мінімально можливого значення у 2,4 т/г (0 %), після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

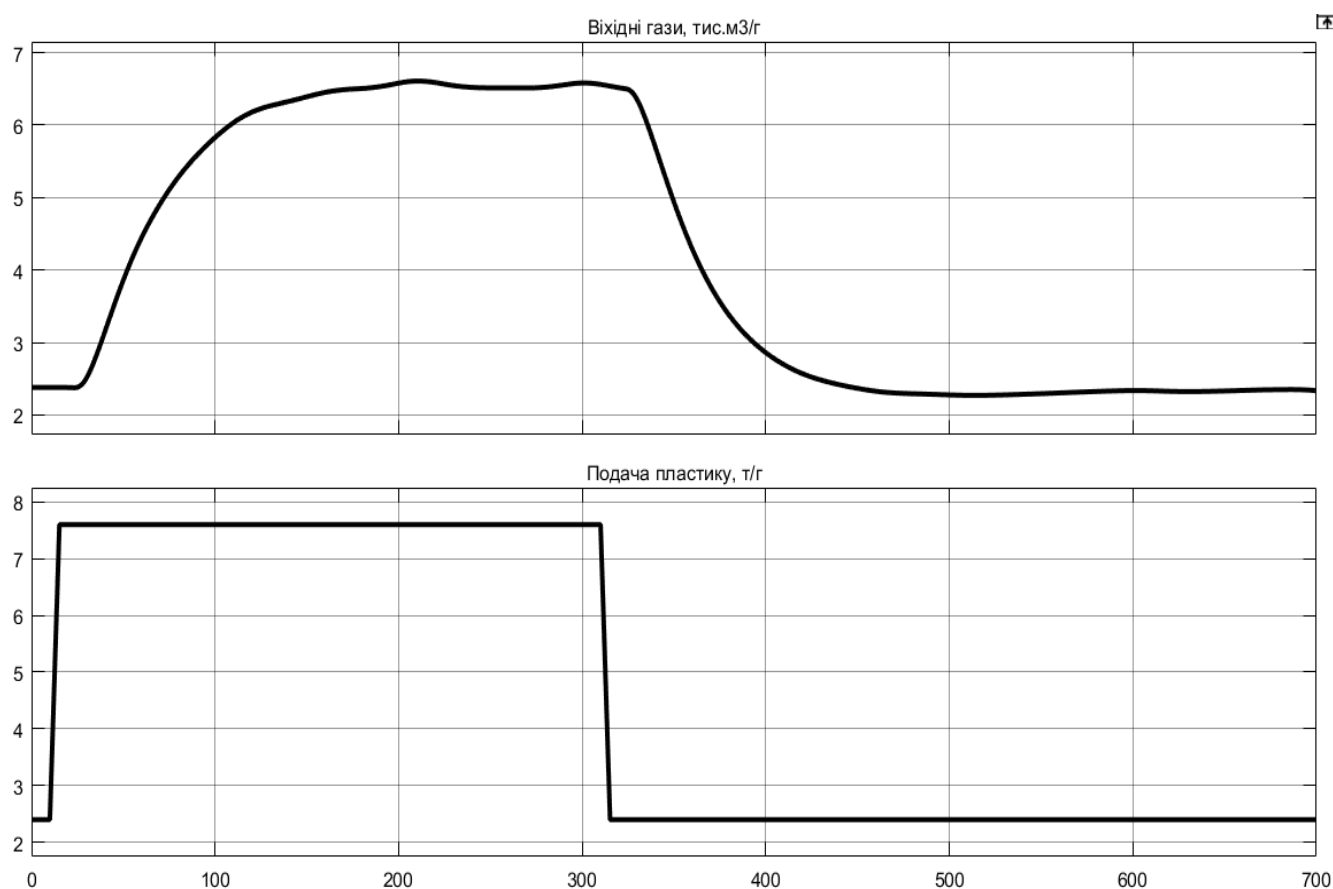


Рисунок 3.4 – Отримання даних при П-образному керуючому впливі

На п'ятому етапі було виконано отримання перевірочних даних (рис. 3.5).

Для цього керуючий вплив було налаштовано на випадкову послідовність в діапазоні 2,4...7,6 т/г (0...100 %), з інтервалом зміни 37 с. Цей час було визначено наступним чином, згідно з рис. 3.2 - час обмеження зміни продуктивності для шнекового дозатора становить 1 т/г за 1 с, тобто загальний час виходу на повну продуктивність не перевищить 10 с, плюс 27 с - бажаний час зміни для випадкового керуючого впливу (для часу перехідного процесу у 250 с). Сама

реєстрація відбувалася на інтервали часу, який дорівнює 7...8 перехідних процесів 1 800 с.

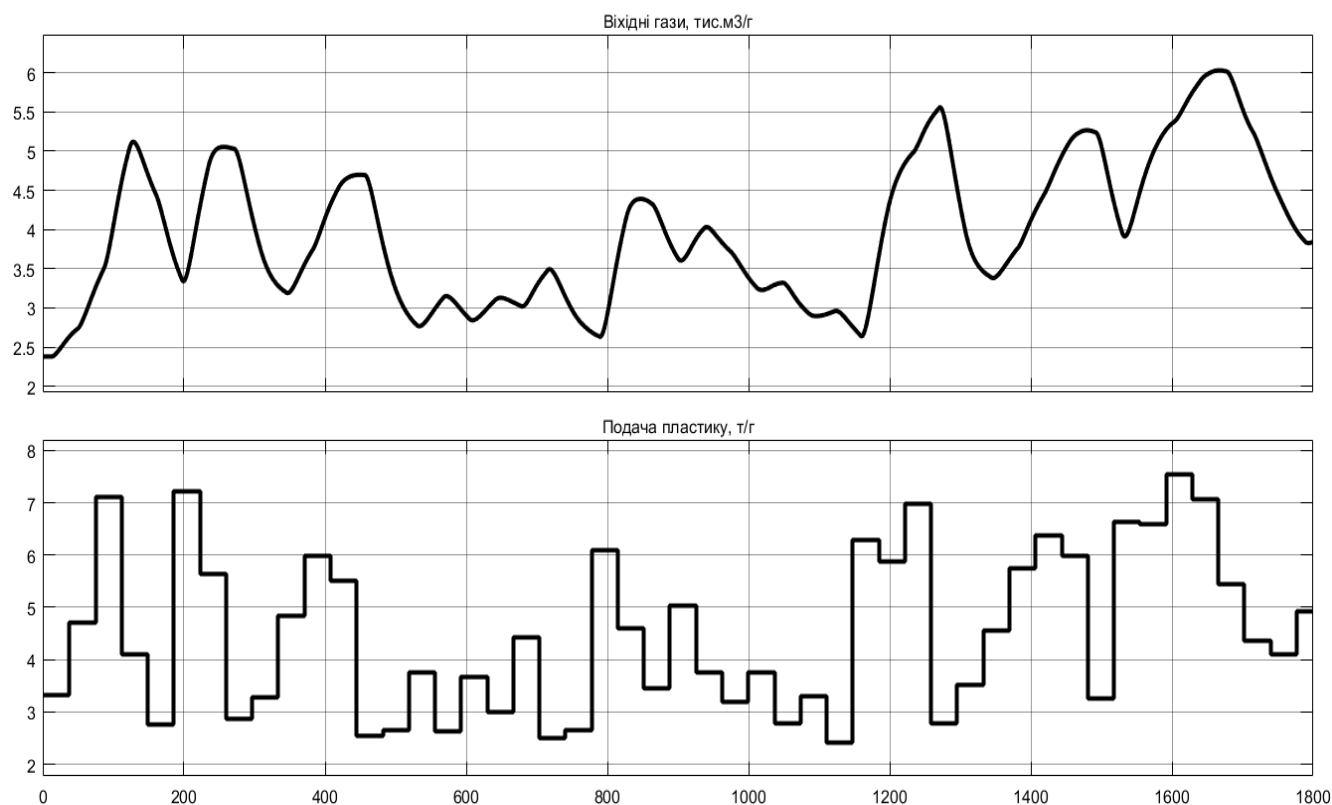


Рисунок 3.5 – Отримання перевірочних даних

У результаті виконання плану експерименту було проведено всеосяжне дослідження об'єкта керування та отримані динамічна характеристика, дані для побудови статичної характеристики, дані при П-образному керуючому впливі та перевірочні дані.

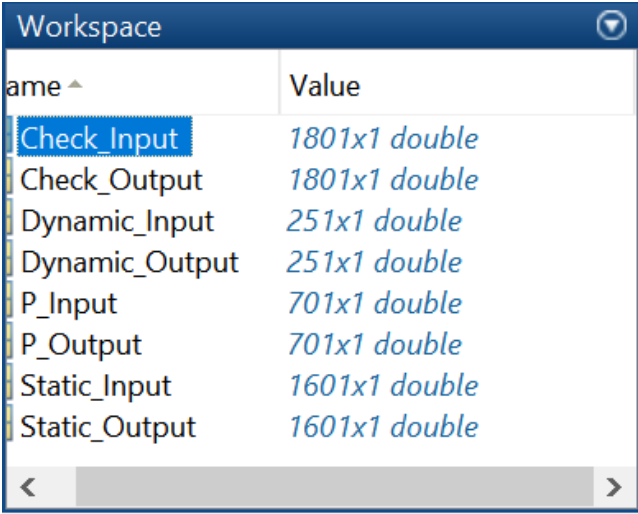
3.5 Обробка результатів експерименту

3.5.1 Підготовка даних

Дані отримані в SCADA системі zenon було імпортовано до математичного пакета MATLAB з метою подальшої обробки (рис. 3.6).

Змінні які відповідають даним динамічної характеристики "Dynamic_Input", "Dynamic_Output", даним для побудови статичної характеристики "Static_Input", "Static_Output", даним отриманим при П-образному керуючому впливі "P_Input", "P_Output", перевірочним даним "Check_Input", "Check_Output". Суфікс "_Input" позначає керуючий вплив, а суфікс "_Output" дійсне значення.

Для спрощення подальшого аналізу дані були конвертовані до об'єктів типу "iddata". Та з отриманих вхідних і вихідних даних була видалена статична складова.



name	Value
Check_Input	1801x1 double
Check_Output	1801x1 double
Dynamic_Input	251x1 double
Dynamic_Output	251x1 double
P_Input	701x1 double
P_Output	701x1 double
Static_Input	1601x1 double
Static_Output	1601x1 double

Рисунок 3.6 – Імпортовані данні

На рис. 3.7 та рис. 3.8 показані результати моделювання з видалення статичної складової для динамічної, статичної, П-образної та перевірконої характеристик.

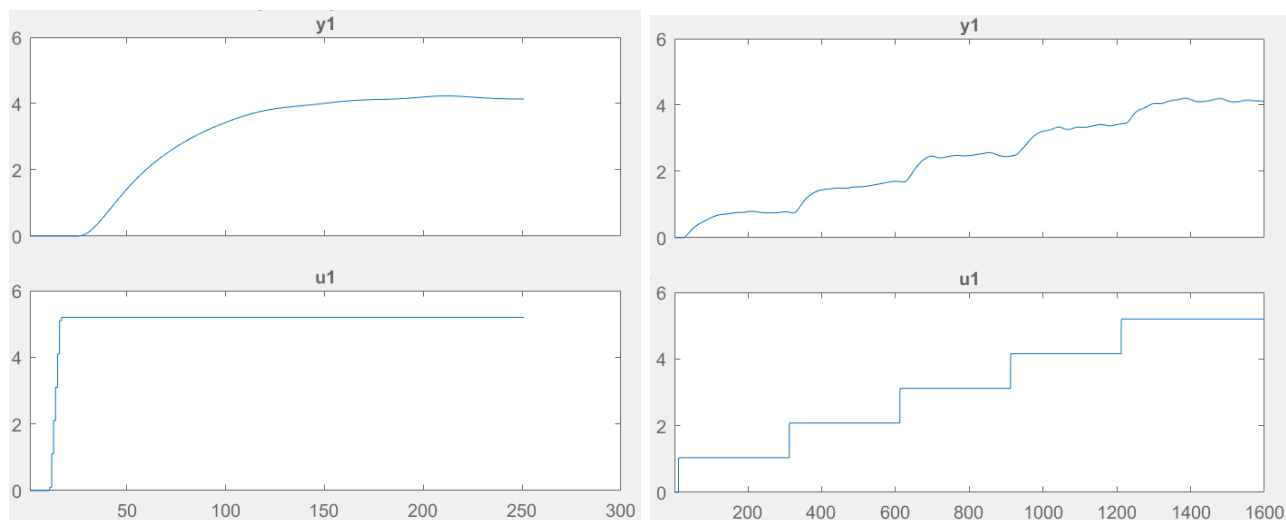


Рисунок 3.7 – Динамічна і статична характеристики з видаленими статичними складовими

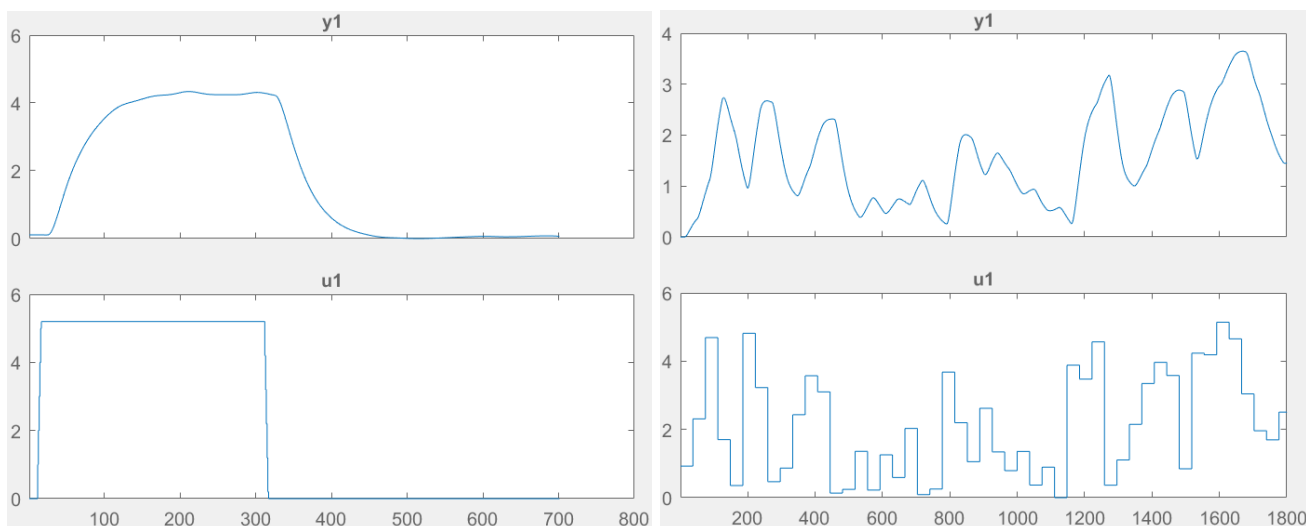


Рисунок 3.8 – П-образна та перевірна характеристики з видаленими статичними складовими

3.5.2 Структурна ідентифікація

З метою оцінки структури моделі об'єкта керування проаналізуємо динамічну характеристику об'єкта керування (рис. 3.9).

Після подачі максимального значення керуючого впливу дійсно значне змінюється з запізненням, виходячи з цього можливо зробити висновок, що об'єкт володіє запізненням. Скоріш за все це може бути пов'язано з фізико-хімічними процесами крекінгу пластикових відходів на базові фракції нафтопродуктів, часом розповсюдження летких фракцій у самій конструкції реактору термокрекінгу ТС-PW-RT7000, інерційністю датчика продуктивності вихідних газів та транспортним запізненням пластикових відходів (з шнекового дозатора до реактору).

На динамічній характеристиці відсутня інерція, характер перехідного процесу монотонний, а кількість перегинів дорівнює двом. На підставі цього можливо зробити висновок, що модель об'єкта керування може бути представлена у вигляді аперіодичної ланки другого порядку з запізненням:

- коефіцієнт посилення $K = 4,14 / 5,2 \approx 0,8$;
- час перехідного процесу ≈ 250 с;
- постійна часу $\approx 250 / 5 = 50$ с;

- затримка $23,1 - 11 = 13,1$ с;
- час наростання керуючого впливу $(5,2 - 0,0) / (17,2 - 11,0) \approx 1$ т/Г за 1 с.

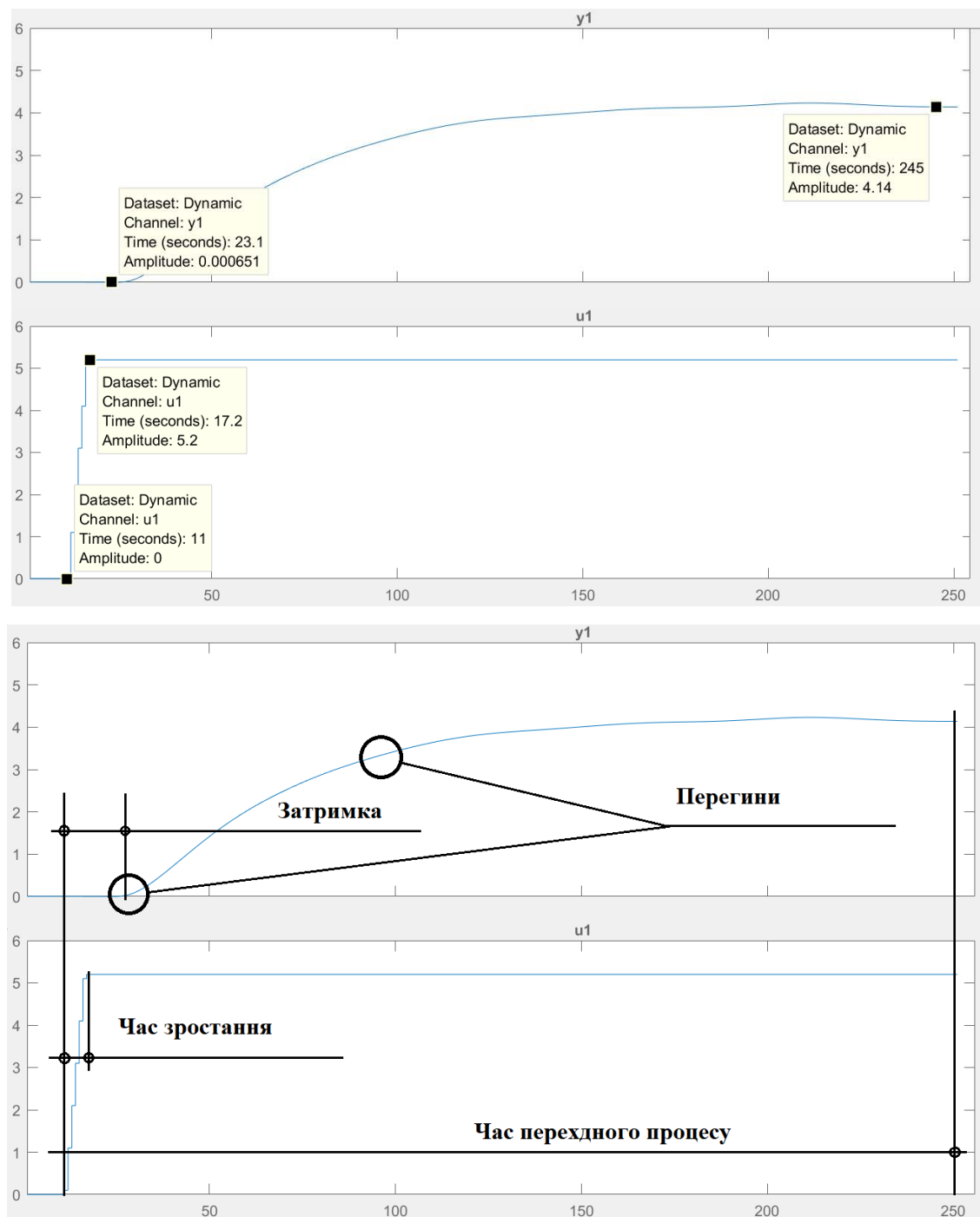


Рисунок 3.9 – Аналіз динамічної характеристики

Проаналізуємо об'єкт керування на лінійність - для цього побудуємо його статичну характеристику (рис. 3.10).

Далі для перевірки статичної характеристики на лінійність розраховано коефіцієнти посилення для усіх точок крім нульових:

`Static_Gain =`

0.7404 0.8125 0.7885 0.8173 0.7904
 Максимальне відхилення коефіцієнту підсилення: 9.41

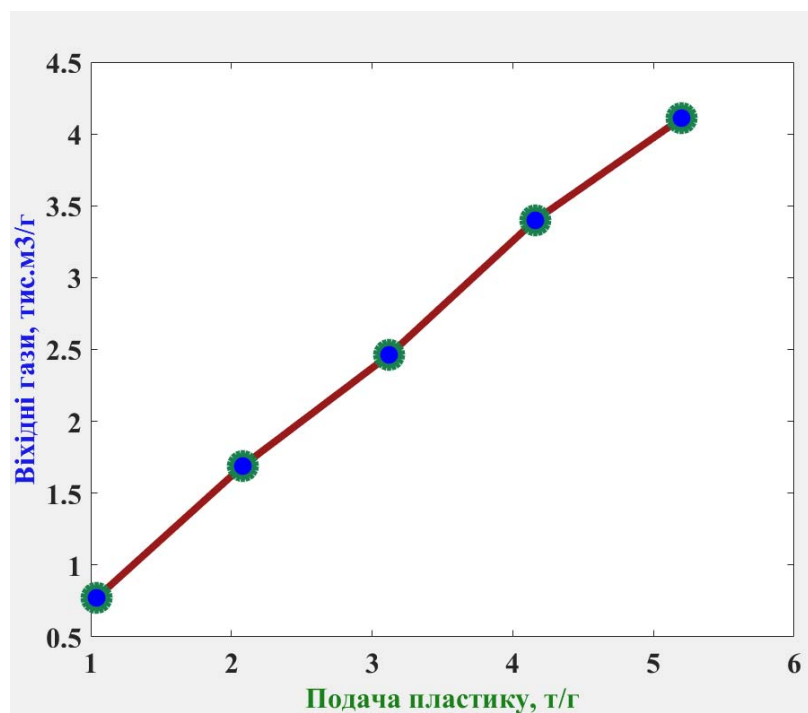
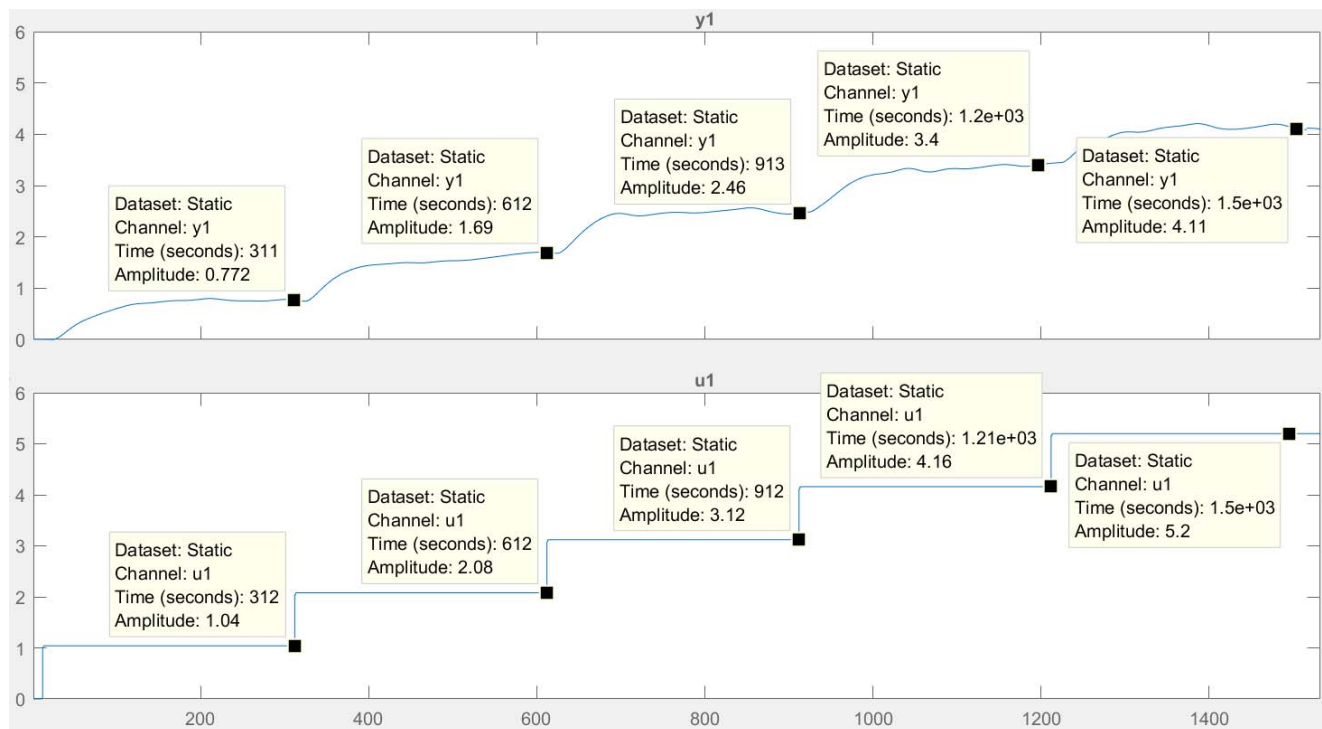


Рисунок 3.10 – Статична характеристика

За статичною характеристикою та отриманими коефіцієнтами посилення об'єкт керування є лінійним в усьому досліджуваному діапазоні керуючих впливів та для його опису можуть бути використані лінійні моделі, так як

відхилення коефіцієнту посилення у всьому діапазоні менше ніж величина технічної похибки 10 %.

Проаналізуємо характеристику отриману при П-образному керуючому впливі (рис. 3.11).

Збільшення керуючого впливу з мінімального значення (0 %) до максимального значення (100 %) приводить до відповідного збільшення дійсного значення навпаки - зменшення керуючого впливу з максимального значення (100 %) до мінімального значення (0 %) приводить до відповідного зменшення дійсного значення. На підставі цього можливо зробити висновок, що об'єкт не володіє інтегруючими властивостями і є об'єктом з самовирівнюванням.

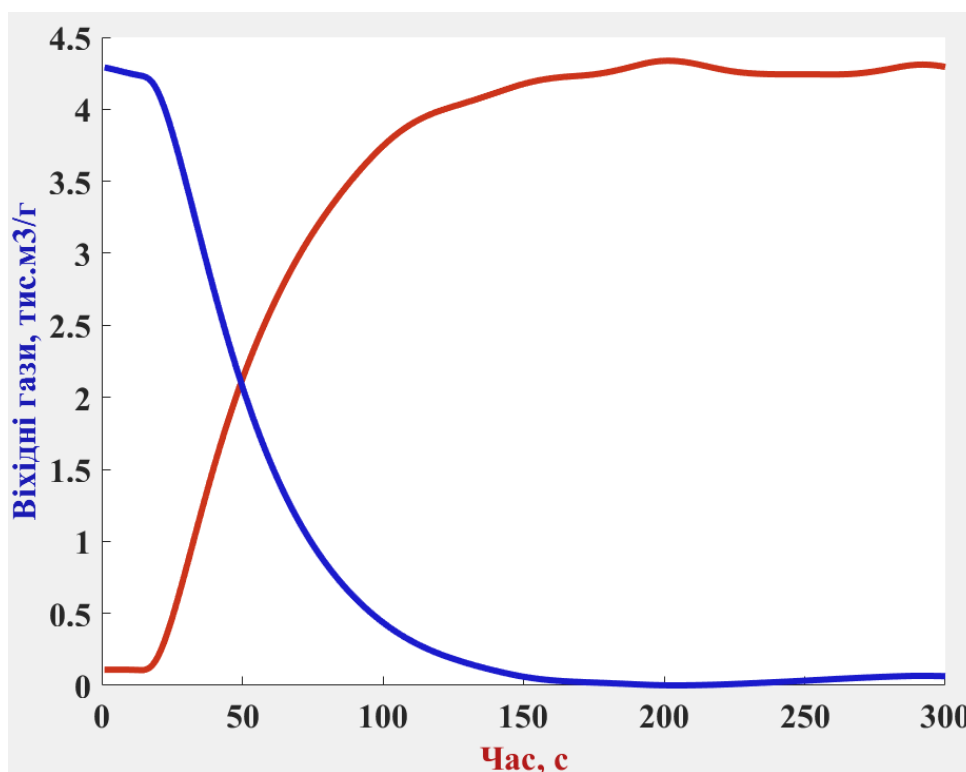


Рисунок 3.11 – Аналіз симетричності характеристика при П-образному керуючому впливі

З метою аналізу симетричності об'єкта керування його характеристика, яка отримана при П-образному впливі була поділена на ділянки підйому та спаду з метою подальшого порівняння характеристик цих ділянок підйому, яке виконувалося через порівняння стандартних середнє квадратичних відхилень:

Порівняння ділянок підйому та спаду: 0.64 %

За отриманою П-характеристикою при аналізі симетричності розраховане середнє квадратичне відхилення є меншим ніж граничне значення величина технічної похибки у 10 %. Тобто можна стверджувати, що час перехідного процесу, форма та стандартне середнє квадратичні відхилення ділянок підйому та спаду співпадають, таким чином об'єкт керування є симетричним та може бути представлений однією лінійною моделлю.

За результатами структурної ідентифікації встановлено, що об'єкт керування є лінійним, симетричним, має два дійсні від'ємні домінуючі корені та ланку чистого запізнення. На підставі цього об'єкт керування може бути описано аперіодичною ланкою другого, або більш високого порядку з запізненням:

$$W(s) = \frac{k \cdot e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)}, \quad (3.1)$$

де $W(s)$ – передавальна функція моделі об'єкта керування; s – оператор диференціювання; k – коефіцієнт посилення; τ – час запізнення, с; T_1, T_2 – постійні часу, с.

3.5.3 Параметрична ідентифікація

Параметрична ідентифікація виконувалася у програмному забезпеченні System Identification Toolbox яке входить до складу математичного пакета MATLAB.

До програмного забезпечення System Identification Toolbox (рис. 3.12) імпортувалися підготовлені дані без статичної складової – «Dynamic».

Дані динамічної характеристики використовувалися для розрахунку параметрів моделі об'єкта керування, а перевірочні дані «Check», для оцінки відповідності отриманої моделі до об'єкта керування.

Для визначення параметрів моделі об'єкта керування використано метод «Process Models». Налаштування параметрів ідентифікації наведено на рис. 3.12.

Розрахунок параметрів виконувався через метод Process Models для аперіодичних ланок першого, другого та третього порядку з запізненням.

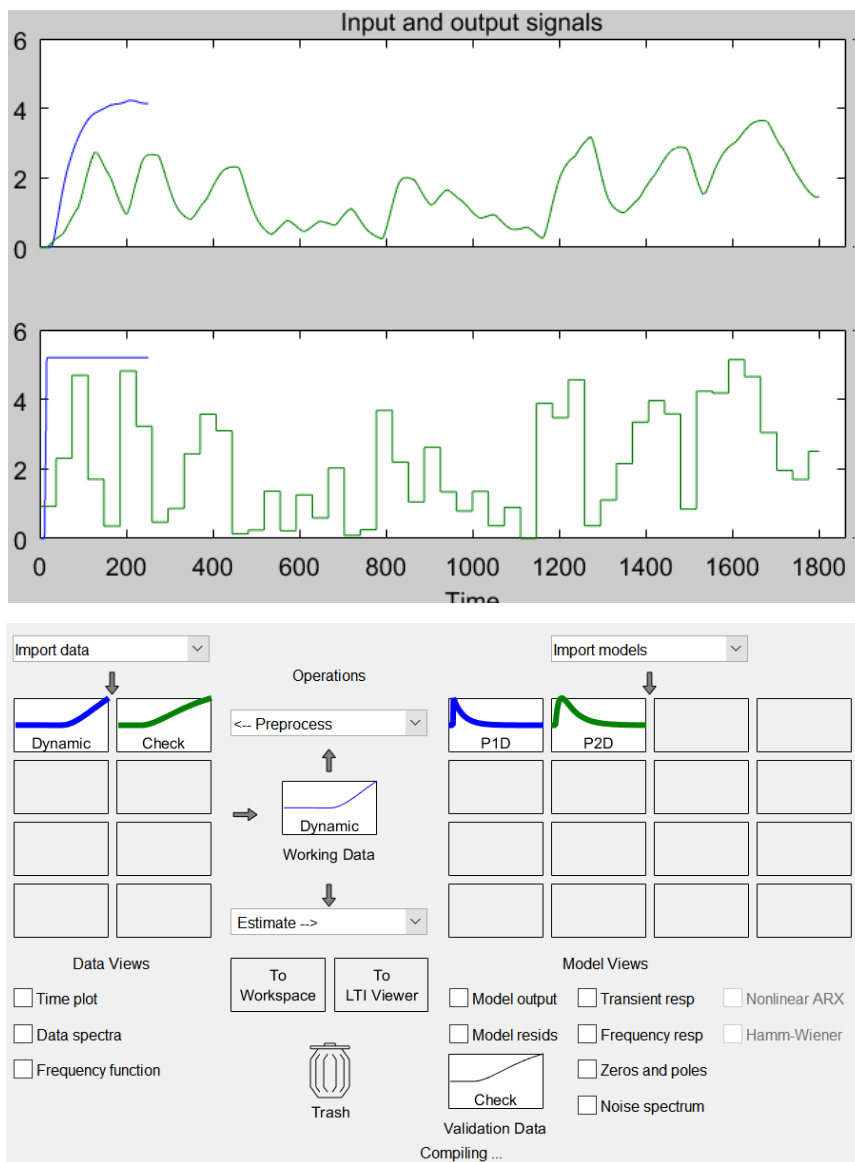


Рисунок 3.12 – Налаштування System Identification Toolbox

Перевірка результатів розрахунків наведена на рис. 3.13 та в табл. 3.1.

Параметри ідентифікації за методом Process Models P1D:

$$G(s) = \frac{K_p}{1+T_p1*s} * \exp(-T_d*s)$$

$$K_p = 0.81734 \pm 0.0009559$$

$$T_p1 = 41.479 \pm 0.25412$$

$$T_d = 18.597 \pm 0.14044$$

Fit to estimation data: 97.38%

FPE: 0.001592, MSE: 0.001542

Параметри ідентифікації за методом Process Models P2D:

$$G(s) = \frac{K_p}{(1+T_p1*s)(1+T_p2*s)} * \exp(-T_d*s)$$

$$K_p = 0.81185 \pm 0.00067834$$

$$T_{p1} = 9.5339 \pm 0.40534$$

$$T_{p2} = 37.785 \pm 0.31531$$

$$T_d = 11.223 \pm 0.27614$$

Fit to estimation data: 98.34%

FPE: 0.0006489, MSE: 0.0006186

За допомогою «Model output» показана відповідність отриманих моделей P1D та P2D до перевірочних даних Check, отриманих на об'єкті керування, наведена на рис. 3.13 та представлена у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Відповідність отриманих моделей до перевірочних даних об'єкта керування

Назва параметру	P1D	P2D
k	0,81734	0,81185
T_1, c	41,479	9,5339
T_2, c	-	37,785
τ	18,597	11,223
НСКП, %	97,38	98,34
ПОП	0,001592	0,0006489
СКП	0,001542	0,0006186
НСКП, %	86,71	87,87

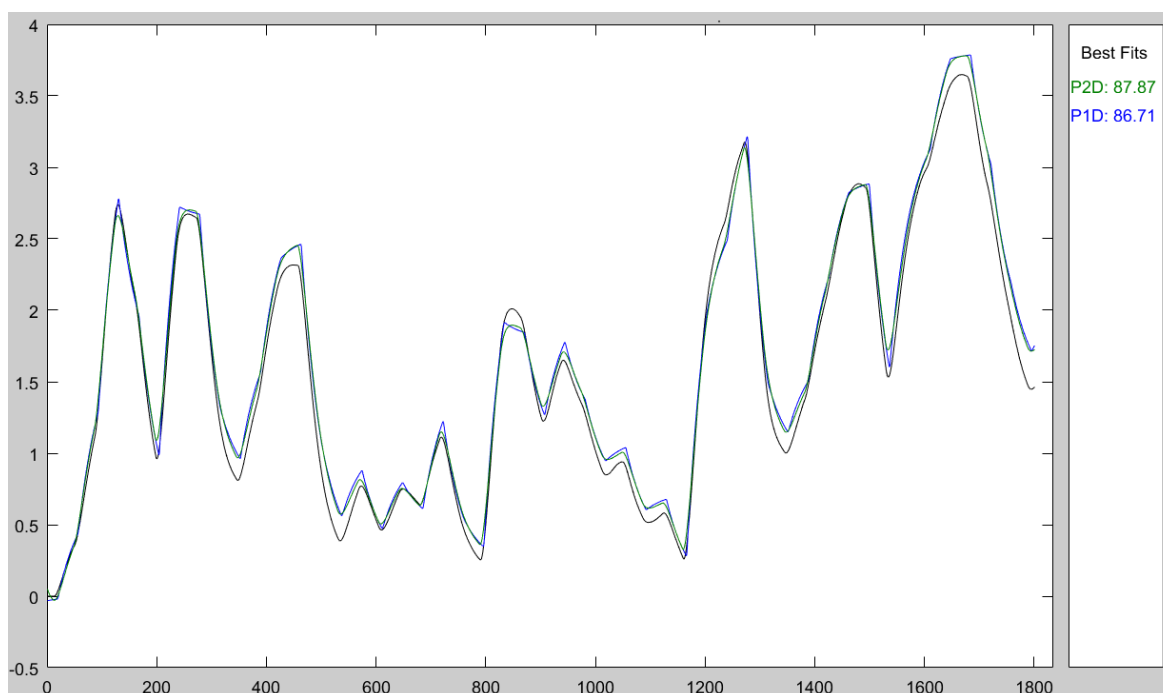


Рисунок 3.13 – Перевірка результатів розрахунків

Аналіз відмінностей між оцінками отриманих моделей по динамічній характеристиці показав, що за нормалізованим середньоквадратичним похибкам (НСКП), обидві моделі підходять, але кращою є модель P2D (98,34 %) ніж P1D

(97,38 %). Співвідношення помилок остаточного передбачення (ПОП) для P1D та P2D $0,001592 / 0,0006489 \approx 2,46$ на користь P2D. Таким чином за цими показниками попередньо модель P2D.

Головним і остаточним показником для найкращого вибору між цими моделями є розбіжність у відповідності за перевірочними даними. Дещо найкращий показник має модель P2D з показником НСКП відповідності за перевірочними даними у 87,87 % проти 86,71 для моделі P1D.

Виходячи з усього, що наведено вище можна стверджувати, що обрана модель P2D має достатню відповідність до перевірочних даних, яка значно більше ніж граничне припустиме значення у 80 %.

Для параметричної перевірки обраної моделі можна також звернути увагу на наступне, що за динамічною характеристикою (рис. 3.9) - коефіцієнт посилення 0,8; час перехідного процесу 250 с; постійна часу ≈ 50 с; затримка 13,1 с.

Для отриманої моделі другого порядку коефіцієнт посилення дорівнює 0,81, постійна часу становить $9,5 + 37,8 = 47,3$ с, а затримка 11,2 с, що додатково підтверджує, що об'єкту керування дійсно краще всього відповідає обрана модель P2D - аперіодична ланка другого порядку з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації отримана модель у вигляді передавальної функції, яка відповідає об'єкту керування за перевірочними даними на 87,9 %:

$$W(s) = \frac{0,81 \cdot e^{-11,2s}}{(9,5s + 1) \cdot (37,8s + 1)} \quad (3.2)$$

3.5.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink

Використовуючи передавальну функцію (3.2) у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink математичного пакету MATLAB розроблена модель отримання даних для перевірки на адекватність (рис. 3.14).

При налаштуванні час моделювання задано 1 800 с, що дорівнює кількості перевірочних даних. Додані блоки запису перевірочних даних та результатів

моделювання до змінних Object і Model відповідно. Крок запису задано 1 с, що відповідає первинним даним.



Рисунок 3.14 – Модель об'єкту керування (реактор термокрекінгу TC-PW-RT7000)

На виході додано статичний зсув характеристики дійсного значення, який корегує вихідну характеристику відповідно до реальних даних, отриманих з об'єкту керування – початковий стан дійсного значення при мінімальному керуючому впливі 2,4 т/г має бути мінімальний 2,38 тис. м³/г.

На рис. 3.15 показана модель отримання даних для перевірки на адекватність.

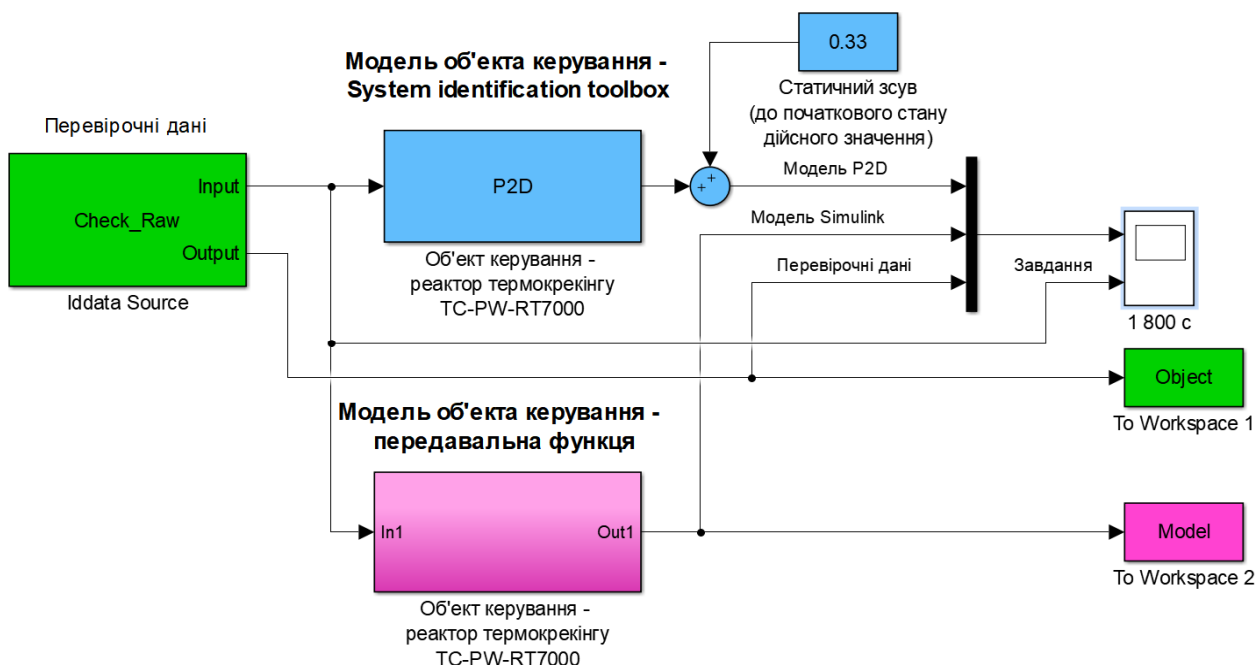


Рисунок 3.15 – Модель отримання даних для перевірки на адекватність

На вихід моделі P2D доданий статичний зсув дійсного значення, який також, як і раніше відповідає за початковий стан дійсного значення для при максимальному керуючому впливі для реактор термокрекінгу TC-PW-RT7000.

Порівняння відбувається з чистими перевірочними даними над якими не виконувалися дії які б могли їх «скомпрометувати».

За результатами моделювання бачимо, що дійсні значення отримані на виході моделі System Identification Toolbox (сигнал – «Модель P2D») та моделі розробленій на базі передавальної функції (сигнал – «Модель Simulink») співпадають з перевірочними даними (рис. 3.16). Виключення становить початковий етап, так як модель System Identification Toolbox (сигнал – «Модель P2D») не має початкового стану не рівного нулю.

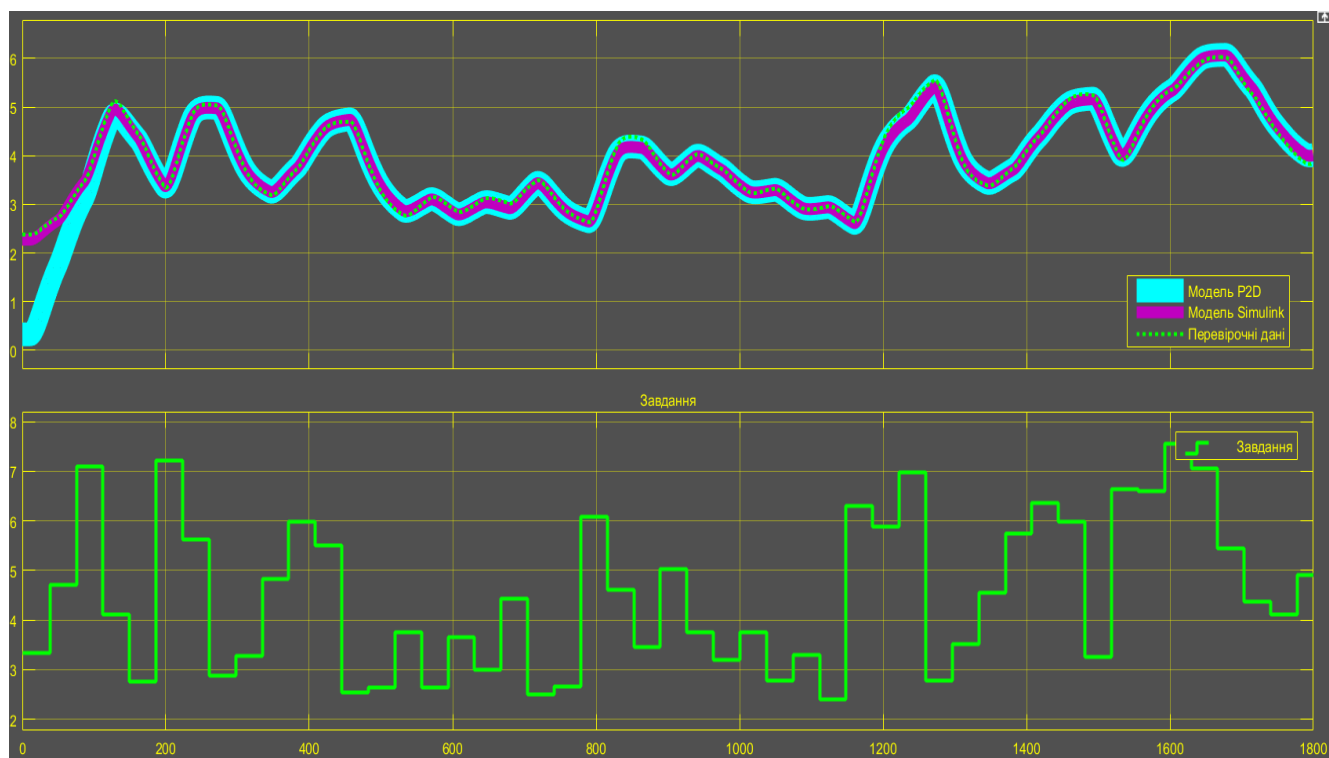


Рисунок 3.16 - Результат отримання даних для перевірки на адекватність

Наступним етапом є перевірка моделі на адекватність.

3.5.5 Перевірка моделі на адекватність

При перевірці на відповідність її значення у більшості випадків повинно бути вище 80 %, при перевірці на адекватність коефіцієнт кореляції повинен бути

вище 0,8, а довірчий інтервал відповідати 0,9. У деяких випадках ці значення можуть бути змінені.

Перевірка на адекватність виконувалася за допомогою скрипту GetAdequacy.m, який реалізує відповідний розрахунок перевірки на адекватність.

Результат виконання статистичного аналізу (виклику функції):

```
Перевірка моделі об'єкта керування на адекватність v1.0
Коефіцієнт кореляції: 0.996
Статистичний критерій Фішера: 222062.901
Критичне значення статистики Фішера: 2.708
Статистичний критерій Фішера більший критичного значення, модель є
адекватною до об'єкта керування.
```

Використовуючи скрипт GetAdequacy.m встановлено, що між перевірочними даними та результатами моделювання присутній дуже високий зв'язок, коефіцієнт кореляції близький до 1,0. Статистичний критерій Фішера 222 062 більший критичного значення 2,708, тобто модель є адекватною до об'єкта керування.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та перевірки на адекватність зроблено висновок, що розроблена модель є адекватною до об'єкта керування та може бути використана у подальшому при синтезі системи керування в умовах досліджуваного технологічного процесу.

3.6 Розробка схеми моделі шнекового дозатора

Програмований логічний контролер виконує керування продуктивністю подачі пластику за допомогою частотного перетворювача, який живить шнековий дозатор. Час обмеження зміни продуктивності для шнекового дозатора становить 1 т/г за 1 с (рис. 3.9). Обмеження скоріш за все пов'язані з фізичними параметрами техпроцесу - обмеженням ударних навантажень на технологічні апарати.

Таким чином спрощена модель системи керування шнековим дозатором можна представити блоком Rate Limiter (рис. 3.17).

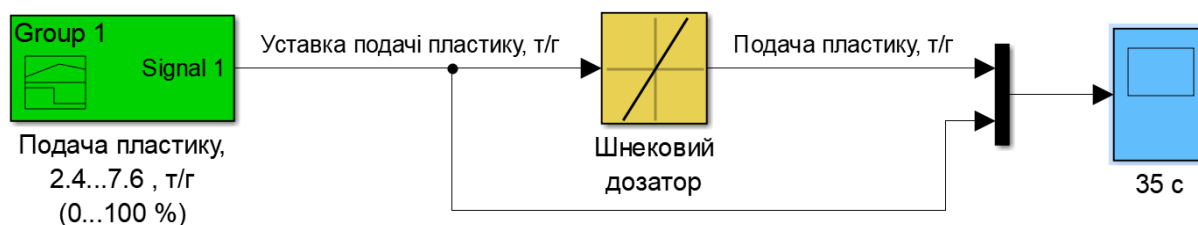


Рисунок 3.17 – Модель шнекового дозатора

Графік роботи моделі шнекового дозатора представлено на рис. 3.18.

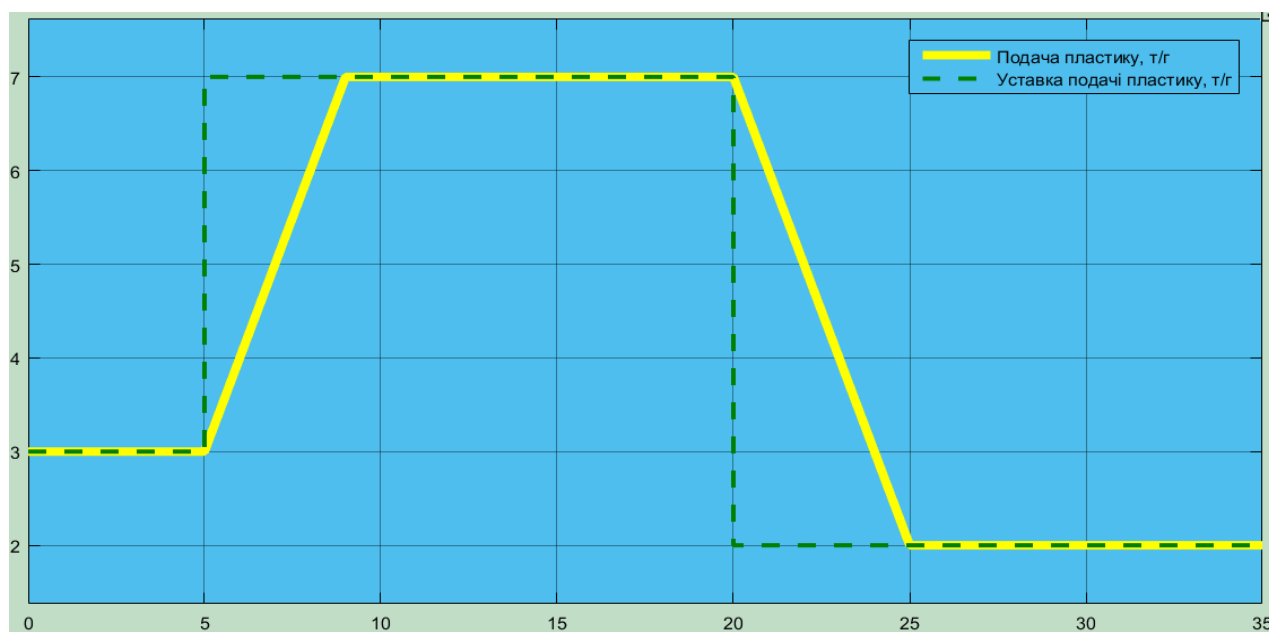


Рисунок 3.18 – Моделювання роботи шнекового дозатора

3.7 Остаточна комплексна модель об'єкту керування

Остаточна комплексна модель технологічного апарату у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink наведена на рис. 3.19, яка складається з моделі шнекового дозатора (рис. 3.17) та моделі реактору термореакції ТС-PW-RT7000 (рис. 3.14).

Динамічні характеристики для остаточної комплексної моделі технологічного апарату керування наведено на рис. 3.20.

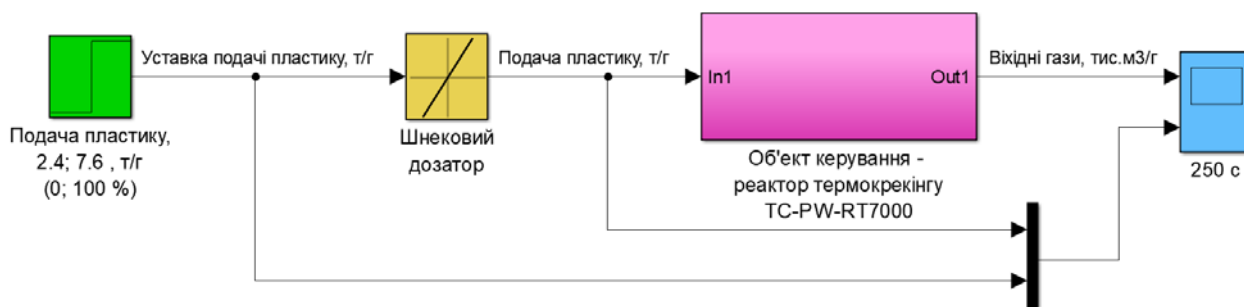


Рисунок 3.19 - Остаточна комплексна модель об'єкта керування

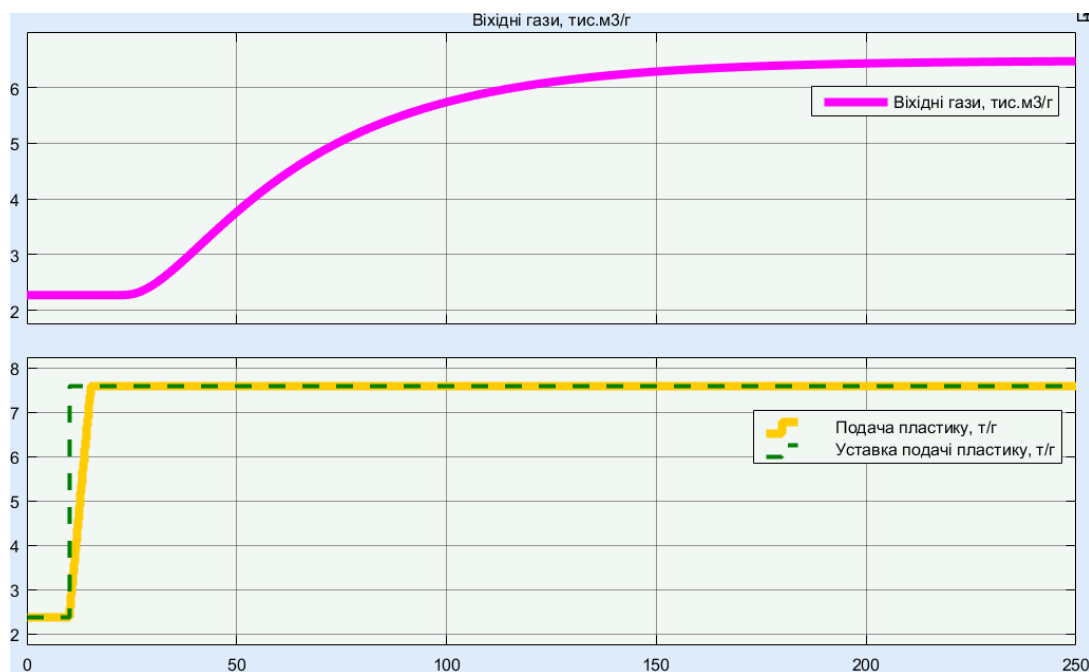


Рисунок 3.20 - Динамічна характеристика остаточної комплексної моделі об'єкта керування

3.8 Висновки за розділом

При виконанні структурної ідентифікації, яка проведена на підставі експериментальних даних отриманих на об'єкті керування (динамічної характеристики, даних для побудови статичної характеристики, даних отриманих при П-образному керуючому впливі) встановлено, що структурно модель об'єкта керування може бути представлена як аперіодична ланка другого з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації встановлено, що структура моделі об'єкта керування – реактором термокрекінгу TC-PW-RT7000 відповідає аперіодичній ланці другого порядку з запізненням з наступними розрахованими

параметрами: коефіцієнт підсилення 0,81, постійні часу 9,5 с та 37,8 с, а затримка становить 11,2с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність у 87,9 %, сильний кореляційний зв'язок близький до 1,0 та статистичний критерій Фішера 222 062 значно більшу критичного значення 2,708. Велике значення статичного критерію адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та одиничним значенням коефіцієнта кореляції.

Остаточна комплексна модель технологічного апарату у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink складається з моделі шнекового дозатора та моделі реактору термокрекінгу TC-PW-RT7000.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та статистичного аналізу, отримана модель є адекватною до об'єкта керування - моделі реактору термокрекінгу TC-PW-RT7000, який використовується у технологічному процесі безперервної хімічної переробки пластику на заводі «Greenstep» (м. Харків).

Модель об'єкту керування може бути використана для подальшої розробки системи керування за обраним каналом керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії.

Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення системи керування.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування

Попит на перероблені пластмаси зростає оскільки майбутні правила сприяють більш широкому використанню переробленого пластику, у багатьох випадках зростаюча стурбованість щодо атрибутів якості, безпеки та стійкості перероблених пластмас та матеріалів.

Більше, ніж будь-коли раніше, виробники, виробники та роздрібні торговці беруть на себе зобов'язання щодо цілей переробки та звертаються до нових технологічних рішень, щоб зменшення залежності від первинних пластмас та збільшити використання перероблених пластикових матеріалів.

Законодавчі та нормативні зусилля, спрямовані на переробку, значно і відносно швидко зросли на міжнародному рівні.

Виробники та роздрібні торговці у всіх регіонах стикаються з проблемою йти в ногу з новими та мінливими вимогами, а також розробляти та адаптувати нові стратегії скорочення пластикових відходів.

Багато підприємств вивчають можливості включити більше переробленого пластику в свої продукти та упаковку, зберігаючи при цьому відмінні характеристики безпеки, якості та продуктивності. Оскільки вони впроваджують інновації та по-новому об'єднують нові технології та матеріали, компаніям необхідно продемонструвати безпеку та підтвердити відповідність, перш ніж розміщувати свою продукцію на ринку.

Хоча зменшення пластикових відходів шляхом використання продуктів з більшим відсотком вмісту переробленого пластику є бажаним прагненням, зусилля пов'язані з власним набором проблем. Вони включають:

- вирішення фундаментальної проблеми попиту та пропозиції, оскільки перероблені пластмаси стають все більш популярними;

– значення впливу перероблених матеріалів та компонентів на якість, безпеку та експлуатаційні характеристики пластикових та пластмасових матеріалів.

Метою для всіх сторін є зменшення впливу глобальних пластикових відходів та сприяння більш широкому використанню безпечних, якісних перероблених пластмас у всіх видах продукції.

У кваліфікаційній роботі бакалавра об'єктом керування було обрано технологічний апарат термокрекінгу TC-PW-RT7000, який використовується у технологічному процесі безперервної хімічної переробки пластику на заводі «Greenstep» (м. Харків).

Тому автоматизація технологічного процесу безперервної хімічної переробки пластику дозволить збільшити якість продукції і об'єми виробництва, що в свою чергу позитивно вплине на економічні цього показники підприємства.

Сучасна система керування наступні переваги:

- підвищення якості керування технологічними параметрами;
- підвищення інформативності керування;
- підвищення надійності роботи обладнання;
- підвищення безпеки праці;
- обмін інформацією з іншими системами керування.

4.2 Розрахунок капітальних витрат при впровадженні системи керування

Розрахуємо капітальні витрати:

$$K_{ПКВ} = C_{ОБ} + D_{ТР} + M_{МН} + K_{ПЗ}, \quad (4.1)$$

де $K_{ПКВ}$ – проектні капітальні витрати, грн.; $C_{ОБ}$ – вартість основного та допоміжного обладнання, грн.; $D_{ТР}$ – транспортно-заготівельні витрати, грн.; $M_{МН}$ – витрати на монтаж і налагодження системи, грн.; $K_{ПЗ}$ – витрати на розробку програмного забезпечення, грн.

Вартість основного та допоміжного обладнання наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Зведення капітальних витрат C_{OB} [6...12]

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	Модуль ПЛК VIPA 214-2BS33	од.	1	32 774,40	32 774,40
2	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	од.	2	24 149,30	48 298,60
3	Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00	од.	1	14 739,20	14 739,20
4	Функціональний модуль 250-1BS00	од.	1	18 400,20	18 400,20
5	Модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD40	од.	1	28 045,50	28 045,50
6	Датчики витрат Siemens Promass 84F	од.	3	57 070,00	171 210,00
7	Датчик тиску Siemens SITRANS P ZD	од.	1	36 421,45	36 421,45
8	Датчик температури Siemens SITRANS TS500-Tsinsert	од.	2	44 899,75	89 799,50
9	Енкодер E40H 012 2000 2 N 24	од.	1	3 000,00	3 000,00
10	Твердотільне реле RZ3A	од.	2	480,00	960,00
11	Частотний перетворювач Schneider ATV320D15N4B	од.	3	45 000,00	135 000,00
12	Система керування, виконана на базі ПК	од.	1	42 335,80	42 335,80
13	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	од.	2	2 200,00	4 400,00
14	Шафа монтажна	од.	1	14 000,00	14 000,00
15	Монтажні дроти	м	150	12,50	1 875,00
16	Мережний кабель	м	1200	29,60	35 520,00
17	Програмне забезпечення	разом	1	80 000,00	80 000,00
	Разом				756 779,65

Вартість основного та допоміжного обладнання складає $C_{OB} = 756\,779,65$ грн.

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи визначаються в залежності від вартості обладнання, як 8 % від загальної вартості:

$$D_{TP} = C_{OB} \cdot 0,08. \quad (4.2)$$

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$D_{TP} = 756\,779,65 \cdot 0,08 = 60\,542,38 \text{ грн.}$$

Вартість монтажна-налагоджувальних робіт приймаються на рівні 7 % від вартості обладнання:

$$M_{MH} = C_{OB} \cdot 0,07. \quad (4.3)$$

Витрати на монтажна-налагоджувальні роботи складають:

$$M_{MH} = 756\,779,65 \cdot 0,07 = 52\,974,58 \text{ грн.}$$

4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення

4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення (ПЗ) розраховується як:

$$t = t_o + t_u + t_a + t_n + t_{OT} + t_g. \quad (4.4)$$

де t – трудомісткість розробки програмного забезпечення, люд.-год.; t_o – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання, люд.-год.; t_u – витрати праці на дослідження алгоритму керування, люд.-год.; t_a – витрати праці на розробку схеми алгоритму, люд.-год.; t_n – витрати праці на програмування по готовій схемі алгоритму, люд.-год.; t_H – витрати праці на налаштування програмного забезпечення, люд.-год.; t_g – витрати праці на підготовку документації по завданню, люд.-год.

Складові витрат праці визначаються на підставі умовної кількості оброблюваних операторів у програмному забезпеченні:

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \text{ операторів} \quad (4.5)$$

де Q – умовна кількість операторів в програмному забезпеченні; q – кількість операторів у програмному забезпеченні (виходячи з програмного забезпечення розробленого на мові Structured Text типове значення має діапазон 550... 850, приймаємо $q = 610$);

c – коефіцієнт складності програми, приймаємо $c = 1,5$; p – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки, приймаємо $p = 0,35$.

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Q = 610 * 1,5 * (1 + 0,35) \approx 1\ 236 \text{ операторів}$$

Витрати праці на підготовку і опис завдання в кваліфікаційній роботі складають $t_o = 72$ люд. – год.

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з урахуванням уточнення опису та кваліфікації програміста як:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k} \text{ люд. – год} \quad (4.6)$$

де B – коефіцієнт збільшення витрат праці (приймаємо $B = 1,6$); k – коефіцієнт кваліфікації програміста, приймаємо $k = 1,35$.

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_u = 1\,236 * 1,6 / (80 * 1,3) \approx 20 \text{ люд. - год.}$$

Витрати на розробку алгоритму керування визначаються як:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \cdot \text{люд. - год} \quad (4.7)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_a = 1\,236 / (20 * 1,35) \approx 46 \text{ люд. - год.}$$

Витрати праці на складання програми по готовій схемі алгоритму визначаються як:

$$t_n = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \cdot \text{люд. - год} \quad (4.8)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_n = 1\,236 / (20 * 1,35) \approx 46 \text{ люд. - год.}$$

Витрати праці на налаштування програми розраховуються як:

$$t_h = \frac{Q}{(4 \dots 5) \cdot k} \cdot \text{люд. - год} \quad (4.9)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_h = 1\,236 / (4 * 1,35) \approx 229 \text{ люд. - год.}$$

Витрати праці на підготовку документації по завданню визначаються як:

$$t_g = t_{др} + t_{до}, \text{ люд. - год} \quad (4.10)$$

де $t_{др}$ – трудомісткість підготовки матеріалів до написання; $t_{до}$ – трудомісткість редагування, друку та оформлення документації.

Трудомісткість підготовки матеріалів до написання визначається як:

$$t_{др} = \frac{Q}{(15 \dots 20) \cdot k} \cdot \text{люд. - год} \quad (4.11)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{др} = 1\,236 / (15 * 1,35) \approx 62 \text{ люд. - год.}$$

Трудомісткість редагування, друку та оформлення документації визначається як:

$$t_{до} = 0,75 \cdot t_{др} \cdot \text{люд. - год} \quad (5.12)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{\text{ДО}} = 0,75 * 62 = 47 \text{ люд. – год.}$$

Для розробленого програмного забезпечення витрати праці на підготовку документації по завданню:

$$t_g = 62 + 47 = 109 \text{ люд. – год.}$$

Таким чином трудомісткість розробки програмного забезпечення становить:

$$t = 72 + 20 + 46 + 46 + 229 + 109 = 522 \text{ люд. – год}$$

4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

Витрати на розробку ПЗ визначається як:

$$K_{\text{ПЗ}} = Z_{\text{ЗП}} + Z_{\text{МІ}}, \text{ грн.} \quad (4.13)$$

де $Z_{\text{ЗП}}$ – витрати на заробітну плату розробника ПЗ, грн.; $Z_{\text{МІ}}$ – вартість машинного часу, необхідного для налаштування ПЗ, грн.

Заробітна плата розробника програмного забезпечення визначається як:

$$Z_{\text{ЗП}} = t \cdot C_{\text{ПР}}, \text{ грн.}, \quad (4.14)$$

де t – час розробки ПЗ, год; $C_{\text{ПР}}$ – середня годинна тарифна ставка розробника програмного забезпечення (приймаємо $C_{\text{ПР}} = 140,00$ грн./год.).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{\text{ЗП}} = 522 * 140,00 = 73\ 080,00 \text{ (грн.)}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми визначається як:

$$Z_{\text{МІ}} = t_n \cdot C_{\text{МЧ}} \text{ (грн.)}, \quad (4.15)$$

де t_n – час налаштування ПЗ, год; $C_{\text{МЧ}}$ – вартість машинного часу (приймаємо $C_{\text{МЧ}} = 15,50$ грн./год.).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{\text{МІ}} = 46 * 15,50 = 713,00 \text{ (грн.)}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування становлять:

$$K_{\text{ПЗ}} = 73\ 080,00 + 713,00 = 73\ 793,00 \text{ грн.}$$

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \quad (4.16)$$

де T – тривалість розробки програмного забезпечення (міс.); B_k – кількість розробників, приймаємо $B_k = 1$; F_p – місячний фонд робочого часу $F_p = 176$ год./міс.

$$T = 522 / (1 * 176) \approx 3,0 \text{ (міс.)}.$$

Таким чином проектні капітальні витрати:

$$\begin{aligned} K_{ПКВ} &= 756\,779,65 + 60\,542,38 + 52\,974,58 + 73\,793,00 \approx \\ &\approx 944\,089,61 \text{ грн.} \end{aligned}$$

4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються як:

$$C_e = C_a + C_3 + C_c + C_{PO} + C_{ee} + C_{ІНШ}, \quad (4.17)$$

де C_e – річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи керування, грн.; C_a – амортизація основних фондів, грн.; C_3 – заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн.; C_c – відрахування на соціальні заходи, грн.; C_{PO} – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання, грн.; C_{ee} – вартість електроенергії, грн.; $C_{ІНШ}$ – інші витрати, грн.

Визначимо експлуатаційні витрати при впровадженні системи керування.

4.4.1 Амортизація основних фондів

Залежно від групи, до якої віднесено той, чи інший об'єкт основних засобів, встановлено мінімально-допустимі строки їх амортизації.

Обладнання, розробленої в кваліфікаційній роботі системи керування, належить до 4 групи (машини та обладнання). Передбачуваний термін експлуатації системи становить 5 років.

При використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визначається як:

$$H_a = \frac{2}{T} \cdot 100 \%, \quad (4.18)$$

де H_a – норма амортизації, %; T – термін корисного використання об'єкта, років.

Амортизація основних фондів визначається як:

$$C_a = \frac{\text{ПВ} \cdot H_a}{100 \%}, \quad (4.19)$$

де C_a – річна амортизація основних фондів, грн.; ПВ – первинна вартість (ПВ = $K_{\text{ПКВ}}$), грн.

Отже, норма амортизації для проектованої системи керування складає:

$$H_a = \frac{2}{5} \cdot 100 \% = 40 \%$$

Сума амортизації для проектованої і базової системи становить:

$$C_a = 944\,089,61 \cdot 40 / 100 = 377\,635,85 \text{ грн.}$$

4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{\text{НР}} = (T_{\text{К}} - T_{\text{ВС}} - T_{\text{В}}) \cdot T_{\text{З}}, \quad (4.20)$$

де $T_{\text{НР}}$ – номінальний річний фонд робочого часу одного працівника, год.; $T_{\text{К}}$ – календарний фонд робочого часу, днів ($T_{\text{К}} = 365$); $T_{\text{ВС}}$ – вихідні дні та свята, днів ($T_{\text{ВС}} = 114$); $T_{\text{В}}$ – відпустка, днів ($T_{\text{В}} = 21$); $T_{\text{З}}$ – тривалість зміни, год ($T_{\text{З}} = 8$).

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{\text{НР}} = (365 - 114 - 21) \cdot 8 = 1\,840 \text{ год.}$$

У процесі керування задіяний 1 оператор людино-машинного інтерфейсу на зміну, 1 інженер-технолог та 1 наладчик електроустаткування на добу. Процес безперервний – 3 зміни на добу.

Розрахунок річного фонду заробітної плати виробничих робітників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок заробітної плати персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол.	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Номінальний річний фонд	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор НМІ	3	130,50	1 840	720 360,00	57 628,80	50 425,20	828 414,00
2	Інженер-технолог	1	160,50	1 840	295 320,00	23 625,60	20 672,40	339 618,00
3	Наладчик	1	121,00	1 840	222 640,00	17 811,20	15 584,80	256 036,00
Разом								1 424 068,00

Заробітна плата персоналу проектної системи керування

$$C_3 = 1\,424\,068,00 \text{ грн.}$$

4.4.3 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються як:

$$C_c = 0,22 \cdot C_3, \text{ грн.} \quad (4.21)$$

Відповідно до цього відрахування становлять:

$$C_c = 0,22 * 1\,424\,068,00 = 313\,294,96 \text{ грн.}$$

4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі приймаємо на рівні 5 % від величини капітальних витрат:

$$C_{PO} = 0,05 \cdot K_{KB} \cdot (K_{ПКВ}) \quad (4.22)$$

Відповідно до цього витрати становлять:

$$C_{PO} = 0,05 * 944\,089,61 = 47\,204,49 \text{ грн.}$$

4.4.5 Витрати на електроенергію

Вартість електроенергії, споживаної системою керування:

$$C_{ee} = K_e \cdot K_{рд} \cdot T_3 \cdot T_e, \quad (4.23)$$

де K_e – кількість електроенергії, спожите системою керування, приймаємо $K_e = 1,65 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$;

T_3 – кількість часу роботи за сутки, $T_3 = 24$ год.;

$K_{РД}$ – кількість робочих днів у році, $K_{РД} = 365$ день;

T_e – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 2,86 грн.·кВт без ПДВ, з урахуванням ПДВ тариф $T_e = 2,86 * 1,2 = 3,432$ грн.

Таким чином вартість електроенергії становить:

$$C_{ee} = 2,7 * 365 * 24 * 3,432 = 81\,173,67 \text{ грн.}$$

4.4.6 Інші витрати

Інші витрати з експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та інше згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{\text{ІНШ}} = 0,04 \cdot C_3. \quad (4.24)$$

Таким чином інші витрати становлять:

$$C_{\text{ІНШ}} = 0,04 * 1\,424\,068,00 = 56\,962,72 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати становлять (табл. 4.4):

$$C = 377\,635,85 + 1\,424\,068,00 + 313\,294,96 + 47\,204,49 + 81\,173,67 + 56\,962,72 = 2\,300\,339,69 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.4 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Назва показника	Проектний варіант, грн.
1	Амортизація	377 635,85
2	Фонд заробітної плати	1 424 068,00
3	Відрахування на соціальні виплати	313 294,96
4	Ремонт та технічне обслуговування	47 204,49
5	Електроенергія	81 173,67
6	Інше	56 962,72
7	Загалом	2 300 339,69

4.5 Висновки за розділом

При впровадженні проекрованої системи капітальні витрати складають 945 тис. грн., час розробки ПЗ становитиме 3,0 місяці.

Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть трохи більше 2,3 млн. грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

5.1.1 Санітарні вимоги та вимоги до повітряного середовища на виробництві

Класифікація приміщень за санітарною характеристикою згідно з галузевими нормами наведена в табл. 5.1

Таблиця 5.1 – Класифікація приміщень за санітарною характеристикою

Найменування цеху, відділення, установки	Група виробничих процесів
Приміщення сортування	Шб
Приміщення мийки пластмас	Шб
Склад пластмас	Ia
Склад продукції	Шб

Рівні шуму на робочих місцях не перевищують 80 дБ.

У холодну пору року температура повітря всередині виробничого приміщення повинна бути 18...20 °С, відносна вологість 40...60 %, а швидкість руху повітря 0,2 м/с. У теплий період року відповідно температура повітря 21...23 °С, відносна вологість 40...60 % та швидкість руху повітря 0,3 м/с.

За категорією робіт роботи оператора відносяться до середньої тяжкості, тому освітленість становить 400 лкс. В іншій зоні, за розрядом зорових робіт належить до освітленості 200 лкс.

Перелік шкідливих речовин, виділення яких можливе у повітря робочої зони, а також методи їх визначення та контролю, наведено у табл. 5.2.

Приміщення, в яких проводяться роботи, та місця можливого виділення шкідливих хімічних речовин, обладнані припливно-витяжною вентиляцією.

З метою охорони навколишнього природного середовища від забруднень організовано періодичний контроль за викидами шкідливих речовин в атмосферне повітря населених місць.

Виробничі приміщення забезпечені питною водою.

Таблиця 5.2 - Перелік шкідливих речовин, виділення яких можливе у повітря робочої зони

№ п/п	Найменування шкідливості	ГДК, мг/м ³	Клас небезпеки	Періодичність контролю	МУ
1	Спирт етиловий	1000	4	1 раз на квартал	4168-86
2	Пил паперовий	6,0	4	1 раз на квартал	4436-87
3	Фенол	0,3	2	1 раз на місяць	1461-76
4	Формальдегід	0,5	2	1 раз на місяць	4524-87
5	Аміак	20,0	4	1 раз на квартал	1637-77
6	Етилацетат	200, 0	4	1 раз на квартал	4168-86
7	Спирт ізопропіловий	10,0	3	1 раз на квартал	4577-88
8	Метилкрилат	5,0	3	1 раз на квартал	4628-88
9	Метилметакрилат	10,0	3	1 раз на квартал	4628-88
10	Полівінілхлорид	6,0	3	1 раз на квартал	4436-87
11	Стирол	30,0/10,0	3	1 раз на квартал	4167-86
12	Толуол	50,0	3	1 раз на квартал	4167-86

5.1.2 Правила пожежної безпеки

Класифікацію приміщень з пожежної безпеки наведено в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 - Класифікація приміщень з пожежної безпеки

Найменування цеху, відділення, установки	Категорія приміщень
Приміщення сортування	Д
Приміщення мийки пластмас	В
Склад пластмас	В
Склад продукції	В

Виконання технологічного регламенту та забезпечення нормальної роботи обладнання є запорукою ефективної профілактики пожеж та вибухів на будь-якій ділянці.

Відповідальність за пожежну безпеку несе заступник директора з виробництва, який зобов'язаний:

- забезпечити дотримання на довірєній ділянці роботи встановленого протипожежного режиму;
- стежити за справністю приладів: опалення, вентиляції, електроустановок, технологічного обладнання, та вживати негайних заходів щодо усунення виявлених несправностей, які можуть призвести до пожежі;
- стежити за тим, щоб після закінчення роботи проводилося прибирання робочих місць, вимикалася електроенергія;

- забезпечити справний утримання та постійну готовність до дії наявних засобів пожежогасіння, зв'язку та сигналізації.

Всі виробничі та підсобні приміщення цеху повинні ними, забезпечені первинними засобами пожежогасіння та пожежними інструментом. Водночас необхідний суворий контроль за станом роботи вогнегасників та навчанням працюючих правил та способів пожежогасіння.

Профілактика пожеж та вибухів досягається і відокремленим розміщенням пожежо- та вибухонебезпечних ділянок та матеріалів, правильним зберіганням хімічних речовин, що займаються при сумісному зберіганні, пристроєм окремої вентиляції.

Курити на підприємстві можна лише у спеціально відведених місцях.

Електрозварювальні та інші роботи, пов'язані із застосуванням відкритого вогню, допускаються лише за спеціальним дозволом заступника директора з виробництва.

На ділянці повинен дотримуватися порядок складування та зберігання готової продукції, сировини та хімікатів.

Підступи до засобів пожежогасіння, оповіщувачам про пожежу, мають бути вільними. Засоби пожежогасіння повинні утримуватися у справності та повній готовності.

У приміщенні має щодня проводитися вологе прибирання, не допускати накопичення пилу на обладнанні.

Сторонні особи у цех не допускаються.

Пролиті мастила, розчинник, воду, фарбу слід негайно прибирати.

Складування матеріалів, сировини та готової продукції проводити з дотриманням протипожежних розривів.

У разі виникнення пожежі повідомити за телефоном 01 (міська пожежна охорона) та до прибуття пожежної частини розпочати гасіння пожежі всіма наявними на озброєнні первинними засобами пожежогасіння.

5.1.3 Вимоги електробезпеки

Заходи, що попереджають небезпеку ураження електричним струмом, полягають у наступному:

- вибір та встановлення електрообладнання проводяться відповідно до умов навколишнього середовища;
- застосування безпечної (малої) напруги, двигунів закритого типу;
- огорож або розташування струмопровідних елементів у місцях, недоступних для випадкового дотику, ізольованих рукояток пускових пристроїв, переносних приладів;
- не допускати псування електроізоляції струмовідних частин;
- влаштування заземлення або занулення всіх металевих конструкцій, які можуть опинитися під напругою, а також застосування захисного відключення;
- застосування захисних засобів при обслуговуванні електроустановок;
- не допускати попадання рідини в електродвигуни, реостати, розетки, перемикачі та інші частини електричних систем;

Треба виконувати організаційні заходи, що забезпечують безпеку виконання робіт. Необхідний періодичний контроль стану електроустановок, обладнання, силових та освітлювальних мереж та їх правильної експлуатації. Слід також проводити щоденний огляд електросилової та освітлювальної апаратури при прийомі та передачі зміни та своєчасно усувати виявлені несправності. Утримувати в справності запобіжну апаратуру, не допускати застосування некаліброваних саморобних запобіжників. Усунення всіх неполадок на технологічному та електричному устаткуванні виконується лише кваліфікованими фахівцями, які мають дозвіл на виконання цих робіт. Прибирання робочих місць виконується лише за вимкненого технологічного обладнання.

5.1.4 Вимоги до технологічного режиму виробництва

Умови та послідовність проведення операцій, що забезпечують безпеку та дотримання встановленого технологічного режиму, зводяться до наступних:

а) вимоги безпеки перед початком роботи:

- надіти та упорядкувати спецодяг, перевірити заземлення технологічного обладнання та вентиляції;

- упорядкувати робоче місце, приготувати до роботи все необхідні пристрої та пристрої;

- про всі помічені несправності в технологічному обладнанні та пристроях доповісти старшому зміни та до усунення несправностей до роботи не приступати;

- прийняти обладнання від попередньої зміни та розпочати роботу.

б) під час роботи на друкованій установці:

- пускаючи машину, необхідно спочатку дати сигнал про пуск машини, потім зробити кілька обертів; переконавшись, що машина знаходиться у повній справності, включити її робочий хід, поступово додаючи швидкість і при цьому слідкувати за шкалою приладу, що показує швидкість машини;

- забороняється на ходу знімати з валиків, циліндрів та інших частин машини шматки пластмаси, що пристали;

- під час роботи забороняється без нагляду залишати працюючу машину.

в) після закінчення роботи:

- скласти та знеструмити технологічне обладнання та пристрої;

- упорядкувати робоче місце, прибрати інструменти та пристосування;

- здати зміннику робоче місце та обладнання;

- прийняти душ, ретельно вимити руки;

- після закінчення роботи забороняється перебувати у виробничому приміщенні.

Не допускаються вільні підлоги робочої куртки, халата або фартуха і зав'язки на обшлангах рукавів – щоб уникнути захоплення їх частинами механізмів, що рухаються.

5.1.5 Вимоги безпеки під час поводження з відходами пластмаси

Вимоги безпеки необхідно дотримуватись при зберіганні та транспортуванні пластмаси. Відходи пластмаси повинен зберігатися на складі з рівним твердим покриттям. Укладання проводиться навантажувачем, обладнаним бічними захватами. Висота штабеля визначається можливостями навантажувача, але не більше шарів на висоті штабеля. Проходи між штабелями повинні бути вільними та бути не менше 0,8 м.

Готова продукція, упакована в мішки, укладається на піддони та разом з піддонами зберігається на складі.

Правила поводження з пластиком:

- пластик є пожежонебезпечною та вибухонебезпечною (температура загоряння 220 °С); як засоби гасіння пожеж повинні використовуватися вогнегасники відповідно до чинної нормативної документації, піску, кошму.

- пластик при використанні не виділяє шкідливих речовин, у повітряному середовищі у присутності інших речовин не утворює шкідливих сполук;

- пластик токсичної дії не має, клас безпеки 4, ГДК 6 мг/м³ (по пилу);

- обладнання з переробки макулатури має бути заземлене;

- приміщення з переробки пластик мають бути забезпечені питною водою;

- періодично має здійснюватися контроль за станом повітря робочої зони за методиками, затвердженими органами державного санітарного нагляду;

- пластик повинно зберігати по марках у контейнерах, на обладнаних майданчиках, складах, захищених від атмосферних опадів та ґрунтової вологи.

Допускається транспортування пластику у відкритих транспортних засобах, при цьому вона повинна бути захищена від атмосферних опадів брезентом, поліетиленом, плівкою тощо. Перевезення залізницею здійснюється повагонними відправками пластикових партій.

5.2 Розрахунок страхових виплат потерпілому від нещасного випадку на виробництві

Таблиця 5.4 - Розрахунок страхових виплат потерпілому від НВ на виробництві

№ п/п	ΣТ	ЗП	% - стійкої втрати працездатності	Σ3			N	Σ4
				спец. нагляд	постійний нагляд	побутове обслуговування		
8	85	3680	8	ні	да	да	31	5600

$$\Sigma_1 = \frac{\Sigma T \cdot ЗП}{30} = \frac{85 \cdot 3680}{30} = 10426,6 \text{ грн.}$$

$$\Sigma_3 = \frac{(ЗП_{\text{мін}} + 0,5 \cdot ЗП_{\text{мін}} + 0,25 \cdot ЗП_{\text{мін}}) \cdot N}{30} = \frac{(6500 + 0,5 \cdot 6500 + 0,25 \cdot 6500) \cdot 31}{30} = 11754,2 \text{ грн.}$$

$$\Sigma_2 = 17 \cdot 1934 = 32878 \text{ грн.}$$

$$\Sigma_B = \Sigma_1 + \Sigma_2 + \Sigma_3 + \Sigma_4 = 10426,6 + 32878 + 11754,2 + 5600 = 60659 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.5 - Аналіз травматизму на підприємствах статистичним методом

№ п/п	ΣТ _А	N _А	P _А	ΣТ _В	N _В	P _В
8	230	15	1200	275	12	860

Підприємство А:

$$K_T = \frac{\Sigma T}{N} = \frac{230}{15} = 15,3$$

$$K_q = \frac{N}{P} \cdot 1000 = \frac{15}{1200} \cdot 1000 = 12,5$$

$$K_B = K_T \cdot K_q = \frac{\Sigma T}{P} \cdot 1000 = \frac{230}{1200} \cdot 1000 = 191,6$$

Підприємство В:

$$K_T = \frac{\Sigma T}{N} = \frac{275}{12} = 22,9$$

$$K_q = \frac{N}{P} \cdot 1000 = \frac{12}{860} \cdot 1000 = 14$$

$$K_B = K_T \cdot K_q = \frac{\Sigma T}{P} \cdot 1000 = \frac{275}{860} \cdot 1000 = 319,8$$

5.3 Висновки за розділом

В розділі охорона праці розглянуті небезпечні та шкідливі виробничі фактори згідно санітарних вимог та вимог до повітряного середовища на виробництві, правила пожежної безпеки, вимоги електробезпеки, вимоги до технологічного режиму виробництва, вимоги безпеки під час поводження з відходами пластмаси. Проведено розрахунок страхових виплат потерпілому від нещасного випадку на виробництві.

ВИСНОВКИ

Об'єктом керування виступає технологічний апарат - реактор термокрекінгу TC-PW-RT7000, який використовується у технологічному процесі який використовується у технологічному процесі безперервної хімічної переробки пластику на заводі «Greenstep» (м. Харків).

Автоматизація реактору термокрекінгу TC-PW-RT7000 включає в себе автоматичне керування, дистанційне керування, технологічний захист, тепловий контроль, технологічні блокування і сигналізацію. Експлуатація реактору термокрекінгу TC-PW-RT7000 повинна забезпечувати надійний і ефективний процес при хімічній переробці пластику. Система керування також має забезпечити для обслуговуючого персоналу безпечні умови праці. Для виконання цих вимог експлуатація повинна здійснюватися в суворій відповідності з законами, правилами, стандартами і директивами.

Керування роботою реактором термокрекінгу TC-PW-RT7000 повинно здійснюватися за основним каналом «продуктивність подачі пластмаси – продуктивність вихідних газів».

Для підвищення ефективності роботи технологічного обладнання безперервної хімічної переробки пластику на заводі «Greenstep» треба модернізувати систему керування реактором термокрекінгу TC-PW-RT7000. Таким чином є гостра потреба у математичній моделі об'єкту керування, працюючого у допустимих технологічних межах, які у наступному мають бути використані при синтезі нової системи керування цим технологічним об'єктом керування.

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування - реактором термокрекінгу TC-PW-RT7000 для регульованої продуктивності вихідних газів в залежності від продуктивності подачі пластмаси. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Сучасна система керування дозволить контролювати процес виробництва і отримати кінцевий продукт з заданими технічними характеристиками.

Також ця система керування матиме можливість фіксації та збереження параметрів роботи всього технологічного обладнання.

Для синтезу апаратної частини системи керування реактором термокрекінгу ТС-PW-RT7000, були обрані необхідні технічні засоби, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема принципова системи керування, складено перелік елементів до схеми електричної принципової.

При виконанні структурної ідентифікації, яка проведена на підставі експериментальних даних отриманих на об'єкті керування (динамічної характеристики, даних для побудови статичної характеристики, даних отриманих при П-образному керуючому впливі) встановлено, що структурно модель об'єкта керування може бути представлена як аперіодична ланка другого з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації встановлено, що структура моделі об'єкта керування – реактором термокрекінгу ТС-PW-RT7000 відповідає аперіодичній ланці другого порядку з запізненням з наступними розрахованими параметрами: коефіцієнт підсилення 0,81, постійні часу 9,5 с та 37,8 с, а затримка становить 11,2с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність у 87,9 %, сильний кореляційний зв'язок близький до 1,0 та статистичний критерій Фішера 222 062 значно більшу критичного значення 2,708. Велике значення статичного критерію адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та одиничним значенням коефіцієнта кореляції.

Остаточна комплексна модель технологічного апарату у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink складається з моделі шнекового дозатора та моделі реактору термокрекінгу ТС-PW-RT7000.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та статистичного аналізу, отримана модель є адекватною до об'єкта керування - моделі реактору термокрекінгу ТС-PW-

RT7000, який використовується у технологічному процесі безперервної хімічної переробки пластику на заводі «Greenstep» (м. Харків).

Модель об'єкту керування може бути використана для подальшої розробки системи керування за обраним каналом керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії.

Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення системи керування.

При впровадженні проектованої системи капітальні витрати складають 945 тис. грн., час розробки ПЗ становитиме 3,0 місяці.

Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть трохи більше 2,3 млн. грн.

В розділі охорона праці розглянуті небезпечні та шкідливі виробничі фактори згідно санітарних вимог та вимог до повітряного середовища на виробництві, правила пожежної безпеки, вимоги електробезпеки, вимоги до технологічного режиму виробництва, вимоги безпеки під час поводження з відходами пластмаси. Проведено розрахунок страхових виплат потерпілому від нещасного випадку на виробництві.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Current Prospects for Plastic Waste Treatment. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49649>.
2. Plastics Recycling: Innovation and Automation Enable a Circular Economy. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www.emerson.com/cs-cz/expertise/automation/roadmap-to-industrial-sustainability/plastics-recycling-innovation-and-automation>
3. Operation seanet. Plastimax, factory ships, waste treatment at sea. [Електронний ресурс], Режим доступу: https://www.bluebird-electric.net/oceanography/Ocean_Plastic_International_Rescue/Factory_Ships_Plastic_Waste_Treatment_At_Sea_PlastiMax.htm
4. RT7000: feedstock recycling. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://recyclingtechnologies.co.uk/technology/>
5. The RT7000 modules. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://recyclingtechnologies.co.uk/2022/09/the-rt7000-modules/>
6. Could Pyrolysis Help the World Overcome Its Plastic Waste Problem? [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www.idtechex.com/fr/research-article/could-pyrolysis-help-the-world-overcome-its-plastic-waste-problem/21261>
7. Переробка пластику в Україні. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://pershij.com.ua/pererobka-plastyku-v-ukraini/>.
8. Термічний крекінг. [Електронний ресурс], Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D1%80%D0%B5%D0%BA%D1%96%D0%BD%D0%B3
9. 5.1. Поняття про нафту та нафтопродукти. Термічний крекінг. [Електронний ресурс], Режим доступу: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0

%B5%D0%B4%D1%80%D1%96%D0%B9,%20%D0%A0%D0%B5%D1%87%D1%83%D0%BD/page8.html

10. Sitrans TS500 Термоперетворювачі опору платинові. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://kiptm.ua/produksiya/siemens/sitrans-ts500>

11. SITRANS P Z, ZD и P COMPACT, [Електронний ресурс], Режим доступу: http://www.eleten.com.ua/SITRANS_P_Z,_ZD_P_COMPACT.html

12. Кориолісовий витратомір Promass 84F. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www.pkimprex.ua/opisanie/raskhodomer-promass-84f>

13. E40H12-2000-6-L-24 Енкодер.[Електронний ресурс], Режим доступу: https://autonics.ua/product/encoder-e40h12-2000-6-l-24_a2500007284/

14. ATV630C11N4 Перетворювач частоти Schneider ATV320 книжкове виконання 15 кВт 500В 3Ф. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://electrocontrol.com.ua/preobrazovатели-chastoty/atv320d15n4b-preobrazovatel-chastoty-atv320-knizhnoe-ispolnenie-15-kvt-500v-3f>

15. Засувки шарові. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ru.yflvalve.com/si3n4-silicon-nitride-ceramic-ball-valves-for-high-temperature_p50.html

16. Твердотільні трифазні реле RZ3A (3x55 А , Vраб 42...660 V AC, Vупр 24...275 V AC , 24...50 V DC). [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://svaltera-nikolaev.uaprom.net/ua/p1017071944-tverdotelnye-trehfaznye-rele.html>

17.ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.

18.ДСТУ Б.А.3.2-12:2009. Система стандартів безпеки праці. Системи вентиляційні. Загальні вимоги ДНАОП 0.03-33.14-85. Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях.

19.Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617с.

20.«Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.

21. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207.

22. Охорона праці в галузі. Конспект лекцій для студентів Інституту електроенергетики. / Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2013. – 86 с.

23. Методичні рекомендації з виконання заходів стосовно охорони праці при роботі з ПЕОМ та розрахунку освітлення у дипломних проектах студентів усіх спеціальностей/ Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2013.- 12 с.

24. ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин

25. ДСТУ 7234:2011 Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки

26. ДСТУ 7950:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги.

27. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги

28. ДСТУ 3191-95 (ГОСТ 12 2.137-96) Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції

29. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу (затверджено наказом МОЗ України від 27.12.2001р № 528).

ДОДАТОК Б

Перелік компонентів для схеми електричної принципової

Позиційне позначення	Найменування	Кількість	Примітка
A1	ПЛК VIPA 214-2BS33	1	
A1-X3, A1-X4	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	2	
A1-X5	Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00	1	
A1-X6	Функціональний модуль 250-1BS00	1	
A1-X7	Модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD40	1	
G1, G2	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	2	
A2	Система керування, виконана на базі ПК	1	
BK1...BK2	Датчик температури Siemens SITRANS TS500-TSinsert	2	
BK3	Датчик тиску Siemens SITRANS P ZD	1	
BK4...BK6	Датчики витрат Siemens Promass 84F	3	
BK4	Енкодер E40H 012 2000 2 N 24	1	
YA1, YA2	Твердотільне реле RZ3A	2	
YA3...YA4	Частотний перетворювач Schneider ATV320D15N4B	3	

			Підп.	Дата	КІВС.КВР.151.19.15.ПЕЗ						
									Автоматизація системи керування процесом утилізації та переробки пластикових виробів.		
Зм.	Арк.	№ докум.									
Розробив		Лупало		18.05.23		1	1				
Перевірів		Воскобойник			НТУ «Дніпровська політехніка», ЕТФ, 151-19-1						
Н. контроль		Воскобойник									
Перевірів		Соснін			Перелік елементів						

ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ВІДГУК

кваліфікаційна робота бакалавра: «Автоматизація системи керування процесом утилізації та переробки пластикових виробів», студент гр. 151-19-1 Лупало Сергій Сергійович

Об'єкт розробки – система автоматичного керування технологічний апарат - реактор термокрекінгу TC-PW-RT7000, який використовується у технологічному процесі безперервної хімічної переробки пластику на заводі «Greenstep» (м. Харків).

Об'єкт дослідження - реактор термокрекінгу TC-PW-RT7000 продуктивністю переробки 7 т/г пластикових відходів.

Предмет дослідження – модель реактору термокрекінгу TC-PW-RT7000.

Мета роботи - розробка моделі об'єкта керування за каналом «продуктивність подачі пластмаси – продуктивність вихідних продуктів» як більш впливового на якість роботи реактору термокрекінгу TC-PW-RT7000 . При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що розроблена модель відповідає об'єкту керування, та може бути використана для подальшої розробки системи керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії. Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення підсистеми керування.

Розглянуто техніко-економічного обґрунтування ефективності результатів розробки і впровадження автоматизованої системи керування реактором термокрекінгу TC-PW-RT7000.

Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників, проведено розрахунок компенсації від нещасного випадку на виробництві.

Тема кваліфікаційної роботи безпосередньо пов'язана з професійною діяльністю фахівця спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Цілі, поставлені перед кваліфікаційною роботою, повністю виконані.

ПЗ і графічна частина кваліфікаційної роботи виконана відповідно до вимог до оформлення кваліфікаційної роботи, зауважень до проекту немає.

При виконанні кваліфікаційної роботи і ухваленні рішень проявлена висока міра самостійності, технічної грамотності.

Оцінки по розділах кваліфікаційної роботи - « _____ ».

Кваліфікаційна робота в цілому заслуговує оцінку « _____ », а студент Лупало С.С. привласнення освітнього рівня «бакалавр» в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування.

Керівник кваліфікаційної роботи, _____ ас. Воскобойник Є.К.

____.06.2023

РЕЦЕНЗІЯ

кваліфікаційна робота бакалавра: «Автоматизація системи керування процесом утилізації та переробки пластикових виробів», студент гр. 151-19-1 Лупало Сергій Сергійович

1. Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра відповідає основній меті - перевірці знань і ступеня підготовленості студента за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».
2. Актуальність роботи полягає в тому, що розробка та дослідження нової системи керування дозволить зменшити вплив основних недоліків технологічного обладнання.
3. Отримана модель може бути використана за для розробки програмного забезпечення системи керування.
4. Повнота і глибина вирішення завдань, поставлених в завданні на кваліфікаційну роботу достатня.
5. В рамках кваліфікаційної роботи було визначено структуру об'єкта керування та побудована його модель.
6. В цілому кваліфікаційна робота ступеню бакалавра заслуговує оцінки «_____», за умови відповідного захисту.
7. Студент Лупало С.С. присвоєння йому кваліфікації «бакалавр» за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Рецензент, _____

____.06.2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувачем кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірювальних систем

_____ Бубліковим А.В.

« _____ » _____ 2023 року

ВИСНОВОК

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі бакалавра на тему «Автоматизація системи керування процесом утилізації та переробки пластикових виробів», здобувача вищої освіти, групи 151-19-1 Лупало Сергій Сергійович.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає _____ сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки роботи “<https://unichек.com>”. Рівень запозичень у роботі складає _____ %, що є меншим 40 % запозичень з однієї роботи та відповідає вимогам Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».

Нормоконтролер,
посада, ас. каф. КФІВС
ступінь

(підпис)

ас. Воскобойник Є.К.

(дата)