

**БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

**БР.АКП -54.00.00.000 ПЗ**

**група АКП -23-2К**

**Денис Мужик**

**2025**

Міністерство освіти і науки України  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Факультет автоматизації та енергетики  
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Мужик Денис Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5: 678.031

(індекс)

## БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу виробництва

(назва роботи)

синтетичного каучуку

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

### Нормоконтроль

к.т.н. О. В. Кучмистенко  
(науковий ступінь, підпис) (дата) (ініціали та прізвище)  
вчене звання)

### Рецензент

к.т.н., доцент І.І. Чигур  
(науковий ступінь, підпис) (дата) (ініціали та прізвище)  
вчене звання)

### Здобувач освітнього ступеня

АКП-21-1 Д. В. Мужик  
(шифр групи) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

### Науковий керівник

к.т.н., доцент ... В.С. Борин  
(науковий ступінь, підпис) (дата) (ініціали та прізвище)  
вчене звання)

### Допущено до захисту Завідуючий кафедри

к.т.н., доцент А. І. Лагойда  
(науковий ступінь, підпис) (дата) (ініціали та прізвище)  
вчене звання)

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри АКІТ**

А.І. Лагойда.

«   »                      20   року

**З А В Д А Н Н Я  
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Мужику Денису Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу виробництва синтетичного каучуку

керівник роботи Борин Василь Степанович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «  7  » травня 20  25   року №   52/8  

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025

3. Вихідні дані до роботи: Технологічна схема, технологічні параметри, технічна література, інтернет-ресурс.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Дослідження процесу виробництва синтетичного каучуку; 2. Математичний опис об'єкта керування; 3. Побудова та перевірка на стійкість одноконтурної та каскадної автоматичних систем керування;

4. Розроблення функціонально системи автоматизації та вибір технічних засобів автоматизації.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Лист 1 - Технологічна схема - БР.АКП-54.00.00.001

Лист 2 - Функціональна схема автоматизації - БР.АКП-54.00.00.002

Лист 3 - Побудова математичної моделі динамічної системи - БР.АКП-54.00.00.003

Лист 4 - Синтез одноконтурної АСР - БР.АКП-54.00.00.004

Лист 5 - Синтез каскадної АСР- БР.АКП-54.00.00.005

Лист 6 - Дослідження стійкості систем - БР.АКП-54.00.00.006



## РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота містить: 63 сторінки друкованого тексту, 40 рисунків, 8 таблиць, 9 посилань на джерела і 1 додаток.

Тема: «Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу виробництва синтетичного каучуку».

Об'єкт дослідження: процес виробництва синтетичного каучуку.

Мета проекту: створення системи автоматизації процесу виробництва синтетичного каучуку.

Методи дослідження. У роботі використано методи системного аналізу, математичного моделювання та теорії автоматичного керування. Для дослідження динаміки автоматичних систем регулювання застосовано критерій стійкості та Найквіста.

Результати бакалаврської роботи.

Розглянуто технологічний процес виробництва синтетичного каучуку, описано призначення синтетичного каучуку, подано характеристики сировини, реагентів і отриманої продукції, описано фізико-технічні та технологічні властивості, характеристики технологічного обладнання, проведено вибір параметрів регулювання, контролю та сигналізації.

Проведено експериментальне моделювання керованого об'єкта - реактора. Отримано функцію передачі, яка описується за допомогою аперіодичної ланки другого порядку. Досліджено властивості одноконтурної та каскадної систем керування. Здійснено вибір оптимальних параметрів налаштування регулятора для цих систем. Визначені функції передачі основного та допоміжного регуляторів. Проведено дослідження розроблених систем на стійкість на основі критерія Найквіста.

Описано процес розроблення функціональної схеми автоматизації. Здійснено підбір технічні засоби автоматизації, складено специфікацію на замовлення. Подано детальний опис обраних технічних засобів автоматизації.

Ключові слова: автоматична система керування, регулювання, синтетичний каучук, критерій Найквіста

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis contains: 68 pages, 26 figures, 5 tables, 12 sources.

Topic: Improvement of the Automation System for the Technological Process of Synthetic Rubber Production.

Object of Study: The process of synthetic rubber production.

Project Objective: The development of an automation system for the synthetic rubber production process.

Research Methods: This work employs methods of systems analysis, mathematical modeling, and automatic control theory. The stability criterion and Nyquist criterion were applied to study the dynamics of automatic control systems.

Results of the Bachelor's Thesis: The technological process of synthetic rubber production is examined. The purpose of synthetic rubber is described, along with characteristics of raw materials, reagents, and the resulting product. The study includes a description of physical, technical, and technological properties, specifications of technological equipment, and the selection of control, monitoring, and signaling parameters.

Experimental modeling of the controlled object — the reactor — was conducted. A transfer function described by a second-order aperiodic link was obtained. The properties of single-loop and cascade control systems were analyzed. Optimal tuning parameters for the controllers in these systems were selected. Transfer functions of the main and auxiliary controllers were determined. The developed systems were analyzed for stability based on the Nyquist criterion.

The development of a functional automation diagram is described. Technical automation tools were selected, and a procurement specification was prepared. A detailed description of the chosen automation equipment is provided.

Keywords: automatic control system, regulation, synthetic rubber, Nyquist criterion

## ЗМІСТ

	<b>ВСТУП</b>	8
<b>1</b>	<b>АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СИНТЕТИЧНОГО КАУЧУКУ.....</b>	10
1.1	Призначення синтетичного каучуку .....	10
1.2	Характеристика сировини, реагентів і отриманої продукції.....	11
1.2.1	Фізико-хімічні властивості БСК.....	17
1.2.2	Технологічні властивості БСК.....	18
1.2.3	Вулканізація.....	20
1.3	Опис технологічного процесу.....	22
1.4	Технічна характеристика технологічного обладнання.....	25
1.4.1	Теплообмінна апаратура.....	25
1.4.2	Реактори.....	26
1.4.3	Компресори .....	27
1.4.4	Насоси.....	28
1.5	Вибір і обґрунтування параметрів управління.....	29
1.5.1	Температура .....	29
1.5.2	Тиск.....	30
1.5.3	Рівень .....	30
	Висновки до розділу .....	31
<b>2</b>	<b>МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....</b>	32
2.1	Експериментальне моделювання керованого об'єкта .....	32
	Висновки до розділу .....	39
<b>3</b>	<b>ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НА СТІЙКІСТЬ ОДНОКОНТУРНОЇ ТА КАСКАДНОЇ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ.....</b>	40

					БР.АКП-54.00.00.000 ПЗ						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу виробництва синтетичного каучуку			Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.		Мужик Д.В.								6	6
Перевір.		Борин В.С.									
Реценз.		Чигур І.І.									
Н. Контр.		Кучмистенко О.В.									
Затверд.		Лагойда А.І.			АКП-23-2К ІФНТУНГ						

3.1	Здійснення вибору регулятора.....	40
3.1.1	Здійснення пошуку оптимальних параметрів налаштування регулятора для одноконтурної АСК .....	41
3.1.2	Перевірка на стійкість одноконтурної АСК.....	44
3.2	Здійснення вибору оптимальних параметрів налаштування регулятора для каскадної АСК.....	47
3.2.1	Перевірка на стійкість каскадної АСК.....	50
	Висновок до розділу .....	52
<b>4</b>	<b>РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....</b>	<b>53</b>
4.1	Опис функціональної схеми автоматизації.....	53
4.2	Вибір технічних засобів автоматизації.....	56
4.2.1	Перетворювач тиску .....	56
4.2.2	Давач температури .....	58
4.2.3	Безконтактний рівнемір .....	59
4.2.4	Контактор .....	60
	Висновки до розділу .....	61
	<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>62</b>
	<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....</b>	<b>63</b>
	<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>64</b>

					БР.АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Автоматизація виробництва – це процес в розвитку машинного виробництва, під час якого функції керування та контролю, раніше виконувані людиною, перекладаються на прилади і автоматичне обладнання. Спеціальність охоплює всі стадії життєвого циклу автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСКТП), включаючи й розроблення, дослідження, експлуатацію та утилізацію.

У бакалаврській роботі головне завдання, при виготовленні синтетичного каучуку, полягає у знаходженні оптимального балансу між фізико-механічними властивостями, що забезпечують поставлені вимоги, технологічними властивостями, що задовольняють умовам діючого виробничого процесу, і економічною ефективністю.

Слід зазначити, що в сумішах для шинної промисловості використовується відносно невеликий асортимент каучуків загального призначення (натуральний каучук, бутадієнстирольний каучук), а при виробництві сумішей для промисловості гумовотехнічних виробів застосовується до 30 видів каучуку зі спеціальними властивостями і, крім того, до 100 інших інгредієнтів.

Автоматизація процесу виготовлення гуми є важливою з точки зору економічної ефективності, ресурсозбереження, поліпшення екології навколишнього середовища, якості та надійності продукції. Але в першу чергу, оскільки це є хімічною промисловістю, автоматизація важлива для забезпечення безпеки праці (усуваючи безпосередній контакт обслуговуючого персоналу зі шкідливими речовинами).

Раціонально спроектована система автоматизації забезпечує зменшення собівартості продукції завдяки підвищенню продуктивності устаткування, більш суворому витримуванню заданого технологічного режиму, зниження витрат сировини, матеріалів та енергії на виробництво одиниці продукції, зменшення кількості обслуговуючого персоналу і т.д. Економічна ефективність системи

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматизації при заданій продуктивності процесу залежить від її вартості та зменшення собівартості продукції.

Зростання продуктивності праці в виробництві синтетичного каучуку, розробка нових технологій, спрямованих на поліпшення якості і підвищення ефективності виробництва, вимагають відновлення й удосконалювання систем керування на базі новітніх засобів вимірювання і автоматизації.

Підвищення методологічного рівня інженерно-технічної діяльності дозволяє інженерам з автоматизації належним чином орієнтуватися в різноманітному світі техніки, що неперервно оновлюється, підвищувати ефективність виробництва, поліпшувати якість створюваних проектів і забезпечувати довгострокому стабільну роботу автоматизованої системи.

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СИНТЕТИЧНОГО КАУЧУКУ

## 1.1 Призначення синтетичного каучуку

Каучуки – це синтетичні полімери, які, подібно до каучуку натурального, можуть бути перероблені на гуму.

Батьківщина натурального каучуку – Центральна й Південна Америка. По берегах річки Амазонки, у вологих спекотних тропіках росте бразильська гевея. Сік дерева гевеї тубільці назвали «каучук», тобто «сльози дерева».

У першій половині XVIII ст. зразки каучуку потрапили до Європи. Однак новий матеріал мав великий недолік: він зберігав свої корисні властивості (еластичність, водонепроникність) лише у вузькому інтервалі температур [1].

Але після відкриття Ч. Гуд'їром (1839) і Т. Генкоком (1843) процесу вулканізації, тобто при нагріванні з сіркою, потреба в каучуку різко зростає. Вулканізований каучук називають гумою. Щоб сучасний автомобіль вийшов з воріт заводу, потрібно 250 кг каучуку; на кожен літак у середньому витрачається 600 кг, а на обладнання великого військового корабля — майже 70 т каучуку.

Бурхливий розвиток автомобільної промисловості, особливо після винаходу 1888 р. гумових пневматичних шин, поставило перед хіміками завдання виробництва не натурального, а синтетичного каучуку. До початку XX ст. було розроблено вже чимало способів одержання дієнових вуглеводнів і перетворення їх на полімери, які почали називати синтетичними каучуками.

Синтетичний каучук – синтетичний замінник натурального каучуку. Вихідною речовиною для одержання штучного каучуку за способом С. В. Лебедева служить ненасичений вуглеводень з двома подвійними зв'язками бутадієн (дивініл)  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ .

Перший завод з виробництва синтетичного каучуку було зведено в м. Леверкузені (Німеччина) 1916 р. Тут під дією металевого натрію полімеризували 2,3-диметил-1,3-бутадієн. Новий продукт одержав назву «метилкаучук». Перший

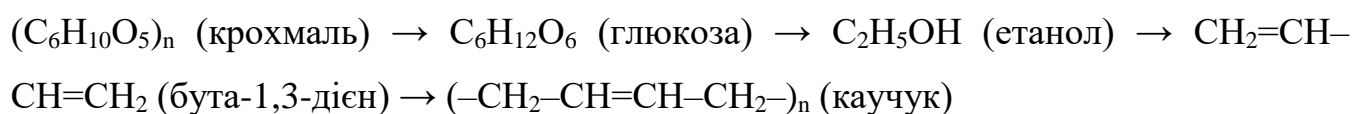
					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

синтетичний каучук за своїми споживчими якостями значно поступався каучуку натуральному. Вироби з нього, як і колись боялися високих і низьких температур, а автомобільні покривки стиралися в десятки разів швидше. Крім цього, він був набагато дорожчий. Тож через два роки роботи завод у м. Леверкузені було закрито .

## 1.2 Характеристика сировини, реагентів і отриманої продукції

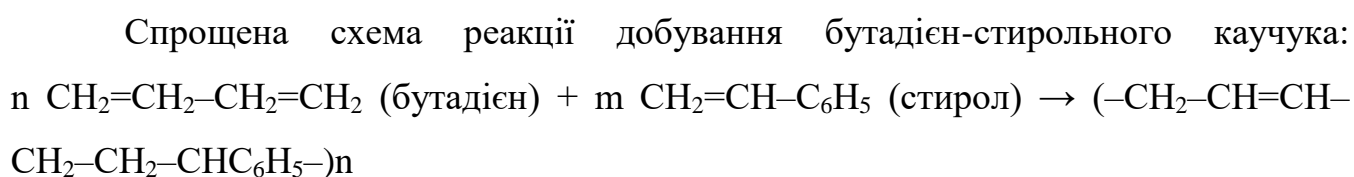
У перше синтетичний каучук у промислових масштабах було вироблено в 1932 р. за методом С. В. Лебедева. Вихідною сировиною для добування синтетичного каучука за його методом був етанол, який добували із харчової сировини. Пари етилового спирту при температурі 400-500°C пропускали над каталізатором (суміш  $Al_2O_3$  і  $ZnO$ , у відношенні 3:1) і отримували суміш речовин з яких виділяли дивініл. Полімеризацією дивінілу отримували масу, яка за своїми властивостями нагадувала природний каучук.

Етапи виробництва схематично можна зобразити так:



Сьогодні бута-1,3-дієн одержують дегідруванням нормального бутану, який виділяють із супутнього нафтового газу і продуктів переробки нафти.

Більшість реакцій полімеризації, за допомогою яких добувають каучуки, відбуваються за участю каталізаторів.



Найбільш поширеними і економічно вигідними каучуками загального призначення є бутадієн-стирольні каучуки (БСК), вони випускаються у великому обсязі та широкому асортименті, оскільки, вихідні мономерні відносно доступні (бутадієну і стиролу), відрізняються хорошою якістю та високою однорідністю одержуваного полімеру, а також добре освоєною технологією виробництва [2].

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ					11

Основний шлях отримання БСК—це шляхом емульсійної кополімеризації бутадієну  $22\text{CHCHCHN}=\text{--}$ , стиролу або  $\alpha$ -метилстиролу. В загальному каучуку має таке позначення –СКМС(синтетический бутадиен- $\alpha$ -метилстирольные каучук) або СКС (синтетический каучук стирольный).

Каучуки одержують шляхом радикальної кополімеризації з перерахованих мономерів у водних емульсіях. Доведено, що розподіл ланок бутадієну і стиролу ( $\alpha$ -метилстирола) безладно в СКС і СКМС це свідчить про нерегулярну будова.

Бутадієнова частина макромолекул містить цис-1,4 і 1,2 ланки.Різні типи СКМС і СКС відрізняються один від одного - температурою полімеризації; співвідношенням вихідних мономерів; молекулярною масою; змістом і типом наповнювачів (смола, технічного вуглецю чи масла) типом емульгатора і типом антиоксиданту.

З вмістом зв'язкового стиролу або  $\alpha$ -метилстиролу рівним 10,30% або 50% випускають каучук. Найбільш широко використовуються каучуки, що містять 30% зв'язаного стиролу. При однаковому процентному вмісті СКС або СКМС, і також вулканізатор на їхній основі має практично рівноцінні властивості. Емульсійну полімеризацію здійснюють двома способами, один з яких здійснюють при  $50^{\circ}\text{C}$  («гаряча» полімеризація), а інший при  $5^{\circ}\text{C}$  («холодна» полімеризація).

Введенням регуляторів під час полімеризації, які здійснюють передачу ланцюга, можна регулювати отримання полімеру із різною заданою середньою молекулярною масою. Молекулярна маса полімеру знижується, при збільшенні вмісту регуляторів. Як емульгатори, застосовують парафіни (калієві або натрієві мила синтетичних жирних кислот), солі сульфокислот або алкілсульфонатів і також гідровані каніфолії.

При цьому при коагуляції частина емульгатора залишається в каучуку.

Полімеризація при знижених температурах призводить до зменшення вмісту низькомолекулярних фракцій в каучуку, збільшується регулярність структури та зменшується ступінь розгалуження полімеру. Структура полімерів отриманих при різних температурах наведені в табл. 1.1.

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Структура полімеру отримана при полімеризації за різних температур

Вміст, %	Температура 50°C	Температура 5°C
Цис-1,4	14,0-18,3	7,0-12,3
Тракс-1,4	62,0-65,3	71,8-72,0
Цис-1,2	16,3-23,0	15,8-21,0

Існує такий перелік позначень:

—цифра після назви каучуку вказує на кількісний вміст  $\alpha$ -метилстиролу або стиролу в 100 мас.ч. полімеру;

—буква А вказує полімеризацію, яка відбувалася в низькотемпературному режимі;

—буква Р означає, що при полімеризації використовувалися регулятори ступеня полімеризації, а це означає, що молекулярна маса одержуваних каучуків буде нищою, а жорсткість не буде перевищувати 10,0 Н, тому вони не вимагають попередньої пластифікації, на відміну від нерегульованих, жорсткість яких 20,0-30,0 Н;

—буква К означає, що при полімеризації емульгатором є солі гідратованої каніфолії;

—буква П вказує на те, що емульгатори використовують парафірати;

—буква С означає, що при полімеризації емульгаторами слугували алкілсульфонати;

—буква Д вказує на те, що каучук має підвищені діелектричні властивості, з якого можна виготовляти відповідні вироби;

—буква М означає, що каучук наповнений маслом.

—буква Н означає, що каучук містить антиоксидант, який не піддається фарбуванню;

На сьогодні бутадієн-стирольні каучуки, також можна отримувати методом полімеризації в розчині за присутності літій органічних сполук [3]. Якщо під час

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

полімеризації будуть вводиться добавки полярних сполук, то це призведе до рівномірного розподілу ланокстиролу і бутадієну в ланцюзі. Даний процес полімеризації спричиняє утворення структури відміної від емульсійних каучуків. Відбувається утворення ланцюга, в якому вміст бутадієну в положенні цис-1,4 складає до 40%, а в цис-1,2 не більше 13%. Даний каучук отримав широке застосовується для виготовлення шин.

Вихідний вміст полімеру при емульсійній полімеризації складає близько 92-95%, а при полімеризації в розчині близько 98%.

Таблиця 1.2 – Основні типи СК(М)С

Тип каучуку	Жорсткість, Н.	Вязкість, ум.од.
1 каучуку СК(М)С, містить 10% $\alpha$ -метилстиролу або стиролу		
СК(М)С 10К	20,0-30,0	>100
СК(М)С-10РП	5,0-7,0	35-60
2 каучуки СК(М)С, містить 30% $\alpha$ -метилстиролу або стиролу		
а) маслоненаповнені		
СК(М)С-30С	20,0-30,0	>100
СК(М)С-30РП	4,0-6,0	30-40
СК(М)С-30АРК	5,0-8,0	35-60
СК(М)С-30АРКПН	6,0-8,0	35-60
б) маслонаповнені		
СК(М)С-30АРКМ-15	6,0-8,0	35-58
СК(М)С-30АРКМ-27	6,0-8,0	35-58
СКС-10-МЭГ-АРКМ-15	5,0-8,0	45-52
3 каучуки СК(М)С, містять 50% $\alpha$ -метилстиролу або стиролу		
СК(М)С-50П	20,0-30,0	>100
СК(М)С-50РП	6,0-8,0	35-60

Залежно від мономерів розрізняють такі каучуки:

Таблиця 1.3 – Різновид каучуків в залежності від мономерів

Назва	Мономери	Властивості, застосування
Бутадієновий	бута-1,3-дієн	Характерна водо- і газонепроникність, менша еластичність, ніж у природного. Для виробництва кабелів, взуття, побутових виробів
Ізопреновий	2-метилбута-1,3-дієн	За еластичністю і зносостійкістю подібний до природного. Виробництво шин
Хлоропреновий	2-хлор-бута-1,3-дієн	Стійкий проти окисників і високих температур, бензинів і мастил. Виробництво деталей машин та апаратів, кабелів, трубопроводів для перекачування нафти і бензинів
Бутадієн-стирольний	бута-1,3-дієн, стирол	Газонепроникний, зносостійкий, але недостатньо жаростійкий. Стрічки для транспортерів, виробництво шин, конвеєрних доріжок, взуття, медичних і спортивних виробів, ізоляційних матеріалів
Дивініловий	бута-1,3-дієн	За еластичністю і зносостійкістю кращий від природного. Виробництво шин

Каучуки мають високу міцність і еластичність. Найбільше синтетичних каучуків використовує машинобудівна промисловість. Із синтетичних каучуків виготовляють технічні вироби, гумове взуття та гумові вироби, прогумовані тканини, медичні товари тощо.

Ціла низка подій вплинула на винахід синтетичного каучуку: індустріальна революція, прогрес у моторобудуванні, дві світові війни, зростання попиту на каучук і дефіцит натурального каучуку спровокували світовий попит на еластомери. Синтетичні каучуки стали необхідною альтернативою натуральному каучуку й надали додаткових властивостей виробам.

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Наразі на ринку наявна значна розмаїтість канчуків — за властивостями й характеристиками. Але в найбільш загальному вигляді їх можна поділити на два великі сегменти (табл.1.4): каучуки загального призначення й каучуки спеціального призначення.

Таблиця 1.4– Синтетичні каучуки

Каучуки загального призначення	Каучуки спеціального призначення
Бутадієн-стирольний каучук	Хлоропреновий каучук
Бутадієн-метил-стирольний каучук	Бутадієн-нітрильний каучук
Полібутадієновий каучук	Галогеновані ізобутілени
Бутилкаучук	Уретани
Етиленпропіленовий каучук	Силікони
Етиленпропілендієновий каучук	Полісульфідні каучуки
Цис-1,4-поліізопреновий каучук	

Каучуки загального призначення використовуються в тих виробках, у яких важлива власне природа гуми й немає якихось особливих вимог до готового виробу [4]. Каучуки спеціального призначення мають більш вузьку сферу застосування й використовуються для надання гумовотехнічному виробу (шинам, ремням, взуттєвій підошві тощо) заданої властивості, наприклад зносостійкості, маслостійкості, морозостійкості, підвищеного зчеплення з мокрою дорогою та ін. Найчастіше один каучук сполучає в собі кілька властивостей, тому підбор каучуків у рецептурі гумовотехнічного виробу для певних сфер використання є ретельною і цілеспрямованою роботою технологів.

Основу гумових сумішей становлять каучук (20-60% по масі). Слід зазначити, що в сумішах для шинної промисловості використовується відносно невеликий асортимент канчуків загального призначення (натуральний каучук, бутадієнстирольний каучук), а при виробництві сумішей для промисловості гумовотехнічних виробів застосовується до 30 видів каучуку зі спеціальними

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

властивостями і, крім того, до 100 інших інгредієнтів. Це вулканізуючі агенти, активатори і прискорювачі вулканізації, наповнювачі.

### 1.2.1 Фізико-хімічні властивості БСК

Середня молекулярна маса емульсійних каучуків коливається від 200 до 400 тис. При широкому молекулярно масовому розподілу і досить великій розгалуженості ланцюгів. Розчинні ж мають дуже вузьке значення молекулярно масового розподілу.

Бутадієн-стирольний каучук являється аморфними полімерами не зважаючи на спосіб полімеризації. Властивості полімерів змінюються в залежності від вмісту в полімерній матриці зв'язаного стиролу табл.1.5.

Таблиця 1.5 – Вплив вмісту стиролу на деякі фізичні показники

Властивості	Тип каучуку		
	СКС-10	СКС-30	СКС-50
Густина, кг/м <sup>3</sup>	900-910	920-930	980-990
Температура склування, °С	72-74	52-56	13-14

З підвищенням вмісту в полімері приєднаного стиролу збільшується температура склування (знижується морозостійкість) і густина.

На відміну від ізопренових каучуків БСК мають меншу ненасиченість, це пояснюється їхньою будовою і завдяки цьому вони мають меншу хімічну активність, тобто швидкість протікання реакції з киснем повітря і значення розчинності в ньому буде меншим. Під час окислення спостерігається структурування, що відбувається завдяки окисленню бічних вінільних груп в структурі каучуку.

Для продовження терміну зберігання під час полімеризації вводять антиоксиданти, при цьому зберігаються властивості полімеру. БСК розчиняються в бензині, аліфатичних, ароматичних і галогеновмісних вуглеводнях, не стійкі до дії

нафтопродуктів, але досить стійкі до дії розбавлених і концентрованих кислот, спиртів, кетонів, мають високу водо-і газонепроникність.

### 1.2.2 Технологічні властивості БСК

БСК отриманий шляхом емульсійної полімеризації з малим вмістом регулятора, характеризуються високою в'язкістю (вище 100 ум. од.), твердістю (жорсткість 20-35 Н) та еластичним відновленням (еластичне відновлення по Дефо 4-5 мм.). Даний каучук дуже важко піддається обробці, тому для уникнення такого негативного явищайого каучук відправляють на термоокислення в повітряному середовищі протягом 35-40 хв при температурі 130-140 °С і тиску 0,3-0,33 МПа. Після термоокисленої деструкції падає його в'язкість та жорсткість (до 3-4,5Н) [5].

Регульовані каучуки є більш поширеними, на відміну від нерегульованих і складають основну масу БСК. Його переваги полягають в тому, що в залежності від вимог можна отримати матеріали з різною в'язкістю (30-60 ум.од.) і жорсткістю (4-8 Н). У регульованих каучуків дещо знижене, ніж у нерегульованих еластичне відновлення (2,2-3,5мм) за рахунок меншої розгалуженості молекулярних ланцюгів.

Нерегульовані каучуки добре обробляються на звичайному обладнанні, що застосовується при виробництві різних гумових виробів. Нерегульовані каучуки мають на відміну від ізопренових каучуків особливість, під час змішування відбувається підвищене теплоутворення і більший розхід енергії – це пояснюється міжмолекулярними взаємодіями молекулярних ланцюгів. Каучуки мають відносно велику усадку заготовок при формуванні та підвищену еластичність, вони добре зберігають форму.

БСК полімеризовані в розчині мають гірші технологічні властивості в порівнянні з емульсійними. Вони мають недостатню клейкість, малу корезійну міцність, вузький температурний інтервал шприцювання та каландрування. Дані

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

недоліки можна усунути шляхом додавання нанокompatитів, пластифікаторів, які підвищують клейкість.

Ще одна відмінність отримання каучуку полімеризацією в розчині, полягає в тому, що завдяки такій полімеризації малий вміст низькомолекулярних фракцій і тому можна вводити великі кількості наповнювачів і пластифікаторів в порівнянні з емульсійними зі збереженням високих показників фізико-механічних властивостей гум. Це дає можливість знизити вартість гумових сумішей. У рецептурі гумових сумішей з СК(М)С в якості наповнювачів використовується технічний вуглець в дозуванні до 70 мас.ч. на 100 мас.ч., мінеральні наповнювачі, які покращують технологічні властивості (наприклад, зменшується усадка) і дозволяють отримати гуми з необхідними технічними властивостями.

Найкращими пластифікаторами для СК(М)С є високо ароматичні нафтові масла (Пластар 20К, масло ПН-6та ін.). Вони мало знижують фізико-механічні показники та покращують технологічні властивості гум. Широко застосовуються пластифікатори, які підвищують клейкість (каніфоль та інші смоли), та такі, які сприяють диспергуванню технічного вуглецю та інших інгредієнтів гумових сумішей (стеаринова і олеїнова кислоти, які ще виступають активаторами вулканізації).

Ще один інгредієнт гумових сумішей при полімеризації є противостарителі, полі функціональної дії, що захищають гумові вироби від різного виду втоми та старіння. Гуми, на основі високомолекулярних каучуків, мають ряд переваг в порівнянні з гумами на основі низькомолекулярних канчуків по зносостійкості та динамічній витривалості, та меншим теплоутворенням. До недоліків відносять високу в'язкість та жорсткість, що призводить до складності оброблення. Для зниження в'язкості в процесі коагуляції вводяться нафтові олії. Найкращим комплексом властивостей володіють каучуки наповнені високоароматичними маслами типу ПН-6.

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Бутадієн-стирольний каучук СКС-10-Мег-АРКМ-15 є продуктом полімеризації бутадієну, стиrolу і монометакрілового ефіру етиленгліколю, наповненого маслом ПН-6К.

### 1.2.3 Вулканізація

Завдяки ненасиченості бутадієн-стирольних каучуків, гумові суміші на їх основі добре вулканізуються сіркою в присутності органічних прискорювачів. Завдяки меншому вмісту подвійних зв'язків в БСК в порівнянні з ізопреновим або бутадієновим каучуками, а також відносно високим вмістом органічних кислот в матриці обумовлює більш сповільнену вулканізацію і меншу схильність до підвулканізації.

Найбільш ефективними для СК(М)С є прискорювачі з класу сульфенамід, завдяки яким гумові суміші в початковий період вулканізації мають індукційний період, що дозволяє збільшити час перебування гумових сумішей у в'язкотекучому стані при їх формуванні і тим самим поліпшити монолітність і якість виробів. Достатньою активністю володіють комбінації таких прискорювачів, як альтаксу і дифенілгуанідину, каптаксу і тіураму, тощо.

Для кожного типу прискорювачів є певне оптимальне дозування, завдяки якому утворюються умови, найбільш сприятливі при вулканізації гумових сумішей і здійснюється максимальна міцність вулканізата. Дозування прискорювачів визначається шляхом дослідження. Вміст сірки, для гумових матеріалів становить 1,0-2,5 мас.ч., частіше до 2 мас.ч.; вміст активаторів вулканізації – загальноприйнятій.

Температура вулканізації відбувається в межах 150-170°C. Гуми на основі БСК при введенні в них активних наповнювачів характеризується високою механічною міцністю і хорошою зносостійкістю. Вони поступаються вулканізаторам на основі ізопренових каучуків по еластичних властивостях, збереженню міцнісних властивостей при підвищених температурах, динамічній витривалості і мають більшу властивість теплотворення, а вулканізатори на основі

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

стереорегулярних бутадієнових каучуків, поступають по теплостійкості і зносостійкості. Маслонаповнені гуми мають дещо понижену еластичність і меншу міцність в порівнянні з ненаповненим маслом, але зберігають ці властивості на досить високому рівні.

Внаслідок відсутності в складі каучуку, полімеризованого в розчині, органічних кислот, вони вулканізуються з більшою швидкістю. Можлива вулканізація БСК фенолформальдегідними смолами, органічними пероксидами і деякими іншими вулканізуючими агентами. Так як бутадієн-стирольні каучуки не здатні до кристалізації при деформації, для отримання вулканізаторів з високими механічними властивостями необхідно вводити в каучук підсилюючі наповнювачі.

При збільшенні в полімері зв'язкового стиролу властивості міцності і зносостійкості гум збільшуються, але істотно знижуються еластичність, динамічні властивості і морозостійкість.

Бутадієн-стирольні каучуки дуже широко використовуються в промисловості виробництва шин, особливо при виробництві легкових шин, конвеєрних стрічок та рукавів, гумового взуття, кабельній промисловості.

Каучуки з невеликим вмістом в'язкового стиролу застосовуються при виробництві морозостійких виробів, а каучуки з підвищеним вмістом стиролу – для виробництва виробів з підвищеними діелектричними властивостями, стійких до агресивних середовищ, а також при виробництві ебоніту[6].

Аналіз літературних джерел показав, що модифікація еластомерних матеріалів різними добавками, зокрема БШВНТ, відкриває можливість отримання гуми з поліпшеними фізико-механічними та експлуатаційними характеристиками.

### 1.3 Опис технологічного процесу

Каучук став одним з найважливіших матеріалів у технічному прогресі останнього сторіччя завдяки низці специфічних особливостей.

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Промислове значення каучуку (який є основною складовою частиною гуми) дуже велика. Значну кількість каучуку споживають автомобільна, авіаційна промисловості. Досить навести дані про щорічне світове виробництво натурального і синтетичного каучуку - понад 4 мільйонів тонн, щоб зрозуміти роль каучуку в житті людини.

Головне завдання при розробці синтетичного каучуку полягає у знаходженні оптимального балансу між фізико-механічними властивостями каучуку, що забезпечують поставлені вимоги, технологічними властивостями, що задовольняють умовам діючого виробничого процесу, і економічною ефективністю.

Описано спосіб отримання синтетичного каучуку полімеризацією сполученого дієна або пов'язаних дієнів в вуглеводневому розчиннику при підвищеній температурі в присутності каталізатора з подальшим концентрування полімерізата, стабілізацією, виділенням каучуку водної дегазацією і сушінням, що відрізняється тим, що концентрування полімерізата здійснюють безпосередньо після полімеризації випаровуванням частини розчинника за рахунок різкого зниження тиску до 0,2-0,5 кгс / см<sup>2</sup>, а випаруваний розчинник без регенерації направляють на стадію змішування з дієном або деннами.

Бутадієн-стірольний каучук отримують на установці безперервної полімеризації, каскад реакторів якої складається з двох апаратів. Шихту, отриману змішуванням гексаново розчинника, бутадієну і стиролу в 10000 л ємності, насосом з витратою 1500 л/год подають в реактор, де вона нагрівається до 45 ° С. При цьому зміст мономерів в шихті становить 15% мас., Співвідношення мономерів бутадієн: стирол в шихті дорівнює 75:25. Далі шихту подають в реактор полімеризації, куди насосом дозують гексановий розчин літійорганічних з'єднань (концентрацією 0,25 моль / л) з розрахунку 10 моль на тонну мономерів, модифікатора амінного типу (концентрацією 0,15 моль / л) з розрахунку мольного відношення до літійорганічних з'єднань приблизно 0,1 і проводять полімеризацію при тиску 2,8 кг / м<sup>2</sup> при температурі в 85-105 ° С. Розчин

										Арк.
										22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ					

полімеру після другого реактора подають в випарну ємність, де за рахунок різкого зниження тиску до 0,3 кгс / м<sup>2</sup> відбувається випаровування розчинника і зниження температури полімеризата до 74 ° С. Далі полімеризат безпосередньо надходить в змішувач, куди подають антиоксидант фенольного типу та стоппер, в якості якого використовують лужну воду. Тиск в змішувачі - 0,02-0,03 МПа. Каучук виділяють водною дегазацією, сушать в шафі під інертною атмосферою.

Умови проведення процесу полімеризації і фізико-механічні властивості каучуку наведені в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Умови проведення процесу

Показники	Приклад
Витрата шихти на полімеризацію, кг (т) / годину	1500
Температура, °С	
В першому реакторі	85
В другому реакторі	105
В випарній ємності	74
Тиск, кПа	
В останньому реакторі каскаду	2.8
В випарній ємності	0.3
Вміст сухого залишку в полімеризаті, % мас	
Після останнього реактора	14.9
Після випарної ємності	17.5
Кількість розчинника, який вводиться, кг (кг)	1275
Кількість відведеного розчинника, кг (т)	223
Конверсія мономера (ов), %	99.2
В'язкість по Муні, 100 ° С (1 + 4)	46
Властивості гумової суміші	
Міцність каучуку на розрив, МПа	19,2
Відносне подовження, %	440



ємність 4, де зберігається сухий розчинник, або, в разі необхідності, в колону регенерації поворотного розчинника.

Легкі вуглеводні, котрі не сконденсувалися з сепаратора 13 по лінії 14 направляються на переробку.

Розчин полімеру направляють по лінії 16 на усереднення, стабілізацію, при випуску маслонаповненого каучуку - на маслонаповнення, дегазацію і сушку каучуку (на схемі не показано) відомими способами. В лінію 16 для дезактивації каталізатора по лінії 17 подається розчин стоппера.

## 1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання

### 1.4.1 Теплообмінна апаратура

На установках виробництва синтетичного каучуку застосовують теплообмінні апарати кожухотрубчатого типу. Оскільки по трубах йдуть гарячі продукти з реакторів, їх виготовляють із високолегованих аустенічних сталей[7].

Класичною конструкцією вважається схема одноходового кожухотрубного теплообмінника (рис. 1.2).

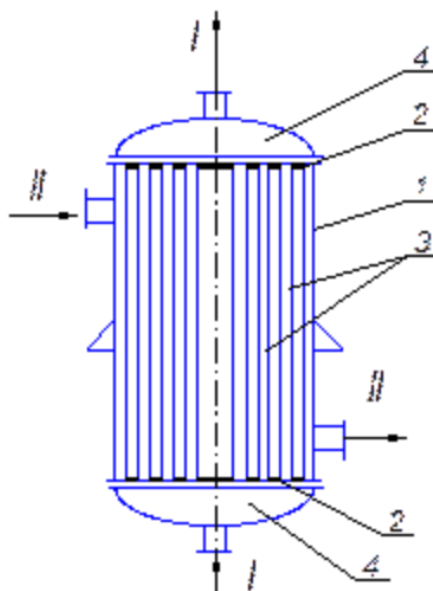


Рисунок 1.2 – Схема одноходового кожухотрубного теплообмінника

У ньому внутрішньотрубний простір утворюється пучком труб (3), затиснутих між двома трубними решітками (2), виготовленими за діаметром кожуха, і герметично в ньому закріпленими. Внутрішньотрубний простір замикається двома торцевими кришками (4) з приробленими патрубками (впускним і випускним, відповідно). Внутрішньотрубний теплоносій з подаючої лінії по впускному патрубку потрапляє в простір під першою кришкою, розподіляється трубною решіткою по окремих трубках в пучку, проходить по них, виходить в простір під другою кришкою, і виходить через її випускний патрубок.

Міжтрубний простір для другого середовища утворюється бічними стінками кожуха (1) і зворотними сторонами трубних решіток (2). Впускний і випускний патрубки міжтрубного теплоносія, як правило, розміщуються на корпусі кожуха. Для збільшення теплового напору і інтенсифікації теплообміну, теплоносії по трубному і міжтрубному просторах зазвичай пропускаються в протилежних напрямках.

#### 1.4.2 Реактори

Для виробництва синтетичного каучуку застосовуються різні реактори, в залежності від того, яку продуктивність (кг/год) хочуть отримати на виході[8].

Розглянемо установку, яка обладнена реакторами De Dietrich. Це вертикальний реактор з 316L нержавіючої сталі ємністю 12000 літрів і з максимальною завантаженістю 13830 літрів.

Внутрішні розміри ємності: діаметр 2300 мм, 2800 мм - висота циліндричної частини. Має приварені еліптичні кришки і днище. Внутрішній розрахунковий тиск повний вакуум / 0,5 бар при -10 / + 200 ° С. «Сорочка» з 304L нержавіючої сталі у вигляді зовнішнього змішувача має площу теплопередачі 15,2 кв.м, розрахунковий тиск 13 бар при -15 / + 200 ° С .

Включає в себе 2-ступінчатих, 3 викривлених і 4 плоских леза мішалки, що приводиться в рух двигуном 22 кВт, 220/380 вольт, 3/50, +1465 об / хв через привід

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ					26

De Dietrich 125-140. Також включає в себе 4 відбійника. Кріпиться на три незалежні кронштейни.

### 1.4.3 Компресори

Для створення необхідного тиску, для протікання процесів у виробництві каучуку доцільно використовувати гвинтовий компресор[9]. Компресор гвинтовий 1550 л / хв PLUS 11-10 Fini Італія.

Таблиця 1.8 – Технічні характеристики:

Параметри	Значення
Тиск повітря	10 бар
Ресивер	Без ресивера
Продуктивність компресора	2500 л/хв
Живлення	380 В
Потужність	11 кВт
Рівень шуму	69 дБ
Габаритні розміри	800 x 700 x 980 мм
Вага компресора	200 кг

Робота компресорів здійснюється під керування електронного контролера EasyTronic II з дисплеєм.

Охолодження виконується відцентровим вентилятором, який контролюється безпосередньо електронним контролером.

Компресори спроектовані для роботи в жорстких експлуатаційних умовах.

Привід компресора здійснюється через клиноподібний ремінь. Електронний контролер EasyTronic MICRO II Виконує моніторинг усіх функцій компресора: подвійний лічильник відпрацьованих годин і 4 лічильника робочих годин для проведення сервісного обслуговування.

Укомплектованість всієї оперативною інформацією для контролю правильної роботи.

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Фільтри spin on. Масляний фільтр і фільтр-сепаратор - типу spin on дозволяє досягнути максимальної ефективності та простоти технічного обслуговування.

Мінімальна робоча температура для компресора - 5С°, при мінусовій температурі він не буде працювати коректно.

Тип мастила - DAA 100 .

Кінематична в'язкість - ISOVG 100.

#### **1.4.4 Насоси**

Оптимальним вибором насосу для задач, які ставляться під час виробництва синтетичного каучуку є лопатевий насос у корпусі з нержавіючої сталі з поверхневим зміцненням до твердості 62 по Роквеллу С, що забезпечує максимальну довговічність корпусу і лопатей. Твердий вал з покриттям з оксиду хрому обертається в твердому карбідокремнієвому підшипнику, що дозволяє розвивати тиск до 14 бар.

Порти серії LVP, що відповідають стандартам DIN або ANSI, полегшують під'єднання до систем, виконаним за місцевими стандартами. Лопатевий насос обладнаний стандартними регульованими запобіжними клапанами, які монтуються зверху. Насоси серії LVP мають стандартні порти для датчиків місцевої або віддаленої систем контролю.

Варіант поворотного корпусу з опорою для двигуна, передбачений для двох найменших типорозмірів, дозволяє встановити порти вертикально або горизонтально. Завдяки роботі на швидкості двигуна з продуктивністю 23 м3 / год при 50 Гц, при установці усуваються редуктор і одне центрування вала, муфта і огорожа, що знижує вартість системи.

Основні переваги лопатевих насосів:

- Збільшений час експлуатації
- Легкість установки
- Гнучкість використання
- Мінімізовані витрати на утримання.

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

## 1.5 Вибір і обґрунтування параметрів управління

### 1.5.1 Температура

Під час виробництва синтетичного каучуку температура у різних реакторах може бути різною. У загальному випадку діапазон температур коливається від 50 °С до 200 °С.

Як правило, вулканізація проводиться по двоступеневому механізму[11]. На першій стадії проводиться первинна вулканізація при температурі 120-150°С протягом 10-15 хв. На другому етапі проводиться остаточна вулканізація матеріалу та видалення летких продуктів розпаду перекисів гуми. Вона проводиться прогрівом матеріалу протягом 4 годин при температурі 200°С.

Також варто зауважити, що каучук має наступні властивості при різних діапазонах температур.

- a) При температурі рідкого повітря -195 ° С він жорсткий і прозорий.
- b) Від 0 ° до 10 ° С - крихкий і вже непрозорий.
- c) При 20 ° С - м'який, пружний і напівпрозорий.
- d) При нагріванні вище 50 ° С каучук стає пластичним і липким.
- e) При температурі 80 ° С каучук втрачає еластичність.
- f) При 120 ° С каучук перетворюється в смолоподібну рідину, після застигання якої вже неможливо отримати первинний продукт.
- g) Якщо підняти температуру до 200-250 ° С, то каучук розкладається з утворенням ряду газоподібних і рідких продуктів.

### 1.5.2 Тиск

Тиск має суттєве значення на виробництво синтетичного каучуку, оскільки продуктивність всього підприємства залежить від швидкості подачі сировини по металевих рукавах у реактори і вивантаження готового продукту[12].

На першому етапі відбувається завантаження бутадієнового газу з цистерн тягачів або цист поїзда. Даний газ перебуває у рідкому агрегатному стані, при

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

нормальній температурі. Тиск на транспортуванні газу становить 6-9 кПа. Після транспортування сировини у реактор відбуваються хімічні взаємодії, тиск яких може досягати 18-20 кПа. Оскільки реактори розраховані на тиск до 50 кПа, то дані параметри можна вважи в нормі.

Тиск на пресі для пресування брекєтів синтетичного каучук становить до 12т. Готова продукція автоматизовано завантажується у контейнери.

### 1.5.3 Рівень

Контролювання рівня на виробництві синтетичного каучуку є необхідним, щоб забезпечити оптимальний режим роботи усього підприємства. Для точного вимірювання рівня підійде давач рівня MG-33 з функцією візуального контролю на місці. Крім цього даний давач може передавати значення аналогового сигналу, що є необхідним, для створення відделеного контролю та автоматизації.

У конструкцію цього пристрою входить мірна трубка, всередині якої міститься поплавок з вбудованим магнітом. Вона підключається до резервуару, тому рівень рідини в трубці і резервуарі однаковий. Магніт в поплавку впливає на магнітний показчик, який знаходиться зовні корпусу. Цей показчик має двоколірні прапорці (білого і червоного кольору), і, взаємодіючи з магнітом в поплавку, прапорці повертаються. Колір шкали змінюється, показуючи, таким чином, рівень робочого середовища в ємкості. Рівнеміри такого типу можуть використовуватися для визначення рівня практично будь-яких рідин і працювати в різних робочих умовах.

Основними перевагами приладу контролю рівня «MG-33» є:

Безперервний і простий моніторинг (контроль)

- Герметична конструкція
- Простота і надійність
- Різні стандарти фланцевих з'єднань
- Можливість застосування з різними рідинами
- Можливість застосування для високих тисків і температур

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

- Різні можливості монтажу
- Широка область застосування
- Тривалий термін служби.

### **Висновки до розділу**

У даному розділі бакалаврської роботи детально розглянуто технологічний процес виробництва синтетичного каучуку, зокрема описано призначення синтетичного каучуку, подано характеристики сировини, реагентів і отриманої продукції, описано фізико-технічні та технологічні властивості. Детально описано технічні характеристики технологічного обладнання, проведено вибір параметрів регулювання, контролю та сигналізації.

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

## 2 МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

### 2.1 Експериментальне моделювання керованого об'єкта

Модель - аналог, прототип, шаблон, зразок, який використовується замість оригіналу для розв'язування різноманітних задач. Модель - це спрощене подання об'єкта, яке відтворює лише ті властивості і характеристики об'єкта-оригіналу, які впливають на розв'язання поставленої задачі. Модель будується на підставі обмеження множини даних про об'єкт моделювання.

Моделювання – це спосіб подання (зображення) об'єкта у вигляді певного опису або іншого об'єкта. В галузі систем керування об'єктами моделювання є, відповідно, самі об'єкти, системи і процеси керування ними, а також їх складові частини.

Моделювання можна розглядати як відображення об'єкта на множину його описів. Найчастіше модель свідомо будують як спрощений опис об'єкта для полегшення його дослідження. Це не дивно, адже природні об'єкти характеризуються безліччю показників, більшість з яких є несуттєвою з точки зору мети моделювання. Так, наприклад, при моделюванні системи керування токарним верстатом несуттєвими характеристиками є його колір, рівень шуму тощо. В результаті між моделлю та об'єктом немає повної відповідності.

Структурна схема має такий вигляд:



Рисунок 2.1- Структурна схема керованого об'єкта

Почнемо моделювання з того, що імпортуємо вхідні дані. Для моделювання буде використовуватися імпульсна характеристика. виконуємо ряд операцій, щоб отримати робочу таблицю вхідних даних.

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Таблиця 2.1 – Вхідні дані імпульсної характеристики

Т (час)	U (стрибок)	Y (вихід)
0	0	60
297	10	60
594	10	70.6490
891	10	79.8710
1188	10	86.6180
1485	10	91.5530
1782	10	95.1630
2079	10	97.8040
2376	10	99.7360
2673	10	101.1490
2970	10	102.1830
3267	10	102.9390
3564	10	103.4930
3861	10	103.8970
4158	10	104.1930
4455	10	104.4100
4752	10	104.5680
5049	10	104.6840
5346	10	104.7690
5643	10	104.8310
5940	10	104.8760
6237	10	104.9100
6534	10	104.9340
6831	10	104.9520
7128	10	104.9650

Т (час)	U (стрибок)	Y (вихід)
7425	10	104.9740
7722	10	104.9810
8019	10	104.9860
8316	10	104.9900
8613	10	104.9930
8910	10	104.9950
9207	10	104.9960

Вводимо дані у програмний продукт Matlab та здійснюємо перехід від імпульсної характеристики до кривої розгону (рис 1.1).

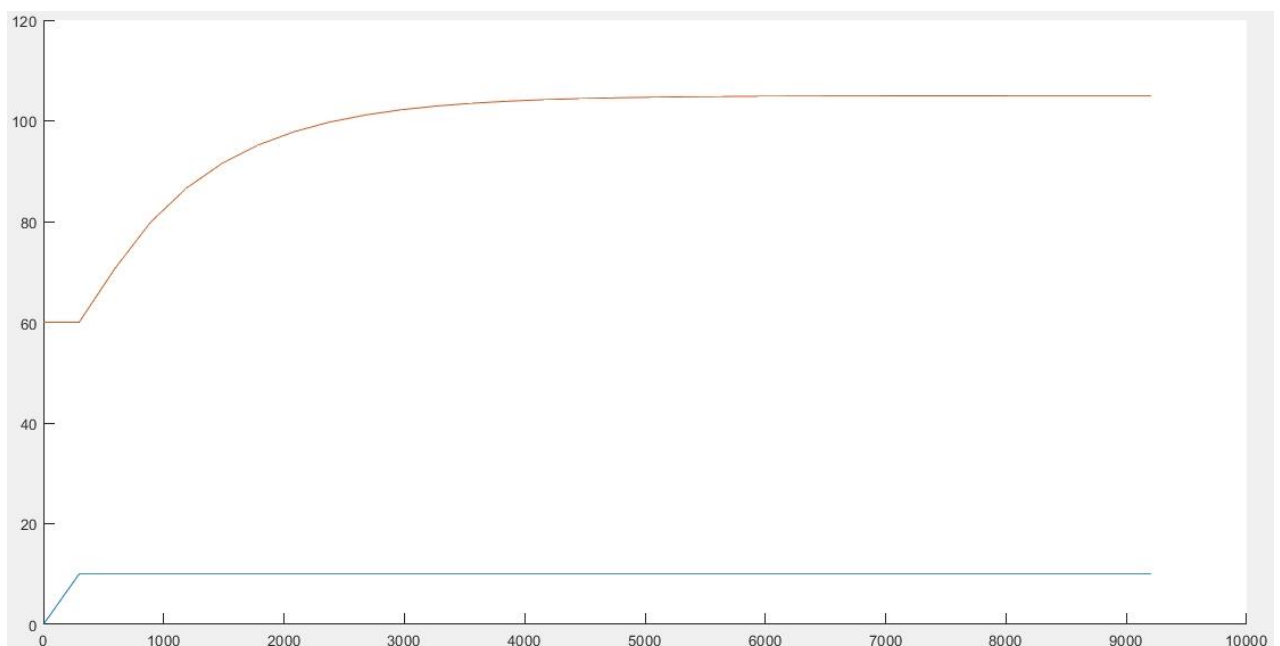


Рисунок 2.2 – Перехід від імпульсної характеристики до кривої розгону

Наступним кроком для дослідження системи нам потрібно виконати нормалізацію, або інакше кажучи перейти до безрозмірних нормованих величин (рис 2.2). Для цього редагуємо наші вхідні дані у Matlab, написавши короткий код, який зображений на рисунку 2.3.

```
>> y = y - 60;
>> plot (t,u);
>> plot (t,y);
>> hold all
```

Рисунок 2.3 – Код для нормалізації

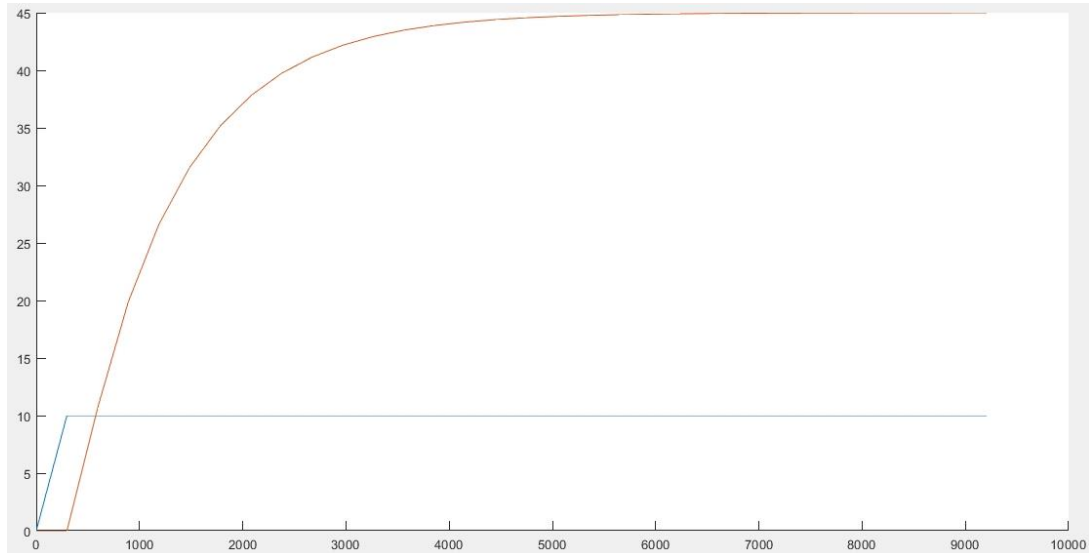


Рисунок 2.4 – Перехід до безрозмірних нормованих величин

Запускаємо програму «Ident» та імпортуємо отриману криву розгону для подальшої ідентифікації (рис 2.5).

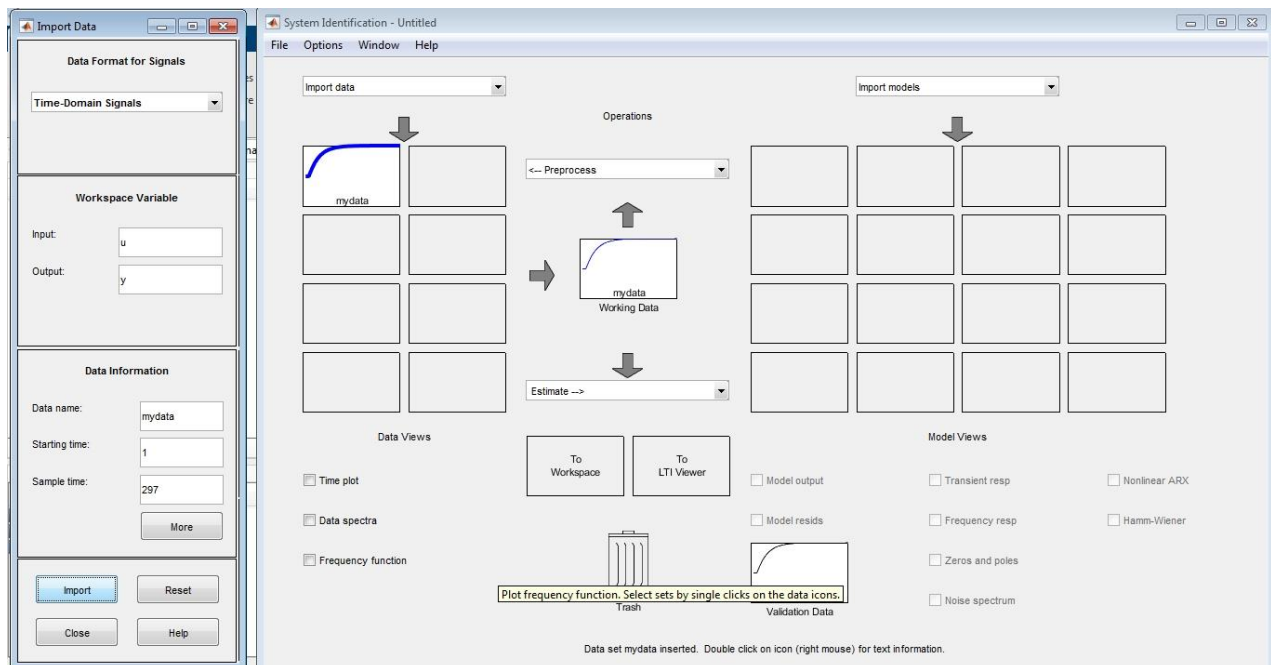


Рисунок 2.5 – Запуск програми «Ident»

Ідентифікуємо модель, вибравши аперіодичну ланку першого порядку (рис 2.6, 2.6.1).



Process Models

Transfer Function

$$\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + T_{p1} s)(1 + T_{p2} s)}$$

Poles

2 All real

Zero  
 Delay  
 Integrator

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	<input type="checkbox"/>	4.5	Auto	[-inf inf]
Tp1	<input type="checkbox"/>	950.0123	Auto	[0 950036.3777]
Tp2	<input type="checkbox"/>	39.6382	Auto	[0 138467.0027]
Tp3	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 inf]
Tz	<input type="checkbox"/>	0	0	[-inf inf]
Td	<input type="checkbox"/>	0	Auto	[0 8910]

Initial Guess

Auto-selected  
 From existing model  
 User-defined

Value-->Initial Guess

Disturbance Model: None Initial condition: Zero Regularization...

Focus: Simulation Covariance: Estimate Options...

Display progress Continue

Name: P2D Estimate Close Help

Рисунок 2.7 – Крива розгону описана аперіодичною ланкою 2-го порядку

Process Models

Transfer Function

$$\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + T_{p1} s)(1 + T_{p2} s)(1 + T_{p3} s)}$$

Poles

3 All real

Zero  
 Delay  
 Integrator

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	<input type="checkbox"/>	4.5009	Auto	[-inf inf]
Tp1	<input type="checkbox"/>	1007.8784	Auto	[0 950036.3777]
Tp2	<input type="checkbox"/>	35.0129	Auto	[0 138467.0027]
Tp3	<input type="checkbox"/>	35.178	Auto	[0 563292.688]
Tz	<input type="checkbox"/>	0	0	[-inf inf]
Td	<input type="checkbox"/>	206.712	Auto	[0 8910]

Initial Guess

Auto-selected  
 From existing model  
 User-defined

Value-->Initial Guess

Disturbance Model: None Initial condition: Zero Regularization...

Focus: Simulation Covariance: Estimate Options...

Display progress Continue

Name: P3D Estimate Close Help

Рисунок 2.8 – Крива розгону описана аперіодичною ланкою 3-го порядку

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ

Арк.

37





# 3 ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НА СТІЙКІСТЬ ОДНОКОНТУРНОЇ ТА КАСКАДНОЇ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

## 3.1 Здійснення вибору регулятора

Кожна одноконтурна система регулювання включає в себе регулятор і об'єкт регулювання. До об'єкта відносять сам об'єкт регулювання, вимірювальний пристрій (ВП), виконавчий механізм (ВМ) і перетворювальний елемент (ПЕ). Інші пристрої, не включені до складу об'єкта, утворюють регулятор. Синтезований у такий спосіб об'єкт називають керованою частиною системи (КЧС).

Регулятор виробляє керуючий вплив  $Y(t)$ , який впливає на об'єкт для здійснення його алгоритму функціонування і досягнення мети керування.

Регулятор вибирають за передавальною функцією КЧС.

Закон регулювання регулятора вибирають з урахуванням особливостей об'єкта і заданих параметрів якості перехідного процесу. До якості регулювання кожного конкретного технологічного процесу, який має певні особливості, висуваються конкретні вимоги: забезпечення мінімального значення динамічної похибки регулювання або мінімального значення часу регулювання. Тому згідно з вимогами технології як заданий вибирають один із трьох типових перехідних процесів: граничний аперіодичний; із 20%-м перерегулюванням; із мінімальною квадратичною площею відхилення.

Реально закон регулювання регулятора визначається вимогами якості регулювання того чи іншого технологічного процесу. Якщо допустима межа відхилення технологічного параметра достатньо велика, то можна використовувати пропорційний закон регулювання. При цьому статична похибка не повинна перевищувати допустимої межі зміни регульованого параметра. Якщо допустимі відхилення цього параметра малі, то в закон регулювання необхідно вводити інтегруючу складову, тобто прийняти пропорційно-інтегральний закон

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регулювання. Щоб зменшити час перехідного процесу, у ПІ-закон регулювання вводять диференціальну складову.

### 3.1.1 Здійснення пошуку оптимальних параметрів налаштування регулятора для одноконтурної АСК

Здійснення пошуку оптимальних параметрів налаштування регулятора, які б гарантували одержання добрих показників якості, здійснюємо на основі критерію СО-симетричного струму, що здобув широкого використання при проектуванні систем, які не містять чистого запізнення, за передавальною функцією КЧС.

Для розрахунку оптимальних параметрів налаштування регулятора одноконтурної АСК необхідно виконати певний перелік дій.

Створимо одноконтурну систему автоматичного регулювання у програмному продукті Matlab Simulink.

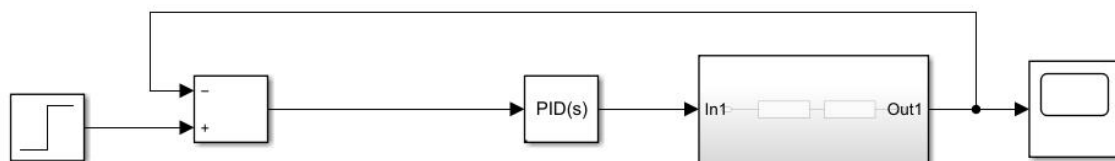


Рисунок 3.1 – Одноконтурна САК

Для зручності оперування системою створимо підсистему (subsystem), використавши дані розраховані у попередньому розділі.

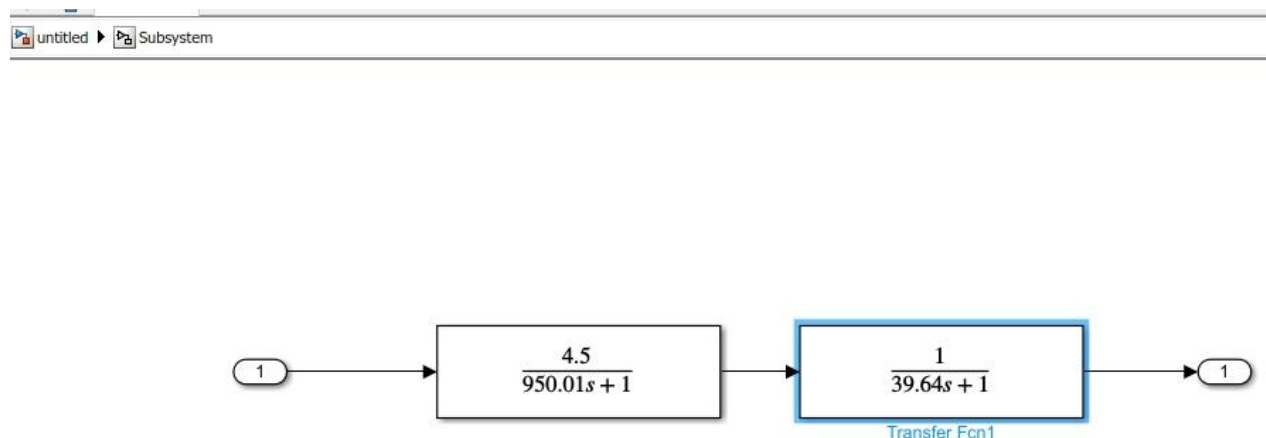


Рисунок 3.2 – Підсистема одно контурної САК

Реалізуємо налаштування регулятора.

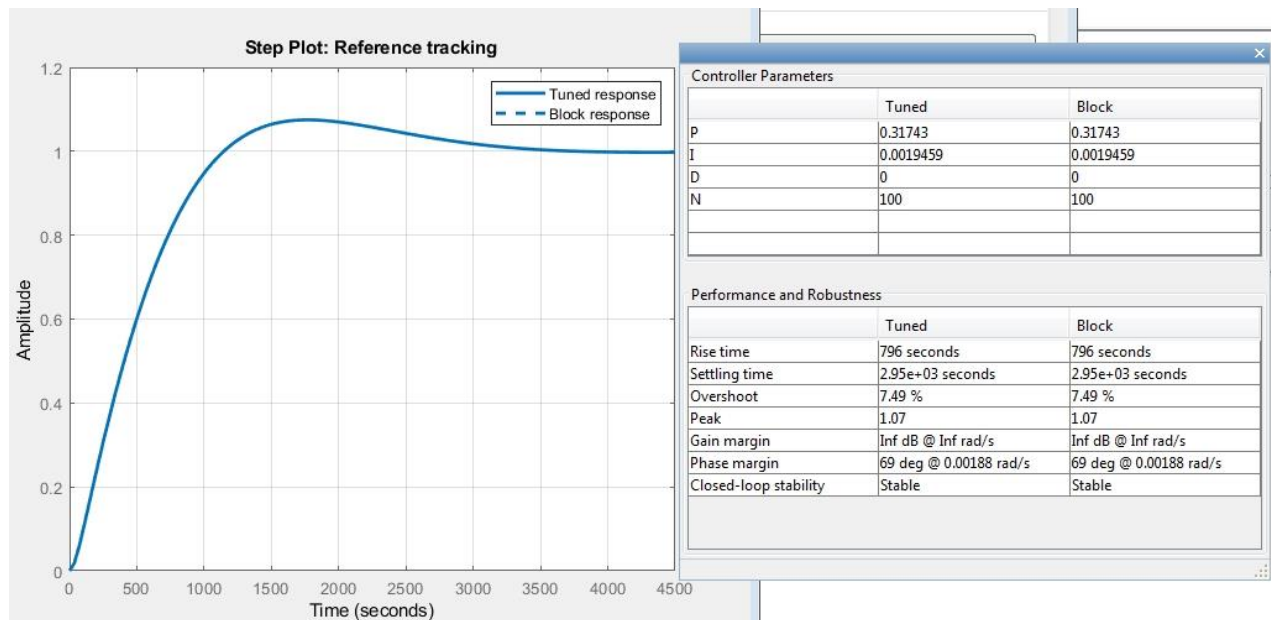
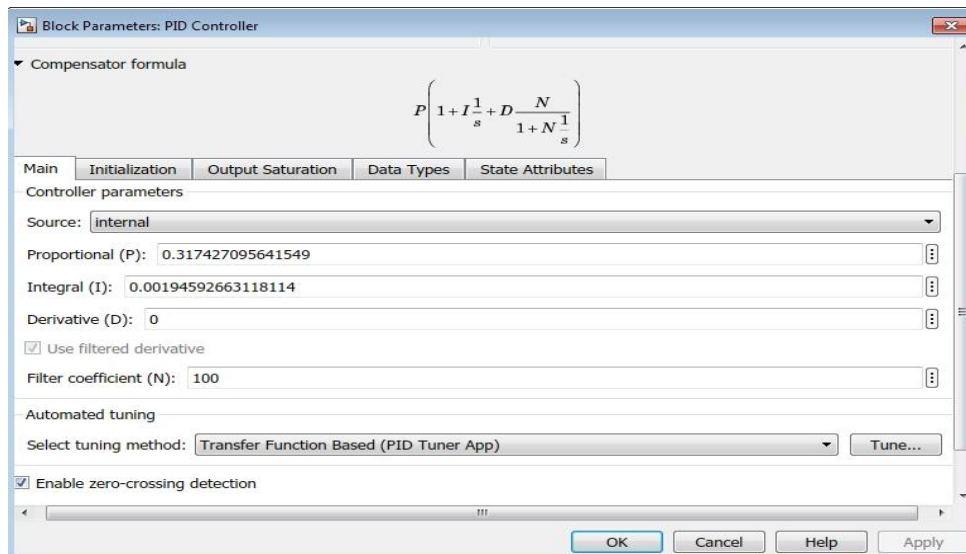


Рисунок 3.3 – Налаштування регулятора у інструменті «Tune»

Вибір PID регулятора для нашого випадку очевидний, тому що він показує найоптимальніший результат в плані якісних показників перехідного процесу.

Повторимо кроки 1-3 з використанням блоку ел. контролю для покращення результату.

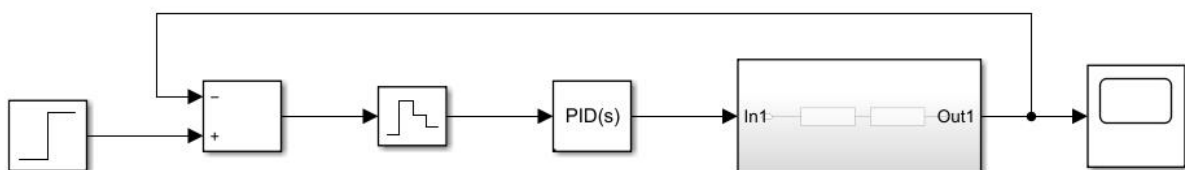


Рисунок 3.4 – Одноконтурна САК з ел. контролем регулювання

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



### 3.1.2 Перевірка на стійкість одноконтурної АСК

Здійснивши побудову одноконтурної АСК у Simulink переходимо до написання короткого коду у Matlab, за допомогою якого автоматично отримуємо передавальну функцію одноконтурної АСК.

Command Window

```
>> %основейй канал
W01=tf([4.5],[950 1]);
W02=tf([1],[39.638 1]);

%Параметри регулятора
P=2.479;I=0.00297;D=21.299;N=0.0168;
Wr=tf([P],[0 16.519])+tf([I],[1 0.141])+tf([D*N 0],[1 N])
W0i=W01*W02

%Передавальна функція
Wki=W0i*Wr

%Виведення графіка АЧХ та ФЧХ
bode (Wki)

Wr =

      8.39 s^2 + 1.274 s + 0.006696
-----
    16.52 s^2 + 2.607 s + 0.03913

Continuous-time transfer function.

W0i =

          4.5
-----
    3.766e04 s^2 + 989.6 s + 1

Continuous-time transfer function.

Wki =

      37.75 s^2 + 5.732 s + 0.03013
-----
    6.22e05 s^4 + 1.145e05 s^3 + 4070 s^2 + 41.33 s + 0.03913

Continuous-time transfer function.
```



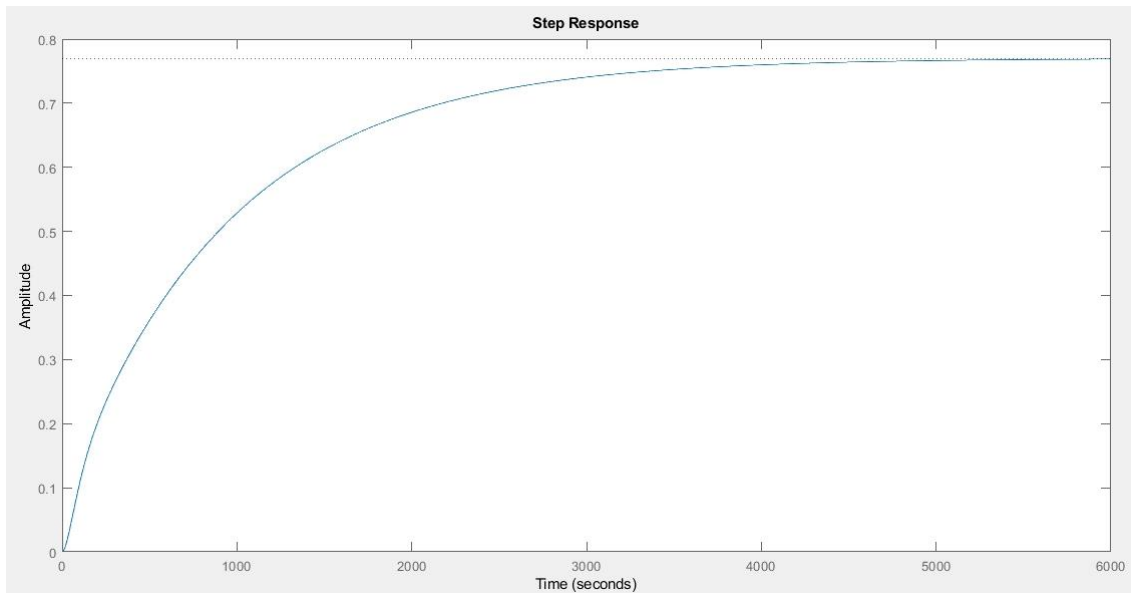


Рисунок 3.7 – Графік Step

3) АЧХ та ФЧХ одноконтурної АСК стабільні.

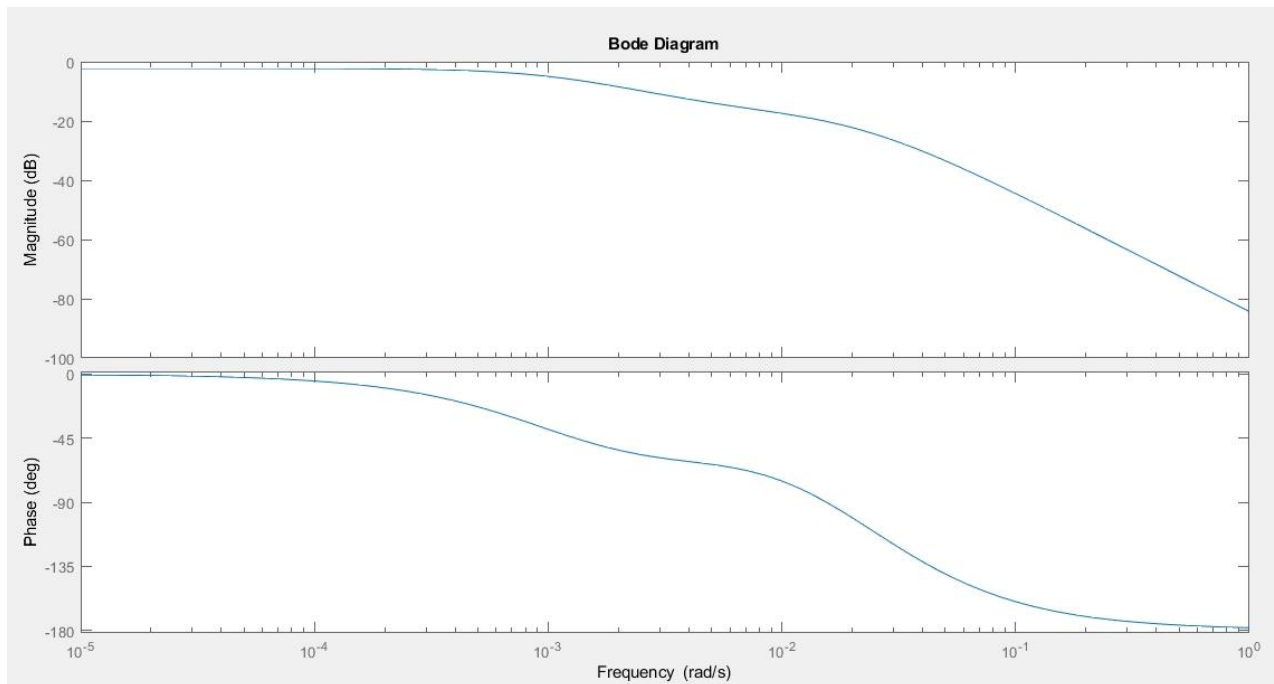


Рисунок 3.8 – АЧХ та ФЧХ одноконтурної АСК

4) Імпульсна характеристика одноконтурної АСК нормальна

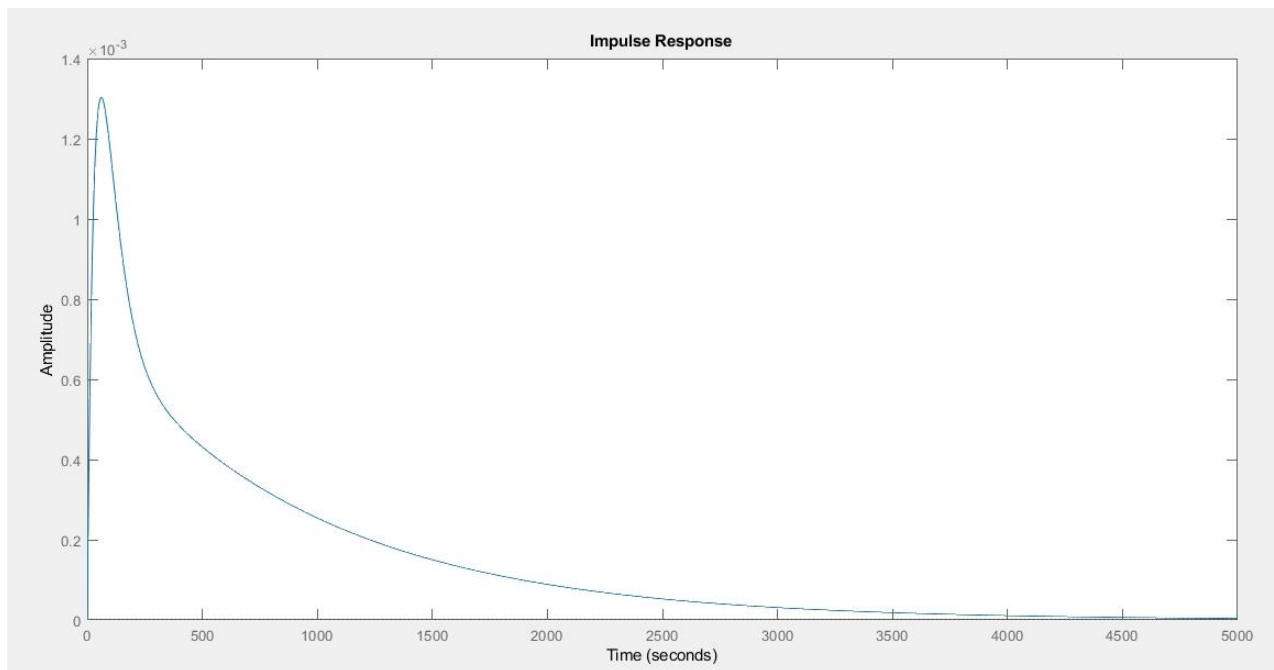


Рисунок 3.9 – Імпульсна характеристика одноконтурної АСК

Висновок: за критерієм Найквіста одноконтурна АСК є стійкою.

### 3.2 Здійснення вибору оптимальних параметрів налаштування регулятора для каскадної АСК

З метою побудови каскадної АСК потрібно виконати побудову додаткового контуру до існуючої одноконтурної АСК.

Підставимо значення у формулу та обчислимо параметри додаткового контуру.

$$(T_3+T_4)<0.5 (T_1+T_2),$$

де  $T_1$  і  $T_2$ -постійні часу з  $W_0(s)$

Основний контур

$$T_{p1} = 950.01$$

$$T_{p2} = 39.638$$

$$0.5 (950.01+39.638)=494.824$$

Додатковий контур

$$494.824 *0.5 = 247.412$$

$$T_3=247.412$$

$$T_4=247.412$$



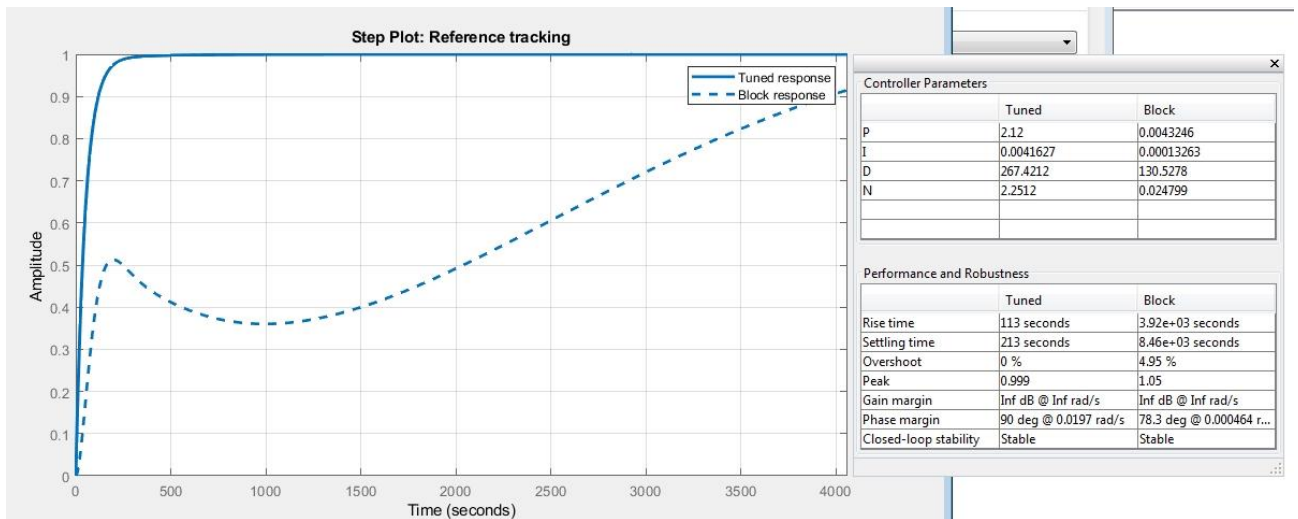


Рисунок 3.12 – Налаштування регулятора контура W1

Складемо систему та налаштуємо контур W0 (рис. 3.13 – 3.15)

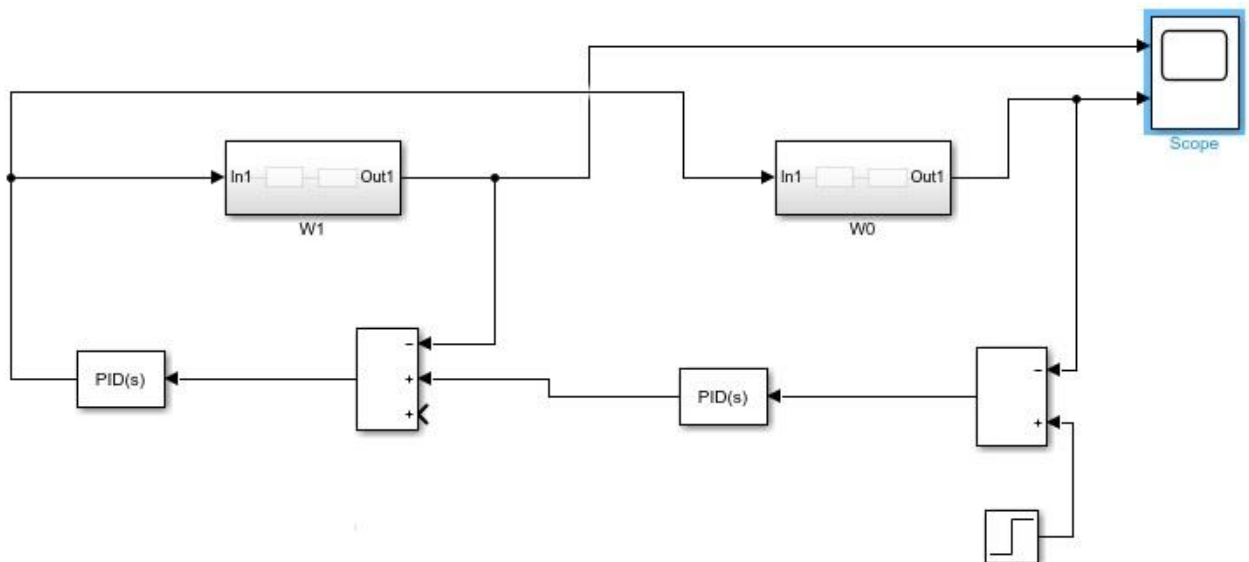


Рисунок 3.13 – Налаштування каскадної АСР

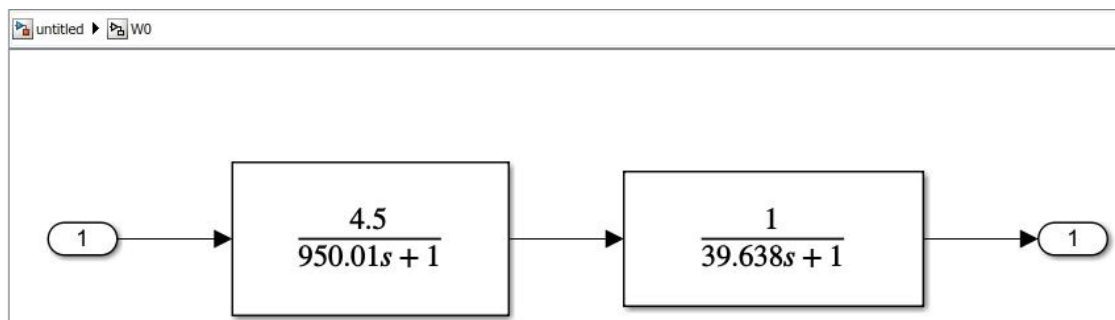


Рисунок 3.14 – Підсистема основного контура керування



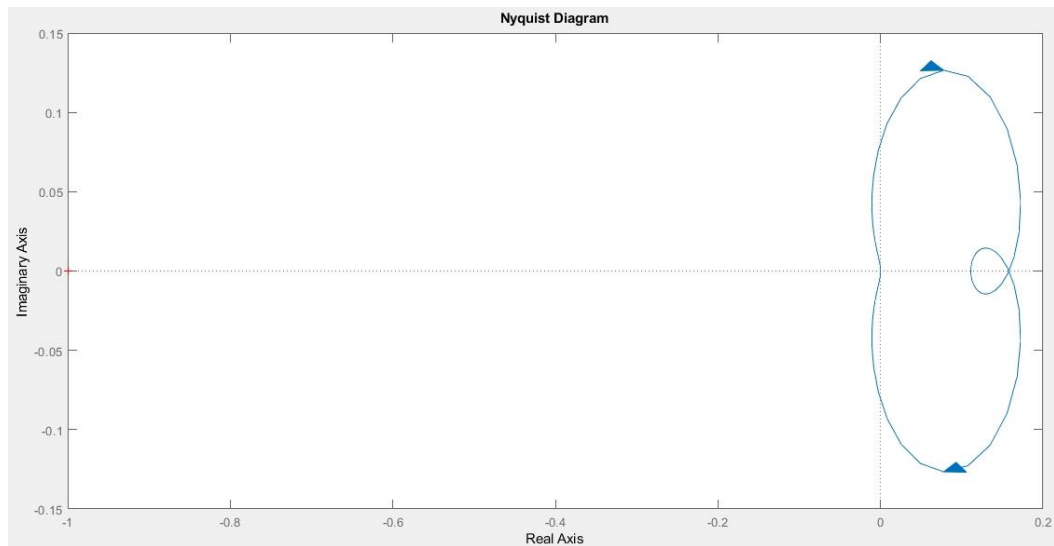


Рисунок 3.17 – Діаграма Найквіста каскадної АСК

За критерієм стійкості Найквіста систему можна вважати стійкою, оскільки амплітудно-фазова характеристика розімкнутого контуру при зміні  $\omega$  від 0 до  $\infty$  не охоплює точку з координатами  $(-1;j0)$ .

Графік Step. Відбувається вихід системи у задане значення.

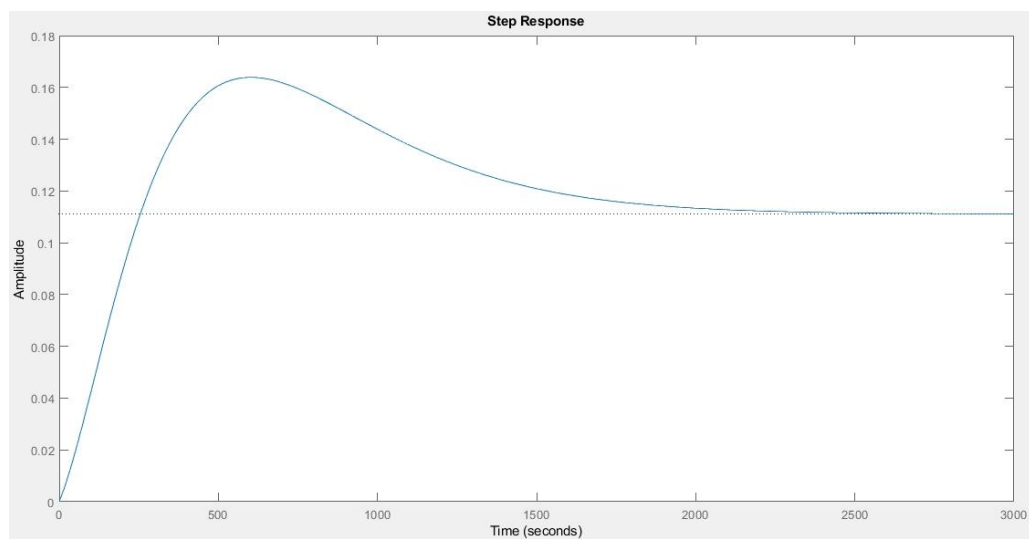


Рисунок 3.18 – Графік Step

АЧХ та ФЧХ каскадної АСК стійкі.



## **4 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

### **4.1 Опис функціональної схеми автоматизації**

Функціональна схема автоматизація (ФСА) виробництва синтетичного каучука у даному курсовому проєкті представлена окремим графічним документом, на якому зображені ТЗА та їх розміщення на схемі. АСК, котрі були описані у 3 розділі забезпечують роботу основних реакторів виробництва: Р-1, Р-2, Р-3.

Функціональні схеми автоматизації та контролю визначаються основним технічним документом, що передбачає функціонально-блочну структуру деяких систем автоматичного керування і регулювання, а також контролю технологічним процесом, монтаж на об'єкт керування приладів контролю та засобів автоматизації.

Функціональні схеми автоматизації представляють собою креслення, де зображаться за допомогою стандартизованих умовних позначень:

- комунікації;
- технологічне обладнання;
- зв'язки між технологічним обладнанням та засобами автоматизації;
- засоби контролю, керування та автоматизації і т.д.

Засоби контролю, керування і автоматизації дозволено розміщувати по місцю розташування технологічного обладнання, а також безпосередньо на трубопроводах та обладнанні або ж в спеціальних приміщеннях: диспетчерських та операторських і т.д.

Автоматизація технологічного процесу виробництва синтетичного каучуку має здійснювати контроль технологічних процесів, регулювання параметрів для стабілізації технологічного процесу виробництва синтетичного каучуку. Сигналізації підлягають параметри, зміна яких може призвести до аварійних ситуацій на виробництві або нещасних випадків.

На підприємстві для справної роботи системи проєктується захист

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53



температури 0...+50 ° С. Вони можуть обслуговувати від 10 до 284 дискретних каналів та від 2 до 51 аналогових, і/о каналів.

Розглянемо функціональні особливості контролера марки SIEMENS 6ES7214-1BG40-0XB0:

- Програмування на мовах FBD та LAD, має вичерпний набір команд.
- Висока швидкодія з часом виконання логічної операції, яка не перевищує 0.1 мкс.
- Має вбудовану завантажувану пам'ять, об'єм якої складає до 2 Мбайт та розширюється за допомогою карти пам'яті ємністю якої складає до 24 Мбайт.
- Робоча пам'ять, що має ємність до 50 Кбайт.
- Містить вбудовані дискретні входи, які мають універсальне призначення та дозволяють вводити як потенційні та і імпульсні сигнали.
- Має вбудовані швидкісні лічильники, частота проходження вхідних сигналів складає до 100 кГц.
- Підтримка функцій оновлення операційної системи.
- Підтримується функцій ПІД регулювання.
- Має парольний захист програми для користувача.
- Програмовані порти для обміну даними між пристроями на комунікаційних модулях CM +1241.

Перетворювач інтерфейсів RS-232 в RS-422 / RS-485 з гальванічна ізоляцією



Рисунок 4.2 – Модуль RS232 / 485 ADAM-4520

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

## Характеристики ADAM-4520 (ADAM-4520-EE)

- Швидкість передачі даних 300 ... 115200 кБит / сек;
- Роз'єми ADAM-4520 Гвинтові клеми (RS-485, RS-422), DB9 female (RS-232);
- Інтерфейс RS-232 (COM);
- Гальванічна ізоляція ADAM-4520 3000 В (RS-485);
- Максимальна довжина лінії зв'язку 1200 м;
- Максимальна кількість модулів в мережі 256 з використанням репіттерів або 32 модуля без їх використання;
- Матеріал корпусу – пластик;
- Кріплення Монтаж на DIN рейку;
- Напруга живлення ADAM-4520 10 В ... 30 В;
- Споживання енергії ADAM-4520 1.0 Вт;
- Розміри (ширина x висота x глибина) 72 x 25 x 142 мм;
- Діапазон робочої температури ADAM-4520 0 ... 75 ° С.

## 4.2 Вибір технічних засобів автоматизації

### 4.2.1 Перетворювач тиску

Перетворювачі тиску MBS 1700 складаються з первинного перетворювача і електронного пристрою. Матеріал, що знаходиться під тиском подається в камеру первинного перетворювача, деформуючи його мембрану. Це призводить до зміни електричного опору розташованих на ній напівпровідникових тензорезисторів, включених в електричний ланцюг дільника напруги, після чого первинний перетворювач передає сигнал напруги. Електронний пристрій здійснює перетворення електричного сигналу в струмовий уніфікований вихідний сигнал 4 - 20 мА.

Давачі тиску серії MBS 1700 призначені для вимірювання тиску рідин і газів

									Арк.
									56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ				

в промисловості. Корпус датчика виготовлений з кислотостійкої нержавіючої сталі. Точність вимірювання забезпечується лазерної калібруванням на заводі виробника, вбудованої температурною компенсацією і перешкодозахищеністю відповідно до норм електромагнітної сумісності EU EMC.

Давач тиску 4 бар 4-20мА G1/4 А XMLP004GC21F.

Датчики тиску серії XMLP (рис 2.1) серійно виробляються в Швейцарії на заводі Schneider Electric та продаються під брендом Telemecanique.

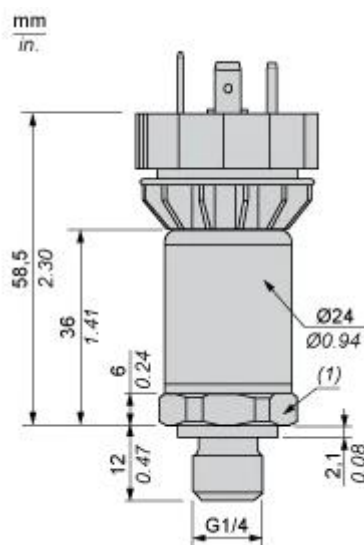
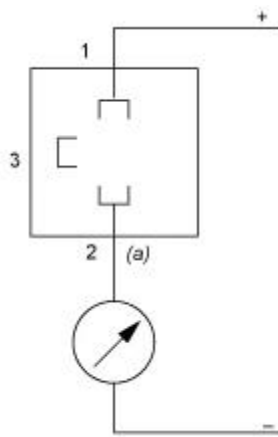


Рисунок 4.3 – Давач тиску XMLP004GC21F.

Технічні характеристики давача:

- Конектор XZCC43FCP40B;
- Діапазон вимірювання: 0-4 бар;
- Пікове перевантаження: 30 бар;
- Тиск руйнування: 60 бар;
- Матеріал корпусу та ущільнення: Stainless steel AISI 316L;
- Напруга живлення 12...24 V DC SELV, voltage limits: 7...33 V ;
- Схема підключення: 2- провідна струмова петля 4-20мА.

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57



Захист електроніки: від к.з. та неправильної полярності

Час відклику  $\leq 2 \text{ ms}$  для 10...90 % діапазону

Точність вимірювання  $\pm 0.5 \%$

#### 4.2.2 Давач температури

Давач температури типу МВТ 5252. (рис 2.2.) із вихідним сигналом 4..20 мА



Рисунок 4.4 – Давач температури МВТ 5252

МВТ 5252 - давач температури, призначений для важких умов експлуатації, який можна використовувати для систем управління подачею охолоджувальної води, мастильного або гідравлічного масла, а також для регулювання роботи холодильних і загальнопромислових установках, а також в суднобудуванні. У цьому давачі використовується стандартний термометр опору Pt100 або Pt1000, що забезпечує надійне і точне вимірювання. За запитом можлива поставка МВТ 5252 з негативним або позитивним температурним коефіцієнтом термометра опору (NTC

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

/ РТС). При необхідності в якості вбудованого компонента давача можна замовити нормуючий перетворювач MBT 9110. У низькотемпературному варіанті (від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+200^{\circ}\text{C}$ ) використовується чутливий елемент з силіконовим кабелем, завдяки чому забезпечується дуже висока вібростійкість давача. Всі деталі, що контактують з робочими середовищами, виготовлені з нержавіючої сталі AISI 316 Ti. У стандартному варіанті датчик MBT 5252 забезпечений головкою В, але за запитом можлива поставка датчика з головкою В-міні або з головкою В з різьбовою кришкою. Для газоподібних або рідких середовищ, наприклад, для повітря й газу, пари, води або масла. Температури робочих середовищ до  $+400^{\circ}\text{C}$ . На замовлення поставляється з вбудованим нормуючим перетворювачем.

### 4.2.3 Безконтактний рівнемір

Безконтактний 24 ГГц радарний (FMCW) рівнемір OPTIWAVE 6300 C

Принцип вимірювання: сигнал радара випромінюється антеною, відбивається від поверхні вимірюваного продукту і з невеликою часовою затримкою приймається антеною. Використовуваний радарний принцип називається FMCW (частотно-модульована незатухаюча хвиля).



Рисунок 4.5 – Рівнемір OPTIWAVE 6300 C

Рівнемір OPTIWAVE 6300 C є сучасним безконтактним вимірювальним приладом, що використовує принцип радарної технології FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) для точного визначення рівня твердих сипких матеріалів. Цей пристрій розроблений спеціально для складних умов промислового

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

середовища, де застосування традиційних методів вимірювання може бути обмеженим або ненадійним.

Одна з ключових особливостей OPTIWAVE 6300 C полягає у використанні діапазону частот 24 ГГц, що дозволяє досягти високої роздільної здатності сигналу та зменшити вплив пилу, пари або нерівностей поверхні сипких матеріалів. Завдяки вузькому діаграмному променю, рівнемір здатен точно фокусуватися навіть на матеріалі з низьким коефіцієнтом відбиття, що суттєво підвищує точність вимірювання.

Пристрій характеризується високою точністю (до  $\pm 5$  мм) і значним діапазоном вимірювання — до 80 метрів, що робить його ефективним для використання в силосах, бункерах, великих контейнерах і резервуарах. Крім того, завдяки безконтактному принципу роботи, відсутній знос механічних частин, що мінімізує потребу в обслуговуванні та подовжує термін експлуатації.

Конструктивно OPTIWAVE 6300 C має міцний корпус, стійкий до агресивних середовищ, та може бути оснащений різними типами антен (наприклад, із роговою або обтичною конструкцією) залежно від вимог конкретного застосування. Пристрій підтримує інтерфейси HART, 4...20 mA, що забезпечує зручну інтеграцію в системи автоматизації промислових підприємств.

Завдяки поєднанню технологічної точності, надійності та гнучкості застосування, рівнемір OPTIWAVE 6300 C займає важливе місце серед засобів вимірювання рівня у промислових процесах, де потрібен стабільний контроль за станом матеріалів у складних умовах експлуатації.

#### 4.2.4. Контакттор

Контакттор марки КМІ-22510 25А 380В / АС3 +1 з (ПЗ) ІЕК (ККМ21-025-400-10)

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.6 – Контактор КМІ-22510 25А 380В

Такий тип контактору є оптимальним для даного проєкту. Контактор типу КМІ-22510 25А 380В використовується для забезпечення довгострокової та безвідмовної роботи обладнання на технологічному виробництві синтетичного каучуку.

Описується наступними базовими технічними характеристиками:

- Напряга по ізоляції: 660 В;
- Сила струму: 25 А;
- Номінальна напруга: 380 В;
- Максимальне короткочасне навантаження ( $t \leq 1$  с): 450 А;
- Умовний тепловий струм  $I_{th}$  ( $t^\circ < 40^\circ$ ), АС-1: 40 А;
- Умовний струм короткого замикання  $I_{nc}$ : 40 А;
- Зносостійкість механічна: 12 млн. Циклів;
- Зносостійкість комутаційна: АС-3: 1.4 млн. циклів;
- Потужність споживання котушки при  $U_c$
- При утриманні  $\cos \varphi = 0,3$ : 7.5 ВА
- При спрацьовуванні  $\cos \varphi = 0,75$ : 90 ВА
- Діапазони напруги управління
- Діапазон відпускання:  $(0,3 \div 0,6) U_c$
- Діапазон спрацьовування:  $(0,8 \div 1,1) U_c$

										Арк.
										61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ					

- Монтажні характеристики:
  - Ступінь захисту: IP20;
  - Габарити: ширина: 56 мм; висота: 84 мм; глибина: 93 мм. Вага: 0.4 кг;
- Спосіб установки: На DIN-рейку або на панель

### **Висновки до розділу**

У даному розділі бакалаврської роботи описано процес розроблення функціональної схеми автоматизації. Здійснено підбір технічні засоби автоматизації, складено специфікацію на замовлення. Подано детальний опис обраних технічних засобів автоматизації, зокрема програмованого логічного контролера фірми SIEMENS, що застосовується для вирішення різних завдань з автоматизації, має модульну конструкцію та універсальне призначення.

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній бакалаврській роботі проведено дослідження технологічного виробництва синтетичного каучуку.

У першому розділі бакалаврської роботи детально розглянуто технологічний процес виробництва синтетичного каучуку, зокрема описано призначення синтетичного каучуку, подано характеристики сировини, реагентів і отриманої продукції, описано фізико-технічні та технологічні властивості. Детально описано технічні характеристики технологічного обладнання, проведено вибір параметрів регулювання, контролю та сигналізації.

У другому розділі проведено експериментальне моделювання керованого об'єкта. В якості ОК обрано один з трьох реакторів, оскільки від протікання процесу у реакторі залежить якість продукту на виході.

Ідентифікацію об'єкта здійснено за допомогою тулбоксу «Ident» у програмному середовищі MatLab. Отримано функцію передачі, яка описується за допомогою аперіодичної ланки другого порядку.

У третьому розділі досліджуються властивості одноконтурної та каскадної систем керування. Здійснено вибір оптимальних параметрів налаштування регулятора для цих систем. Визначені функції передачі основного та допоміжного регуляторів. Проведено дослідження розроблених систем на стійкість на основі критерія Найквіста. В результаті дослідження з'ясовано, що одноконтурна та каскадна систем керування відповідають умовам даного критерія та є стійкими.

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Бутадієновий каучук: властивості, застосування та розуміння . Режим доступу: <https://ud-machine.com/uk/blog/butadiene-rubber/#>.
2. Братичак М. М., Гринишин О. Б. Технологія нафти та газу. навчальний посібник. Львів: Львівська політехніка, 2013. 180 с. Режим доступу: <https://vlp.com.ua/node/10089>
3. Каучуки. Гума. Синтетичні волокна. Режим доступу: <https://vseosvita.ua/lesson/kauchuku-huma-syntetychni-volokna-190351.html>.
4. Властивості нафти та нафтопродуктів. Ч.1 : навч. посіб. / О.В. Давітая та ін. Кременчук, 2019. 74 с. Режим доступу: [http://www.irbisnbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe](http://www.irbisnbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe).
5. Білецький В. С., Орловський В. М., Вітрик В. Г. Основи нафтогазової інженерії : підручник. Полтава, 2018. 415 с. Режим доступу: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/8d67d6fa-2d73-4326-9156-6f0237f6c470/content>.
6. Теорія автоматичного управління: Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»; уклад.: О. Й. Штіфзон, П. В. Новіков, В.П. Бунь. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 144 с. Режим доступу: [https://document.kdu.edu.ua/info\\_zab/141\\_1502.pdf](https://document.kdu.edu.ua/info_zab/141_1502.pdf).
7. Пушкар М.С. Проектування систем автоматизації: навч. посібник / М.С. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 268 с. Режим доступу: <https://ir.nmu.org.ua/server/api/core/bitstreams/42ab6449-c46b-46b9-a484-172f34042c5a/content>.

					БР. АКП-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# ДОДАТКИ

## Command Window

```

>> %основейй канал
W01=tf([4.5],[950 1]);
W02=tf([1],[39.638 1]);

%Параметри регулятора
P=16.519;I=0.141;D=464.708;N=6.611;
Wr=tf([P],[0 16.519])+tf([I],[1 0.141])+tf([D*N 0],[1 N])
W0i=W01*W02

%Dодатковий контур
Wz1i=tf([1],[247.412 1]);
Wz2i=tf([1],[247.412 1]);
Wzi=Wz1i*Wz2i

%Передавальна функція
Wki=(Wzi/(W0i*Wr))

%Виведення графіків АФХ та АЧХ
bode (Wki,Wzi)

Wr =

      5.077e04 s^2 + 7270 s + 30.8
-----
      16.52 s^2 + 111.5 s + 15.4

Continuous-time transfer function.

```

```

W0i =

           4.5
-----
3.766e04 s^2 + 989.6 s + 1

Continuous-time transfer function.

Wzi =

           1
-----
6.121e04 s^2 + 494.8 s + 1

Continuous-time transfer function.

```

```

Wki =

6.22e05 s^4 + 4.216e06 s^3 + 6.902e05 s^2 + 1.535e04 s + 15.4
-----
1.398e10 s^4 + 2.115e09 s^3 + 2.49e07 s^2 + 1.013e05 s + 138.6

Continuous-time transfer function.

```