

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

П.В. Леонтєв

\_\_\_\_\_ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА  
зі спеціальності 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
на тему: "Автоматизація процесу завантаження сировини у барабан  
бетонозмішувача СБ-146А"

Керівник роботи

доцент, к.т.н.

Толбатов В.А.

Дипломник

студент гр. СУ.м-11

Синельников Є.Є

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

П.В. Леонтєв

\_\_\_\_\_ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра студенту

Синельникову Євгену Євгеновичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: Автоматизація процесу завантаження сировини у барабан бетонозмішувача СБ-146А  
затверджена наказом ректора СумДУ № 1027-VI від " 07 " листопада 2022 р.
2. Термін здачі студентом закінченої роботи " 21 " грудня 2022 р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, тези, перелік літературних джерел з матеріалами та технічна документація, в якій описаний процес функціонування бетонозмішувача.
4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню): аналіз сучасного стану автоматизації бетонорозчинних вузлів; розробка та проектування

функціональної схеми автоматизації та опис роботи; дослідження процесу функціонування; розробка математичної моделі; охорона праці.

5. Перелік графічних матеріалів: 1 креслення, 46 рисунків і 12 таблиць.

#### 6. Календарний план виконання роботи

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри та складання технічного завдання.	03.10.2022 – 06.10.2022
2	Розгляд технічного процесу	07.10.2022 – 15.10.2022
3	Підбір та аналіз літератури	16.10.2022 – 20.10.2022
4	Розробка функціональної схеми	21.10.2022 – 14.11.2022
5	Розрахунок математичної моделі	15.11.2022 – 26.11.2022
6	Розробка математичної моделі в середовищі MATLAB	27.11.2022 – 15.11.2022
7	Технічне оформлення проекту	16.11.2022 – 21.11.2022

7. Дата видачі завдання " 02 " жовтня 2022 р.

Керівник проекту:

доцент, к.т.н

Толбатов В.А.

До виконання прийняв:

студент гр. СУ.м-11

Синельников Є.Є

## РЕФЕРАТ

Синельников Євген Євгенович. Автоматизація процесу завантаження сировини у барабан бетонозмішувача СБ-146А. Кваліфікаційна робота магістра зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. Дипломний проект. Сумський державний університет, Суми, 2022 р.

Робота присвячена методам й засобам автоматизації технологічного процесу завантаження скіповим підйомником в змішувальний агрегат (змішувач) циклічної дії. Запропоновано проектне рішення щодо автоматизованого керування технологічними параметрами процесу завантаження. Розроблена конструкторська документація для технічної реалізації системи автоматизації.

Робота містить 29 сторінок основного тексту, 17 рисунків, 1 додаток; список використаних джерел з 12 найменувань.

Ключові слова: бетон, змішувач, електропривод, контролер, подача, виконавчий механізм

Synelnikov Evgeny Evgenovich. Automation of the process of loading raw materials into the SB-146A concrete mixer drum. Master's thesis on specialty 151 - Automation and computer-integrated technologies. Degree project. Sumy State University, Sumy, 2022  
The work is devoted to the methods and means of automation of the technological process of loading a skip lift into a mixing unit (mixer) of cyclic action. A design solution for the automated control of the technological parameters of the loading process is proposed. The design documentation for the technical implementation of the automation system was developed.

The work contains 29 pages of main text, 17 figures, 1 appendix; a list of used sources from 12 items.

Key words: concrete, mixer, electric drive, controller, supply, executive mechanism

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
Зміст	5
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
Розділ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО БЕТОНОЗМІШУВАЧ, ТА МОЖЛИВІ СПОСОБИ ЗАВАНТАЖЕННЯ СИПУЧИХ КОМПОНЕНТІВ	8
1.1 Бетонозмішувачі циклічної та безперервної дії.	8
1.2 Можливі варіанти завантаження сипучих.	9
Розділ 2 контури керування скіповим підйомником	12
Розділ 3 Математична модель скіпового підйомника	15
3.1 Визначення необхідного регулятора	15
3.2 Розрахункова математична модель Скіпового підйомника	20
3.3 Математична модель в середовищі MatLab	23
Розділ 4	25
Охорона праці	25
4.1 Фактори небезпеки при роботі змішувача	25
4.2 Інженерні рішення з охорони праці	25
Висновок	26
Джерела:	27

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БРУ – бетонорозчинна установка

ХД – Хім. Добавки

ФСА – Функціональна схема автоматизації

БРЗ – Бетоно-розчинний змішувач

КТ – Контролер технологічний

СП - Скіповий підйомник

## ВСТУП

Будівництво одна з найважливіших сфер діяльності людини, яка почала розвиватися від початку існування живих істот. Пташки будують гнізда, тварини риють нори, а людина почала вибиратися з печери і жити в будинках побудованих власноруч. На теперішній час важко уявити людина яка не мріяла б про приватний будинок, або квартиру. Нині складно уявити наше життя без електроенергії, водопостачання, опалення, або наших гаджетів, але ми точно переконалися що найгірше це залишитися без оселі. Моя кваліфікаційна робота магістра направлена на дослідження та розробку математичної моделі завантаження барабану бетонозмішувальної установки. Це не найголовніша але важлива тема, так як виготовлення якісних бетонних сумішей дуже важливе при будівництві приватних та багатоповерхових будинків, адже якісна основа це запорука довгострокового використання житлових та нежитлових приміщень. Цією основою є фундаменти, які саме з бетону і відливаються. Але ресурси які використовуються для його виготовлення не безмежні. Саме тому я задумався про способи покращення якості виготовленого бетону та можливості його здешевлення. Вартість видобутку та доставляння необхідних ресурсів ми змінити не можемо, розмістити заводи неподалік від кар'єрів не є раціональним, бо тоді підніметься вартість доставки до будівельних об'єктів. Проаналізувавши все я зрозумів що головний параметр на який ми можемо вплинути щоб зменшити вартість продукції це здешевлення виробництва за рахунок полегшення людської праці та зниження витрат. Мета автоматизації саме і є в тому щоб спростити роботу людині та підвищити якість виготовленої продукції при зниженні вартості виробництва.

# Розділ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО БЕТОНОЗМІШУВАЧ, ТА МОЖЛИВІ СПОСОБИ ЗАВАНТАЖЕННЯ СИПУЧИХ КОМПОНЕНТІВ

## 1.1 Бетонозмішувачі циклічної та безперервної дії.

Бетонозмішувальні установки бувають примусової дії та гравітаційні.

Принцип роботи гравітаційної установки полягає в тому що обертається повністю весь баран, а речовини переміщуються за рахунок падіння один на одного. Але на мою думку такі установки є не практичними, через те що вони є дуже повільними, та занадто енергозатратами.

БРУ циклічної дії є більш розповсюдженими та практичними, але вони також поділяються на циклічні і установки безперервної дії. Другі на мою думку є ненадійними адже при використанні таких вузлів, є ряд проблем з отримання якісної продукції:

1. Час вимішування до однорідної маси значно більший від циклічних.
2. Складності з розміщенням таких установок через великі габарити та особливості конструкції.

БРУ циклічної дії є найпродуктивнішими та надійними. Перевагами є:

1. Більш проста конструкція ніж у гравітаційних та установок безперервної роботи.
2. Час відвантаження замовлення значно менший через можливість окремого контролю кожного параметру.
3. Всі компоненти дозуються до того часу як буде готовий попередній заміс. Тобто доки ми вимішуємо перший в автоматичному режимі можна набрати все для наступного.
4. Запуск після аварійної зупинки значно швидший, через можливість швидкого доступу до несправних елементів.
5. Значно легший в проектуванні контурів керування при автоматизації виробництва та може вдосконалюватись частинами.

Бетонно-розчинний вузол складається з основної чаші. В ній розташований редуктор від якого виходять вигрібні лапи розташовані на різній відстані від центру. Кожна з них має різну висоту від днища до найнижчої точки лапи, та вигнуті під різними кутами, для кращого вимішування. Згори над чашею розташований електродвигун на 18,5 кВт. Поряд розташовані три резервуари(дозатори) окремо для цементу, води та ХД. Набір цементу здійснюється за допомогою шнекового транспортеру. Вода ж та ХД набираються за допомогою відцентрових насосів які підбирають рідину з ємності та транспортують по трубопроводу до дозаторів. Ми будемо розглядати комплекс базований на бетонозмішувачі циклічної дії об'ємом на 0,5 м<sup>3</sup> бетонної суміші – СБ-146А. цей змішувач має такі основні елементи:

1. Барабан(чаша) бетонозмішувача
2. Двигун
3. Стійки вигрібних та змішуючих лап що розташовуються всередині чаші
4. Пневматична заслінка вивантаження продукту
5. Дозатори цементу, води і ХД. З пневматичною системою вивантаження в змішувач.



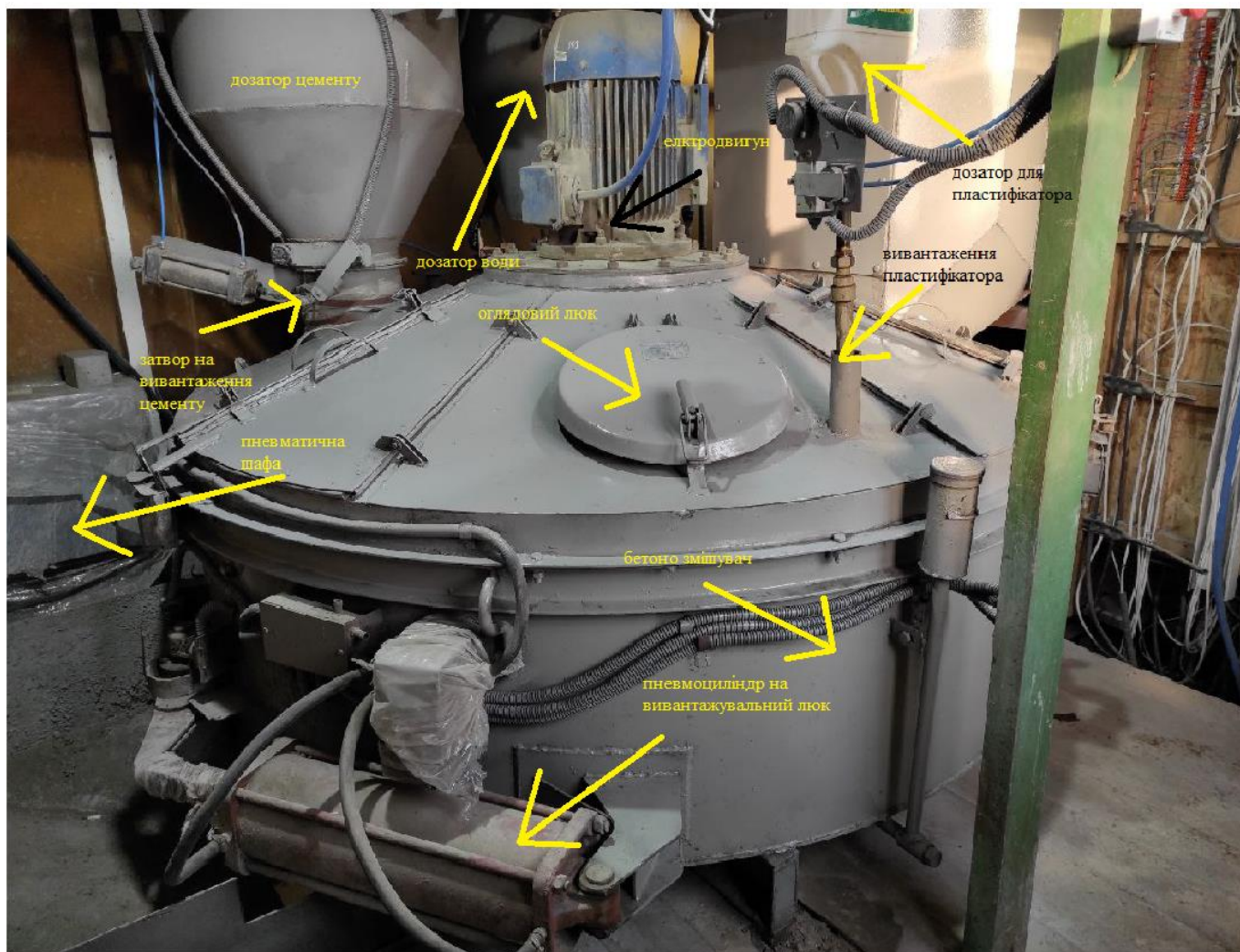


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд бетонозмішувача СБ-146А та дозаторів  
 Технічні характеристики даного бетонозмішувача:

Об'єм бетонозмішувача по завантаженню	0,75 м. куб
Об'єм готового замісу	0,5 м. куб
Потужність ел.приводу	18,5 кВт
Робочий тиск в пневмоциліндрі	6 кгс/см <sup>2</sup>
Габаритні розміри (довжина)	2600 мм
Габаритні розміри (ширина): 2400 мм	2400 мм
Габаритні розміри (висота)	1760 мм
Маса	3050 кг
Максимальна крупність заповнювача	70 мм

## 1.2 Можливі варіанти завантаження сипучих.

### 1.2.1 Завантаження за допомогою транспортерної стрічки

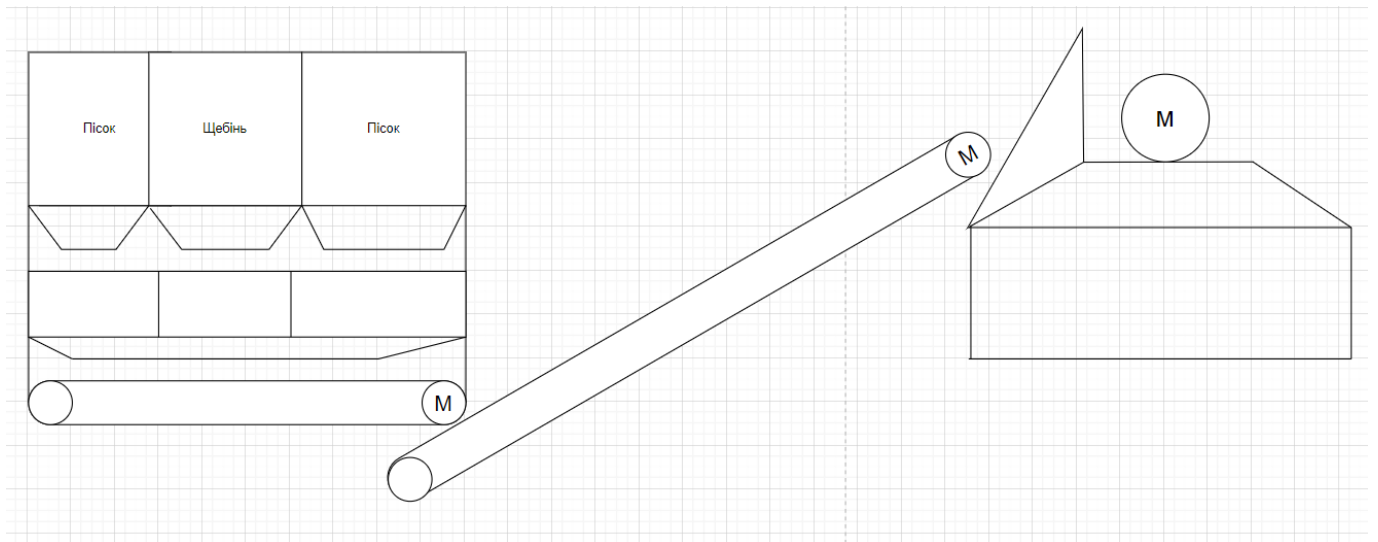


Рисунок 1.1 – умовне зображення завантаження за допомогою транспортерної стрічки

Завантаження барабану сипучими (пісок, щебінь) можливе за допомогою окремого транспортеру на який подаються вже віддозовані раніше пісок і щебінь, або за допомогою скіпового підйомника з похилою рамою. Для такого методу завантаження необхідні :

1. декілька основних бункері для піску та щебню
2. Додатковий бункер на тензо-давачах в підвішеному стані, в який дозуватимуться в певній кількості речрвини відносно заданої рецептури
3. Транспортерна стрічка яка передає ці речовини на основну стрічку
4. Найчастіше розташована під певним кутом, основна стрічка що саме і подає сипучі до барабану.

Головною перевагою такого завантаження є поступове потрапляння компонентів до барабану що значно зменшує навантаження на двигун.

Складності в керуванні таким методом подачі речовин полягає у синхронізації за часом всіх окремих приводів, щоб максимально зменшити їх час простою та унеможливити варіант пересипу на стрічку. Також Недоліком такого методу є вплив більшої кількості зовнішніх факторів(погодні умови, температура повітря на вулиці, його вологість, та вологість дозованих речовин). Адже при зниженні температурних показників з'являються складнощі через втрату пластичності гумою на холоді, залізні компоненти починають просковзувати та втрачати зчеплення з транспортерною стрічкою. Також при такому виді завантаження використовується більша кількість редукторних приводів які в свою чергу заповнюються найчастіше оливами, а ті на холоді втрачають свою мастильну функцію.

### 1.2.3 Завантаження скіповим підйомником з похилою рамою

Скіповий підйомник складається з декількох основних конструкцій. Таких як:

1. Скіповий ковш
2. Рухома нижня рама
3. Нерухома похила рама(колія в якій рухається підйомник)
4. Лебідка(одно або двухмоторна)

В даній роботі важливими компонентами є саме рухома нижня рама, так як вона зазвичай розташовується на тензOMETричних давачах необхідних нам для розуміння як змінюється маса в ковші скіпа при завантаженні та можливому залишку після вивантаження. Та найважливішим виконавчим органом є саме лебідка так як нею ми і будемо керувати. Необхідними нам режимами роботи буде:

1. Плавний спуск/підйом без зміни прискорення
2. Дотяжка у верхньому положенні скіпа(необхідна для того щоб ковш з великою масою в собі не проїхав точку розвантаження в барабан та не пошкодив стоячу вгорі на рамі лебідку)
3. Плавна посадка скіпа на завантажувальне місце(щоб не вдарити рухому раму яка стоїть на тензOMETричних давачах)

При використанні завантаження скіповим підйомником ми можемо більш чітко визначити номінальне навантаження на двигун, так як висипається майже відразу вся маса сипучих речовин. Через особливості конструкції скіпового підйомника ми можемо розуміти які часові паузи, пуску та зупинки, нам необхідно поставити на конвеєрах щоб відхилення від рецептурного значення було мінімальним, і за рахунок цього можна вирахувати скільки піску можна пересипати якщо через певні особливості конструкції скіпа щось в ньому зависне, прилине і не потрапить до барабану БРУ. Візуалізацію конструкції представлено на рис.1. Конструкція так побудована що ремонтна бригада має швидкий доступ майже до всіх елементів. За рахунок цього доволі швидко відновлюється робота після аварійної зупинки а зносостійкість елементів досить висока.

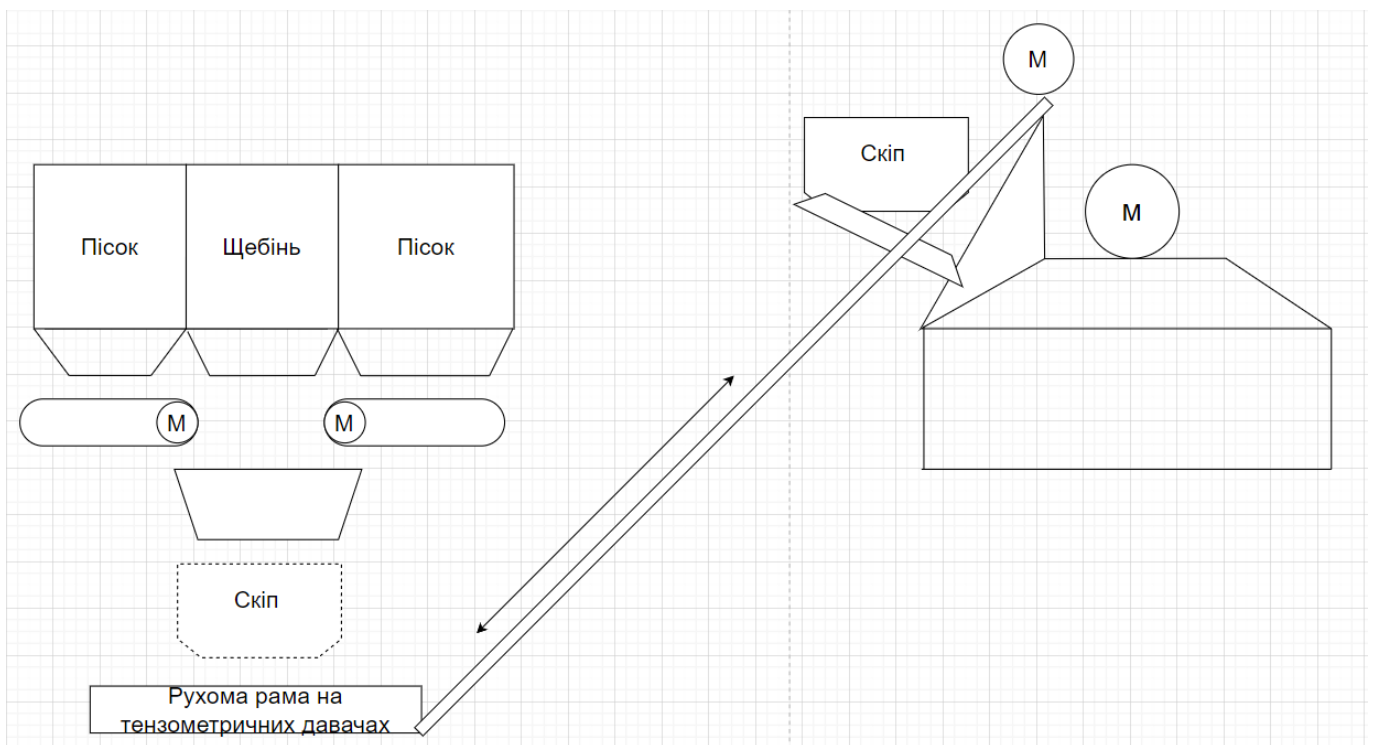


Рисунок 1.2 – умовне зображення роботи скіпового підйомника.

## РОЗДІЛ 2 КОНТУРИ КЕРУВАННЯ СКІПОВИМ ПІДЙОМНИКОМ

Щоб розібратися з контурами керування підйомником необхідно звернутися до функціональної схеми.

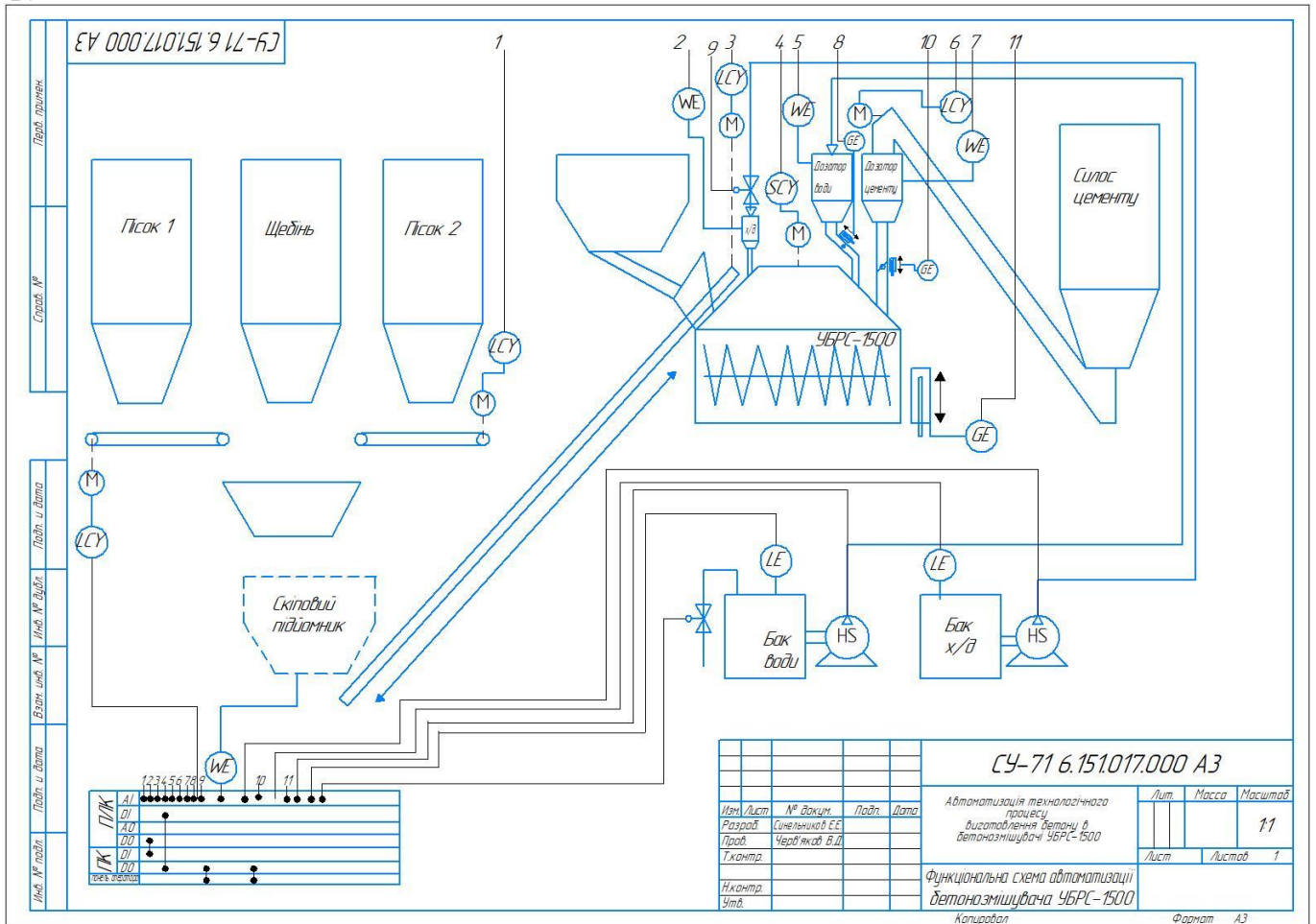


Рисунок 2.1 – Загальна функціональна схема автоматизації БРУ

На даній схемі можна побачити основні виконавчі механізми, їх взаємо зв'язки між собою та давачі які використовуються для керування цими механізмами. Виходячи з загальної ФСА було розглянуто більш детально контур керування підйомником.

Розглянемо окремо кожний контур, він контролює дозування піску та щебню, та регулює співвідношення їх мас. Що зображено на рис.2.2.

В першому контурі ми маємо 2 конвеєри для подачі піску через лоток у скіп вони підключені до двигунів потужністю 2,2 кВт з цепною передачею на 3000 обертів та маємо заслінку приєднану до пневматичного циліндру з довжиною штоку 200 мм та робочим тиском у  $6 \text{ кгс/см}^2$ . після набору необхідної кількості і зупинки дозування СП підіймається да допомогою лебідки вгору до бетонозмішувача, вгорі розташовані датчики положення для сигналізації що скіп вгорі трохи вище розташовано ще один давач, який сигналізує про підняття скіпового підйомника вище норми і необхідно аварійно припини підйом. Також на скіповому підйомнику встановлено частотний регулятор для уповільнення підйому коли скіп майже вгорі, щоб запобігти перекидання або ударів по опорній конструкцію комплексу. І при опусканні знову використовується даний регулятор аби не було удару по рухомій рамі на яку сідає

скіп, і яка, розташована на тезометричних балочних давачах. За рахунок уповільнення мотору при опусканні, скіп сідає рівномірно цим самим виключаючи похибку показів вагів.

У скіповому підйомнику (рис 2.2) похилий міст 6 з кутом нахилу 47 – 60 градусів опирається на стінку скіпової ями 9 і пілон 11. За нижнім поясом моста прокладені дві колії 4, що опускаються у скіпову яму. Для кращого завантаження скіпів кут нахилу колії збільшений на 8-10°. У верхній частині мосту рейкові шляхи переходять у розвантажувальні криві 12. Кожний із двох скіпів 1 і 8 підвішений на парі канатів 2 і 7, які прикріплені до барабана лебідки 10, при цьому два з них намотуються, піднімаючи один скіп, два інших розмотуються, опускаючи другий. Лебідка 10 встановлена у спеціальному приміщенні під мостом. Для напрямних канатів установлюються дві пари обвідних блоків: на середині мосту – блоки 5, а на верху – блоки 3. Блоки мають по два жолоба під канати. Нижній скіп завантажується агломератом або коксом з різних бункерів

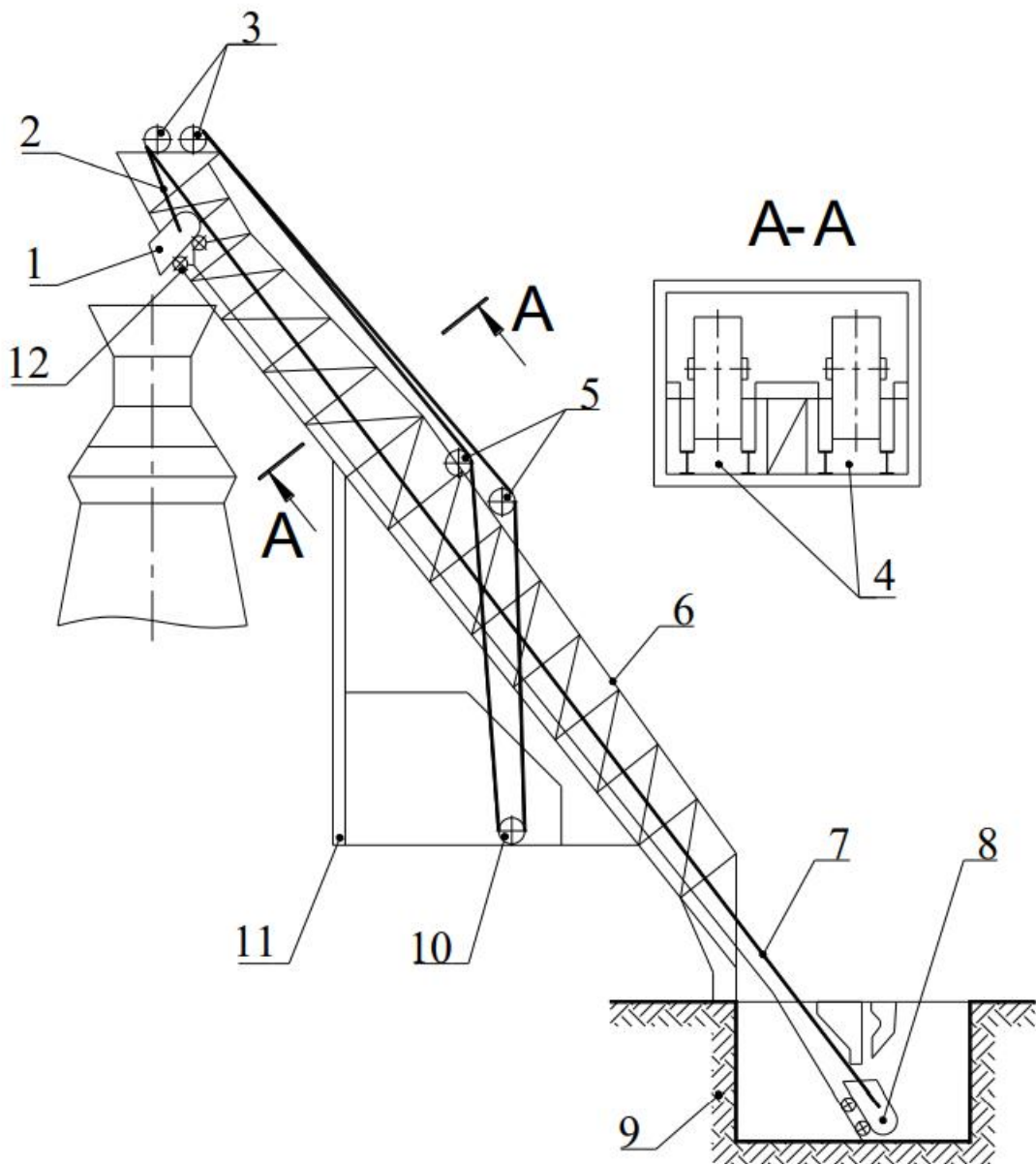


Рисунок 2.2 - Схема скіпового підйомника

1,8 - скіп; 2,7 - піднімальний канат; 3 – верхні відхиляючі блоки; 4 - колія; 5 – середні відхиляючі блоки; 6 - міст; 9 - скіпова яма; 10 - піднімальна лебідка; 11 - пілон

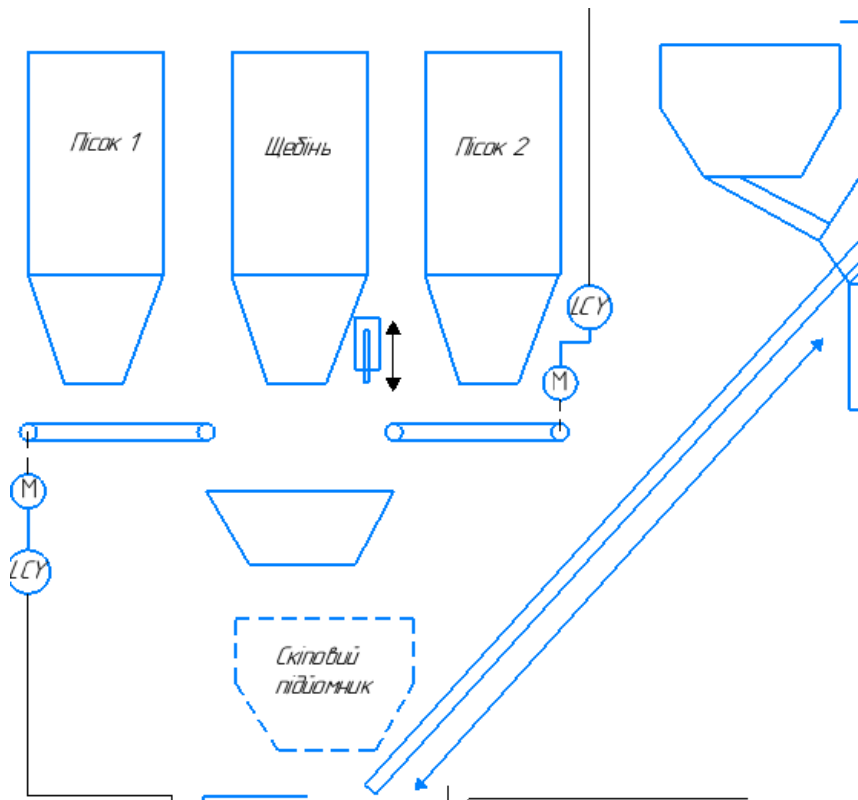


Рисунок 2.3 – Скіповий підйомник і завантажувані в нього сипучі

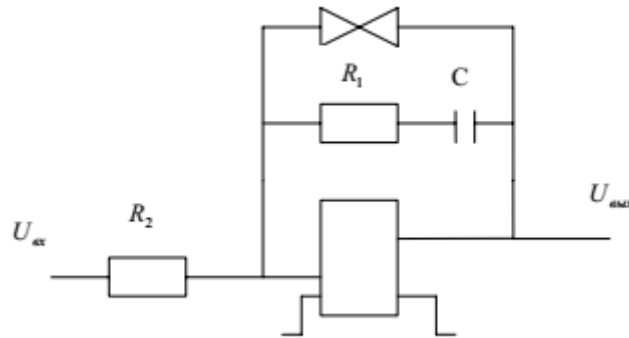
В першому контурі ми маємо 2 конвеєри для подачі піску через лоток у скіп вони підключені до двигунів потужністю 2,2 кВт з цепною передачею на 3000 обертів та маємо заслінку приєднану до пневматичного циліндру з довжиною штоку 200 мм та робочим тиском у  $6 \text{ кгс/см}^2$ . після набору необхідної кількості і зупинки дозування СП підіймається да допомогою лебідки вгору до бетонозмішувача, вгорі розташовані датчики положення для сигналізації що скіп вгорі трохи вище розташовано ще один давач, який сигналізує про підняття скіпового підйомника вище норми і необхідно аварійно припини підйом. Також на скіповому підйомнику встановлено частотний регулятор для уповільнення підйому коли скіп майже вгорі, щоб запобігти перекидання або ударів по опорній конструкцію комплексу. І при опусканні знову використовується даний регулятор аби не було удару по рухомій рамі на яку сідає скіп, і яка, розташована на тезометричних балочних давачах. За рахунок уповільнення мотору при опусканні, скіп сідає рівномірно цим самим виключаючи похибку показів вагів.

На даній схемі ми більш детально бачимо розташування давачів та взаємодію виконавчих механізмів в залежності від розташування ковша.

3.1 Визначення необхідного регулятора

Щоб математична модель наблизилася до фізичної моделі і адекватно відображала всі динамічні процеси, в математичній моделі

А)



В)

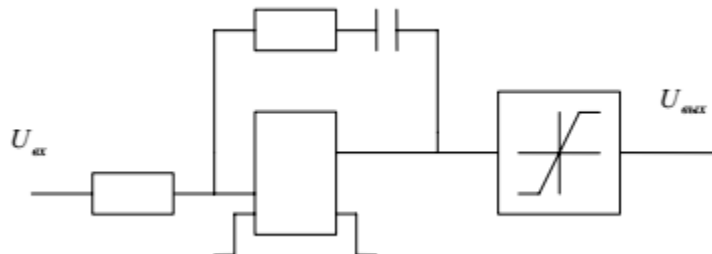


Рисунок 3.1.1 - Принципові схеми регуляторів (А - реальний регулятор; В - регулятор, часто використовуваний в схемах моделювання)

Слід враховувати нелінійні ділянки. Всі нелінійності врахувати практично неможливо, та й в цьому немає необхідності, так як частина нелінійних елементів допускають лінеаризацію і несуттєво впливають на якісні показники процесів регулювання. До нелінійних, які суттєво спотворюють динамічні характеристики систем регулювання, відносяться нелінійності типу «насичення», що стоять в регуляторах і підсилювачах потужності. Ввести обмеження в підсилювачі потужності відносно просто: для цього на виході аперіодичної ланки слід поставити блок Saturation, в параметрах якого перевищення визначеного значення напруги, що подається на двигун. На Рис.3.1.2 представлені дві схеми моделювання ПІ регуляторів в пакеті Simulink.

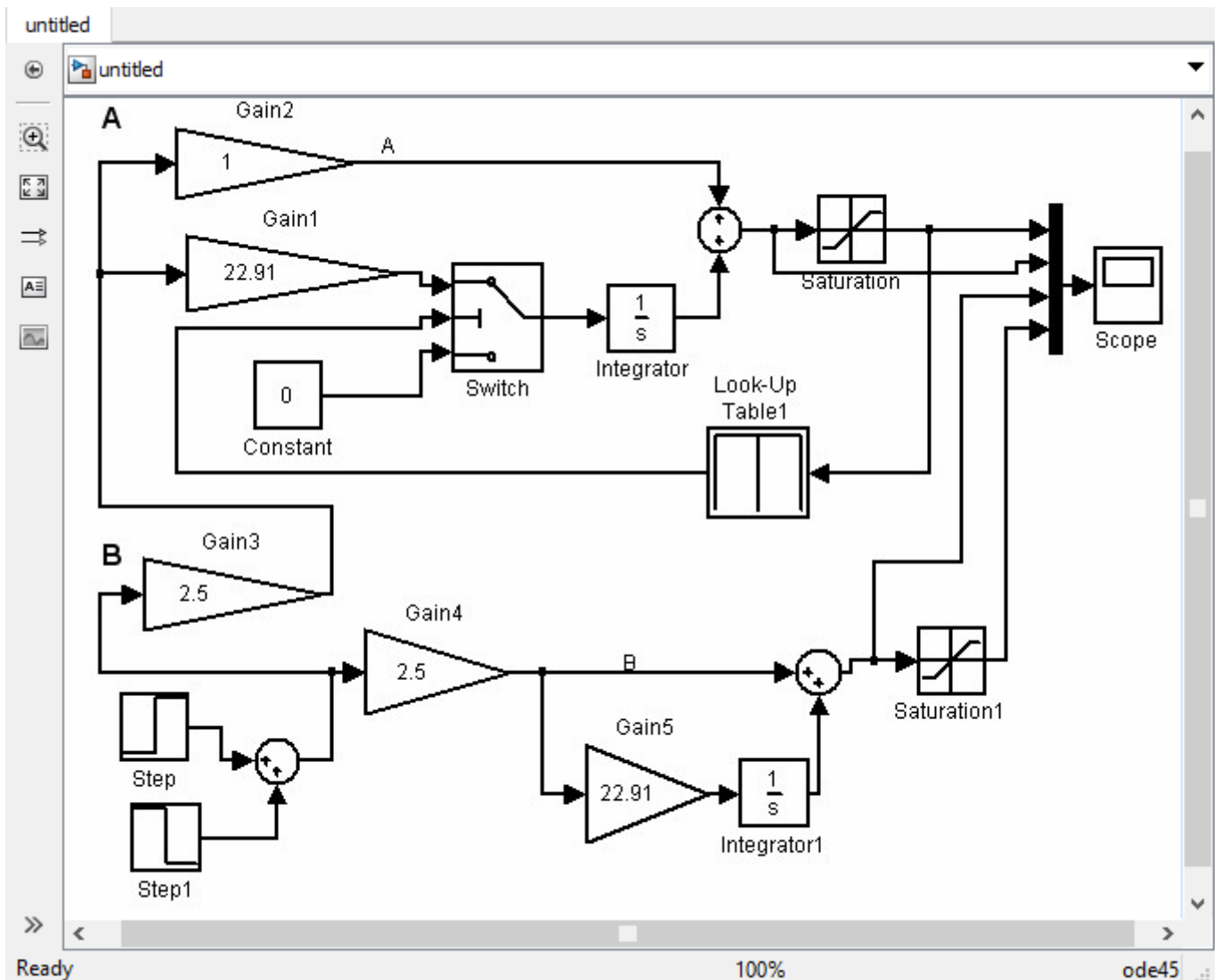


Рисунок 3.1.2 - Схема моделювання ПІ-регуляторів (А - відповідає принциповій схемі Рис.3.1.1 А; В - принциповій схемі Рис.3.1.1.В).

Для обліку нелінійності ще раз розглянемо процеси в реальному регуляторі при досягненні вихідної величини рівня обмеження. У зворотний зв'язок реального регулятора паралельно RC-ланцюга, яка визначається параметрами об'єкту регулювання, встановлено стабілітрон з напругою пробою, яка визначається рівнем обмеження. У регуляторі (Рис.1.А) при досягненні вихідним сигналом рівня обмеження стабілітрон пробивається, що обмежує зростання вихідної напруги регулятора і, як наслідок цього, обмежується зростання напруги на конденсаторі С.

У регуляторі (Рис.3.1.1.В) є обмеження вихідного сигналу, але напруга на конденсаторі не обмежена і може в схемах моделювання досягати досить великих значень.

У регуляторі (Рис.3.1.2.А), після досягнення рівня обмеження, на виході блоку Look-Up Table1 змінюється значення вихідного сигналу з 1 до 0, за яким змінюється стан перемикача Switch: на вхід інтегратора подається нульовий сигнал і процес інтегрування припиняється. Подача на вхід інтегратора нульового сигналу відповідає обмеженню напруги на конденсаторі С внаслідок пробією стабілітрона.

На Рис.3.1.2.В представлена спрощена схема регулятора, яка часто наводиться в навчальних посібниках. У цій схемі при досягненні вихідного сигналу рівня обмеження, сигнал на виході інтегратора зростає, хоча вихідний сигнал регулятора



обмежений. Невідповідність процесів в схемі 2.В з процесами в реальній системі особливо яскраво проявиться в системах управління реверсивним приводом.

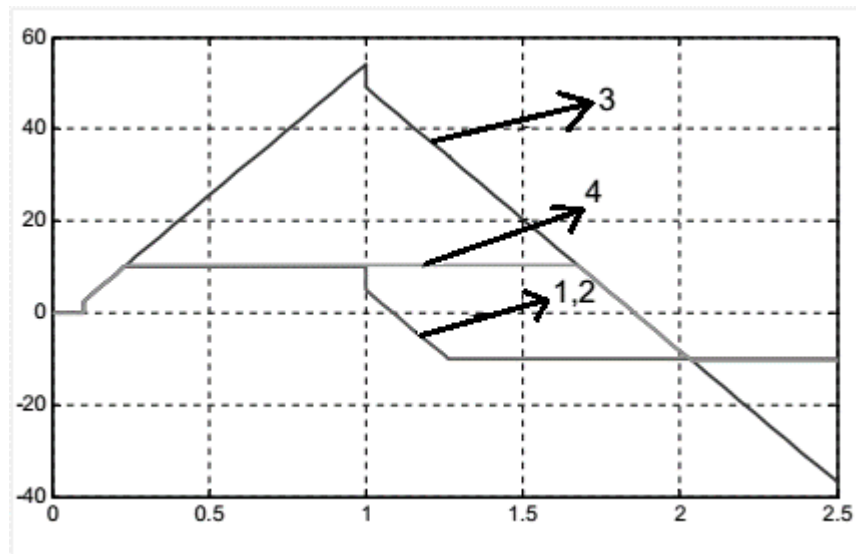


Рисунок 3.1.3 - Осцилограми вихідних сигналів регуляторів

(1,2 - сигнали на виході суматора і нелінійність за схемою Рис.3.1.2.А; 3 - сигнал на виході суматора (Рис.3.1.2.В); 4 - сигнал на виході нелінійності (Рис.3.1.2.В)).

Осцилограми вихідних сигналів регуляторів, що мають різні принципові схеми (Рис.3.1.2), представлені на Рис.3.1.3. На вхід регуляторів подається ступінчастий сигнал і через 0,2 секунди інтегратори входять в насичення. У регуляторі (Рис.3.1.2.А) сигнали на виході інтегратора і регулятора збігаються (осцилограми 1,2), а в регуляторі (Рис.3.1.2.В) сигнали на виході інтегратора і регулятора мають значні відмінності (осцилограми 3,4). У момент реверсу (через 1 секунду) вихідні сигнали інтегратора і регулятора (Рис.3.1.2.А) відразу реагують на зміни сигналу завдання (осцилограми 1,2), а в регуляторі (Рис.3.1.2.В) вихідні сигнали інтегратора і регулятора мають значні відмінності: зміни завдання на вході регулятора не відразу призводить до зміни вихідного сигналу регулятора (осцилограми 3, 4). З Рис.3.1.3 видно, що зміна завдання на вході регулятора відбувається при  $t = 1$  сек., а на виході - при  $t = 1,7$  сек., тобто регулятор, в якому не обмежене зростання напруги на конденсаторі, вносить в систему регулювання запізнювання, залежне від часу невідповідності процесів на виході інтегратора і регулятора (осцилограми 3, 4). Ця затримка негативно позначається на динамічних характеристиках системи регулювання, так як в період затримки система регулювання буде розімкнута, що не дає їй можливості відслідковувати зміну вихідних координат.

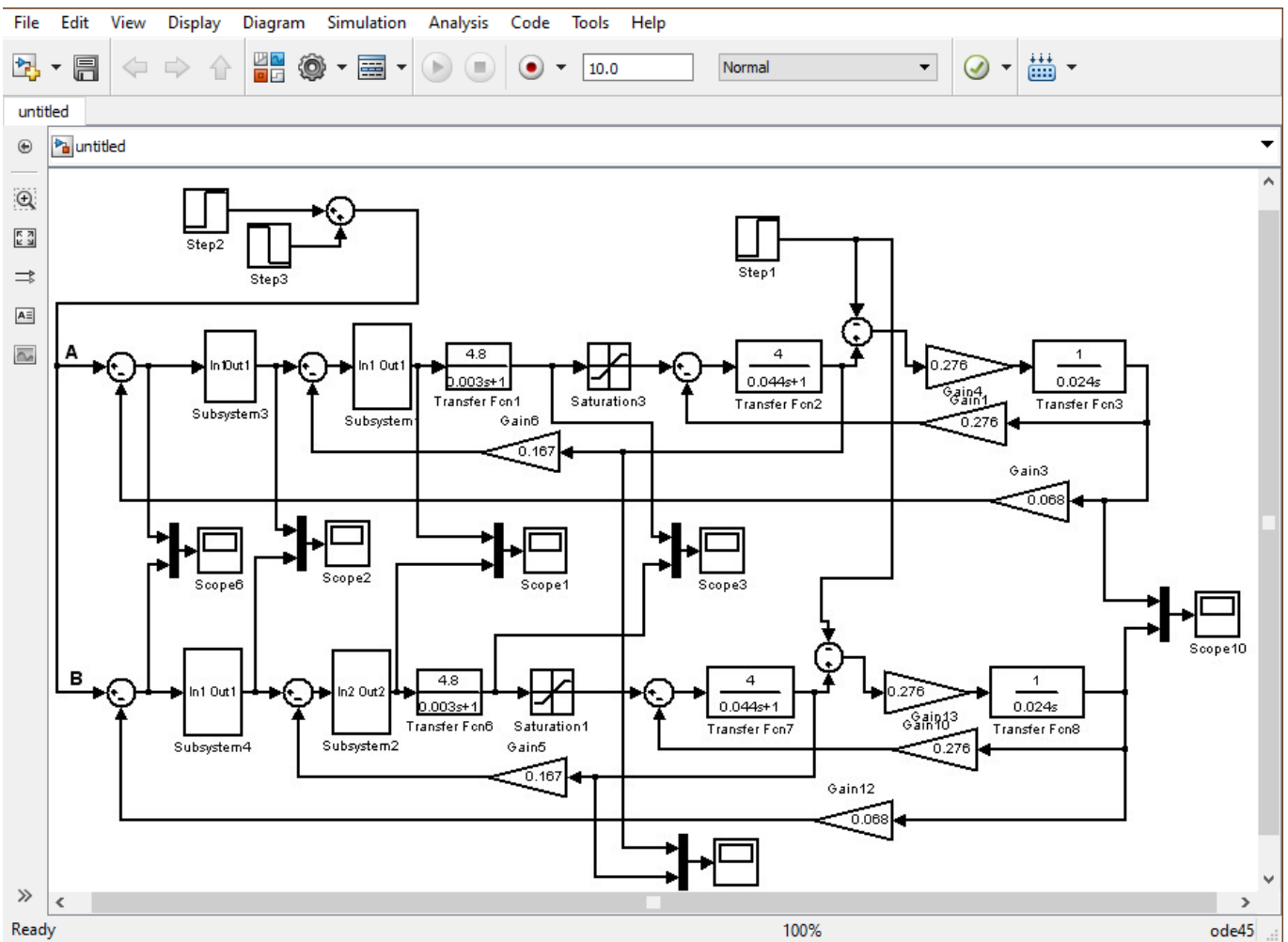


Рисунок 4 Структурні схеми двоконтурних систем регулювання

(А - регулятор струму і швидкості виконаний по Рис.1в; В - регулятор швидкості виконаний по Рис.1в, а регулятор струму по Рис.1).

Розглянемо характеристики двоконтурних систем (Рис.4 і Рис.6) з ПІ-регуляторами, виконуваними за різними схемами. Графіки перехідних процесів систем (Рис.4) представлені на Рис.5.

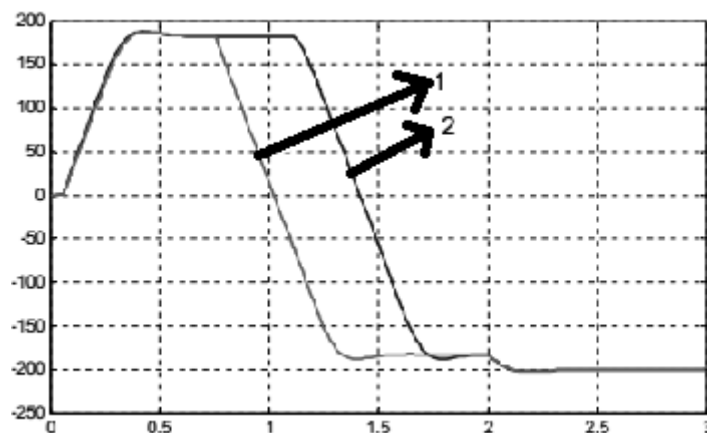


Рисунок 5 Графіки перехідних процесів схем, представлених на Рис.4.

При  $t = 2$  с до двигуна прикладений статистичний момент. Хоча системи (Рис.4) налаштовані на симетричний оптимум і не повинні мати статичної помилки, в

моделях, відповідних досліджуваних систем, вона спостерігається. Причому, системи, представлені на Рис.4, по відношенню до обурення поведуться однаково. Це пояснюється виконанням регулятора швидкості за спрощеною, відповідної Рис.1.В, схемою.

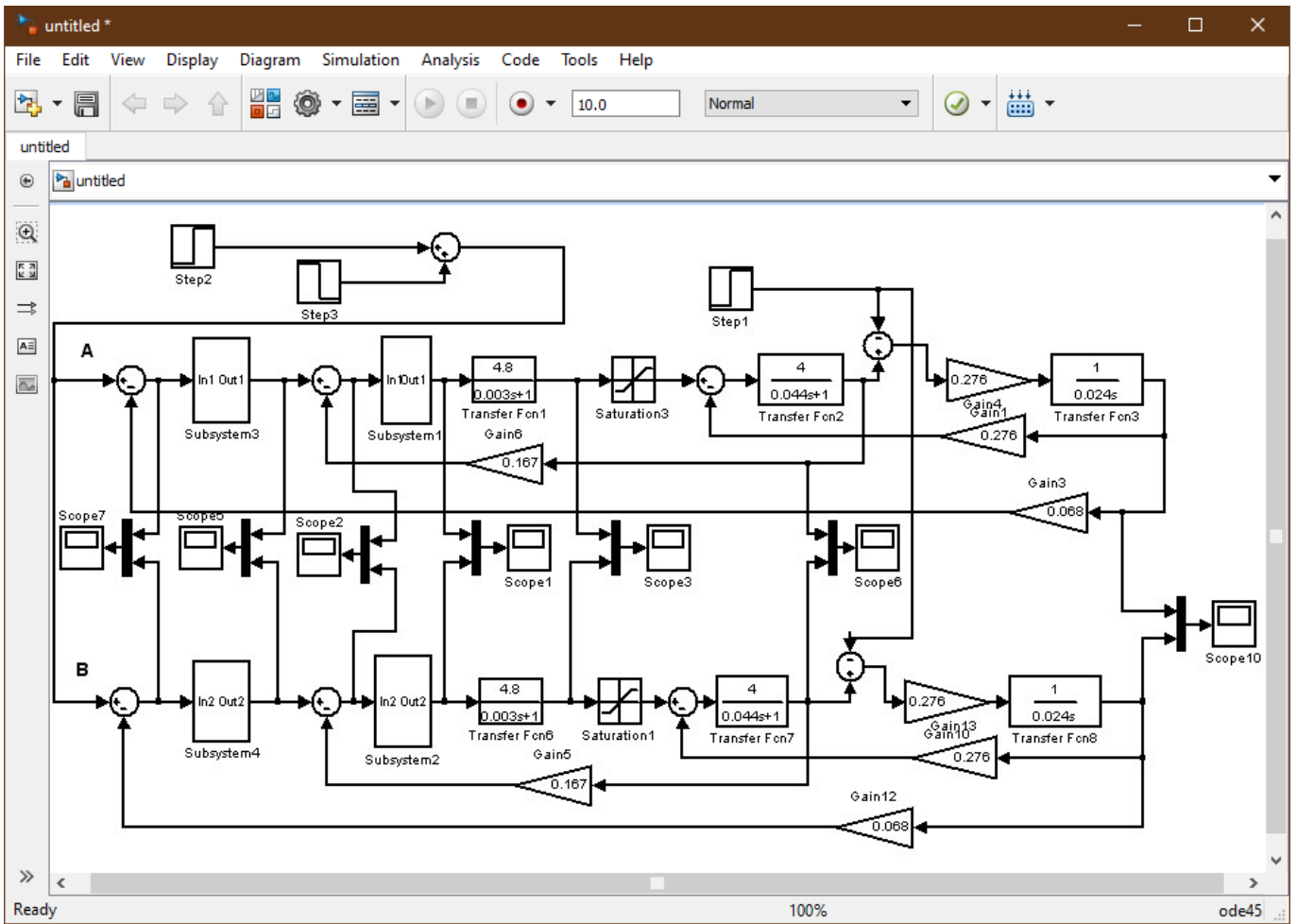


Рисунок 6 - Структурні схеми двоконтурних систем регулювання (А - регулятори струму та швидкості виконані по Рис.1.В; В - регулятори струму та швидкості виконані по Рис.1.А).

На Рис.6 представлені структурні схеми двоконтурних систем, у яких ПІ-регулятори струму та швидкості виконані за різними принциповими схемами. Графіки перехідних процесів систем (Рис.6) представлені на Рис.7.

Рисунок 7 - Графіки перехідних процесів схем, представлених на Рис.6, при  $U_{BX} = 8V$

На- Рис.8 приведені графіки перехідних процесів при збільшенні вхідного сигналу.

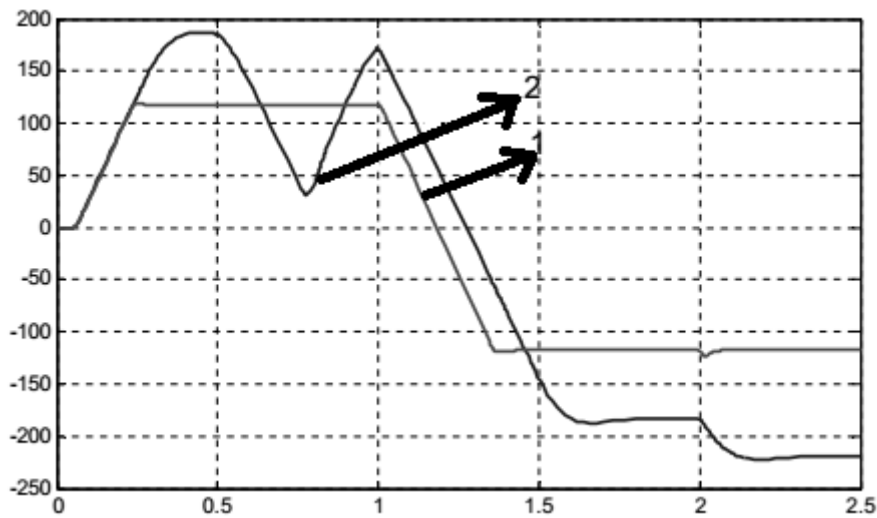


Рисунок 8 - Графіки перехідних процесів схем, представлених на Рис.6, при  $U_{вх} = 10В$

Реверсування завдання відбувається при  $t = 1с$ , а при  $t = 2 с$  до двигуна прикладена момент. В системі (Рис.6.В) відпрацювання сигналу завдання з управління і по збудженню здійснюється у відповідності з теоретичними положеннями: астатизм системи по управлінню і за збудженням дорівнює нулю (осцилограма 1).

В системі (Рис.6) перехідний процес незадовільний і, крім того, система має значну помилку за збудженням (осцилограма 2). Так як система (Рис.6) нелінійна, то якість перехідних процесів залежить від величини керуючих сигналів і при збільшенні вхідного сигналу перехідний процес може стати навіть краще (Рис.8).

Порівняння осцилограмм рис.7 і рис.8 вказує на необхідність враховувати реальні характеристики ПІ-регулятора, викликані нелінійним блоком в ланцюзі зворотного зв'язку підсилювача (Рис.1). Щоб наблизити результати моделювання до процесів у фізичній системі, необхідно схему моделювання регулятора виконати відповідно до Рис.2.

### 3.2 Розрахункова математична модель Скіпового підйомника

У скіпових підйомників можна виділити особливості вибору системи управління, а саме вона залежить від глибини підйому, типу підйомної машини, підйомної посудини, нахилу відносно горизонту. Електропривод підйомної установки повинен забезпечувати: – роботу зі зниженою швидкістю від 0.3 до 1 м/с при знятті скіпа з жорстких посадочних пристроїв; – уповільнення підйомного скіпа, що не перевищують 1 м/с для всіх типів вертикальних і похилих установок; – відсутність прослизання каната на всіх ділянках руху скіпа; – стійку максимальну швидкість при рівномірному ході незалежно від навантаження на валу двигуна і напрямки руху; – рух скіпа зі зниженою швидкістю при дотягуванні, в результаті чого має бути скомпенсована похибка системи регулювання. Для скіпових підйомів має велике значення шлях дотягування, який визначається помилкою по шляху в процесі уповільнення і величиною пройденого шляху руху скіпа в розвантажувальних кривих. У зв'язку з цим розробка механізмів регулювання пускових режимів багатодвигунного електроприводу лебідки скіпового підйомника, а також алгоритмів управління є актуальною задачею. Зниження енерговитрат

технологічного процесу завантаження барабана БЗУ шляхом розробки системи автоматичного регулювання (САР) швидкості двохдвигунного електроприводу з використанням математичних методів, алгоритмів, інформаційного та програмного забезпечення.

Мета дослідження – зниження енерговитрат та підвищення ефективності процесу завантаження БЗУ шляхом впровадження автоматизованої системи керування двохдвигунним електроприводом скіпового підйомника. Для скіпових підйомників встановлені вимоги, які відповідні підйомно-транспортним машинам.

Електрообладнання скіпового підйомника відноситься до четвертого класу групи А, що відповідає ймовірності роботи на проміжку часу 720 годин з коефіцієнтом навантаження  $P = 0.95$ , при цьому середнє напрацювання на відмову повинне становити не менше  $T_{\text{відк}} = 15000$  год., при часі відновлення (часі ремонту  $t_{\text{рем}} = 0.5$  ч, часі простою після аварії тавар  $= 0.5$  год. і часі роботи в добу  $t_{\text{робдоб}} = 15 \dots 18$  год.)

Проведений аналіз конструкції лебідок скіпових підйомників дозволяє провести подальший поглиблений аналіз вимог до системи управління. Для приводу скіпових підйомників широко використовуються двохшвидкісні асинхронні електродвигуни. Структурна схема електромеханічної системи двохдвигунного приводу наведена на рис. 1.

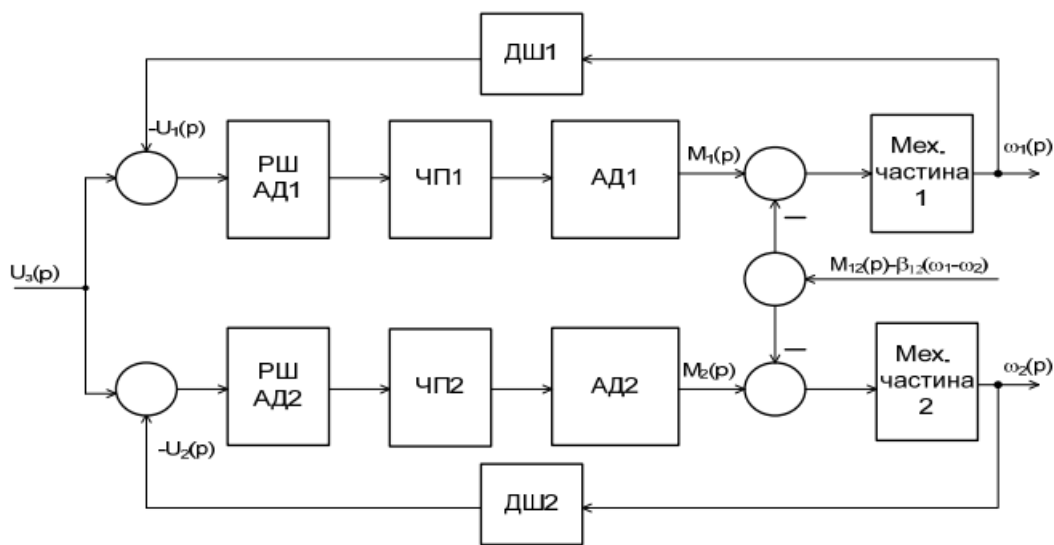


Рисунок 3.2.1 – Блоксхема математичної моделі двохдвигунного електроприводу лебідки підйомника.

$\omega_1, \omega_2$  – відповідно частота обертання ротора при роботі головного й хвостового двигуна;  $p$  – оператор диференціювання

При розробці математичної моделі, лебідки з вантажем представлені як зосереджена маса. Динамічна розрахункова схема двохланцюгового приводу, що враховує властивості тягового органу, представлена на рис. 2.

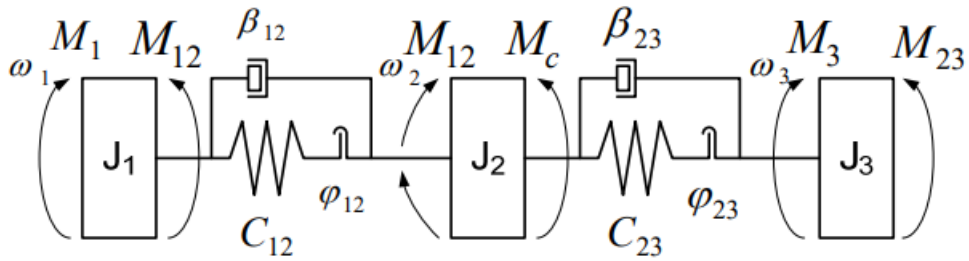


Рисунок 3.2.2 – схема електромеханічної системи двохприводної лебідки.

З урахуванням прийнятих припущень динаміка механічної частини двохприводної лебідки скіпового підйомника описується наступною системою рівнянь (3.1.1).

$$\{M_1 - M_{12} - \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) = J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = J_1 \frac{d^2\varphi_1}{dt^2} \quad M_{12} - M_{23} + \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) - \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3) - M_c = J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = J_2 \frac{d^2\varphi_2}{dt^2} \quad M_3 + M_{23} + \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3) = J_3 \frac{d\omega_3}{dt} = J_3 \frac{d^2\varphi_3}{dt^2} \quad (3.1.1)$$

де  $\Pi_i$ ,  $\dot{\Pi}_i$  – відповідно кути повороту і кутові швидкості  $i$ -ої маси;  $M_c$  – момент сил опору руху тягового органу;  $\beta_{12}$ ,  $\beta_{23}$  – коефіцієнти опору руху, відповідно, робочої і холостої вітки тягового органу;  $( )_{12} = 12 \Pi_1 - \Pi_2 M_c$ ,  $( )_{23} = 23 \Pi_2 - \Pi_3 M_c$  – пружний момент. В системі рівнянь (1) моменти інерції окремих ланок приведені до частоти обертання двигуна. Параметри ротора асинхронного двигуна для кожної з частот обертання приведені до статора двигуна. Система рівнянь (1) в операторній формі Лапласа має вигляд:

$$\left\{ \frac{1}{J_1} (M_1 - M_{12} - \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2)) = \omega_1 p \quad \frac{1}{J_2} (M_{12} - M_{23} + \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) - \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3) - M_c) = \omega_2 p \quad \frac{1}{J_3} (M_3 + M_{23} + \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3)) = \omega_3 p \right. \quad (3.1.2)$$

На підставі системи рівнянь (2) розроблено математичну модель механічної (незмінної) частини скіпового підйомника. Реалізація моделі здійснена за допомогою МПП MatLab і приведена на рисунку 3. Математичний опис електромагнітних перехідних процесів в асинхронному двигуні виконано на системи рівнянь, що описують поведінку, двигуна для однієї частоти обертання, й має вигляд [3, 4]:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\psi_{x1}}{dt} &= U_m - \omega_0' \alpha_s' \psi_{x1}' + \omega_0' \alpha_s' \psi_{x2}' + \omega_0' \psi_{y1}' & \frac{d\psi_{x2}}{dt} &= -\omega_0' \alpha_r' \psi_{x2}' + \omega_0' \alpha_r' k_s' \psi_{x1}' + (\omega_0' - \omega_1') \psi_{y2}' \\ \frac{d\psi_{y1}}{dt} &= 0 - \omega_0' \alpha_s' \psi_{y1}' + \omega_0' \alpha_s' k_r' \psi_{y2}' - \omega_0' \psi_{x1}' & \frac{d\psi_{y2}}{dt} &= -\omega_0' \alpha_r' \psi_{y2}' + \omega_0' \alpha_r' k_s' \psi_{y1}' + (\omega_0' - \omega_1') \psi_{x2}' \end{aligned} \right. \quad M_1' = \frac{3}{2} p' * \omega_0' \frac{k_r'}{x_{s\sigma}'} * (\psi_{x2}' \psi_{y2}' - \psi_{x1}' \psi_{y1}') \quad (3.1.3)$$

де  $\psi_{x1}'$ ,  $\psi_{x2}'$ ,  $\psi_{y1}'$ ,  $\psi_{y2}'$  – потокозчеплення статора і ротора відповідно по осях  $x$ ,  $y$  для узагальненої двохфазної машини;  $\alpha_s'$ ,  $\alpha_r'$ ,  $k_s'$ ,  $k_r'$  – коефіцієнти зв'язку статора і ротора;  $p'$  – число пар полюсів обмотки;  $U_m'$  – амплітудне значення величини напруги живлення;  $\omega_0'$  – кутова швидкість ідеального холостого ходу;  $\omega_1'$  – поточна кутова швидкість ротора двигуна;  $M_1'$  – електромагнітний момент двигуна. Верхній індекс  $'$  означає, що зазначені параметри відповідають низькій

швидкості (НС). Аналогічно записується система рівнянь для роботи двигуна на високій швидкості ВС (індекс ”)

### 3.3 Математична модель в середовищі MathLab

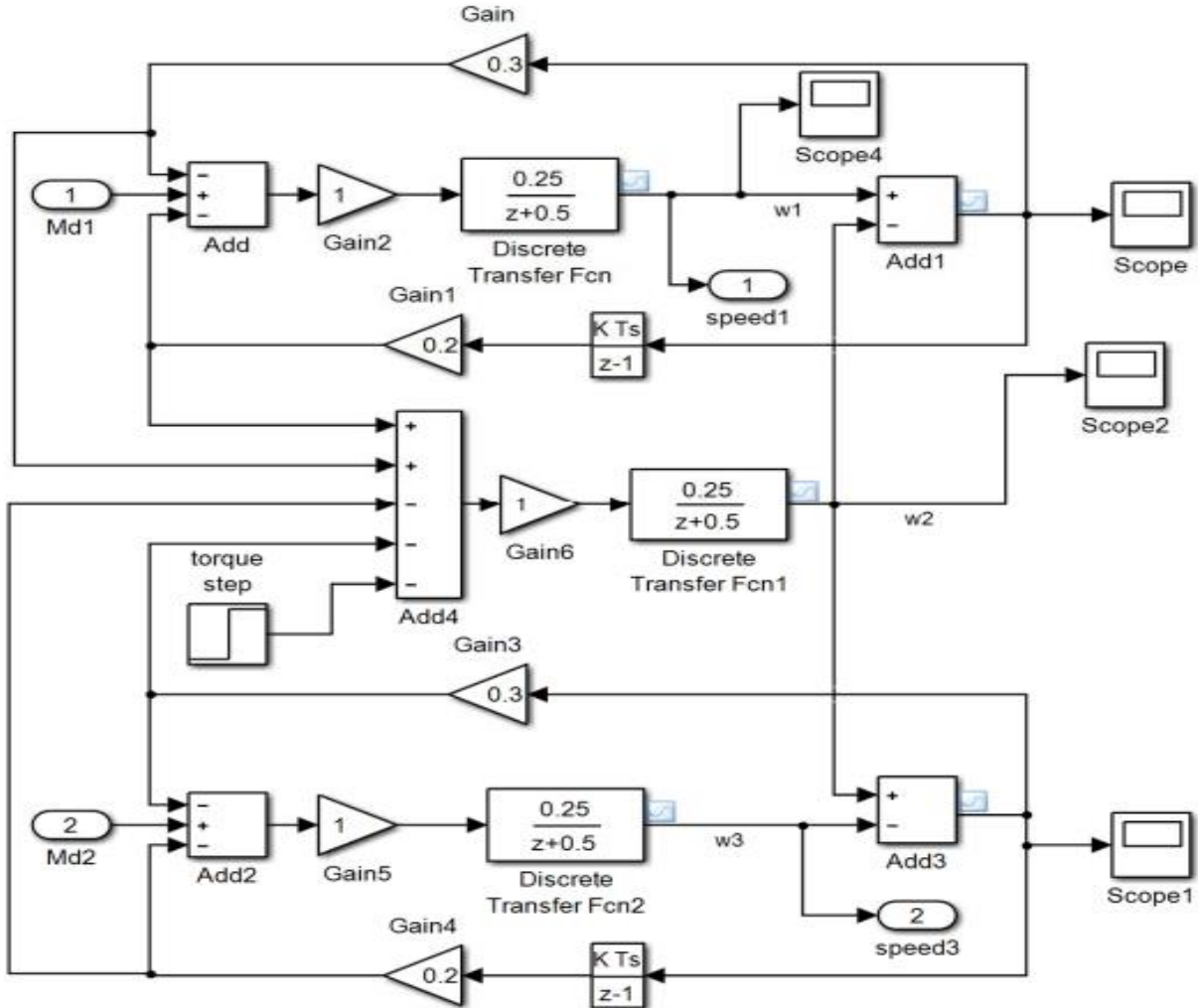


Рисунок 3.2.1 - Математична модель механічної (незмінної) частини скіпового підйомника в Matlab

У відповідності до системи рівняння (3.1.3) і результатами розрахунку коефіцієнтів і постійних часу передаточних функцій у пакеті MatLab. При синтезі параметричного регулятора отримана дискретна передавальна функція (ДПФ) ПІД-регулятора швидкості:

$$W_p(\lambda) = K_p \left[ \frac{\tau_2 + T_n}{\tau_1} + \frac{T_0}{\tau_1} * \frac{z+1}{z-1} + \frac{2\tau_2 T_n}{\tau_1 T_0} * \frac{z-1}{z+1} \right] \quad (3.2.1)$$

Відповідно до розробленої структурної схеми (див. рис. 3.2.1) та розглянутої система рівнянь (3.1.3), яка вирішувалася спільно з системами диференціальних рівнянь, що описують перехідні процеси в електродвигунах синтезована математична модель АСУ електроприводом скіпового підйомника.

Розроблена система задовольняє вимогам по швидкодії і точності. Час перехідного процесу складає:  $t_{пн} = 1,7$  с. Результати математичного моделювання наведені на

рис. 3.2.3. Моделювання показало, що АСУ електроприводом має швидкісну помилку, яка становить  $0,035 \text{ м/с} < 0,05 \text{ м/с}$ . Час перехідного процесу становить не менше 1,7 с, що забезпечує максимальну швидкість при допустимому прискоренні. Розроблену математичну модель доцільно використовувати для адаптації алгоритму запуску і зупинки скіпового підйомника до заданих умов експлуатації.

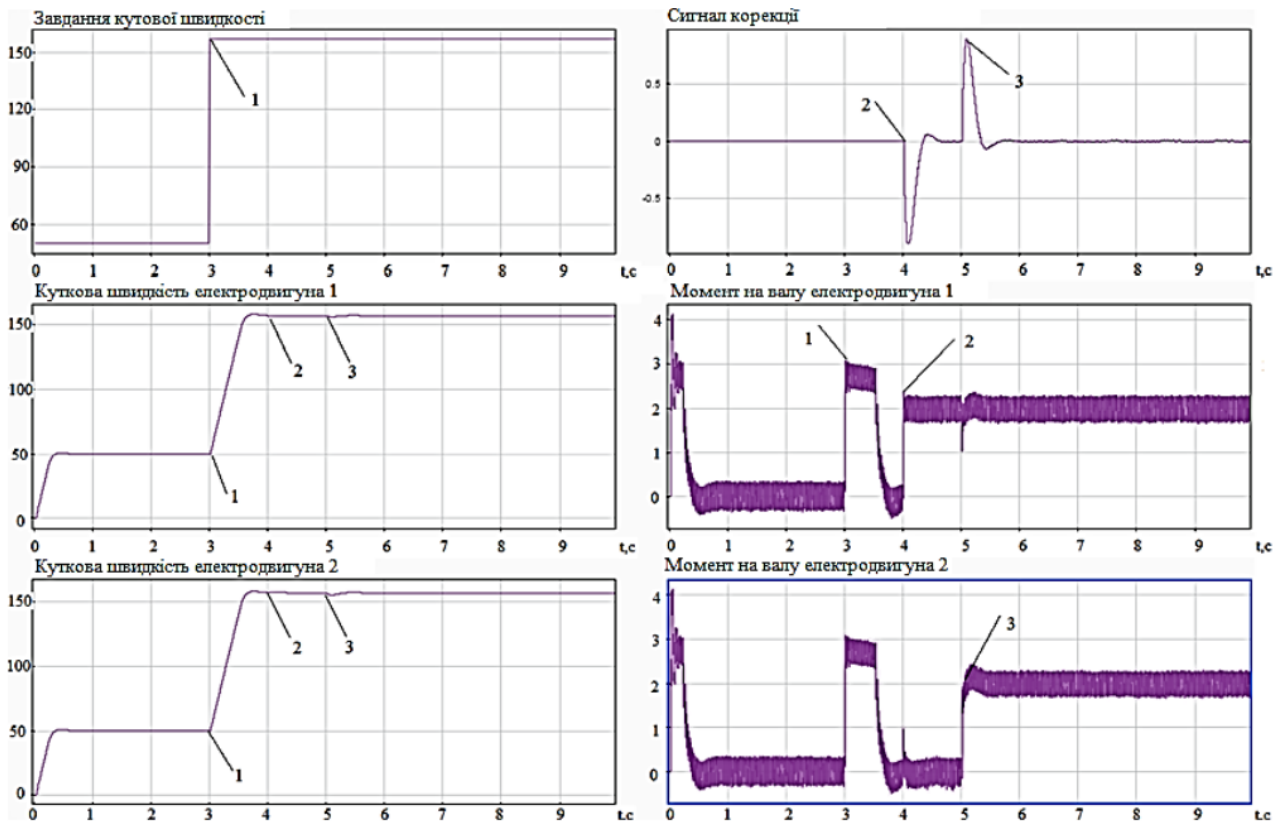


Рисунок 3.2.3 - Графіки перехідних процесів 1 – вихід на номінальну кутову швидкість; 2 – підведення навантаження (перекіс) на приводний ланцюг 1; 3 – підведення навантаження (перекіс) на приводний ланцюг 2.



## Розділ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 4.1 Фактори небезпеки при роботі змішувача

Не рекомендується відкривати оглядові люки в час вивантаження скіпа та дозаторів, для запобігання потрапляння в легені цементного пилу, та потрапляння в оператора відскочившого щебню. Після завершення роботи при промиванні бетонозмішувача бути обережним щоб ніхто не увімкнув змішувач, і потрібно бути обережним щоб не залити двигун і не сталося коротке замикання. Не залазити у бетонозмішувач для обслуговування попередньо не вимкнувши автомати живлення та не ввімкнувши аварійний стоп, який також запобігає запуску будь яких елементів БРВ навіть при включених автоматах

#### 4.2 Інженерні рішення з охорони праці

В стіні БРВ встановлено витяжний вентилятор для зменшення запиленості приміщення. Поряд зі змішувачем встановлено пожежний щит. Для обслуговування оператору видаються засоби особистого захисту(рукавички, окуляри, распіратор) так для зменшення рівня шуму оператор отримує захисні навушники.

## ВИСНОВОК

В даній роботі було розглянуто можливі варіанти завантаження барабана бетонозмішувача різними способами, обрано один з них та розроблено математичну модель. На основі математичної моделі було створено за допомогою пакету Simulink в середовищі Matlab. На основі схеми було розроблено ПД-регулятор швидкості та проведена симуляція, результати якої задовольняють вимоги швидкості та точності. А також особливості небезпечних аспектів при роботі з БРЗ та рішення з охорони праці.

## ДЖЕРЕЛА:

1. Contemporary Concrete Buildings. Jodidio P. 2018, - 632,-
2. Високоякісний цементний бетон з покращеними властивостями, Ван Лін, 2018
3. Бетонні роботи, Афанасьєв А.А. 1991
4. Refractories for the cement industry 2019, 550,-
5. William Hall Concrete, Mini Format, 2017,- 384 с,-
6. Fundamentals of Semiconductors 2010, -551,-
7. Бетон та бетонні конструкції. Навчальний посібник, 2016, -328,-
8. Хімізація бетону. Навчальний посібник ,2016, -384,-
9. Сухі будівельні суміші. Бетони. Матеріали і технології виготовлення, 2008,-828
10. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ до практичних занять, самостійних і контрольних робіт з дисципліни «Ліфти та підйомники», 2019 -18-, Краматорськ
11. ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДВОШВИДКІСНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА О.А. Андрющенко , д-р техн. наук, проф., А.О. Бойко, канд. техн. наук, доц., Н.В. Акчебаш, магістр, Одес. нац. политехн. ун-т 2013
12. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко А. ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА. ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА Вінниця ВНАУ 2020