

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## **Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему **Синтез АСУ ТП виготовлення бетонних розчинів**

Виконав: студент 2 курсу, групи 201-пМЕ  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Костенко Д.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Леві Л.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Галай В.М.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи «Синтез АСУ ТП виготовлення бетонних розчинів»

Робота містить 63 сторінки, 16 ілюстрацій, 6 таблиць, 14 використаних джерел.

**Ключові слова:** бетонний розчин, технологічний об'єкт керування, система автоматичного керування, функціональна схема автоматизації, автоматизована системи управління технологічним процесом.

**Об'єктом** кваліфікаційної роботи є удосконалення виробництва бетонних розчинів.

**Предметом** кваліфікаційної роботи є синтез САК та розробка проекту АСУ ТП виготовлення бетонних розчинів.

**Мета і задачі дослідження** – провести синтез АСУ ТП виготовлення бетонних розчинів, що сприяє зростанню продуктивності праці, покращенню якості виробу та зменшенню витрат на виробництво.

У процесі виконання роботи були успішно вирішені наступні завдання: проведено аналіз технологічного процесу виготовлення бетонного розчину як об'єкту керування; синтезовано систему автоматичного керування технологічним процесом виготовлення бетонного розчину; проведено розрахунок параметрів САК технологічним процесом виготовлення бетонного розчину; розроблено проект АСУ ТП виготовлення бетонного розчину.

**Методи дослідження.** При розробці теми даної роботи було застосовано наступні методи: системно-методологічні основи створення АСУ та інформаційних технологій; математичні моделі ТОК, які використовуються при синтезі АСУ ТП; методи моделювання процесів об'єктів комп'ютеризації; моделі і методи прийняття рішень як математична основа управління.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати досліджень, які містяться в даній роботі, можуть бути застосовані при модернізації сучасних будівельних виробництв.

## ABSTRACT

qualification work "Synthesis of APCS production of concrete mortars"

The work contains 63 pages, 16 illustrations, 6 tables, 14 sources used.

**Keywords:** concrete mortar, technological control object, automatic control system, functional scheme of automation, automated process control systems.

**The object** of qualification work is to improve the production of concrete mortars.

**The subject** of qualification work is the synthesis of ACS and the development of the project of APCS production of concrete mortars.

**The purpose and objectives of the study** - to synthesize the APCS production of concrete mortars, which increases productivity, improves product quality and reduces production costs.

In the course of work the following tasks were successfully solved: the analysis of technological process of manufacturing of concrete solution as object of management is carried out; the system of automatic control of technological process of manufacturing of concrete solution is synthesized; the calculation of ACS parameters by the technological process of concrete mortar production was carried out; the project of APCS of production of concrete solution is developed.

**Research methods.** The following methods were used in the development of the topic of this work: system-methodological bases of ACS and information technologies creation; mathematical models of current used in the synthesis of ACS TP; methods of modeling the processes of computerization objects; models and methods of decision making as a mathematical basis of management.

**The practical significance of the obtained results.** The results of research contained in this paper can be used in the modernization of modern construction industries.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та  
робототехніки  
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій  
Освітньо-кваліфікаційний рівень Бакалавр  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри  
автоматики, електроніки та  
телекомунікацій**

\_\_\_\_\_ О.В.  
Шефер  
“ 11 ” травня 2021 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ**

**Костенку Дмитру Володимировичу**

1. Тема роботи «Синтез АСУ ТП виготовлення бетонних розчинів»  
керівник роботи Леві Леонід Ісаакович, д.т.н., професор  
затверджена наказом вищого навчального закладу від 03.03.2021 року №  
158 -фа
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.06.2021 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Моделі технологічного процесу  
виготовлення бетонного розчину. Сучасні вимоги до технологічного процесу  
виготовлення бетонного розчину. Сучасні вимоги до САК технологічним  
процесом виготовлення бетонного розчину. Система TRACE MODE (ТРЕЙС  
МОУД) для розробки великих розподілених АСУ ТП.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
розробити) Аналіз технологічного процесу виготовлення бетонного розчину  
як об'єкта керування. Синтез системи автоматичного керування  
технологічним процесом виготовлення бетонного розчину. Розрахунок  
параметрів САК. Проектування АСУ ТП виготовлення бетонного розчину.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових  
плакатів):
  - 1) загальна характеристика роботи;
  - 2) аналіз технологічного процесу виготовлення бетонного розчину як  
об'єкта керування;
  - 3) синтез системи автоматичного керування технологічним процесом  
виготовлення бетонного розчину;

- 4) розрахунок параметрів САК;
- 5) проектування АСУ ТП;
- 6) висновки.

6. Дата видачі завдання 11.05.2021 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Дата початку	Термін	Відсоток виконання	
1	Аналіз технологічного процесу виготовлення бетонного розчину як об'єкту керування.	18.05.21		25%	Пл. 1
2	Синтез системи автоматичного керування технологічним процесом виготовлення бетонного розчину.	26.05.21	I	50%	Пл. 2, 3
3	Розрахунок параметрів САК.	02.06.21		60%	Пл. 4
4	Проектування АСУ ТП.	09.06.21		80 %	Пл. 5
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	15.06.21	II	100%	Пл. 6

Студент \_\_\_\_\_ Костенко Д.В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Леві Л.І.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	6
ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ БЕТОННОГО РОЗЧИНУ ЯК ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ .....	9
1.1. Опис технологічного процесу виготовлення бетонного розчину .....	9
1.2. Формалізація технологічного процесу виготовлення бетонного розчину .....	10
1.3. Моделювання матеріального та теплового балансів технологічного об'єкту .....	12
1.4. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та їх допустимих відхилень .....	13
1.5. Розробка технологічної карта процесу функціонування мішалки .....	14
1.6. Побудова структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкту керування .....	15
1.7. Висновки .....	16
РОЗДІЛ 2. СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИГОТОВЛЕННЯ БЕТОННОГО РОЗЧИНУ .....	17
2.1. Аналіз статичних та динамічних характеристик ТОК .....	17
2.2. Визначення параметрів функціонування САК технологічним процесом виготовлення бетонного розчину .....	17
2.3. Вибір технічних засобів реалізації САК .....	19
2.4. Розробка ФСА технологічного процесу виготовлення бетонного розчину .....	26
2.5. Висновки .....	28
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ САК .....	29
3.1. Розроблення математичної моделі ТОК .....	29
3.2. Визначення функціональних параметрів ТОК .....	30
3.3. Синтез регулятора САК .....	31

3.4. Аналіз перехідного процесу та стійкості синтезованої САК .....	32
3.5. Аналіз надійності синтезованої САК .....	37
3.6. Висновки .....	38
РОЗДІЛ 4. ПРОЕКТУВАННЯ АСУ ТП .....	39
4.1. Розгляд можливого підходу до розробки проекту АСУ ТП .....	39
4.2. Структурування інформаційної бази АСУ ТП .....	40
4.3. Програмна реалізація АСУ ТП .....	42
4.4. Висновки .....	44
ВИСНОВКИ .....	45
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	46
ДОДАТОК А. SECTION 4. DESIGN OF APCS .....	48
ДОДАТОК Б. ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА .....	55

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ТОК	–	технологічний об'єкт керування
КРБ	–	кваліфікаційна робота бакалавра
САК	–	система автоматичного керування
ТАК	–	теорія автоматичного керування
ТЗАК	–	технічні засоби автоматизації керування
ФСА	–	функціональна схема автоматизації
ЛАЧХ	–	логарифмічна ампліудно-частотна характеристика
ЛФЧХ	–	логарифмічна фазово-частотна характеристика
АСУ ТП	–	автоматизована система управління технологічним процесом
ACS	–	automatic control system
APCS	–	automated process control system
TCO	–	technological control object

## ВСТУП

**Актуальність теми.** В даний час бетонні суміші та розчини можна готувати або на стаціонарних механізованих підприємствах, оснащених сучасним високоефективним обладнанням, або в умовах будівництва збірного та мобільного обладнання. Середній рівень комплексної механізації бетонних сумішей, що випускаються існуючими підприємствами, становить 86%, а розчинів - 71%. Середній рівень автоматизації виробництва набагато нижчий, коливається від 18% до 30%, і лише в деяких компаніях з автоматизації він досягає 70% і вище.

Для того, щоб задовольнити зростаючий попит на бетонні суміші та будівельні розчини в найближчі кілька років, кількість концентрованих препаратів на фіксованих регіональних підприємствах з вищим ступенем автоматизації та механізації технологічних процесів буде значно збільшена. Виробнича вартість бетонних та розчинних сумішей для підприємств річною виробничою потужністю 100 - 200000 кубічних метрів зменшується на 15 - 20% порівняно з виробничими витратами децентралізованого заводу з річною виробничою потужністю до 10000 кубічних метрів. Складність виробництва та питомі капітальні вкладення зменшились щонайменше у 2 рази, а виробничі витрати зменшились майже на 20%.

Виробництво бетонних сумішей має багато функцій, автоматизація яких є особливо ефективною та необхідною. До них належать: пил та небезпечні речовини на виробництві; складність та монотонність роботи; необхідність точно та швидко визначати стан сировини, коригування їх інгредієнтів та складу, а також необхідність управління експлуатацією та диспетчерського зв'язку зі споживачами.

Обладнання (датчик, реле, комп'ютер) виконує такі основні операції: автоматично відстежує об'єкт і формує сигнал про його стан і передає сигнал на велику відстань; комп'ютер отримує відповідний сигнал і розвиток сигналу відповідно до його сигнал і за заздалегідь встановленою програмою. Рішення

тієї чи іншої дії; забезпечити електронно-комп'ютерний сигнал; виконавчий пристрій приймає сигнал; виконання замовлення.

**Об'єктом** КРБ є удосконалення виробництва бетонних розчинів.

**Предметом** КРБ є синтез САК та розробка проекту АСУ ТП виготовлення бетонних розчинів.

**Мета і задачі дослідження.** Основна задача КРБ – провести синтез АСУ ТП виготовлення бетонних розчинів, що сприяє зростанню продуктивності праці, покращенню якості виробу та зменшенню витрат на виробництво.

З цією метою при виконанні роботи необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз технологічного процесу виготовлення бетонного розчину як об'єкту керування;
- синтезувати САК технологічним процесом виготовлення бетонного розчину;
- провести розрахунок параметрів САК технологічним процесом виготовлення бетонного розчину;
- розробити проект АСУ ТП виготовлення бетонного розчину.

**Методи дослідження.** При розробці теми даної КРБ було застосовано наступні методи.

1. Системно-методологічні основи створення АСУ та інформаційних технологій.
2. Математичні моделі ТОК, які використовуються при синтезі АСУ ТП.
3. Методи моделювання процесів об'єктів комп'ютеризації
4. Моделі і методи прийняття рішень як математична основа управління.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати досліджень, які містяться в даній КРБ, можуть бути застосовані при модернізації сучасних будівельних виробництв.

РОЗДІЛ 1  
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ  
БЕТОННОГО РОЗЧИНУ ЯК ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

**1.1. Опис технологічного процесу виготовлення бетонного розчину**

Розглядуваний технологічний процес застосовується для змішування в різних виробничих застосуваннях та переробних галузях. З метою отримання різних форм однорідних розчинів різних компонентів (емульсій, суспензій, сумішей твердих компонентів), а також для посилення тепла, масообміну та біохімічних процесів. З точки зору механіки рідини процес змішування доцільно розглядати як процес, коли предмети витікають назовні через потік рідини. При обертанні робочого органу мішалки витрачається енергія на подолання тертя лопаті об рідину та формування в ній вихору.

Технологічна схема, яку застосовано для опису технологічного процесу виготовлення бетонного розчину, зображена на рис.1.1.

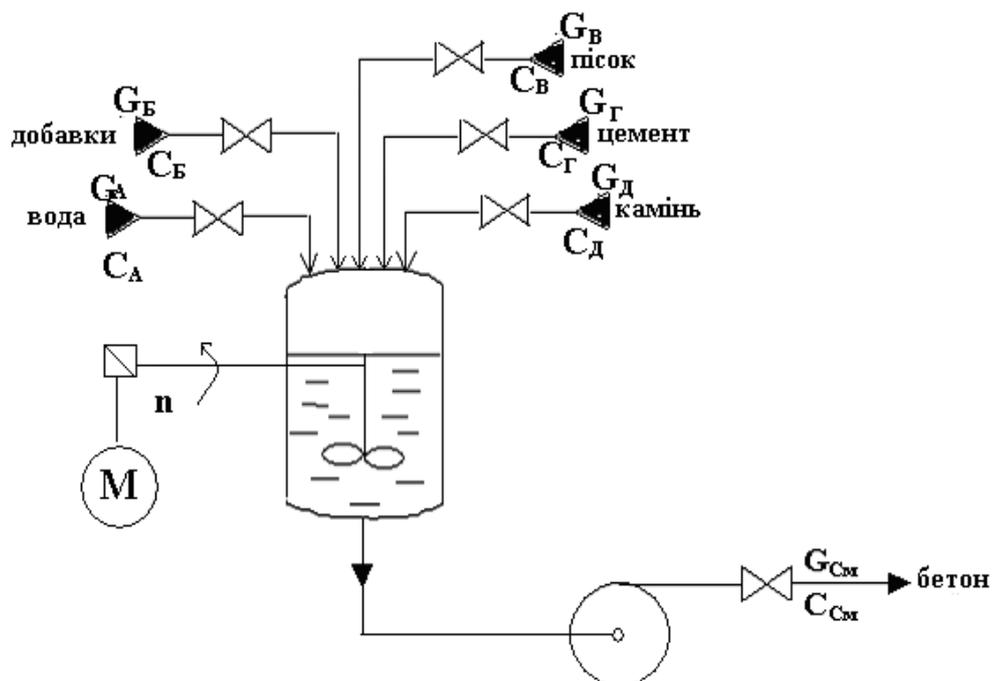


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виготовлення бетонного розчину

В резервуар змішувача подаються інгредієнти А, Б, В, Г, Д, після чого відбувається перемішування цих речовин до тих пір доки розчин не досягне потрібної однорідності. Зміст певних змінних побудованої технологічної схеми виготовлення бетонного розчину є такий:

$G_A, G_B, G_V, G_G, G_D, G_{cm}$  – витрати інгредієнтів А, Б, В, Г, Д та розчину відповідно;

$C_A, C_B, C_V, C_G, C_D, C_{cm}$  – концентрації інгредієнтів А, Б, В, Г, Д та розчину відповідно.

У якості показника ефективності процесу виготовлення бетонного розчину застосуємо концентрацію розчину на виході з резервуару  $C_{cm}$ .

У якості цілі управління процесом визначимо забезпечення заданої концентрації розчину при ефективному і інтенсивному перемішуванні.

Будемо вважати, що ефективність перемішування забезпечується вибором у якості параметра змішувача числа обертів мішалки за одиницю часу, який забезпечує рівномірність концентрації розчину в резервуарі з заданою інтенсивністю.

У якості задачі розробки системи автоматизації будемо вважати забезпечення в умовах дії зовнішніх і внутрішніх збурень заданих характеристик якості продукту.

## **1.2. Формалізація технологічного процесу виготовлення бетонного розчину**

Виконавчий орган мішалки зазвичай занурений у рідину на певну достатню глибину. Завдяки цьому гідравлічний опір в основному обумовлений зусиллям тертя. При цьому сила тяжіння мало впливає на рух рідини і її можна ігнорувати, виключаючи критерій Фруда. Оскільки фактичне значення лінійної швидкості змішування рідини важко визначити, замість цього доцільно використовувати функціонально пов'язане з нею значення – кутову швидкість мішалки.

Визначимо вихідні величини, які є суттєвими для побудови моделі технологічного об'єкта керування.

а) Геометричні характеристики леза змішувача: діаметр леза змішувача, його висота.

б) Геометричні характеристики контейнера: діаметр контейнера, його висота, кількість рідини для заповнення.

в) Характеристики бетонного розчину: щільність, в'язкість та температура.

Циркуляція рідини в змішувачі виражається як рух по закритій трубі складної форми. За допомогою стандартних рівнянь можна зв'язати фізичні характеристики руху рідини. При обертанні гвинтів мішалки в резервуарі виникають вимушені рухи речовин, які описуються рівнянням виду:

$$Eu_m = f(Re_m, \Gamma), \quad (1.1)$$

де  $Eu_m$  – модифікований критерій Ейлера, який формалізує величину відношення сили тиску і сили інерції в потоці рідини;

$Re_m$  – модифікований критерій Рейнольдса; який формалізує величину відношення сил інерції і сил тертя в потоці рідини;

$\Gamma$  – геометричний симплекс, який є параметричним критерієм, що характеризує геометричні розміри мішалки і змішувача.

Модифікований критерій Ейлера  $Eu_m$  визначається рівнянням виду:

$$Eu_m = \frac{N_m}{\rho * n^3 * d_m^5} = K_N, \quad (1.2)$$

Модифікований критерій Рейнольдса  $Re_m$  визначається рівнянням виду:

$$Re_m = \frac{\rho * n * d_m^2}{\mu}. \quad (1.3)$$

Геометричний симплекс  $\Gamma$  визначається рівнянням виду:

$$\Gamma = d_m / D_{\text{апп}} , \quad (1.4);$$

де  $d_m$  – діаметр мішалки, м;

$n$  – швидкість обертання мішалки, об /с;

$\rho$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$N_m$  – потужність, використана мішалкою, Вт;

$\mu$  – динамічна в'язкість, Па\*с;

$K_N$  – критерій потужності.

### 1.3. Моделювання матеріального та теплового балансів технологічного об'єкту

Розглянемо питання матеріального балансу по цільовому компоненту. Він виражається наступним чином.

Динаміка процесу виготовлення бетонного розчину виражається наступним рівнянням:

$$\rho_{cm} * V_{cm} * \frac{dC_{cm}}{dt} = G_A * C_A + G_B * C_B + G_B * C_B + G_G * C_G + G_D * C_D - G_{cm} * C_{cm} , \quad (1.5)$$

де  $G_A$  ,  $G_B$  ,  $G_B$  ,  $G_G$  ,  $G_D$  ,  $G_{cm}$  – витрати інгредієнтів А, Б, В, Г, Д та розчину відповідно;

$C_A$  ,  $C_B$  ,  $C_B$  ,  $C_G$  ,  $C_D$  ,  $C_{cm}$  – концентрації інгредієнтів А, Б, В, Г, Д та розчину відповідно.

Рівняння статички за умови  $\frac{dC_{cm}}{dt} = 0$  має наступний вигляд:

$$G_{cm} * C_{cm} = G_A * C_A + G_B * C_B + G_B * C_B + G_G * C_G + G_D * C_D . \quad (1.6)$$

Наслідком рівнянь (1.5) та (1.6) є наступне рівняння:

$$C_{cm} = f(G_A, G_B, G_B, G_G, G_D, G_{cm}) . \quad (1.7)$$

Матеріальний баланс по всій речовині виражається наступним чином.

Рівняння динаміки в розглядуваному процесі має наступний вигляд:

$$\rho_{cm} * S_{ann} * \frac{dh_{cm}}{dt} = G_A + G_B + G_B + G_\Gamma + G_D - G_{cm} \quad (1.8)$$

Рівняння статички за умови  $\frac{dh_{cm}}{dt} = 0$  має наступний вигляд:

$$G_{cm} = G_A + G_B + G_B + G_\Gamma + G_D \quad (1.9)$$

З рівнянь (1.8) та (1.9) випливає наступне рівняння:

$$h_{cm} = f(G_A, G_B, G_B, G_\Gamma, G_D, G_{cm}), \quad (1.10)$$

де  $h_{cm}$  – рівень суміші в мішалці.

Наведений вище аналіз факторів, що впливають на технологічний процес, який випливає з рівнянь матеріальних балансів, надає можливість зробити такий висновок. Здійснювати вплив на концентрацію вихідної речовини  $C_{cm}$  можна за допомогою зміни витрати певного з наявних інгредієнтів.

#### **1.4. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та їх допустимих відхилень**

Основні величини (фактори), які визначають процес функціонування мішалки, є такі:

- концентрацію розчину;
- потужність приводу;
- рівень розчину в мішалці;
- ефективність перемішування.

Основні величини (фактори), завдяки яким можна впливати на процес перемішування, є такі:

- оберти мішалки;
- витрати складових і розчину;
- час перебування розчину в мішалці;
- кількість складових в мішалці.

Збурюючі величини (фактори), які визначають впливи на процес виготовлення розчину з боку зовнішнього середовища, є такі:

- концентрацію складових;
- густини складових та розчину;
- в'язкість складових та розчину.

До збурюючих факторів доцільно також віднести ще й такі:

- коефіцієнт опору;
- діаметр лопаті;
- діаметр мішалки;
- діаметр частинок.

Конкретна мішалка має сталі значення величин діаметрів  $d$  та  $D$ . Завдяки оптимізації розрахунку мішалки визначаються оптимальні величини діаметрів  $d$  та  $D$ . Це дає можливість мінімізувати витрати енергії для приводу в дію лопаті за умови забезпечення на достатньому рівні значення параметра  $\Gamma$ , який визначає ефективність перемішування окремих інгредієнтів.

Оскільки збурюючі зовнішні величини визначаються попереднім технологічним процесом, то впливати на них практично неможливо. Оскільки також витрата розчину визначається наступним технологічним процесом, то в багатьох випадках впливати на неї також неможливо.

З метою оптимізації технологічного процесу можливий вплив на витрати складових розчину, а також на величину, яка визначає оберти мішалки.

Основні збурюючі фактори при роботі мішалки визначаються витратами складових та їх концентраціями. Тому вони в першу чергу повинні бути враховані при оптимізації процесу функціонування мішалки.

### **1.5. Розробка технологічної карта процесу функціонування мішалки**

Технологічна карта процесу функціонування мішалки визначається за допомогою розробки попередніх пунктів. Складена таким чином технологічна карта міститься в Таблиці 1.1.

Технологічну карту процесу функціонування мішалки буде застосовано в подальшому для синтезу системи автоматизованого керування виготовленням бетонних розчинів.

Таблиця 1.1 – Технологічна карта процесу функціонування мішалки

№ п/п	Назва параметру	Одиниця вимірювання	Номінальне значення	Допустиме відхилення
1.	Витрата води	м <sup>3</sup> /год	250	0,01
2.	Витрата цементу	м <sup>3</sup> /год	640	0,01
3.	Витрата наповнювача	м <sup>3</sup> /год	1010	0,01
4.	Витрата добавок	м <sup>3</sup> /год	210	0,01

### 1.6. Побудова структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта керування

Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта керування визначається за допомогою моделей, розроблених у попередніх пунктах. Складена таким чином структурна схема наведена на рис. 1.2.

Відповідно до цієї структурної схеми визначимо зміст певних змінних побудованої моделі. Зокрема маємо такий розподіл:

–керовані змінні – концентрація розчину  $C_{cm}$  та рівень розчину в мішалці  $h_{cm}$ ;

–можливі контрольовані збурення – концентрації  $C_A, C_B, C_V, C_G, C_D$  інгредієнтів А, Б, В, Г, Д відповідно;

–можливі керуючі впливи – витрати  $G_A, G_B, G_V, G_G, G_D, G_{cm}$  інгредієнтів А, Б, В, Г, Д та розчину відповідно.

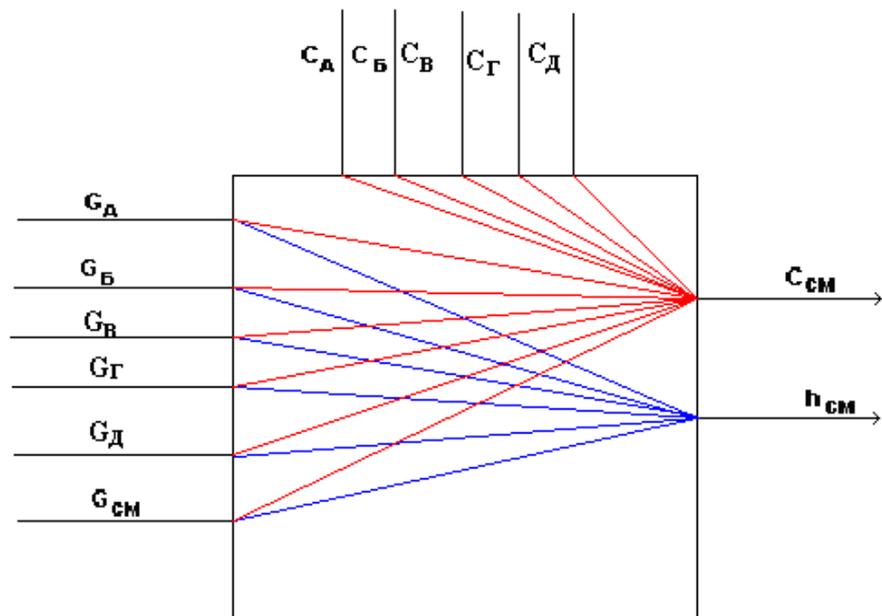


Рисунок 1.2 – Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта керування

### 1.7. Висновки

В розділі 1 даної роботи проведено аналіз технологічного процесу виготовлення бетонного розчину як об'єкта керування. При цьому було розроблено наступні питання.

1. Проведено опис технологічного процесу виготовлення бетонного розчину.
2. Формалізовано технологічний процес виготовлення бетонного розчину.
3. Проведено моделювання матеріального та теплового балансів розглядуваного технологічного об'єкта.
4. Проведено обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та їх допустимих відхилень.
5. Розроблено технологічну карту процесу функціонування технологічного об'єкта виготовлення бетонного розчину.
6. Побудовано структурну схему взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта керування.

## РОЗДІЛ 2

### СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИГОТОВЛЕННЯ БЕТОННОГО РОЗЧИНУ

#### **2.1 Аналіз статичних та динамічних характеристик ТОК**

Створені статичні та динамічні математичні моделі повинні правильно відображати дослідницькі характеристики об'єктів моделювання. З цією метою перевіряється доцільність розробленої математичної моделі: однакове збурення генерується на математичній моделі, а форма реакції (перехідний процес) та об'єкт моделювання отримуються шляхом її реалізації - покращення результатів дослідження шляхом отримання експериментальних характеристик об'єкта. Проводити активні або пасивні експерименти для проведення експериментальних досліджень статичних або динамічних властивостей модельованого об'єкта.

Регулюючі та регульовані параметри ТОК визначаються за допомогою аналізу рівнянь динаміки та статички. Виходячи з результатів досліджень, які містяться в розділі 1, можна зазначити, що до регулюючих параметрів належать витрати певних компонентів бетонного розчину. До регульованих параметрів слід віднести концентрацію цільового компонента у вихідній суміші і рівень розчину у змішувачі.

#### **2.2 Визначення параметрів функціонування САК технологічним процесом виготовлення бетонного розчину**

Виходячи з положень ТАК для об'єктів керування розглядуваного класу, до параметрів функціонування САК належать сигнали вимірювання, контролю, сигналізації, дистанційного керування, захисту, блокування та регулювання. Послідовно розглянемо ці параметри.

1. Регулюючі параметри. В САК технологічним процесом виготовлення бетонного розчину до таких параметрів відносяться наступні.

- Регулювання концентрації  $C_{cm}$ , яке відбувається за подачею реагенту  $G_A$ . Даний параметр є показником ефективності процесу перемішування з цілю отримання однорідної суміші.

- Регулювання рівня суміші в резервуарі  $h_{cm}$ , яке відбувається за подачею реагенту  $G_B$ . Даний параметр застосовується для забезпечення матеріального балансу по рідкій фазі.

2. Параметри контролю технологічного процесу виготовлення бетонного розчину. До таких параметрів відносяться наступні.

- витрати інгредієнтів А, Б, В, Г, Д та бетонного розчину відповідно –  $G_A, G_B, G_V, G_\Gamma, G_D, G_{cm}$ ;

- концентрації інгредієнту –  $C_{cm}$ ;

- рівень бетонного розчину в мішалці –  $h_{cm}$ .

3. Параметри сигналізації. В САК технологічним процесом виготовлення бетонного розчину до таких параметрів відносяться наступні.

- Суттєві відхилення концентрації інгредієнту  $C_{cm}$  та рівню бетонного розчину в мішалці  $h_{cm}$  від завдання (уставки).

- Раптовий спад витрат реагентів  $G_A \downarrow, G_B \downarrow, G_V \downarrow, G_\Gamma \downarrow, G_D \downarrow$ . В даному випадку формується сигнал «До схеми захисту».

4. Система захисту. За сигналом «До схеми захисту» відбувається відключення каналів подачі компонентів  $G_A, G_B, G_V, G_\Gamma, G_D$  та відбору бетонного розчину  $G_{cm}$ .

Функціональні ознаки технологічного процесу виготовлення бетонного розчину визначимо за допомогою таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Функціональні ознаки технологічного процесу виготовлення бетонного розчину.

№ п/п	Обсяг автоматизації	Назва параметра	Показ	Реєстрація	Сигналізація	Блокування	Автоматичне регулювання
1	2	3	4	5	6	7	
1	Витрата готового продукту	*	*		*		
2	Витрата компонентів	*		*	*	*	
3	Рівень бетонного розчину в резервуарі	*		*			*
4	Якість продукту	*	*				*

### 2.3 Вибір технічних засобів реалізації САК

Для вибору технічних засобів реалізації САК технологічним процесом виготовлення бетонного розчину застосуємо результати проведених досліджень.

Виходячи з результатів попередніх проведених досліджень процесу перемішування бетонного розчину, проведемо вибір технічних засобів САК.

Зокрема, для даної САК необхідно передбачити вимірювання значень наступних параметрів:

- вимірювання витрат у 5-ти точках;
- вимірювання рівня в 1-й точці;

- вимірювання концентрації в 1-й точці;
- вимірювання швидкості обертання двигуна в 1-й точці.

Для даної САК необхідно передбачити регулювання наступних параметрів:

- регулювання 1 параметра співвідношення витрат;
- регулювання 1 параметра рівня;
- регулювання 1 параметра концентрації;
- регулювання 1 параметра швидкості обертання двигуна.

Для кожного контуру регулювання САК необхідно підібрати відповідні регулюючі органи враховуючи визначену кількість параметрів регулювання. Виходячи з результатів попередніх проведених досліджень, для даної САК необхідно підібрати 4 регулюючих органів. Для забезпечення якісного регулювання для кожного контуру регулювання потрібно підібрати регулятори з відповідними законами регулювання.

Виходячи з результатів попередніх проведених досліджень процесу перемішування бетонного розчину, можна зробити такий висновок. Система автоматизації складається з 2 контурів регулювання, які є одноконтурними і не пов'язані між собою.

Вибір технічних засобів автоматизації призводиться з типової апаратури, яка випускається приладобудівною промисловістю. При цьому враховуються технічні характеристики та умови роботи розглядуваного об'єкту керування.

Обґрунтування вибору контрольно-вимірювальних приладів проводиться на основі аналізу:

- характеристик технологічних параметрів, що підлягають автоматичному контролю (номінальні значення, межі припустимих відхилень, фізико-хімічні властивості);
- характеристик навколишнього середовища (температура, вологість, вибухо- та пожежонебезпека);

- метрологічних характеристик засобів автоматизації (точність, чутливість, надійність);

- необхідної забезпечення дистанційного контролю і форми відображення інформації (місцеві прилади або розміщення в щитовому приміщенні; реєструючи, одноточкові, багатоточкові).

В схемах автоматизації доцільно використовувати принцип уніфікації. Він полягає у застосовуванні однотипних технічних засобів автоматизації. Такий підхід надає можливість реалізувати взаємозамінність, зручність експлуатації, налаштування та комплектацію пристроїв. Необхідно використовувати дешеві та надійні прилади, які забезпечують необхідний клас точності. Усі важливі параметри технологічного процесу повинні контролюватися самописними приладами, які одночасно є і індикативними.

Зокрема, в даному випадку доцільно обрати діафрагми як датчик витрати. За допомогою дифманометра доцільно організувати реєстрацію витрати. Буйкові рівнеміри доцільно обрати для вимірювання рівня бетонного розчину в резервуарі. Електричний датчик концентрації доцільно обрати для вимірювання концентрації цільового компонента на виході установки.

Мікропроцесорні регулятори, які мають велику точність та швидкодію, доцільно обрати для регулювання параметрів САК технологічним процесом виготовлення бетонного розчину. Також слід зазначити, що мікропроцесорні регулятори відносно прості у налаштуванні.

Виконавчі механізми вибираємо однообертові (МЕО) або багатообертові (МЕБ). У якості регулюючих органів вважається доцільним застосувати клапани або заслінки.

Специфікація обраних технічних засобів автоматизації керування технологічним процесом виготовлення бетонного розчину наведена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Специфікація обраних технічних засобів автоматизації керування технологічним процесом виготовлення бетонного розчину

№ з/п	№ позиції	Назва параметра	Назва засобу та коротка технічна характеристика	Тип засобу
1	2	3	5	6
1.	LT	Рівень	Поплавковий сигналізатор рівня, кл.т.1	СУ-3
2.	FE	Витрата	Діафрагма камерна, 10 МПа, Д=100 мм	ДКС 10-100
3.	FFC	Витрата	Регулятор співвідношення витрат компонентів, кл.т.1	13ДД11
6.			Виконавчий механізм електричний багатообертовий, МЕМ-10/160-10Р	МЕМ
7.			Клапан регулюючий	25С50НЖ

Для дозування сухих добавок (наприклад, цемент та інші сипкі матеріали) в технологічному процесі вважається доцільним застосувати дозатор класу Гамма (рис. 2.1). Технічні характеристики дозаторів цементу наведені в таблиці 2.3.



Рисунок 2.1 – Дозатор цементу класу Гамма

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики дозаторів цементу класу Гамма

Клас точності за ГОСТ 10223-97	1
Найбільша межа дозування (НМД), кг	200; 500
Найменша межа дозування (НмМД), кг	75; 150
Живлення електричне	220В/50Гц/50ВА
Живлення стислим повітрям, МПа	0,5 – 0,8
Продуктивність, доз/час (у разі управління від системи АСУ)	до 60
Габаритні розміри у зборі – ВхШхГ, мм	дозатор у зборі – 1463x1300x1300
Діапазон робочих температур, °С	0 ... + 40°С

Для дозування наповнювачів бетону (піску, щебня та інших матеріалів з густиною приблизно  $1500 \text{ кг/м}^3$ ) в технологічному процесі вважається доцільним застосувати дозатори наповнювачів тензометричні дискретної дії типу ДЗТ. Такі дозатори використовуються на підприємствах будівельної промисловості (рис. 2.2).

Дозатор наповнювачів тензометричні дискретної дії типу ДЗТ відповідно до поставки замовника складається з вагового бункера, коромисла з підвісками, тензодатчика, пневмопривода, затвора, блока управління і блоку живлення.

Дозатори мають дві модифікації, які відрізняються одна від одної найбільшою межею дозування, найменшою межею дозування, продуктивністю та габаритними розмірами.



Рисунок 2.2 – Дозатор тензометричний типу ДЗТ

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики тензометричних дозаторів типу ДЗТ

Найменування, позначення	Тип дозатора	
	ДЗТ-1250	ДЗТ-1600
Межі дозування, кг:		
Найбільша	1250	1600
Найменша	125	160
Межа відхилень, що допускаються, дійсних значень маси дози від номінальних значень, %	± 2	± 2
Габаритні розміри, мм:		
довжина	1044	1044
ширина	1373	1373
висота	1965	2165
Маса, кг	261	280

Таблиця 2.3 – Параметри електричного живлення дозаторів типу ДЗТ

Напруга, В	220 (+ 22/- 33)
Частота, Гц	50 ± 1
Споживана потужність, не більше, ВА	50
Діапазон робочих температур при вологості до 98%	от + 5 до + 35°C

Для дозування води, хімічних добавок та інших рідин з густиною близько 1000 кг/м<sup>3</sup> вважається доцільним застосувати дозатори води тензометричні дискретної дії серії ДВТ (рис. 2.3). Зокрема, такі дозатори застосовуються на підприємствах будівельної промисловості

До складу тензометричного дозатора води дискретної дії входить вагова емність, затвор з пневмоприводом, утримуюче кільце, тензодатчик, блок управління та блок живлення. Такі дозатори мають чотири модифікації, які відрізняються межами дозування, продуктивністю та габаритними розмірами.



Рисунок 2.3 – Дозатор води тензометричний дискретної дії серії ДВТ

Таблиця 2.4 – Основні технічні характеристики дозаторів серії ДВТ

Найменування, позначення	Тип дозатора			
	ДВТ-15	ДВТ-30	ДВТ-140	ДВТ-300
Межі дозування, кг:				
Найбільша	15	30	140	300
Найменша	3	3	14	30
Межа відхилень, що допускаються, дійсних значень маси дози від номінальних значень, %	±1	±1	±1	±1
Габаритні розміри, мм:				
довжина	300	300	608	720
ширина	348	348	708	820
висота	1370	1470	1193	1458
Маса, кг	28	31	83	112

Таблиця 2.5 – Параметри електричного живлення дозаторів серії ДВТ

Напруга, В	220 (+ 22/- 33)
Частота, Гц	50 ± 1
Споживана потужність, не більше, ВА	50
Діапазон робочих температур при вологості до 98%	от + 5 до + 35°C

#### 2.4. Розробка ФСА технологічного процесу виготовлення бетонного розчину

По-перше, при розробці ФСА технологічного процесу виготовлення бетонного розчину доцільно визначити схему вимірювання. Розглядувана схема вимірювання якості містить датчик якості QE. Основний датчик, що використовується для вимірювання витрати FE, встановлений в схемі вимірювання витрати.

На наступному кроці визначимо схему регулювання. Схема управління потоком регулює подачу вхідного потоку за кожним з інгредієнтів для забезпечення необхідних характеристик обладнання. Якщо одна з витрат має певні відхилення від заданого значення, сигнал буде поданий контролеру коефіцієнта витрат FFC, який генерує дію управління на привід для компенсації відхилення. Потім привід приводить в дію керуючий клапан, який повертається до заданого значення коефіцієнта витрат шляхом зміни перетину.

В подальшому визначимо принцип роботи схеми контролю рівня рідини у змішувачі. При зміні рівня рідини в ємності змішувача поплавковий індикатор рівня рідини LE рухається, і відповідний контакт (нижній або верхній контакт рівня рідини) замикається. Потім сигнал надсилається на контролер реле LC, і контролер реле LC генерує сигнал, відповідний для приводу, щоб відкрити або закрити корпус регулюючого органу (клапану або заслінки).

Контур регулювання якості бетону регулює якість бетону на виході а також сигналізує про значне відхилення даного значення від заданого. Контур складається з давача якості QE. Давач має стандартний електричний вихідний сигнал 4 – 20 мА, який поступає на мікропроцесорний регулятор QC. Регулятор фіксує значення якості в даний момент та формує керуючу дію при відхиленні цього значення від заданого. З виходу мікропроцесорного регулятора сигнал надходить на регулятор співвідношення витрат (виконавчий механізм), який впливаючи на регулюючий клапан змінює співвідношення витрат подачу одного із компонентів в резервуар. Також регулятор здійснює сигналізацію при значному відхиленні якості від заданого значення.

Схема контролю якості бетонного розчину регулює якість бетону на виході. Крім цього вона також вказує на те, що значення має суттєве відхилення від встановленого значення. Схема складається з датчика якості QE. Цей перетворювач має стандартний електричний вихідний сигнал 4 – 20 мА, який подається на мікропроцесорний контролер QC. В цей час контролер

визначає значення якості та генерує дію управління, коли виміряне значення має відхилення від встановленого значення. Сигнал від регулятора подається на регулятор коефіцієнта витрати як на виконавчий механізм. В свою чергу регулятор коефіцієнта витрати як виконавчий механізм змінює коефіцієнт витрат на подачу одного з компонентів в ємність змішувача шляхом впливу на регулюючий клапан. Крім того, регулятор запускає сигналізацію, коли якість суттєво відрізняється від встановленого значення.

## **2.5. Висновки**

В розділі 2 даної роботи проведено синтез системи автоматичного керування технологічним процесом виготовлення бетонного розчину. При цьому було розроблено наступні питання.

1. Проведено аналіз статичних та динамічних характеристик об'єкта керування.
2. Визначено параметри функціонування САК технологічним процесом виготовлення бетонного розчину.
3. Проведено вибір технічних засобів САК технологічним процесом виготовлення бетонного розчину.
4. Розроблено функціональну схему автоматизації технологічного процесу виготовлення бетонного розчину.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ САК

#### 3.1. Розроблення математичної моделі ТОК

Розглянемо співвідношення, котрі формалізують динаміку процесу, в основу яких покладено матеріальний баланс відносно цільового компоненту.

Рівняння динаміки має наступний вигляд:

$$\rho_{cm} * S_{ann} * \frac{dh_{cm}}{dt} = G_A + G_B + G_B + G_G + G_D - G_{cm} \quad (3.1)$$

Розглянемо співвідношення, котрі формалізують початкові умови, що є необхідним для визначення передатної функції по каналу керування  $G_A - C_{cm}$ :

$$G_A = G_A^0 + \Delta G_A;$$

$$C_{cm} = C_{cm}^0 + \Delta C_{cm}.$$

Співвідношення, яке формалізує рівняння статички, має наступний вигляд:

$$G_{cm} = G_A + G_B + G_B + G_G + G_D. \quad (3.2)$$

Після виконання певних перетворень отримаємо співвідношення, яке формалізує рівняння динаміки. Отримане рівняння має наступний вигляд:

$$\rho_{cm} * V_{cm} * \frac{d\Delta C_{cm}}{dt} + G_{cm}^0 * \Delta C_{cm} = (C_A^0 - C_{cm}^0) * \Delta G_A. \quad (3.3)$$

Зокрема, після виконання певних перетворень отримаємо співвідношення, яке формалізує рівняння динаміки з нескінченими величинами:

$$\begin{aligned} \rho_{cm} * V_{cm} * C_{cm}^0 * \frac{dC_{cm}^{\bar{}}(t)}{dt} + G_{cm}^0 * C_{cm}^0 * C_{cm}^{\bar{}}(t) = \\ = (C_A^0 - C_{cm}^0) * G_A^0 * G_A^{\bar{}}(t) \end{aligned} \quad (3.4)$$

Також внаслідок перетворень маємо співвідношення, яке формалізує рівняння динаміки ТОК в часовій області без врахування транспортного запізнення:

$$T_{об} * \frac{dC_{см}^{\bar{}}(t)}{dt} + C_{см}^{\bar{}}(t) = K_{об} * G_A^{\bar{}}(t) \quad (3.5)$$

Наступне співвідношення виражає рівняння динаміки по каналу керування  $G_A - C_{см}$  в часовій області з врахуванням транспортного запізнення:

$$T_{об} * \frac{dC_{см}^{\bar{}}(t)}{dt} + C_{см}^{\bar{}}(t) = K_{об} * G_A^{\bar{}}(t - \tau) \quad (3.6)$$

Передатна функція ТОК по каналу керування  $G_A - C_{см}$ :

$$W(p) = \frac{K_{об}}{T_{об} * p + 1} * e^{-p*\tau} \quad (3.7)$$

де:

$$T_{об} = \frac{\rho_{см} * V_{см}}{G_{см}^0}; \quad K_{об} = \frac{(C_A^0 - C_{см}^0) * G_A^0}{G_{см}^0 * C_{см}^0}$$

Наступне співвідношення виражає транспортне запізнення по каналу керування  $G_A - C_{см}$ :

$$\tau_{об} = \frac{\rho_A * V_{труб}}{G_A} \quad (3.8)$$

де  $V_{труб}$  – об'єм трубопроводу від регулюючого органу до входу до змішувача.

### 3.2 Визначення функціональних параметрів ТОК

Визначення функціональних параметрів ТОК проведемо відносно наступних даних:

$$\rho_{см} = 1200(\text{кг} / \text{м}^3), \rho_A = 1000(\text{кг} / \text{м}^3), G_A = 250(\text{м}^3 / \text{год}), G_{см} = 2110(\text{м}^3 / \text{год}), \\ C_A = 0.12, C_{см} = 1, V_{труб} = 0,008\text{м}^3$$

При цьому функціональні параметри ТОК визначимо наступним чином:

$$T_{об} = \frac{\rho_{см} * V_{см}}{G_{см}^0} = \frac{1200 * 4}{2110} = 2,27(\text{с}); \quad K_{об} = \frac{(C_A^0 - C_{см}^0) * G_A^0}{G_{см}^0 * C_{см}^0} = \frac{(0,12 - 1) * 250}{2110 * 1} = 0,1;$$

$$\tau_{об} = \frac{\rho_A * V_{труб}}{G_A} = \frac{1000 * 0,08}{250} = 0,32$$

Внаслідок проведених обчислень передатна функція виконавчого механізму визначається наступним чином:

Наступне співвідношення виражає передатну функція виконавчого механізму синтезованого регулятора:

$$W_{\text{вм}}(p) = \frac{K_{\text{вм}}}{T_{\text{вм}} p + 1} = \frac{0,24}{10p + 1}.$$

### 3.3. Синтез регулятора САК

Для синтезу регулятора САК спочатку визначимо закон регулювання.

Виходячи зі значення відношення запізнення до сталої часу об'єкта –  $\frac{\tau}{T_{\text{об}}}$ , визначимо типу регулятора. Для розглядуваної САК вважається доцільним обрати цифровий ПІД-регулятор, оскільки  $\frac{\tau}{T_{\text{об}}} = \frac{0,32}{2,27} = 0,14$ . Зокрема, обраний тип регулятора надає можливість компенсувати запізнення в контурі регулювання.

На наступному етапі синтезу регулятора САК проведемо розрахунок його оптимальних настроювальних параметрів.

Виходячи з обраного типу регулятора та визначеного перехідного процесу, обчислимо значення настроювальних параметрів:

$$K_p = \frac{1,2}{K_{\text{об}} \cdot \tau / T_{\text{об}}} = \frac{1,2}{0,1 \cdot 0,32 / 2,27} = 85,7;$$

$$T_i = 2 \cdot \tau = 2 \cdot 0,32 = 0,64;$$

$$T_d = 0,4 \cdot \tau = 0,4 \cdot 0,32 = 0,128.$$

де  $K_p$  – коефіцієнт підсилення регулятор;

$T_i$  – час ізодрому (постійна інтегрування регулятора);

$T_d$  – постійна диференціювання.

Наступне співвідношення виражає передатну функція синтезованого регулятора:

$$W_{pez}(p) = K_3 \left( 1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p \right)$$

Згідно з попереднім розглядом, можна зробити такий висновок. В даному випадку доцільно вибрати мікропроцесорний контролер МІС-21. Цей мікропроцесорний контролер відносно просто налаштувати. Крім цього, він характеризується відносно невеликою похибкою та достатньою швидкодією. швидкістю.

### 3.4. Аналіз перехідного процесу та стійкості синтезованої САК

Аналіз перехідного процесу проведемо за допомогою програми MatLab та середовища Simulink. За допомогою блока NCD OutPort складемо наступний замкнутий контур у вікні програми. На наступному кроці шляхом визначення певних значень коефіцієнтів проведемо його оптимізацію. Аналіз перехідного процесу синтезованої САК відображено на рис. 3.1.

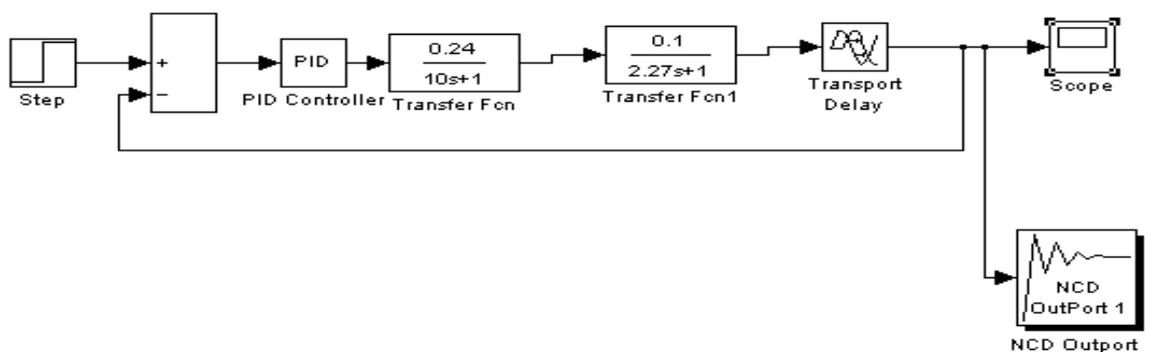


Рисунок 3.1 – Аналіз перехідного процесу синтезованої САК

Перехідний процес в контурі регулювання синтезованої САК як наслідок проведеного моделювання наведено на рис. 3.2.

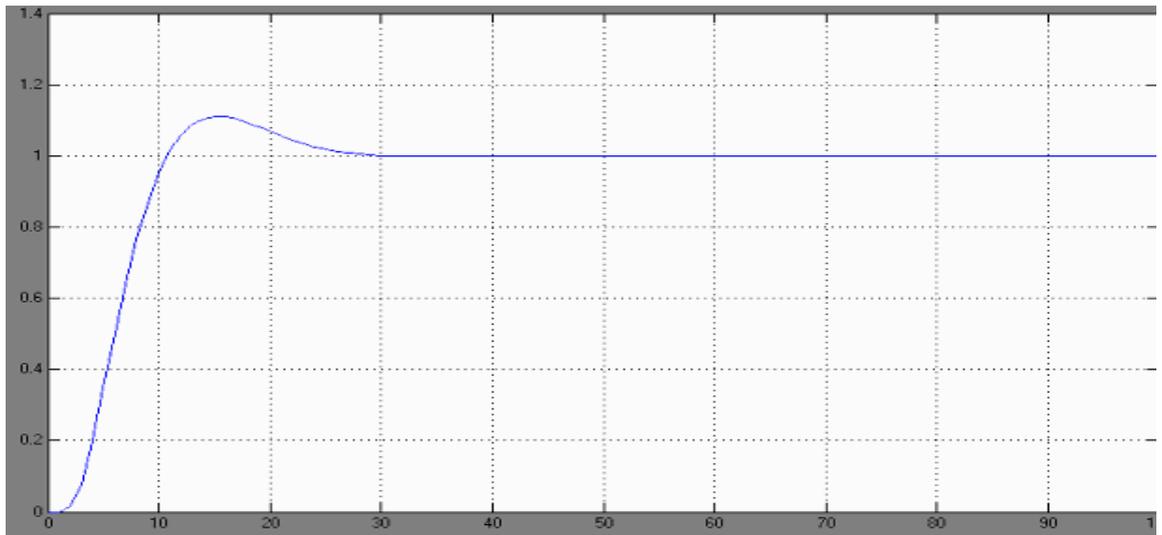


Рисунок 3.2 – перехідний процес в контурі регулювання САК

Аналіз перехідного процесу дає можливість зробити наступні висновки. Зокрема в даному випадку значення часу регулювання дорівнює 30с, величина перерегулювання складає 20%.

Внаслідок проведеної оптимізації визначені величини коефіцієнтів ПІД-регулятора. Конкретно для розглядуваної системи коефіцієнти ПІД-регулятора мають такі значення:  $K_p = 82,86$ ;  $K_i = 10,15$ ;  $K_d = 1,12$ .

Для дослідження розглядуваної системи застосуємо середовище Simulink програми MatLab. Дослідження проведемо за допомогою спеціально розробленої схеми (рис. 3.3).

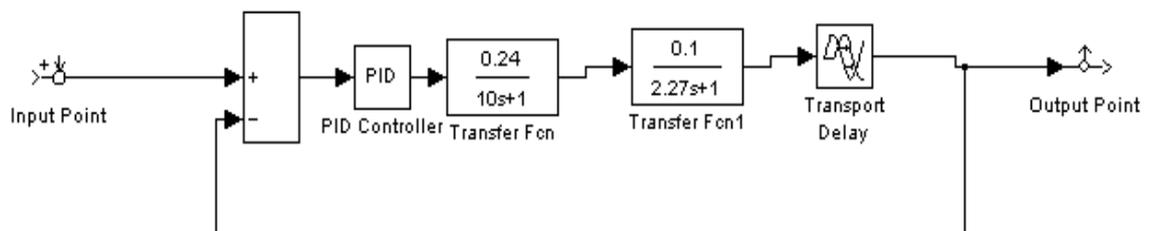


Рисунок 3.3 – Схема дослідження САК

Внаслідок проведеного аналізу було визначено часові характеристики синтезованої САК – перехідну характеристику (рис. 3.4) та імпульсну характеристику (рис.3.5).

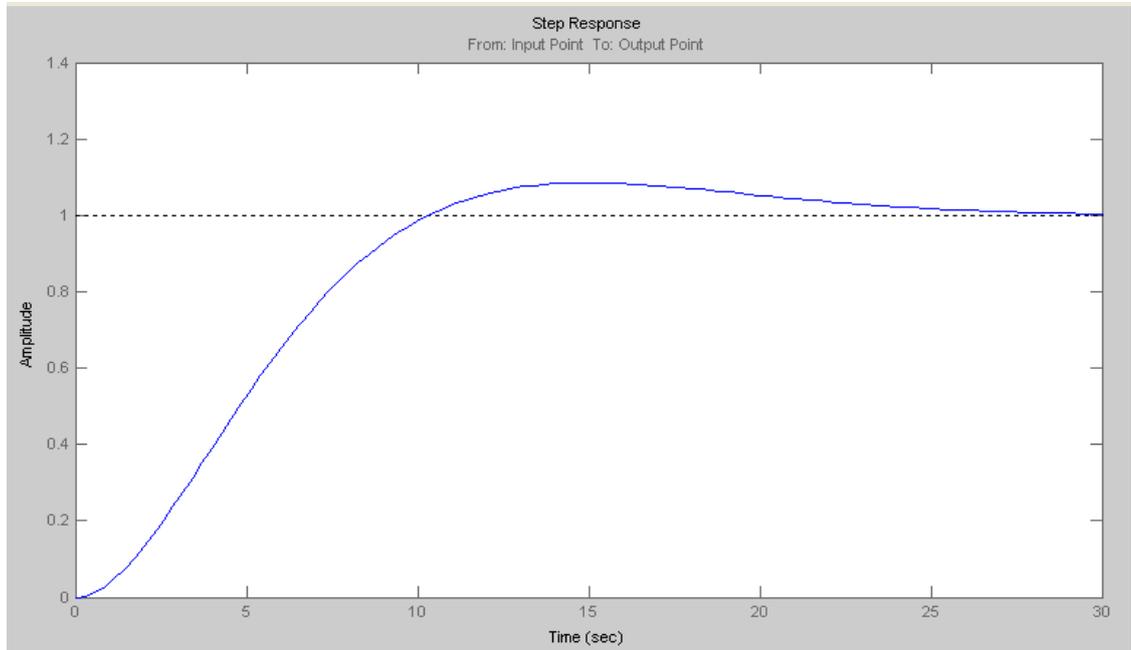


Рисунок 3.4 – Перехідна характеристика САК

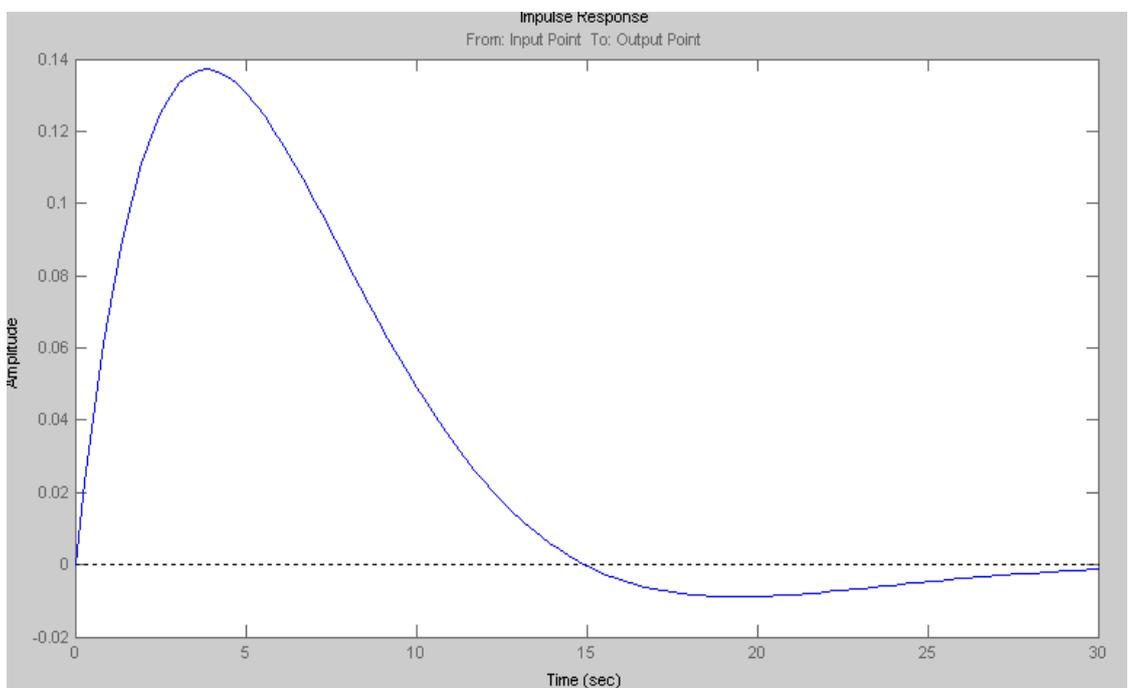


Рисунок 3.5 – Імпульсна характеристика САК

Проведений аналіз дає можливість зробити висновок, що розглядувана САК забезпечує необхідну якість перехідного процесу.

Проведений аналіз надав можливість також визначити частотні характеристики синтезованої САК – логарифмічну амплітудно-частотну характеристику (ЛАЧХ) та логарифмічну фазово-частотну характеристику (ЛФЧХ), які наведені на рис. 3.6.

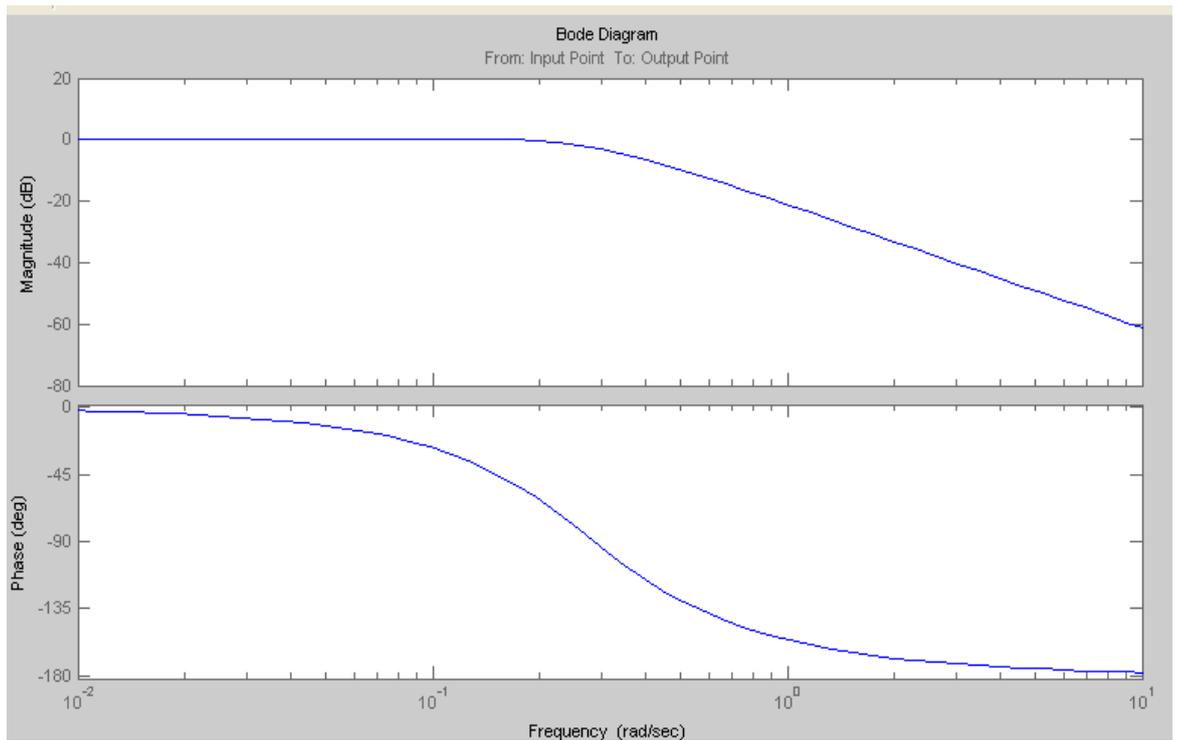


Рисунок 3.6 – ЛАЧХ та ЛФЧХ САК

Для дослідження стійкості синтезованої САК було застосовано критерій стійкості Найквіста. Відповідний годограф представлено на рис. 3.7. Проведений аналіз дає можливість зробити висновок, що розглядувана САК задовольняє умові стійкості за Найквістом.

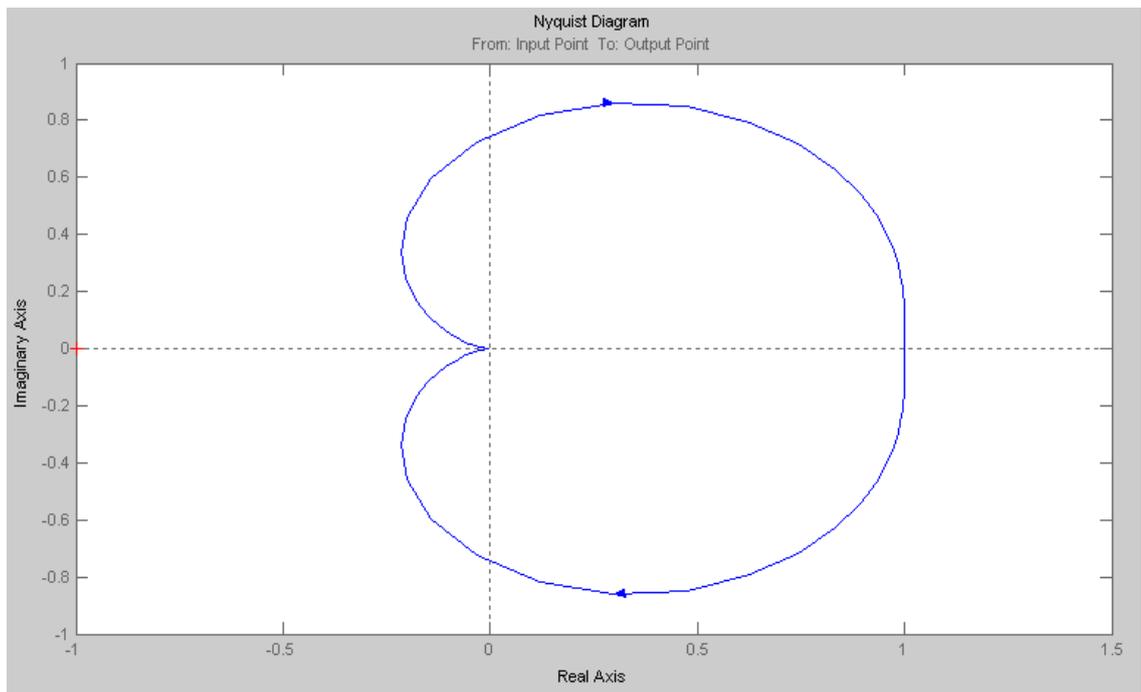


Рисунок 3.7 – Годограф Найквіста САК

Стійкість синтезованої САК впливає також з побудованої для цієї системи діаграми Ніколса (рис. 3.8).

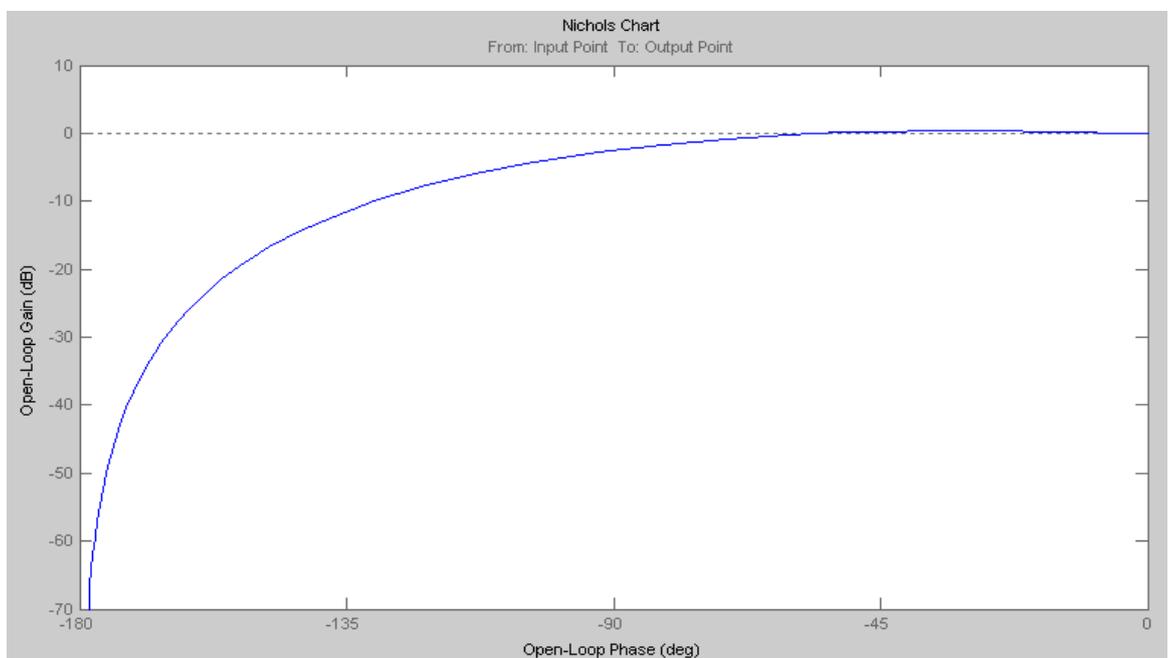


Рисунок 3.8 – Діаграма Ніколса САК

### 3.5. Аналіз надійності синтезованої САК

З аналізу роботи технічних засобів автоматики випливає, що у більшості випадків успішність їх використання залежить від їх надійності.

Виходячи з цього, для синтезованої САК проведемо аналіз надійності.

Відповідно до структури синтезованої САК, до складу ланцюга керування належать 3 складові одиниці – первинний вимірювач, контролер та робочий орган.

Для первинного вимірювача значення інтенсивності відмов дорівнює  $\lambda_1 = 0,95 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>, кількості відмов –  $n_1 = 1$ . Для контролера значення інтенсивності відмов дорівнює  $\lambda_2 = 1,7 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>, кількості відмов –  $n_2 = 2$ . Для робочого органу значення інтенсивності відмов дорівнює  $\lambda_3 = 2,2 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>, кількості відмов –  $n_3 = 1$ .

Для формалізації визначення надійності розглядуваного ланцюга керування застосуємо експоненціальний закон розподілу.

Виходячи з визначених умов, обчислимо загальну інтенсивність відмов для розглядуваного ланцюга керування:

$$\lambda_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^3 \lambda_i \cdot n_i ;$$

$$\lambda_{\text{заг}} = 0,95 \cdot 10^{-5} \cdot 1 + 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot 2 + 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 1 = 3,49 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Виходячи з визначених умов, обчислимо середній час наробітку до відмови для розглядуваного ланцюга керування:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_{\text{заг}}} ;$$

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{3,49 \cdot 10^{-5}} = 28653 \text{ год}.$$

Виходячи з визначених умов, обчислимо ймовірність безвідмовної роботи на проміжку часу 10000 год для розглядуваного ланцюга керування. Враховуючи експоненціальний закон розподілу, дана величина визначається наступним співвідношенням:

$$P = e^{-\lambda t}$$

За обчисленнями маємо таке значення:

$$P = e^{-3.49 \cdot 10^{-5} \cdot 10000} = 0.704.$$

Одержаний результат означає, що для розглядуваного ланцюга керування величина ймовірності безвідмовної роботи на протязі часу 10000 год дорівнює 70%.

### **3.6. Висновки**

В розділі 3 даної роботи проведено розрахунок параметрів САК. При цьому було розроблено наступні питання.

1. Розроблено математичну модель ТОК.
2. Визначено функціональні параметри ТОК.
3. Проведено синтез контролера САК.
4. Проведено аналіз перехідного процесу та стійкості синтезованої САК.
5. Проведено аналіз надійності синтезованої САК.

## РОЗДІЛ 4

### ПРОЕКТУВАННЯ АСУ ТП

#### 4.1. Розгляд можливого підходу до розробки проекту АСУ ТП

На базі розробленої математичної моделі ТОК та синтезованої на її основі САК розглянемо можливий підхід до розробки проекту автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП).

З цією метою застосуємо відому SCADA-систему, якою є система TRACE MODE (ТРЕЙС МОУД). Призначенням запропонованої система є розробки великих розподілених АСУ ТП, які мають широкий діапазон застосування в різних галузях промисловості та у комунальному господарстві.

В основу системи ТРЕЙС МОУД покладено такі інноваційні технології, аналогів яких поки що не існує. Зокрема до таких інноваційних технологій належать наступні:

- розробка розподіленої АСУ ТП як єдиного проекту;
- застосування принципу автопобудови;
- застосування оригінальних алгоритмів обробки сигналів та керування;
- застосування об'ємної векторної графіки мнемосхем;
- використання єдиного мережевого часу;
- використання playback-графічного перегляду архівів на робочих місцях керівників.

ТРЕЙС МОУД належить до інтегрованої SCADA- та softlogic-системи, яка реалізує наскрізне програмування операторських станцій і регуляторів за застосуванням єдиного інструменту.

ТРЕЙС МОУД має певні структурні особливості, серед яких найважливішими є такі:

- модульність структури - від 128 до 64000x16 I/O;
- необмежність кількості тегів;
- найменше значення циклу системи, яке дорівнює 0.001 с;

- наявність інтерфейс драйвера, що дає можливість зв'язку з будь-яким УСО;
- наявність достатньої кількості стандартних програм опрацювання даних та керування, до яких зокрема належать програми фільтрації, PID, PDD, нечіткого, адаптивного, позиційного регулювання, ШИМ, керування пристроями (клапан, засувка, привод), статистичні функції;
- можливість застосування ефективних мов програмування (Visual Basic, Visual C++);
- застосування міжнародного стандарту IEC 1131-3 для організації контролерів та АРМ;
- застосування достатньої кількості видів візуалізації даних (тренди, мультиплікація на основі растрових і векторних зображень, Active);
- мережева організація за допомогою Netbios, NetBEUI, IPX/SPX, TCP/IP;
- можливість в автоматичному режимі резервування архівів і автовідновлення після збою;
- можливість моніторингу та керуванню за допомогою мережі Internet.

ТРЕЙС МОУД 5 є наступним етапом розвитку методів розробки АСУ ТП. Його відрізняють від попередніх SCADA-систем наступні особливості:

- засоби та методи програмування є спільними для проектування пунктів операторів та програмування регуляторів;
- база даних реального часу є спільною пунктів операторів та регуляторів;
- автоматизація проектування.

#### **4.2. Структурування інформаційної бази АСУ ТП**

У інформаційному вікні знаходиться зображення об'єкта бази даних каналу. Лівий стовпець об'єктів містить стандартні об'єкти бази даних каналів. Вони автоматично заповнюватимуть канал при їх додаванні до бази

даних каналів. Параметр каналу визначає, в якому стандартному об'єкті він розміщений.

Наступний стовпець містить об'єкти, які створені AutoConnect. Вони взаємодіють з модулем вводу-виводу контролера або каналом іншого вузла проекту. Канали в цих об'єктах також відобразатимуться у стандартних типах «аналоговий вхід», «цифровий вхід» та «цифровий вихід».

Стандартний об'єкт бази даних надає повний перелік каналів, що існують у базі даних каналів.

Інтерфейс інформаційної бази АСУ ТП наведений на рис. 4.1.

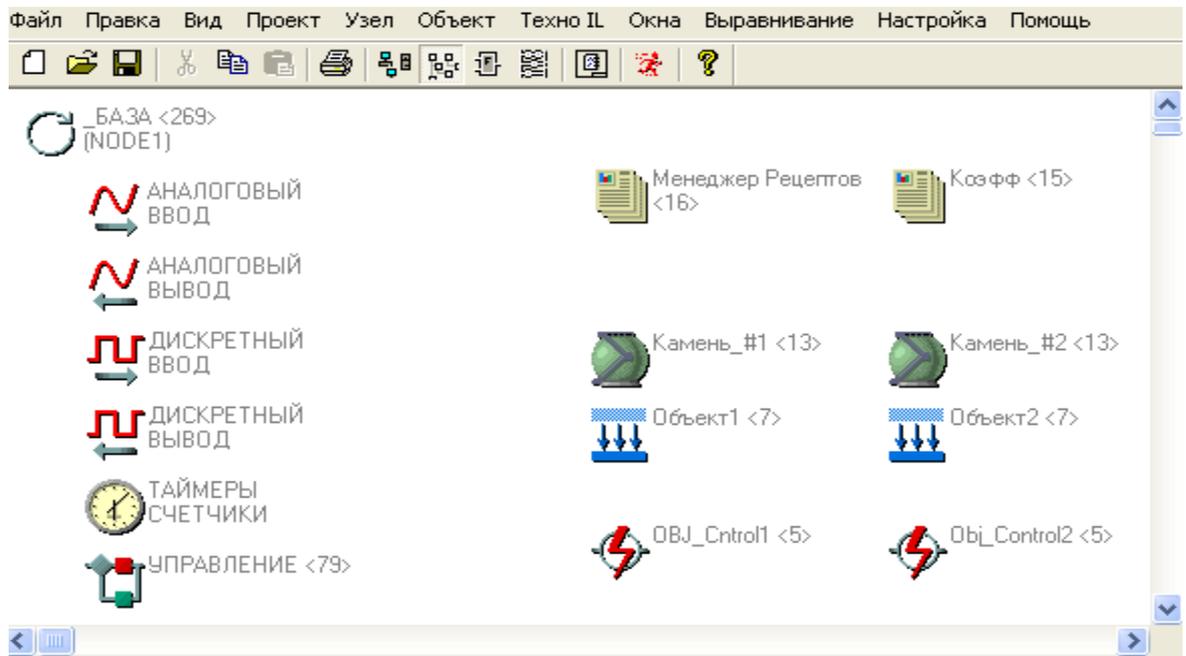


Рисунок 4.1 – Інтерфейс інформаційної бази АСУ ТП

Крім того, на екрані відображається ще одне вікно, що містить графічне зображення вузла проекту. Це дає можливість швидко перемикатися між вузлами проекту.

Інтерфейс структури вузла контролера АСУ ТП наведений на рис. 4.2.

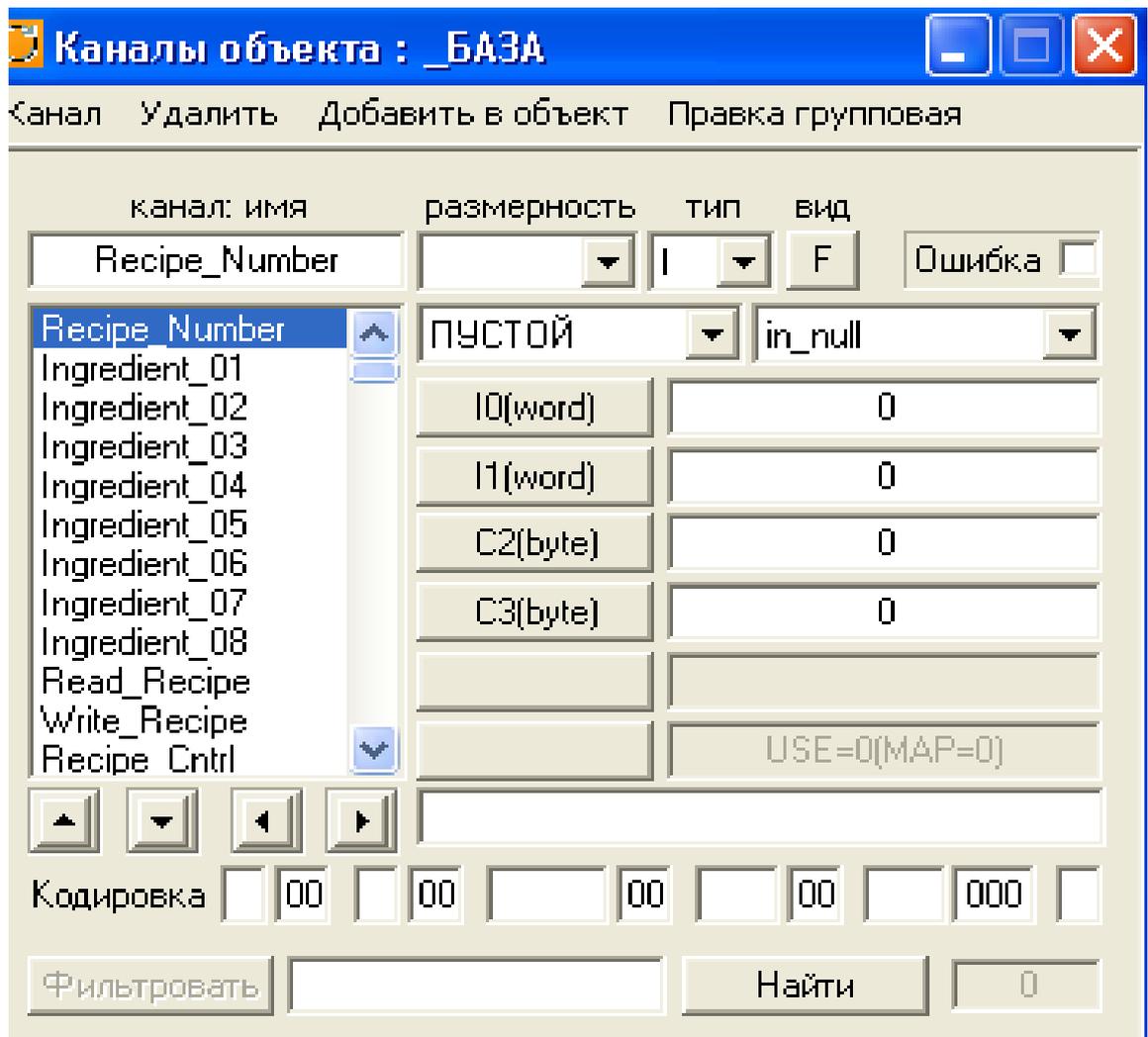


Рисунок 4.2 – Интерфейс структуры узла контролера АСУ ТП

### 4.3. Програмна реалізація АСУ ТП

В ТРЕЙС МОУД для розроблення складних алгоритмів опрацювання та управління даними застосовується дві мови програмування - Techno FBD та Techno IL. Це є подальшим розвитком міжнародного стандарту МЕК 1131-3.

Призначенням мови Техно FBD є алгоритмізація процесів із застосуванням блок-схем функцій. При цьому є можливість виклику підготовленої таким чином програми з каналного процесу.

Програми Techno IL розроблені у вигляді структурованого тексту. Ця мова надає можливість підготовки оригінальних функціональних одиниць для мови Техно FBD та створювати додатки, які працюють паралельно з переліком

бази даних каналів. Такі додатки можуть застосовувати та створювати значення атрибутів каналу та обмінюватися даними між собою.

Програмна реалізація АСУ ТП на базі ТРЕЙС МОУД наведена на рис. 4.3.



Рисунок 4.3 – Програмна реалізація АСУ ТП на базі ТРЕЙС МОУД

#### **4.4. Висновки**

В розділі 4 даної роботи розглянуто можливий підхід до проектування АСУ ТП, при цьому було розроблено наступні питання.

1. Розгляд можливого підходу до розробки проекту АСУ ТП.
2. Структурування інформаційної бази АСУ ТП.
3. Програмна реалізація АСУ ТП.

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання КРБ була вирішена основна поставлена задача – проведено синтез АСУ ТП виготовлення бетонних розчинів, що сприяє зростанню продуктивності праці, покращенню якості виробу та зменшенню витрат на виробництво.

У процесі виконання роботи були успішно вирішені наступні завдання:  
проведено аналіз технологічного процесу виготовлення бетонного розчину як об'єкту керування;

синтезовано систему автоматичного керування технологічним процесом виготовлення бетонного розчину;

проведено розрахунок параметрів САК технологічним процесом виготовлення бетонного розчину;

розроблено проект АСУ ТП виготовлення бетонного розчину.

Результати досліджень, які містяться в даній КРБ, можуть бути застосовані при модернізації сучасних будівельних виробництв.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бахрушин В.Є. Теорія керування: навч. посіб. / В.Є. Бахрушин, Т.Ю. Огаренко. – Запоріжжя : КПУ, 2014. – 224 с.
2. Мовчан А.П. Навчальний посібник: Адаптивні та параметрично-оптимальні системи управління. Навч. посіб. / Мовчан А.П., Степанець О.В. — К.: НТУУ «КПІ», 2011. — 108 с.
3. Лебедев А. О. Введення в аналіз і синтез систем: Навчальний посібник / А.О. Лебедев .- М.: МАІ, 2001 .- 352 с.
4. Я.І. Проць, О.А. Данилюк, Т.Б. Лобур Автоматизація неперервних технологічних процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Тернопіль: ТДТУ ім. І.Пулюя, 2008. – 239 с.
5. Бобух А.О. Автоматзація інженерних систем: Навч. посібник. - Харків: ХНАМГ, 2005. – 212 с.
6. Автоматизація виробничих процесів [Електронний ресурс]: навчально-методичний посібник / уклад.: В.В. Тичков, Р.В. Трембовецька, К.В. Базіло; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси: ЧДТУ, 2016. – 142 с.
7. Гончаренко Б.М., Осадчий С.І., Віхрова Л.Г., Каліч В.М., Дідик О.К. Автоматизація виробничих процесів. - Кіровоград: Видавець – Лисенко В.Ф., 2016. - 352 с.
8. Савицький В.К., Федоришин Р.М. Технічні засоби автоматизації. Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. - 292 с.
9. Електромеханічні системи автоматичного керування та електропривода / За ред. Поповича А.М. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
10. Самотокін Б.Б. Лекції з теорії автоматичного керування: Нав. посібник. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 508 с.

11. Коваль А.В. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів: навч. посібник / А.В. Коваль. – Житомир: ЖДТУ, 2018. – 133 с.
12. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і доп. — К.: Либідь, 2007. — 656 с.
13. Ельперін І.В., Пупена О.М., Сідлецький В.М., Швед С.М. Автоматизація виробничих процесів: Підручник. — К. Видавництво Ліра-К, 2015 — 300 с.
14. Проць Я.І., Савків В.Б., Шкодзінський О.К., Ляшук О.Л. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. - Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 344 с.

ДОДАТОК А  
SECTION 4. DESIGN OF APCS

## SECTION 4

### DESIGN OF APCS

#### **4.1. Consideration of a possible approach to the development of the APCS project**

On the basis of the developed mathematical model of TCO and the ACS synthesized on its basis we will consider a possible approach to development of the project of APCS.

For this purpose, we use the well-known SCADA-system, which is the TRACE MODE system. The purpose of the proposed system is to develop large distributed APCS, which have a wide range of applications in various industries and utilities.

The TRACE MODE system is based on such innovative technologies, which have no analogues yet. In particular, such innovative technologies include the following:

- development of a distributed ACS TP as a single project;
- application of the principle of car construction;
- application of original signal processing and control algorithms;
- application of three-dimensional vector graphics of mnemonics;
- use of a single network time;
- use of playback-graphical viewing of archives in the workplaces of managers.

TRACE MODE is an integrated SCADA- and Softlogic system that implements end-to-end programming of operator stations and controllers using a single tool.

TRACE MODE has certain structural features, among which the most important are the following:

- modularity of the structure - from 128 to 64000x16 I / O;
- unlimited number of tags;
- the smallest value of the system cycle, which is equal to 0.001 s;

- the presence of a driver interface that allows communication with any USO;
- availability of a sufficient number of standard data processing and control programs, which include in particular programs for filtering, PID, PDD, fuzzy, adaptive, positional control, device control (valve, latch, actuator), statistical functions;
- the ability to use effective programming languages (Visual Basic, Visual C ++);
- application of the international standard IEC 1131-3 for the organization of controllers;
- application of a sufficient number of types of data visualization (trends, animation based on raster and vector images, Active);
- network organization using Netbios, NetBEUI, IPX / SPX, TCP / IP;
- the ability to automatically back up archives and auto-restore after a failure;
- possibility of monitoring and management by means of the Internet.

TRACE MODE 5 is the next stage in the development of APCS development methods. It differs from previous SCADA-systems by the following features:

- programming tools and methods are common for the design of operator points and programming of regulators;
- real-time database is a common point of operators and regulators;
- design automation.

#### **4.2. Structuring the APCS information base**

The information window contains an image of the channel database object. The left column of objects contains standard channel database objects. They will automatically populate the channel when you add it to the channel database. The channel parameter determines in which standard object it is located.

The next column contains objects created by AutoConnect. They interact with the I / O module of the controller or the channel of another node of the project.

Channels in these objects will also be displayed in the standard types "analog input", "digital input" and "digital output".

The standard database object provides a complete list of channels that exist in the channel database.

The interface of the APCS information base is shown in Fig. 4.1.

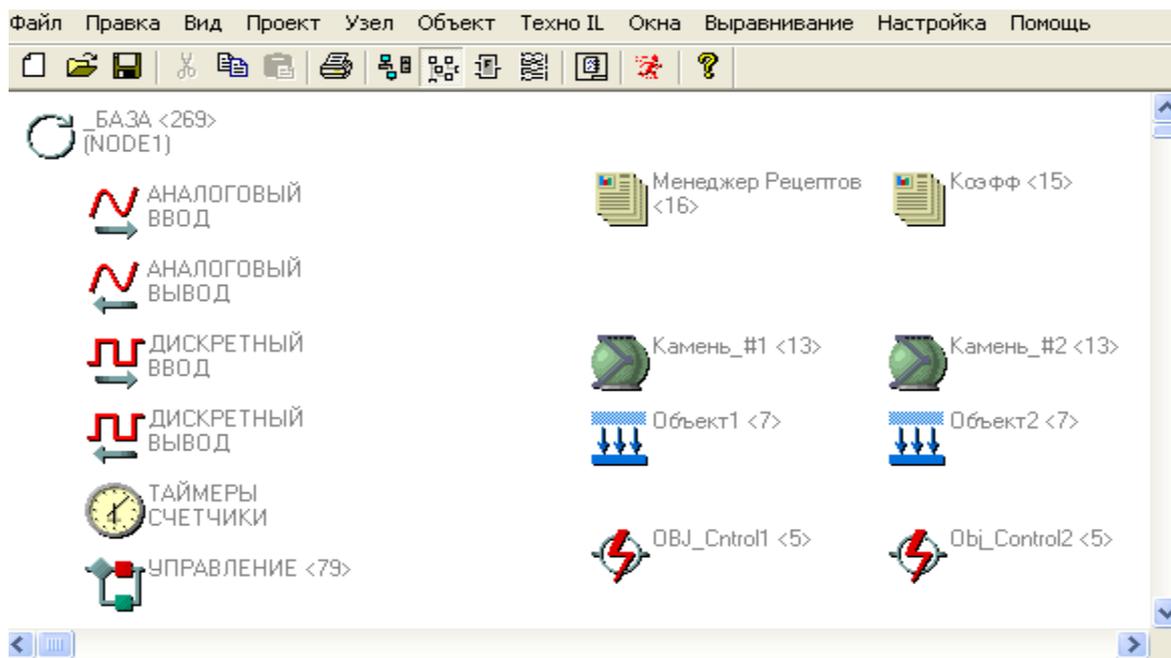


Figure 4.1 - APCS database interface

In addition, another window containing a graphic image of the project node is displayed on the screen. This allows you to quickly switch between project nodes.

The interface structure of the APCS controller node is shown in Fig. 4.2.

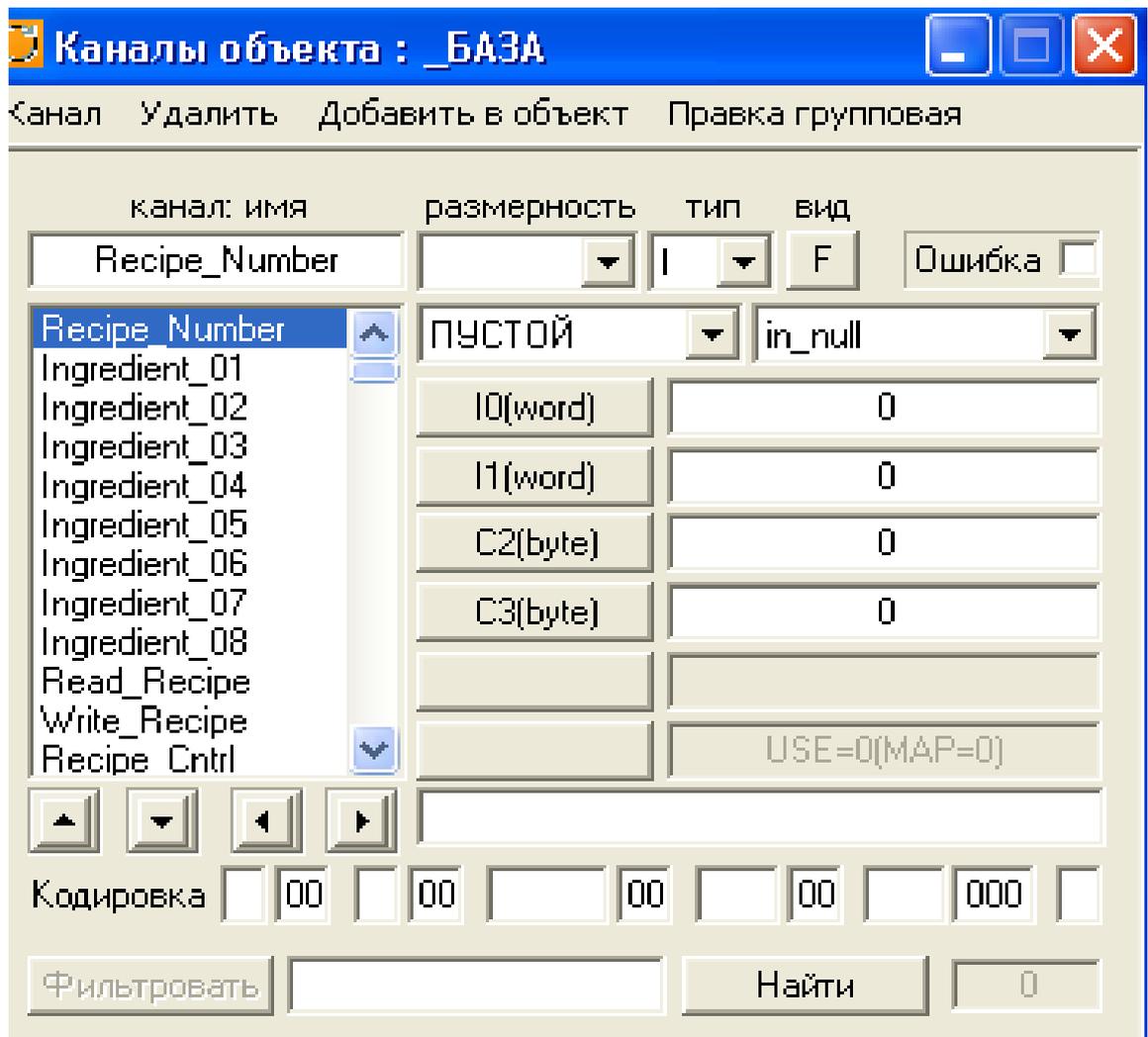


Figure 4.2 - APCS controller node structure interface

### 4.3. APCS software implementation

TRACE MODE uses two programming languages, Techno FBD and Techno IL, to develop complex data processing and management algorithms. This is a further development of the international standard IEC 1131-3.

The purpose of the Techno FBD language is to algorithmize processes using block diagrams of functions. At the same time there is a possibility of a call of the program prepared thus from channel process.

Techno IL programs are designed as structured text. This language provides the ability to prepare original functional units for the Techno FBD language and create applications that run in parallel with the list of channel databases. Such

applications can apply and create channel attribute values and communicate with each other.

The software implementation of APCS based on TRACE MODE is shown in Fig. 4.3.



Figure 4.3 - Software implementation of APCS on the basis of TRACE MODE

#### **4.4. Conclusions**

Section 4 of this paper discusses a possible approach to APCS design, with the following questions developed.

1. Consideration of a possible approach to the development of the APCS project.
2. Structuring the APCS information base.
3. Software implementation of APCS.

ДОДАТОК Б  
ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і механотроніки  
Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Кваліфікаційна робота  
Бакалавр

## **Синтез АСУ ТП виготовлення бетонних розчинів**

Виконав: студент групи 201-пМЕ  
Костенко Д.В.  
Керівник роботи  
д.т.н., проф. Леві Л.І.

м. Полтава – 2021 рік

## **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

**Актуальність теми.** В даний час бетонні суміші та розчини можна готувати або на стаціонарних механізованих підприємствах, оснащених сучасним високоефективним обладнанням, або в умовах будівництва збірного та мобільного обладнання. Середній рівень комплексної механізації бетонних сумішей, що випускаються існуючими підприємствами, становить 86%, а розчинів - 71%. Середній рівень автоматизації виробництва набагато нижчий, коливається від 18% до 30%, і лише в деяких компаніях з автоматизації він досягає 70% і вище.

**Об'єктом** КРБ є удосконалення виробництва бетонних розчинів.

**Предметом** КРБ є синтез САК та розробка проекту АСУ ТП виготовлення бетонних розчинів.

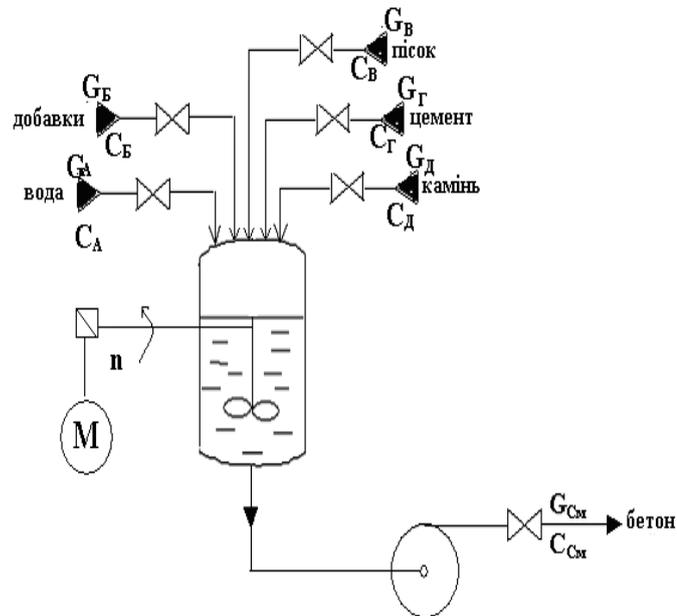
**Мета і задачі дослідження.** Основна задача КРБ – провести синтез АСУ ТП виготовлення бетонних розчинів, що сприяє зростанню продуктивності праці, покращенню якості виробу та зменшенню витрат на виробництво.

**Методи дослідження.** При розробці теми КРБ було застосовано наступні методи.

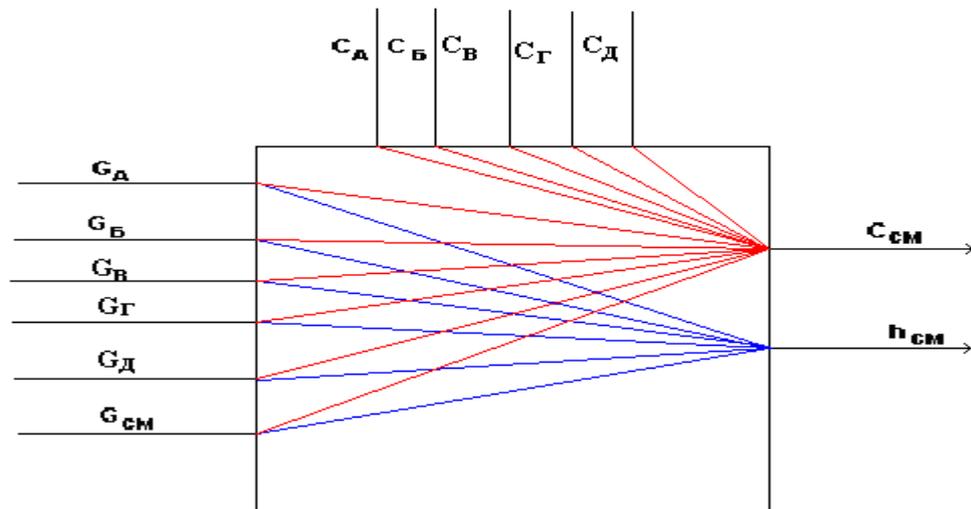
1. Системно-методологічні основи створення АСУ та інформаційних технологій.
2. Математичні моделі ТОК, які використовуються при синтезі АСУ ТП.
3. Методи моделювання процесів об'єктів комп'ютеризації
4. Моделі і методи прийняття рішень як математична основа управління.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати досліджень, які містяться в КРБ, можуть бути застосовані при модернізації сучасних будівельних виробництв.

# АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ БЕТОННОГО РОЗЧИНУ ЯК ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

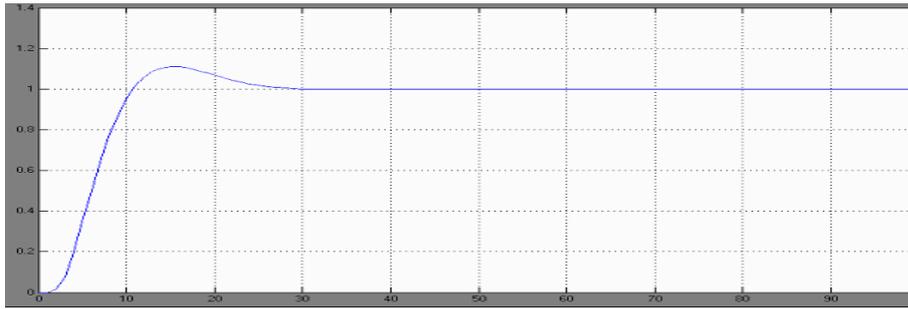


Технологічна схема виготовлення  
бетонного розчину

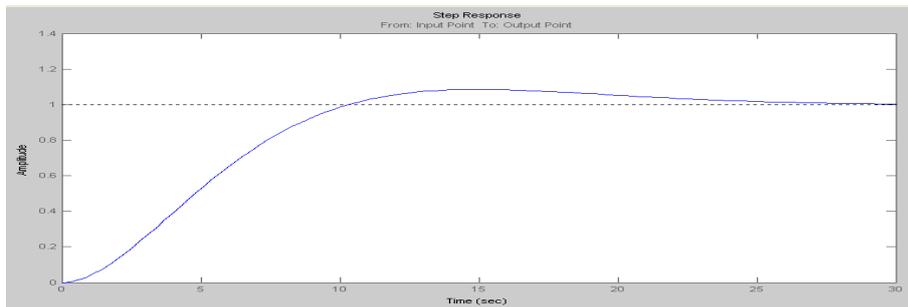


Структурна схема взаємозв'язку  
між технологічними параметрами об'єкта керування

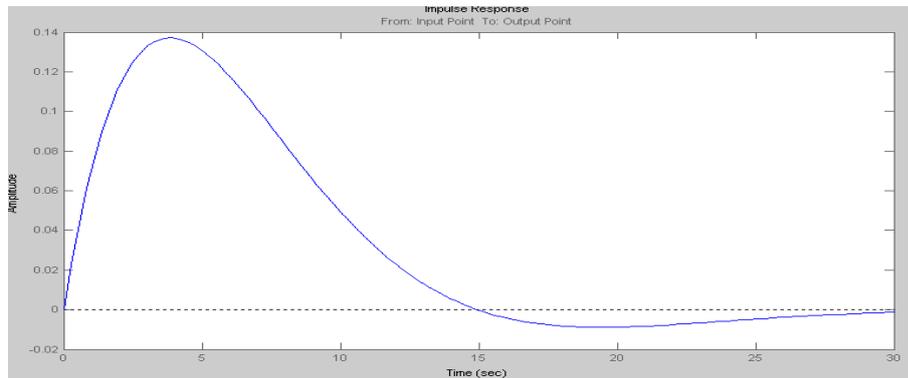
# РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ САК



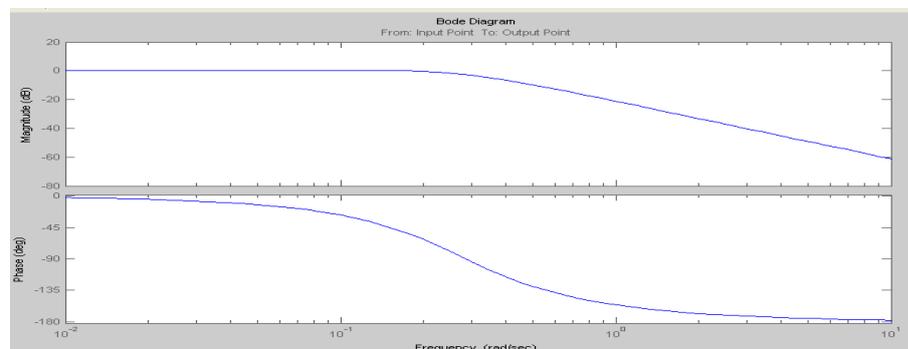
Перехідний процес в контурі регулювання САК



Перехідна характеристика САК

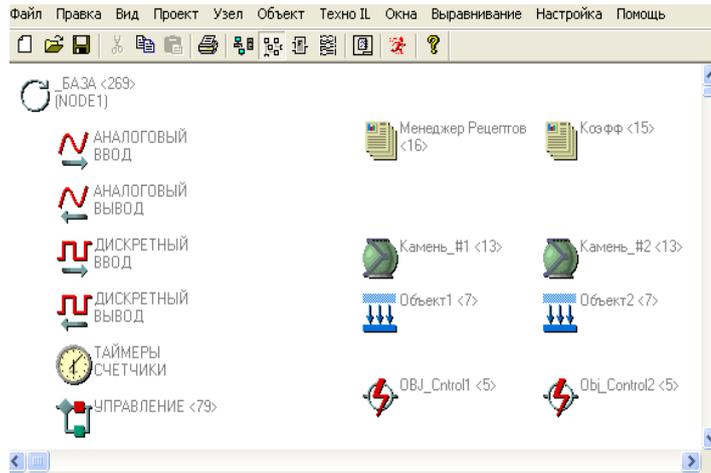


Імпульсна характеристика САК

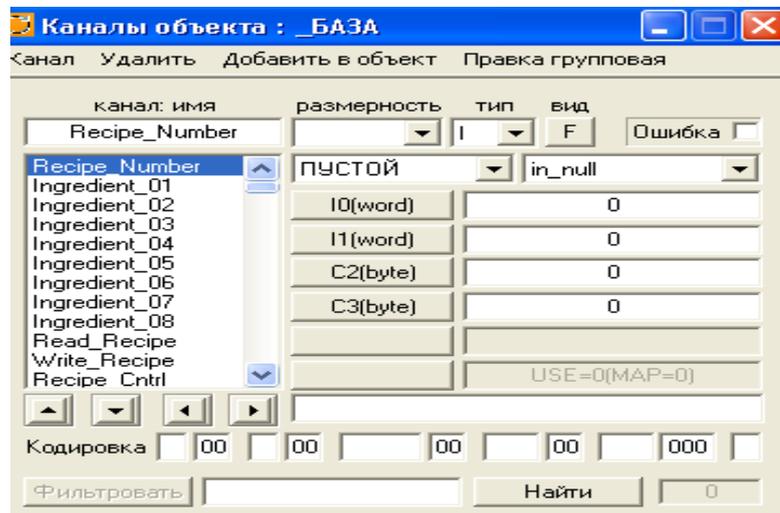


ЛАЧХ та ЛФЧХ САК

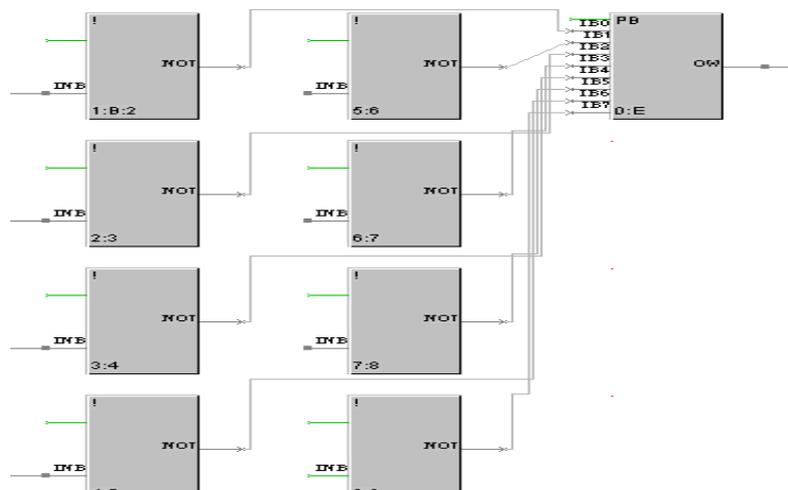
# ПРОЕКТУВАННЯ АСУ ТП



Інтерфейс інформаційної бази АСУ ТП



Інтерфейс структури вузла контролера АСУ ТП



Програмна реалізація АСУ ТП на базі ТРЕЙС МОУД

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання КРБ була вирішена основна поставлена задача – проведено синтез АСУ ТП виготовлення бетонних розчинів, що сприяє зростанню продуктивності праці, покращенню якості виробу та зменшенню витрат на виробництво.

У процесі виконання роботи були успішно вирішені наступні завдання:

- проведено аналіз технологічного процесу виготовлення бетонного розчину як об'єкту керування;
- синтезовано систему автоматичного керування технологічним процесом виготовлення бетонного розчину;
- проведено розрахунок параметрів САК технологічним процесом виготовлення бетонного розчину;
- розроблено проект АСУ ТП виготовлення бетонного розчину.

Результати досліджень, які містяться в КРБ, можуть бути застосовані при модернізації сучасних будівельних виробництв.

**Дякую за увагу!**