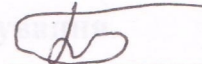


Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки  
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

  
(підпис)

I. С. Білюк

«20» 12 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття ступеня магістра

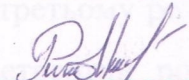
зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(код та назва спеціальності)

освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод  
(назва освітньої програми)

на тему: Електропривод камери відеоспостереження

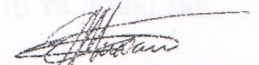
Виконав: студент групи 6371мз

Михальчук Руслан Валентинович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

  
(підпис)

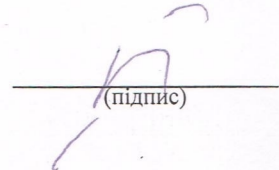
Керівник доц. каф. автоматики, к.т.н.,  
доц. Надточій А.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

  
(підпис)

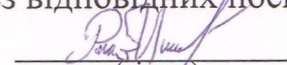
Рецензент доцент кафедри СЕЕС,  
к.т.н., доцент Ставинський Р.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

  
(підпис)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній  
роботі немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент

  
(підпис)

м. Миколаїв – 2024 року

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 108с., 6 розд., 3 табл., 47 рис., 1 дод., 32 джерел.

**Ключові слова:** камера телевізійного спостереження, електропривод, регулятор, цифрова система керування, імпульсний регулятор, стійкість, перехідна характеристика, показники якості керування.

Об'єкт дослідження – фізичні явища, які відбуваються в цифровому та імпульсному електроприводі з імпульсним регулятором та вплив цифрового та імпульсного регулятора на ступінь стійкості системи керування електроприводом.

Мета роботи – на основі існуючих теоретичних досліджень провести аналіз та синтез електропривода суднової камери відеоспостереження з імпульсним регулятором.

Перший розділ присвячений загальному огляду систем телевізійного спостереження і згідно цього зроблена постановка задачі дослідження. У другому розділі здійснено розрахунок та вибір елементів електропривода. У третьому розділі наведено синтез системи керування з цифровим регулятором. Четвертий розділ присвячено машинним розрахункам системи керування.

У п'ятому та шостому розділах розглянути питання з охорони праці та довкілля.

Додатки містять слайди мультимедійної презентації.

## ABSTRACT

Qualification work: 108 p., 6 chapters, 3 tables, 47 figures, 1 appendix, 32 sources.

**Keywords:** television surveillance camera, electric drive, regulator, digital control system, pulse regulator, stability, transient response, control quality indicators.

The object of study is the physical phenomena that occur in a digital and pulse electric drive with a pulse regulator and the influence of the digital and pulse regulator on the degree of stability of the electric drive control system.

The aim of the work is to analyse and synthesise the electric drive of a shipboard video surveillance camera with a pulse regulator on the basis of existing theoretical studies.

The first section is devoted to a general overview of television surveillance systems and, accordingly, the research problem is formulated. The second section deals with the calculation and selection of electric drive elements. The third section presents the synthesis of the control system with a digital controller. The fourth section is devoted to the machine calculations of the control system.

The fifth and sixth chapters deal with issues related to labor and environmental protection.

The appendices contain slides of a multimedia presentation.

## ЗМІСТ

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                            | 6  |
| РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....                                           | 8  |
| 1.1 Загальний огляд систем телевізійного спостереження .....                                          | 8  |
| 1.2 Алгоритм функціонування камери телеспостереження .....                                            | 26 |
| 1.3 Постановка задачі дослідження.....                                                                | 33 |
| РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА .....                                           | 34 |
| 2.1 Вибір електродвигуна для вертикального руху .....                                                 | 34 |
| 2.2 Вибір типу керування .....                                                                        | 38 |
| 2.3 Вибір комплектного електроприводу .....                                                           | 39 |
| 2.4 Опис обраної системи керування .....                                                              | 43 |
| 2.5 Особливості реалізації оптимальних цифрових регуляторів .....                                     | 46 |
| РОЗДІЛ 3 ТИПОВІ ДИНАМІЧНІ МОДЕЛІ ІМПУЛЬСНИХ СИСТЕМ .....                                              | 50 |
| 3.1 Застосування цифрових методів обробки інформації .....                                            | 50 |
| 3.2 Аналіз типових динамічних моделей .....                                                           | 53 |
| 3.3 Опис обраного методу синтезу .....                                                                | 61 |
| 3.4 Синтез регулятора методом бажаних ЛАХ .....                                                       | 63 |
| 3.5 Моделювання системи у середовищі Simulink.....                                                    | 68 |
| РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА З ІМПУЛЬСНИМ РЕГУЛЯТОРОМ .....                                  | 70 |
| 4.1 Побудова моделі електропривода в програмному середовищі Simulink .....                            | 70 |
| 4.2. Аналіз перехідних процесів моделі .....                                                          | 71 |
| 4.3 Аналіз впливу періоду повторення на стійкість системи.....                                        | 72 |
| РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....                                                                           | 76 |
| 5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих чинників діючих на людину .....                                   | 77 |
| 5.2 Розрахунок загального освітлення суднового приміщення .....                                       | 85 |
| 5.3 Заходи з техніки безпеки .....                                                                    | 87 |
| РОЗДІЛ 6 ПРАВИЛА ЗАПОБІГАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ШКІДЛИВИМИ РІДКИМИ РЕЧОВИНАМИ, ЩО ПЕРЕВОЗЯТЬСЯ НАЛИВОМ ..... | 95 |

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1 Правило 7 приймальні споруди і пристрої для вивантаження вантажу біля причалів ..... | 95  |
| 6.2 Правило 8 заходи контролю .....                                                      | 96  |
| ВИСНОВКИ.....                                                                            | 105 |
| ЛІТЕРАТУРА.....                                                                          | 106 |

## ВСТУП

**Актуальність проблеми.** В останній час дуже актуальна проблема запобігання піратству та боротьби з ним. І в цьому може допомогти широке застосування на суднах телевізійних камер відеоспостереження, що можуть бути встановлені у самих небезпечних і непролазних місцях.

Розвиток мікроелектроніки і її широке застосування в приладах і системах автоматичного керування є в даний час одним з основних напрямків науково-технічного прогресу.

Поява і швидке вдосконалення мікропроцесорних засобів привело до широкого їх використання в різних областях народного господарства. Функціональна гнучкість, висока надійність, малі габарити і вартість мікропроцесорних засобів обумовили доцільність їх застосування в системах автоматичного керування.

Розвиток засобів обчислювальної техніки послужив основою широкого поширення дискретних систем автоматичного керування. Так як більшість об'єктів керування є аналоговими і описуються неперервними математичними моделями, то зазвичай використовують цифровий регулятор, якій надає системі необхідні динамічні властивості. Цифровий регулятор, зокрема імпульсний, як правило, не тільки замінює декілька аналогових регуляторів, але і покращує показники якості системи.

**Мета і завдання дослідження.** На основі існуючих теоретичних досліджень провести аналіз та синтез електропривода суднової камери відеоспостереження з імпульсним регулятором.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Скласти математичну модель імпульсного регулятора в системі автоматичного керування.
2. Провести теоретичні дослідження, щодо поведінки електропривода з різними періодами квантування імпульсного регулятора.
3. Довести доцільність використання імпульсного регулятора.

**Об'єкт дослідження** — фізичні явища, які відбуваються в цифровому та

імпульсному електроприводі з імпульсним регулятором та вплив цифрового та імпульсного регулятора на ступінь стійкості системи керування електроприводом.

**Предмет дослідження** — показники якості, що забезпечують швидкодію та плавність протікання перехідних процесів.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

1. Отримані залежності, що дозволяють моделювати різні типи імпульсних регуляторів.
2. Виявлені закономірності зміни частотних характеристик електроприводу, які відрізняються від відомих більшим запасом стійкості.
3. Подальший розвиток отримав алгоритм синтезу регуляторів в дискретних системах керування.

**Практичне значення одержаних результатів.**

1. Методика синтезу імпульсних регуляторів.
2. Структурна схема комплектного електроприводу з імпульсним регулятором.
3. Схеми моделювання перехідних процесів у електроприводі з імпульсним регулятором.

Випробувана методологія і схеми моделювання дозволяють підвищити швидкодію електропривода.

**Апробація результатів роботи.** Основні результати магістерської роботи доповідалися та обговорювалися на XV Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», у доповіді «Модернізація електропривода промислового робота» (м. Миколаїв, 2024 р.).

**Структура та обсяг магістерської роботи.** Магістерська робота складається з вступу, 6 розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Робота викладена на 108 сторінках і містить 3 таблиці та 47 рисунків.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1.1 Загальний огляд систем телевізійного спостереження

Як відомо, у загальному випадку будь-яка система безпеки повинна забезпечувати підтримку безпечного стану об'єкта, запобігання, виявлення та ліквідацію загроз життю, здоров'ю, майну, інформації та ресурсам [1-11]. У цьому переліку найважливіший елемент – виявлення загроз об'єкту, наскільки можна, на ранній стадії до завдання істотного збитку. Без виявлення неможливе вирішення решти перелічених вище завдань системи безпеки. Злочинці можуть готуватися до скоєння злочину, не проникаючи на територію чи приміщення, а лише спостерігаючи з боку або вивчаючи об'єкт під виглядом відвідувачів без виконання несанкціонованих дій. Виявити вчасно такі дії означає запобігти злочину. Телевізійна система спостереження (ТВСС) може дозволити на початковому етапі виявити такі дії, отже, запобігти злочину. ТВСС дозволяє виявити злочин, а отже, дати можливість своєчасно зупинити його. Дуже корисною можливо і можливість контролювати те, що відбувається на об'єкті в процесі скоєння злочину. Зазвичай важливий і наступний етап, аналіз того, що сталося після скоєння злочину та використання даних ТВСС для слідства та доказової бази.

Таким чином, ТВСС може бути ефективною на всіх етапах запобігання, виявлення та протидії несанкціонованим діям на об'єкті або поблизу нього та вирішувати всі вищезазначені основні завдання системи безпеки. Це повною мірою стосується не тільки охоронного телебачення, яке визначає стандарт [9], але й інших ТВ-систем спостереження, що вирішує різноманітні прикладні завдання.

Телевізійні системи спостереження виникли у другій половині XX століття, та його еволюція відбувалася під впливом двох основних чинників. З одного боку, це безперервний розвиток техніки та технології, що дозволяє реалізовувати нові функції та покращувати характеристики існуючих систем. З іншого боку, це вимоги ринку в

умовах конкурентного середовища, які значною мірою формуються установниками та споживачами систем безпеки. Одним із результатів такої еволюції можна вважати сучасні цифрові системи ТВ-спостереження.

Можна відзначити такі основні вимоги до сучасних систем телевізійного спостереження:

- отримання зображення високої якості;
- можливість використовувати високошвидкісні захищені канали передачі відео;
- збільшення тривалості та якості запису відео-зображення та пов'язаної з ним інформації на існуючі носії;
- забезпечення високого рівня безпеки самої ТВ-системи для запобігання несанкціонованому доступу до інформації при збереженні зручності роботи з системою уповноваженими користувачами;
- можливість дистанційного доступу до відеозображення та пов'язаної з ним інформації з використанням різних каналів зв'язку;
- можливість автоматичного інтелектуального аналізу відеозображення для виявлення нештатних ситуацій або розв'язання інших завдань, пов'язаних із спостереженням;
- можливість гнучкого масштабування системи, починаючи від однієї камери та закінчуючи сотнями та тисячами телекамер, розташованих на територіально-рознесених об'єктах;
- можливості з інтеграції ТВСС з іншими підсистемами забезпечення безпеки;
- зниження витрат на встановлення та експлуатацію системи та багато інших.

З функціональної точки зору ТВСС призначена для дистанційного спостереження за контрольованим об'єктом, а також збору, обробки та зберігання відеоінформації з можливістю її подальшого перегляду та аналізу.

Сформулюємо основні завдання, які у випадку може вирішувати ТВСС.

Головне завдання телевізійної системи – це дистанційне формування відеозображення контрольованих зон, додатне для подальшої передачі, обробки та аналізу.

Як результат, це дає можливість на основі аналізу цього відеозображення оператором у ручному, автоматизованому або автоматичному режимах вирішувати такі основні завдання.

- Контроль та оцінка поточної ситуації у місцях спостереження (наприклад, у комірках судна).
- Контроль та оцінка поточної ситуації у місцях, недоступних чи небезпечних для присутності людини (скажімо, у реакторному залі атомохода).
- Аналіз ситуації, яка мала місце у минулому (записаної на певному носії інформації).
- Охорона об'єкта (виявлення злочинних кримінальних дій).
- Виявлення позаштатних ситуацій, що вимагають прийняття певних дій для їх вирішення (наприклад, руху судна через важко прохідні місця).
- Виявлення несанкціонованих дій.
- Виявлення потенційно небезпечних дій та ситуацій, які можуть призвести до втрат.
- Виявлення небезпечних ситуацій (наприклад, загоряння або відмови систем життєзабезпечення суден), що вимагають вживання невідкладних заходів.
- Ідентифікація об'єктів (наприклад, особистості людей, що входять на судно або виходить).
- Розпізнавання різних об'єктів та дій.
- Оцінка ступеня загрози у разі виникнення нештатних або небезпечних ситуацій для вживання адекватних заходів.
- Здійснення візуальної перевірки правильності спрацьовування інших підсистем інтегрованої системи безпеки (зокрема, систем охоронної та пожежної сигналізації).
- Архівування відеоінформації про стан зон, що контролюються (запис відеосигналу на певний носій), у тому числі із забезпеченням юридичної законності використання цих архівних даних.
- Автоматизація процесів аналізу відеозображень та прийняття рішень у деяких ситуаціях, що потребують негайної реакції для запобігання суттєвим або

неприйнятним збиткам.

І багатьох інших, тобто практично будь-яких завдань забезпечення безпеки. Частина може вирішуватися в ручному чи автоматизованому режимах оператором, частина – в автоматичному програмно-апаратними засобами ТВСС.

З точки зору умов застосування сучасні засоби ТВСС дозволяють візуально контролювати об'єкт у різних умовах: за різного рівня освітленості об'єкта, у тому числі у повній темряві (для зору людини); на різній відстані; потай; автоматично виявляти переміщення на об'єкті, що захищається, та багато іншого.

Телевізійна система спостереження може використовуватися автономно або як одна з підсистем комплексної системи безпеки об'єктів. У поєднанні з системами охоронно-пожежної сигналізації, контролю та керування доступом, ТВ-системи дозволяють значно підвищити ефективність усієї системи безпеки об'єкта в цілому. Наприклад, один оператор може спостерігати за станом кількох зон одночасно і тим самим зменшити можливу шкоду від наслідків реалізації загроз. Все це забезпечує такі важливі переваги ТВСС, як більш точна оцінка ситуації, що виникла на об'єкті, більш ефективне використання сил служб безпеки, зменшення часу реакції на позаштатну ситуацію та забезпечення якнайшвидшого вживання адекватних заходів захисту від виниклих загроз. Завдяки використанню ТВСС спільно з системою охоронної сигналізації (наприклад, автоматичне відображення та запис сигналів камер по сигналах від системи охоронної сигналізації), можна отримувати добре помітні зображення злочинців, що значно полегшує їх виявлення та ідентифікацію.

Як важливу особливість відзначимо, що всі згадані можливості в основному базуються на високій інформативності сигналу про стан контрольованих зон (тобто відеосигналу та відеозображення), що, як наслідок, дозволяє використовувати різноманітні та ефективні алгоритми обробки відеосигналів та аналізу відеозображень.

На крупних суднах число камер може складати декілька десятків. Для підвищення ефективності роботи оператора використовують матричні комутатори або електроприводи руху телекамери. Ці електроприводи працюють на кшталт лапи робота маніпулятора та дозволяють охопити більший простір без збільшення камер

телевізійного спостереження. Вони дозволяють створити гнучку і нарощувану систему безпеки, в яку можуть входити не тільки компоненти телевізійних систем, але і системи сигналізації і контролю доступу.

Найважливіший етап побудови телевізійної системи спостереження полягає у розробці структури системи, що визначає склад та взаємозв'язок її елементів, насамперед телевізійних камер, відеореєстраторів, моніторів та інших пристроїв. Будемо розуміти під структурним синтезом розробку структурної схеми системи ТВ-спостереження. Ця розробка може вестись на основі сформульованих у технічному завданні вимог до системи та її параметрів і таких основних результатів попередніх етапів проектування, як вибір:

- кількості телекамер;
- режимів відображення відеоінформації;
- кількість постів спостереження;
- способи відображення відеосигналів від різних камер (кількість моніторів, режими мультіекранного відображення тощо);
- режимів зберігання відеоінформації;
- способів реагування на позаштатні ситуації;

Можуть і повинні враховуватися інші вимоги та обмеження.

Таким чином, на цьому етапі синтезується структурна схема системи, що визначає її кількісний та функціональний склад та взаємозв'язок між різними елементами.

Крім того, місця розташування телекамер та постів спостереження визначають відстані між елементами системи. З урахуванням необхідного взаємозв'язку між різними елементами ТВСС це, у свою чергу, дозволяє вибрати тип каналів передачі відеосигналів і сигналів телеметрії (за наявності керованих пристроїв).

Розглянемо найбільш типові за своїм складом системи ТВ-спостереження, які можуть використовуватися для контролю стану об'єкта та його охорони.

Найпростіша система з однієї телекамери та одного монітора (рис. 1.1) може використовуватися для контролю стану однієї зони, наприклад, для спостереження за відвідувачами або гостями, що приходять до офісу або будинку. У поєднанні з добре всім відомим переговорним пристроєм (домофоном) можна не лише розмовляти з квартири або будинку з відвідувачем, що стоять біля входу, а й бачити його.

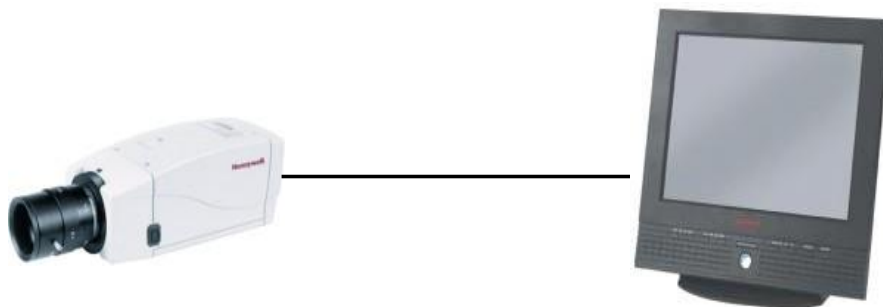


Рисунок 1.1– Найпростіша система телеспостереження

Додаючи до ліній передачі відеосигналу та звуку канал управління електромеханічним замком або іншим пристроєм. Як один з варіантів такої системи можна навести приклад відеодомофону, що поєднує функції простої ТВ-системи з контролем і управлінням доступом.

Можливості ТВ-систем, як простих, так і складніших, можуть бути суттєво підвищені при використанні пристроїв, що дозволяють дистанційно змінювати положення камери у горизонтальній та вертикальній площинах, а також регулювати фокусну відстань об'єктива (тобто збільшувати або зменшувати зображення) та фокусувати зображення.

Структурна схема такої системи у загальному випадку складається з наступних елементів:

- телевізійної камери, оснащеної об'єктивом зі змінною фокусною відстанню;
- поворотного пристрою для зміни положення телекамери (поворот у горизонтальній площині та зміна нахилу у вертикальній);
- пульта керування положенням камери та об'єктивом (за допомогою клавіш або джойстика);
- пристрої приймання та передачі телеметричної інформації (можуть бути вбудовані в поворотний пристрій та клавіатуру);
- телевізійний монітор.

Останнім часом широкого поширення набули швидкісні купольні телекамери, які включають всі елементи керування положенням телекамери та параметрами об'єктива та прийому/передачі телеметричної інформації, конструктивно поєднані в одному корпусі. І тут структурна схема виглядає так (рис. 1.2).

Управління такою телевізійною камерою може здійснюватися не лише з клавіатури, але й з екрана монітора за допомогою екранного (віртуального) пульта керування (рис. 1.3). Подібні функції управління мають деякі відеореєстратори. У цьому випадку можна відмовитись від клавіатури та використовувати екранну імітацію останньої.

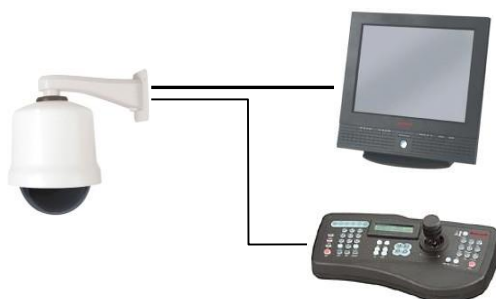


Рисунок 1.2–Система зі швидкісною керованою купольною телекамерою



Рисунок 1.3– Екранний пульт управління швидкісною купольною телекамерою

Системи телевізійного спостереження розглянутого вище типу дозволяють оператору візуально контролювати стан лише однієї зони, фіксованої для системи, зображеної на рис. 1.1, або керованої за положенням та розмірами для системи, представленої на рис. 1.2.

При необхідності контролювати стан кількох зон на об'єкті, що охороняється,

встановлюється відповідним чином кількість телекамер. Для спостереження зображення, що отримується від цих камер, можна використовувати відповідну кількість моніторів, тобто багаторазово дублювати структуру на рис. 1.1. Однак очевидно, що це, по-перше, збільшує вартість системи спостереження і, по-друге, ускладнює умови роботи оператора, оскільки потрібно одночасно стежити за зображеннями на кількох моніторах, що призводить до більш швидкої стомлюваності та (або) необхідності працювати декільком операторам одночасно. Щоб уникнути цього, можна скористатися системою, структурна схема якої показана на рис. 1.4.

У цій схемі використовується послідовний комутатор (перемикач) відеосигналів від кількох телекамер. При цьому на екран одного монітора послідовно в часі виводиться зображення від різних телевізійних камер.



Рисунок 1.4—ТВСС з послідовним перемикачем

Відеосигнал від кожної з телекамер відображається на екрані протягом певного проміжку часу. У простіших пристроях цей проміжок однаковий для всіх телекамер, у більш досконалих часовий інтервал і порядок виведення програмується для кожної камери індивідуально.

Крім того, у системі з послідовним комутатором важливо забезпечити хорошу синхронізацію відеосигналів від різних телекамер. Інакше при перемиканні сигналів відбуватиметься посмикування відео на екрані монітора. Це негативно позначається

на роботі оператора – призводить до швидшої стомлюваності зору. Основним недоліком такого способу відображення є те, що під час перегляду однієї зони (тобто зображення, сформованого однією телекамерою) всі інші не контролюються. Це може призвести до втрати інформації, наприклад, до пропуску пригоди. Тому застосування таких структур зазвичай обмежується невеликою кількістю телекамер, як правило, не більше, ніж чотири.

Частковим вирішенням цієї проблеми може бути використання двох моніторів. Один – основний, що працює в режимі автоматичного послідовного перемикавання, а другий – черговий чи тривожний. Він або включається на вивод зображення деякої зони автоматично під час реєстрації руху в ній, або управляється оператором вручну.

Інші способи підвищення ефективності роботи такої відеосистеми ґрунтуються на введенні пріоритетності для певної зони або зон. Ця пріоритетність може полягати або у збільшенні тривалості відображення пріоритетної зони, або у більш частому, порівняно з іншими зонами, виведенні її на екран.

Ці два способи дозволяють зменшити непроглядну паузу для пріоритетної зони. Щоправда, з допомогою скорочення часу спостереження інших зон і збільшення періоду перегляду. Звичайно, ці методи можуть використовуватися і разом.

До основних характеристик послідовних комутаторів можна віднести наведені нижче.

- Кількість входів телекамер. Визначає максимальну кількість камер, що підключаються; зазвичай це 2 або 4, рідше – 8, оскільки в цьому випадку суттєво зростає період  $T_{пр}$  повторення послідовності перегляду.
- Кількість виходів на монітори. Визначає можливість використання кількох моніторів, наприклад основного та тривожного.
- Способи перемикавання сигналів телевізійні камери. Зазвичай більшість комутаторів мають можливість працювати в режимі автоматичного перемикавання, а при необхідності можна вручну вибирати (виводити на екран) зображення цікавої зони. Додатковий вихід може бути використаний для підключення пристрою відеореєстрації (хоча запис з використанням послідовного комутатора малоефективний).

- Межі регулювання тривалості виведення на екран зображення телекамер.
- Можливість індивідуального програмування тривалості виведення на екран зображення від кожної камери.
- Можливість індивідуального програмування послідовності виведення на екран зображення від кожної камери.
- Наявність тривожних входів. Тривожні входи дозволяють керувати порядком виведення зображень. Наприклад, спрацювання сповіщувача або відеовиявника руху (що зареєстрували рух) автоматично виводить на екран монітора зображення від відповідної телекамери. Як додатковий параметр може враховуватися спосіб керування тривожними входами (наприклад, нормально замкнуті або нормально розімкнені контакти).
- Можливість виведення на екран титрів, що містять різну службову інформацію (номер або назва телекамери, подія та ін.).
- Можливість програмування (зазвичай у вигляді екранного меню).

Для керування режимом відображення на передній панелі послідовного комутатора зазвичай є кнопки ввімкнення режиму послідовного виведення та індивідуальні кнопки виведення зображень від кожної камери. Конструктивно комутатор може бути виконаний у вигляді окремого блоку або бути вбудованим у монітор.

Як зазначалося, у розглянутій вище системі є істотний недолік, пов'язаний із використанням послідовного комутатора. У кожний момент часу на екран монітора відображається відео лише однієї зони об'єкта. Інші зони об'єкта в цей інтервал часу оператором не контролюються. Залежно від кількості каналів послідовного перемикача та тривалості виведення на екран зображення однієї зони, цей інтервал часу може бути досить великим. Отже, виникає ризик пропуску події, на яку має реагувати система ТВ-спостереження.

Згадана проблема вирішується з використанням пристроїв мультиекранного відображення, найпростішим з яких є квадратор (рис. 1.5). При цьому оператор може бачити на екрані одного монітора зображення всіх чотирьох зон контрольованого об'єкта одночасно.

Недолік такого рішення – зменшення розмірів зображення, яке займатиме четверту частину екрана і, як наслідок, матиме нижчу роздільну здатність зображення (рис. 1.6).

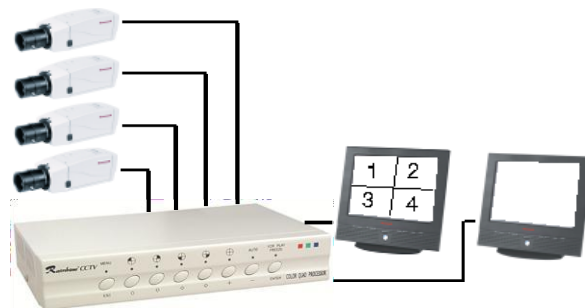


Рисунок 1.5– ТВСС із квадратором

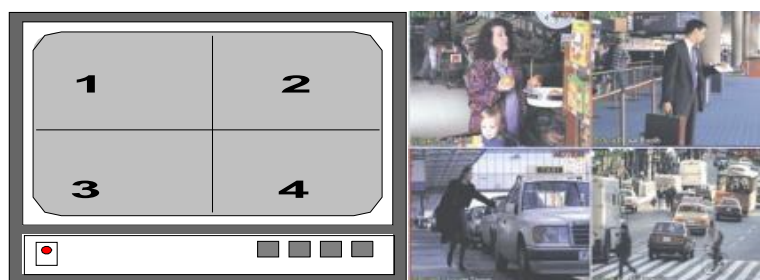
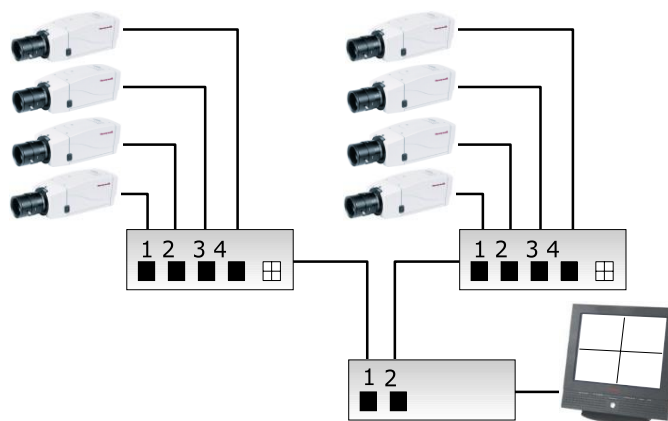


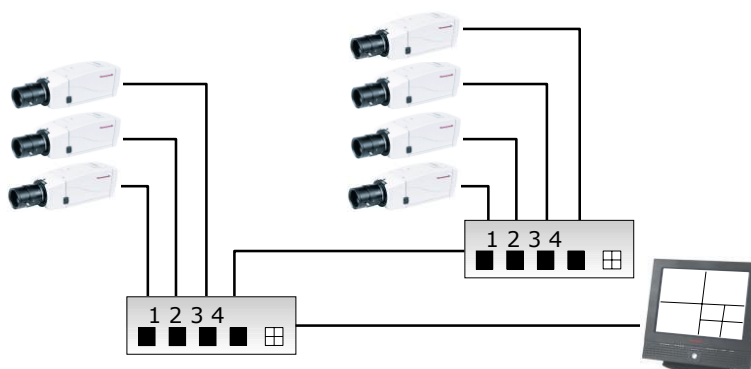
Рисунок 1.6– Відображення у режимі квадатора

Зрозуміло, що така структура застосовна також для невеликих систем. Збільшення кількості телекамер у подібних системах може бути досягнуто різними способами. Наприклад, суміщенням послідовного перемикача на 2 входи та двох та квадраторів (рис. 1.7, а). У цьому випадку система дозволяє комутувати послідовно у часі зображення групами по чотири. Однак при цьому знову виникає така сама проблема, пов'язана з особливостями використання послідовних комутаторів.

Подібна структура може бути корисною при розширенні вже існуючої системи, наприклад, при додаванні до системи за схемою на рис. 1.5 додаткових чотирьох телекамер. Цей варіант, хоч і є простим і дешевим, не надто ефективний.



а)



б)

Рисунок 3.7–Комбіновані структури з квадраторами та послідовним перемикачем

Можуть використовуватися інші варіанти, наприклад, комбінація квадраторів у системі, зображеної на рис. 1.7 б. В останньому випадку важливо правильно вибрати пріоритети при підключенні телекамер до різних квадраторів, оскільки зображення від телекамер, підключених до другого квадратору, будуть удвічі меншими за лінійними розмірами і, отже, матимуть вчетверо меншу кількість елементів дозволу. Тому у схемах з квадраторами бажано використовувати монітор з великою роздільною здатністю екрана. Основний недолік квадратора – зменшення дозволу спостережуваного зображення – може бути компенсовано підключенням другого монітора (за наявності у квадратора додаткового виходу на монітор), так званого чергового або тривожного (рис. 1.8), що працює в режимі повноекранного відображення якого- або зони, обраної оператором.

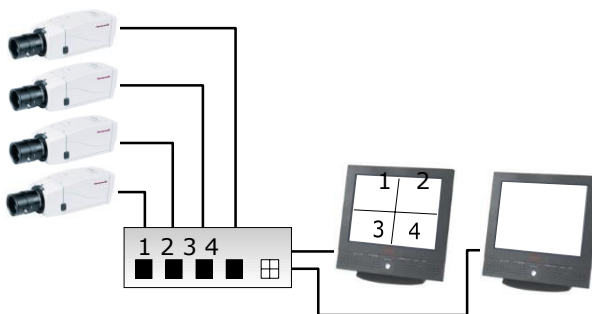


Рисунок 1.8– Система з черговим монітором

На екрані цього монітора можна, перемикаючи вручну, переглядати детальніше зображення зони, що зацікавила оператора. Цей процес можна автоматизувати. Управління автоматичним виведенням зображення такої зони може здійснюватись, наприклад, від сповіщувачів систем охоронної сигналізації. Вивод зображення на тривожний монітор може бути активізований, наприклад, магнітоконтактним датчиком, що розмикається при відчиненні дверей, або пасивним інфрачервоним сповіщувачем, який зареєстрував рух у приміщенні. Для цього квадратор повинен мати тривожні входи (рис. 1.9). При реєстрації руху сповіщувачем на екран монітора тривожного автоматично виводиться зображення зони, у якій було зареєстровано рух. Таким чином, може вирішуватись завдання візуальної перевірки тривоги системи охоронної сигналізації.

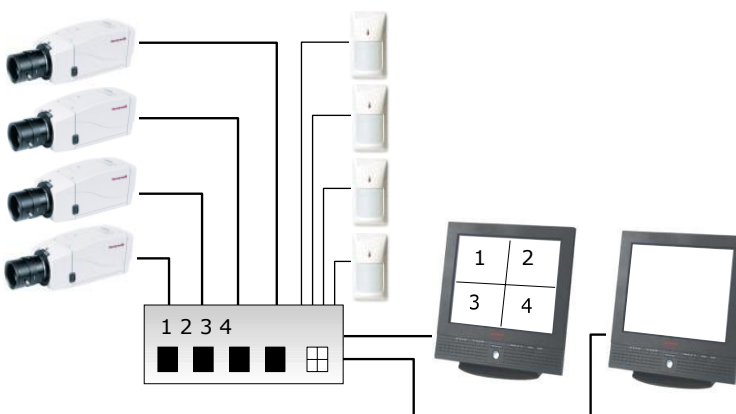


Рисунок 1.9– ТВСС з тривожними входами

Аналогічні структури можуть використовуватися і післяним комутатором.

Практично структура на рис. 1.9 дозволяє частково автоматизувати процес обробки відеоінформації, автоматично пропонуючи оператору зображення подій, які можуть вимагати його реакції.

Розглянуті вище структури застосовуються до порівняно простих систем з невеликою кількістю телекамер.

Більш широкі можливості з точки зору кількості зон і способів цього відображення, що відображаються на одному екрані, мають пристрої, що дозволяють реалізувати більш складні варіанти мультиекранного відображення. Приклади структур такого відображення на екрані та реальних зображень наведено на рис. 1.10.

Зокрема, такі функції мають відеореєстратори та мультиплексори. Для останніх розв'язання задачі мультиекранного відображення є лише однією з основних функцій.



Рисунок 1.10– Варіант мультиекранного відображення

Система, зображена на рис. 1.11 дозволяє спостерігати на екрані одного монітора до 16 зображень контрольованих зон одночасно. Черговий монітор (за його наявності) дає можливість з більшою роздільною здатністю проглядати окрему зону,

яку вибирають вручну або автоматично при спрацюванні тривожних пристроїв.

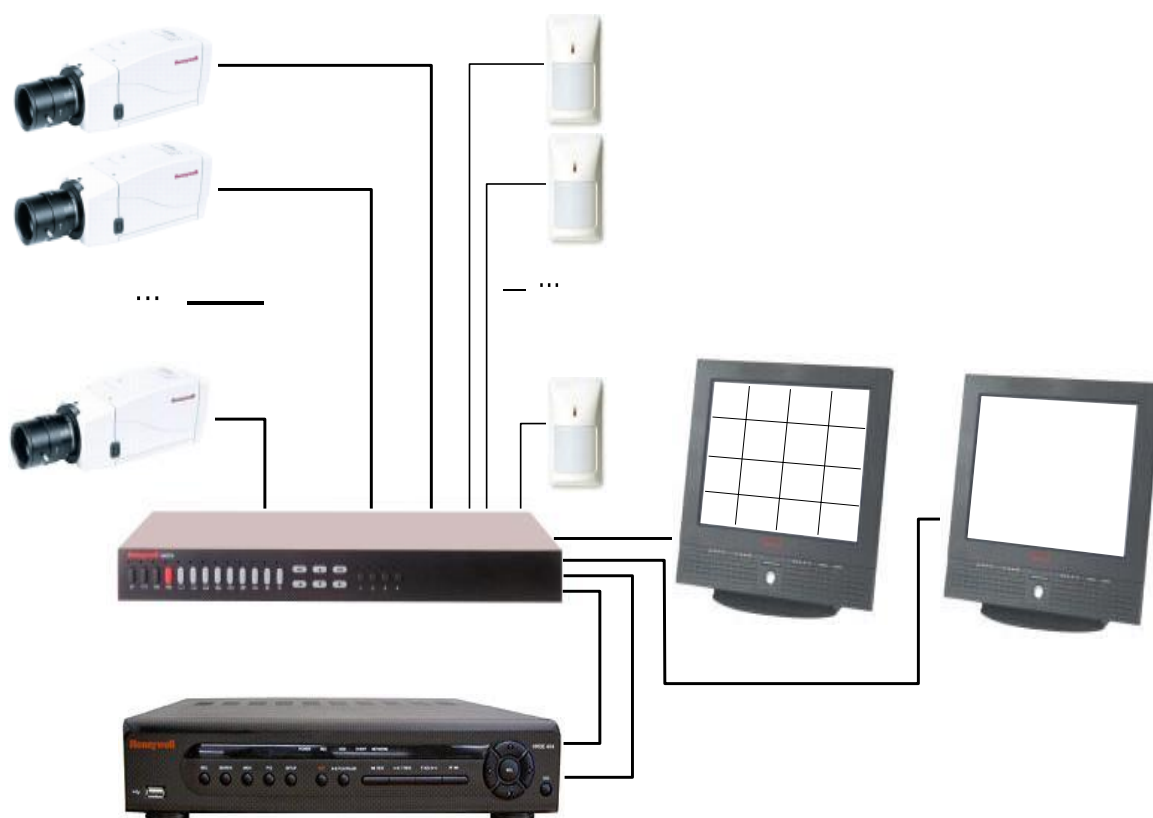


Рисунок 1.11– ТВСС з мультиекранним відображенням та одноканальним відеореєстратором

За необхідності реєструвати відеозображення різних зон контрольованого об'єкта системи розглянутих вище типів можуть комплектуватися відеореєстраторами.

На основному моніторі відображаються сигнали від кількох телекамер (мультиекранне зображення при використанні дуплексного мультиплексора та послідовне перемикання для симплексного мультиплексора). На одноканальному відеореєстраторі (див. рис. 1.11) ведеться покадровий запис зображень від кількох телекамер з тимчасовими паузами між кадрами кожної з телекамер. При надходженні сигналу з тривожних входів або під час реєстрації руху відеообладначем (якщо такий вбудований у мультиплексор або використовується додатково в системі) мультиплексор переводить відеореєстратор у режим прискореного запису зображення

з відповідної камери. Це необхідно для того, щоб забезпечити відеозапис, що відбувається на об'єкті в режимі, близькому до реального часу.

Але ефективніше це завдання вирішується з використанням багатоканальних цифрових відео реєстраторів (ЦВР). Враховуючи можливості сучасних ЦВР, зокрема з мультіекранного відображення, можна спростити структуру на рис. 1.12. При цьому замість мультиплексора та одноканального відеореєстратора використовується один багатоканальний ЦВР, що має функції мультіекранного відображення.

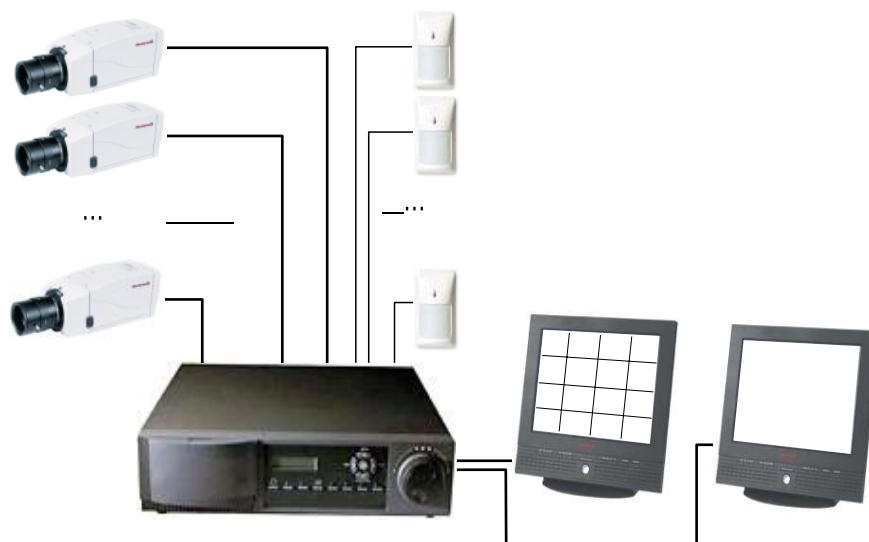


Рисунок 1.12– ТВСС із цифровим багатоканальним відео реєстратором

Схема спрощується, але при цьому можуть губитися деякі можливості системи одночасного спостереження відео-зображень в реальному часі і перегляду відеозаписів. Наприклад, може виявитися, що оператор не зможе спостерігати стан об'єкта в той час, коли начальник служби безпеки переглядає відеоархів. Можливість одночасних цих дій залежатиме від кількості виходів ЦВР для моніторів та його функцій щодо відображення відеосигналів, які можуть бути обмежені у порівняно простих та дешевих модифікаціях.

Більш повно згадані функції будуть доступні у системі зі структурою,

наведеною на рис. 1.13. Тут використано наскрізні виходи мультиплексора. Зазвичай подібні пристрої, як і багатоканальні відеореєстратори, мають пари входів-виходів (рис. 1.14), що дозволяють реалізувати схему на рис. 1.13.

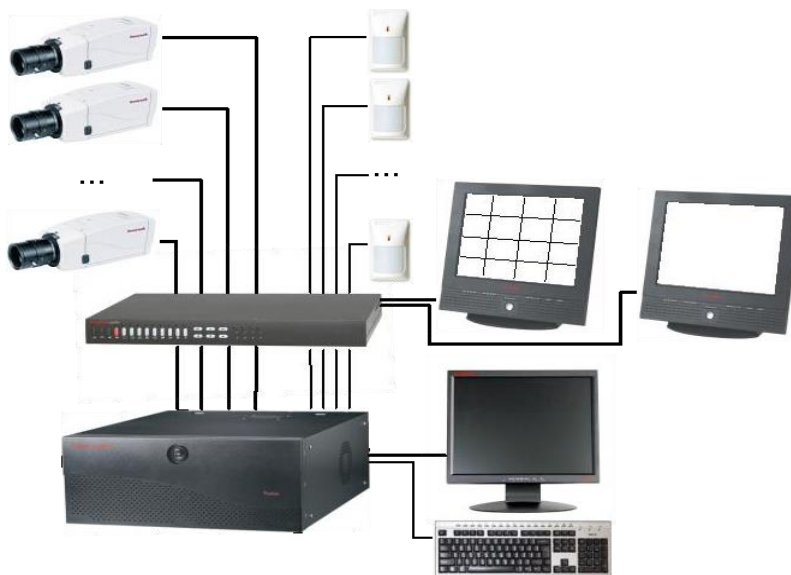


Рисунок 1.13—ТВСС із цифровим багатоканальним відеореєстратором та розширеними можливостями



Рисунок 1.14— Задня панель відеореєстратора

Це дозволяє підключати до виходу однієї телекамери послідовно кілька пристроїв обробки. За такої схеми включення можна практично незалежно одночасно працювати черговому оператору системи з поточного контролю ситуації та, наприклад, начальнику служби безпеки з перегляду відеозаписів.

Системи на рис. 1.1–1.13 дозволяють здійснювати контроль за станом об'єкта з одного пункту спостереження. При необхідності мати кілька пунктів спостереження

та водночас мати можливість незалежно відображати на екрани моніторів різних пунктів сигнал від тієї чи іншої телекамери можуть використовуватись матричні перемикачі (рис. 1.15). У такій системі кілька користувачів однієї телевізійної системи можуть незалежно один від одного проглядати зображення від окремих телекамер. Тобто кожен користувач практично повною мірою може використовувати можливості або всієї ТВСС, або її частини, залежно від рівня його доступу.



Рисунок 1.15– ТВСС з кількома постами охорони

Можливості такої системи можуть бути суттєво розширені введенням у неї відеомультіплексорів та цифрових відеореєстраторів (рис. 1.16). У цьому випадку основний пункт спостереження (наприклад, пост охорони) має можливість мультіекранного відображення на основному моніторі, перегляду окремих зон на черговому моніторі та реєстрації зображень контрольованого об'єкта. З інших пунктів спостереження можна вести перегляд різних зон об'єкта (це можуть робити,

наприклад, начальник служби безпеки, директор та ін.).

За наявності керованих телекамер ця система має бути доповнена відповідними пристроями керування та лініями передачі телеметричної інформації (команд керування положенням телекамер та параметрів об'єктивів). Але при цьому треба буде встановити пріоритети (рівні доступу) різних операторів, щоб уникнути конфліктів при спробі керування однією і тією самою поворотною телекамерою різними користувачами.



Рисунок 1.16 – ТВСС з кількома постами охорони з розширеними  
МОЖЛИВОСТЯМИ

## 1.2 Алгоритм функціонування камери телеспостереження

Нехай існуюча загроза – крадіжка вантажу з судна. Її безпосередній прояв з точки зору системи ТВ-спостереження полягає в тому, що певний суб'єкт повинен проникнути до судна і взяти щось з нього. Характеристики та параметри, які має аналізувати система відеоаналізу, – це переміщення суб'єкта до судна, тобто у певну

область контрольованої зони, видалення предмета з судна (який до цього був нерухомий) та рух цього предмета разом із суб'єктом від судна (з певної області зони, що контролюється).

Таким чином, системі відеоаналізу необхідно:

- фіксувати рухи суб'єктів у зоні судна;
- виявляти їх переміщення у певну область судна;
- виявляти початок руху предметів на судні, які раніше були нерухомими елементами фону;
- фіксувати спільний рух предмета та суб'єкта з певної області судна.

Однак така послідовність дій ще не свідчить про крадіжку, оскільки це можуть бути й санкціоновані дії. Тобто необхідні певні наступні чи попередні дії прийняття остаточного рішення. Наприклад, перевірка відповідальними особами правомочності цих дій. Прикладом попередніх дій може бути попереднє оформлення вилучення вантажу зі складу із введенням дозволу на вилучення відповідного товару до системи обліку; розблокування системою контролю доступу дверей на склад; фіксація вилученого товару зчитувачем штрихового коду з автоматичним введенням у систему обліку та підтвердженням цією системою правомочності доступу на склад. Наведений приклад свідчить також, що ефективність вирішення багатьох завдань відеоаналізу істотно підвищується при взаємодії з іншими підсистемами безпеки, насамперед такими, як підсистема контролю доступу та охоронної та пожежної сигналізації.

Інший приклад – виявлення залишених предметів. І тут загроза – це залишення предмета якимось суб'єктом. Вона проявляється в тому, що від об'єкта, що рухається, відокремлюється частина і залишається нерухомою, а сам суб'єкт продовжує рух. Ознаки – поділ об'єкта, що рухається, на частини, одна з яких продовжує рух, а друга залишається нерухомою. Таким чином, у завданнях відеоаналізу дуже важливо виділити особливості, властиві тільки цікавій, можливо, потенційно небезпечній дії,

які дозволять розробити або вибрати алгоритм автоматичного відеоаналізу. Зазначимо ще один важливий момент. Для ефективної роботи алгоритмів відеоаналізу необхідно дотримуватись певних вимог до параметрів аналізованого зображення. Зокрема до розміру об'єктів, що аналізуються, зазвичай вираженому в мінімальному значенні або щодо розмірів екрану, або в кількості пікселів. Перший критерій прив'язаний до стандарту, наприклад PAL, або, точніше, співвідношення загальної кількості елементів зображення (пікселів) і кількості пікселів у зображенні аналізованого об'єкта по горизонталі і вертикалі. У другому випадку критерій практично інваріантний щодо кількості пікселів по горизонталі та вертикалі.

Аналізоване відеозображення умовно можна поділити на дві основні складові:

- фон або задній план, що є зазвичай нерухомим, статичним або квазістатичним;
- об'єкт, або передній план, який є динамічним.

На практиці фон неминуче зазнає певних змін у часі. Особливо це стосується спостереження за об'єктами поза приміщеннями. Наприклад, внаслідок зміни освітленості протягом доби або при різному характері хмарності. Але й у приміщеннях матимуть місце, наприклад, переміщення тіні від об'єкта. Тому фон, або задній план, загальному випадку є квазістатичним, що мало або повільно змінюється.

Розглянемо основні етапи аналізу телевізійних зображень (рис. 1.17).

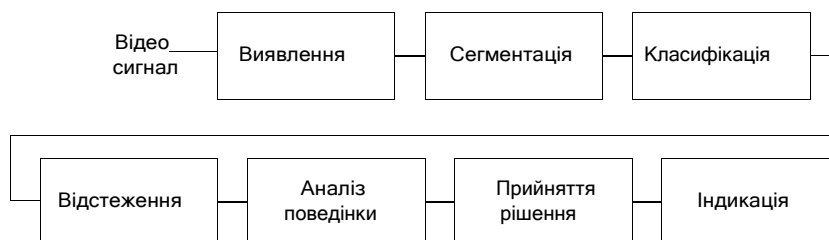


Рисунок 1.17– Узагальнений алгоритм аналізу відеозображення

### **Виявлення**

Перший етап – це виявлення об'єкта, що рухається, або інше часто

використовується назва цього етапу, виділення переднього плану. По суті це відповідає виявленню об'єкта, що рухається, на статичному тлі. Для більш ефективного вирішення цього завдання необхідні апріорні (попередні) дані як про об'єкт, так і про фон. Очевидно, що чим ці дані повніші, тим ефективніше вирішується завдання виявлення. А від ефективності виявлення залежатиме і ефективність вирішення задачі відеоаналізу загалом. Виявлення руху може виконуватись за допомогою різних алгоритмів. Деякі з них будуть розглянуті нижче. Таким чином, завданням цього етапу є виділення пікселів зображення, що належать передньому плану, тобто об'єкту, що рухається. Вхідними даними є послідовність кадрів телевізійного сигналу, а вихідними – набір пікселів із параметрами, що змінюються від кадру до кадру.

### Сегментація

На цьому етапі відбувається групування ділянок або фрагментів зображення, що належать тому самому об'єкту, в сегменти. У випадку ці фрагменти можуть бути розрізненими і в той же час належати одному об'єкту. При цьому для групування в один сегмент використовуються різні ознаки, такі як приналежність однієї компактної області зображення, рух усіх в одному напрямку, з однаковою швидкістю тощо. Використані ознаки залежать від виду самих об'єктів, їх параметрів та характеру руху, який вони можуть здійснювати. Надалі параметри самого сегмента

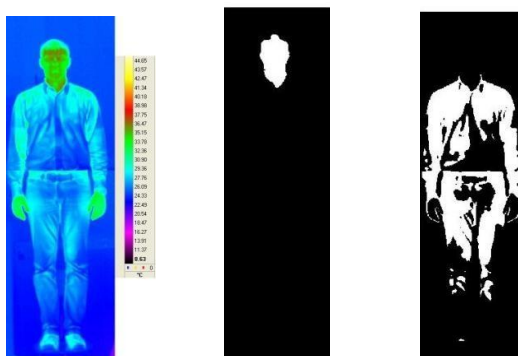


Рисунок 1.18– Результат сегментації термограми

зображення та параметри, що характеризують його рухи, використовуються для

аналізу. Тому цей етап також є досить важливим. Отже, завданням сегментації є виділення зв'язаних груп пікселів, що належать одному об'єкту, та об'єднання їх у сегменти. Як приклад, на рис. 1.18 показані результати сегментації термограми людини із виділенням областей тіла з певними температурами.

### **Класифікація**

Форма та параметри отриманого сегмента можуть використовуватись для вирішення задачі класифікації виявленого об'єкта, тобто віднесення виявленого об'єкта до того чи іншого класу об'єктів. Або, як згадувалося раніше, групової ідентифікації. Наприклад, що за об'єкт виявлено – людина чи автомашина. Так, у найпростішому випадку виділення як сегмента прямокутної області, в якій виявлено рух, співвідношення сторін прямокутника може бути ознакою прийняття рішення про те, людина це або машина. Звичайно, це має виконуватись з урахуванням ракурсу та відстані до об'єкта. Таким чином, на цьому етапі кожен сегмент відноситься до тієї чи іншої групи об'єктів.

### **Відстеження**

Виділення певного сегмента та оцінка параметрів його руху дозволяє виконати відстеження траєкторії руху та оцінку її параметрів – швидкості та напрямки. Це особливо складно і важливо за наявності кількох об'єктів, що рухаються в поле зору телекамери, коли траєкторії руху різних об'єктів можуть перетинатися, а самі зображення – перекриватися. А також у ситуаціях, коли зображення об'єкта, що рухається, може перекриватися якими-небудь статичними елементами фону. Тобто на деякий час зображення об'єкта зникає, а потім об'єкт знову з'являється у поле зору телекамери. Наприклад, коли людина проходить за автомашинами, деревами і т.п. У згаданих випадках система відеоаналізу повинна приймати рішення, чи є новий об'єкт новим, чи вже відстежувався системою.

### **Аналіз поведінки**

На основі даних про класифікацію об'єкта та оцінок параметрів його руху, а також відносного положення сегмента на екрані (що відповідає певною мірою

положенню об'єкта в контрольованій зоні) можна виконати аналіз «поведінки» об'єкта. Для цього проводиться порівняння отриманих параметрів руху та положення об'єкта з апіорною інформацією. Наприклад, про дозволені напрямки руху в певній частині контрольованої зони або про заборонені для руху частини цієї зони. Зазначимо, що за характером зміни розмірів зображення об'єкта, що відстежується, система відеоаналізу може оцінювати напрями переміщення. При видаленні або наближенні об'єкта розміри сегмента зменшуються або збільшуються відповідно. Якщо розміри не змінюються, об'єкт рухається на однаковій відстані від камери. Але треба врахувати, що розміри можуть змінюватись і за рахунок зміни курсу.

### **Прийняття рішення**

Як результат, на основі аналізу поведінки приймається рішення на користь того, яке з згаданих вище дій має місце. Насамперед, санкціоноване або загроза. І, відповідно, які дії щодо індикації (оповіщення персоналу) необхідно вжити для прийняття остаточного рішення про характер дій та реагування на цю дію.

### **Індикація**

На основі прийнятого рішення здійснюється індикація на відеозображенні зони, що відповідає сегменту, необхідна для візуалізації виявлених дій для привернення уваги персоналу та прийняття рішень операторами системи ТВ-спостереження. Візуальна індикація у разі подій може супроводжуватися (за потреби) і звуковою, що потребує обов'язкової реакції оператора. Деякі з розглянутих етапів відеоаналізу можуть бути відсутніми, наприклад класифікація виявлених об'єктів. Це залежить від можливостей використовуваного алгоритму та вимог до системи виявлення тих чи інших дій.

### **Аналіз статичних зображень**

Окремим випадком відеоаналізу є завдання аналізу статичних зображень, тобто завдання виявлення нерухомого об'єкта на статичному фоні. У цьому випадку йдеться про такі практичні додатки, як, наприклад, зчитування двовимірних штрихових кодів або ідентифікація райдужної оболонки ока. При цьому формується

відеозображення, на якому імовірно є об'єкт, що шукається (рис. 1.19). У такому завданні зазвичай достатньо одного кадру відео. Потім вирішується завдання виявлення з урахуванням апріорної інформації про об'єкт, що шукається, і його характерні відмінності від фонового зображення та інших об'єктів. Такий інформацією можуть бути, наприклад, мета у двовимірному штриховому коді як концентричних квадратів чи круглий зіниця ока. Завдання, що розглядається зазвичай досить жорстко обмежена пошуком зображень тільки конкретного класу об'єктів. Виявлення характерної особливості об'єкта, що шукається, може свідчити з певною ймовірністю про наявність (тобто про виявлення) зображення самого об'єкта. Тому після виявлення можна переходити до оцінки його параметрів.

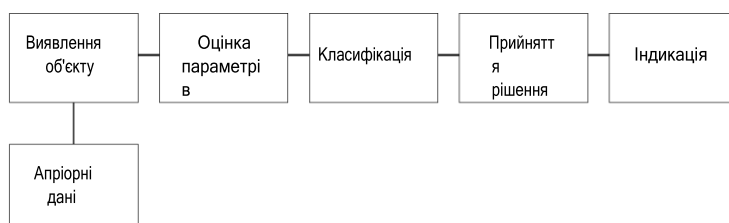


Рисунок 1.19 Етапи аналізу статичного зображення

Для прикладу зі штриховим кодом – це пошук і оцінка положення елементів орієнтації з наступним пошаровим зчитуванням інформації. Для завдання ідентифікації особи – оцінка відповідних біометричних параметрів. Наступний крок – класифікація об'єкта, у нашому прикладі – віднесення товару, якому належить штриховий код, до конкретного класу об'єктів. Наприклад, до певної марки мобільних телефонів. Але не ідентифікується конкретний зразок. Замість класифікації може вирішуватись завдання ідентифікації, як у другому прикладі. У цьому випадку відбувається порівняння отриманих параметрів зображення ока з параметрами зразків із бази даних. На основі даних попереднього етапу приймається рішення. Наприклад, скільки коштує цей зразок телефону для вказівки ціни в чеку. Або те, що цей суб'єкт має право доступу на об'єкт. І відповідно до прийнятого рішення проводиться індикація та реагування. Зокрема висвічується ціна на індикаторі, і касир має отримати оплату. Або спалахує зелений світлодіод і

розблокується пристрій керування доступом. Особливістю аналізованого завдання аналізу статичних зображень є те, що є можливість створити умови, максимально зручні для виявлення шуканого зображення з точки зору його розташування щодо устрою формування зображення об'єкта (телекамери або пристрою, що зчитує) і його освітленості. Отже, є можливість отримання досить високої якості відеозображення та відповідного відеосигналу. Ці умови роблять відеосигнал практично детермінованим і з великою кількістю апріорних даних про нього.

### **1.3 Постановка задачі дослідження**

Задачею магістерської роботи є синтез і аналіз моделі електропривода з камери телевізійного спостереження з цифровою системою керування. Об'єктом дослідження є вплив параметрів цифрових регуляторів системи на її показники якості. Виконання цих задач здійснюється за використанням програмного середовища *Matlab*.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Проаналізувати наявні способи реалізації цифрових регуляторів, і на основі проведеного аналізу вибрати оптимальний спосіб моделювання системи.
2. Синтезувати модель електропривода з обраним цифровим регулятором і дослідити його динамічні властивості, а також проаналізувати вплив цього регулятора на стійкість системи керування електроприводу камери спостереження.
3. На базі проведеного синтезу порівняти базову систему керування та цифрову систему керування, зробити висновки. Впровадити результати проведених досліджень в навчальний процес.



рухів, наприклад вертикального. Інші 3 рухи можна розрахувати за тією ж методикою.

Перед тим як провести розрахунки і обрати двигун за каталогом необхідно розглянути сам привод і привести необхідні параметри до валу електродвигуна.

Для механізму вертикального руху маніпулятора обираємо передачу гвинт-гайка. Дана передача забезпечує достатньо високий коефіцієнт корисної дії (до 0,9), має великий ресурс і малі габарити.

Обираємо наступні параметри передачі: діаметр гвинта  $d_r = 32 \text{ мм}$ ; шаг гвинта  $t_r = 10 \text{ мм}$ ; довжина гвинта  $L_r = 1,2 \text{ м}$ ; швидкість обертання гайки  $V_r = 0,5 \text{ м/с}$ ; коефіцієнт тертя між гвинтом і гайкою  $f = 0,15$ ; кут профілю для трапецеїдального різьблення  $\alpha = 30^\circ$ .

Перш ніж робити основний розрахунок дослідимо дану передачу на умову заїдання  $\varphi' > \psi$ .

Кут підйому різьблення

$$\psi = \arctg \frac{t_r}{\pi d_r} = \arctg \frac{10}{3,14 \cdot 32} = 5^\circ 68'.$$

Кут тертя

$$\varphi' = \arctg \frac{f}{\cos(\alpha / 2)} = \arctg \frac{0,15}{\cos(30^\circ / 2)} = 8^\circ 50'$$

Так як  $\varphi' > \psi$ , то умова виконується. При обраній передачі заїдання не буде.

Для даного механізму швидкість обертання гайки

$$V_r = t_r \cdot n_r / (6 \cdot 10^4),$$

де  $t_r$  - шаг гвинта (мм),  $n_r$  - частота обертання гвинта (об/хв).

Частота обертання гвинта

$$n_r = \frac{V_r \cdot 6 \cdot 10^4}{t_r} = \frac{0,5 \cdot 6 \cdot 10^4}{10} = 3000 \text{ об/хв.}$$

Знайдемо масу гвинта, враховуючи, що густина сталі  $\rho_{ст} = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

$$m_r = \rho_{ст} \cdot \frac{\pi \cdot d_r^2}{4} \cdot L_r = 7,8 \cdot 10^3 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,032^2}{4} \cdot 1,2 = 7,52 \text{ кг.}$$

Передаточне число механізму

$$i = \frac{\pi \cdot d_r}{t_r} = \frac{3,14 \cdot 32}{10} = 10,048 \approx 10.$$

Момент інерції, що передається через гвинт

$$J_r = \frac{\rho_{ст} \cdot d_r^2 \cdot L_r}{i^2} = \frac{7,8 \cdot 10^3 \cdot 0,032^4 \cdot 1,2}{10^2} = 9,81 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент інерції руки маніпулятора, що рухається поступально

$$J_p = m \cdot \left( \frac{t_r}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{1}{i^2} = 210 \cdot \left( \frac{0,01}{2 \cdot 3,14} \right)^2 \cdot \frac{1}{10^2} = 0,53 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Сумарний момент інерції механізму

$$J_{\Sigma} = J_r + J_p = 9,81 \cdot 10^{-5} + 0,53 \cdot 10^{-5} = 10,34 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Приведемо тахограму переміщень для механізму

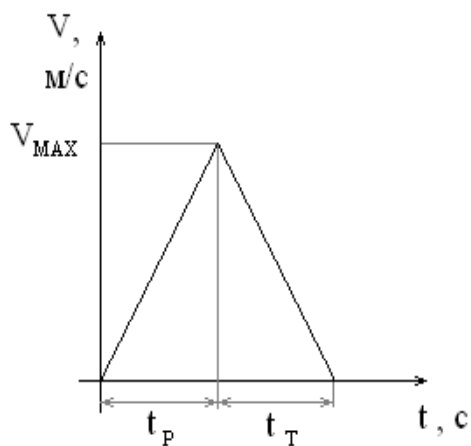


Рисунок 2.2– Тахограма переміщень механізму

Максимальне переміщення при максимальній швидкості

$$S = V_{MAX} \cdot \frac{1}{2} \cdot t,$$

де S – пройдений шлях.

Час руху при максимальному переміщенні

$$t = \frac{2 \cdot S}{V_{MAX}} = \frac{2 \cdot 1}{0,5} = 4 \text{ с}.$$

Тоді час розгону і час гальмування

$$t_P = t_r = \frac{1}{2} t = 2 \text{ с}.$$

Таким чином максимальне кутове прискорення буде

$$\varepsilon_{MAX} = \frac{\omega_{HOM}}{t_p} = \frac{\pi \cdot n}{30 \cdot t_p} = \frac{\pi \cdot 3000}{30 \cdot 2} = 157 \text{ рад/с}^2$$

Лінійне прискорення механізму відповідно буде

$$a_{MAX} = \frac{V_{MAX}}{t_p} = \frac{0,5}{2} = 0,25 \text{ м/с}^2$$

Визначимо навантаження, що діють на вал електродвигуна

- статичне навантаження

$$M_C = \frac{G_P \cdot f_K}{i \cdot \eta} = \frac{2100 \cdot 3 \cdot 10^{-4}}{10 \cdot 0,9} = 0,07 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

- динамічне навантаження

$$M_d = \frac{G_P \cdot \frac{dV_{MAX}}{dt}}{g \cdot \eta} \cdot \rho_{np} = \frac{2100 \cdot 0,25}{9,8 \cdot 0,9} \cdot \frac{0,01}{2\pi} = 0,0948 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

- відцентрове навантаження

$$M_{\omega} = \frac{G_P \cdot \omega^2 \cdot R_{\omega}}{i \cdot g \cdot \eta} \cdot \rho_{np} = \frac{2100 \cdot 3^2 \cdot 0,5}{10 \cdot 9,8 \cdot 0,9} \cdot \frac{0,01}{2\pi} = 0,171 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Сумарний момент опору на валу електродвигуна, який відповідає найбільшому навантаженню при роботі

$$M_{\Sigma} = M_C + M_d + M_{\omega} = 0,07 + 0,0948 + 0,171 = 0,336 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

За сумарним моментом по каталогу обираємо серводвигун Lenze MCS 06C41 з параметрами, наведеними у таблиці 2.1.[12,13,21,22]

Таблиця 2.1– Каталожні дані обраного серводвигуна

| Параметр                          | Значення |
|-----------------------------------|----------|
| Вихідна потужність, Вт            | 200      |
| Номінальний обертовий момент, Н·м | 0,64     |
| Максимальний обертовий момент Н·м | 1,91     |
| Номінальний струм, А              | 1,3      |
| Максимальний струм, А             | 3,9      |

|                                        |                                                         |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Номінальна швидкість обертання, об/хв  | 3000                                                    |
| Максимальна швидкість обертання, об/хв | 4500                                                    |
| Зворотний зв'язок                      | інкрементальний енкодер                                 |
| Умови експлуатації                     | 0 ~ +40° C , вологість повітря до 80%<br>без конденсата |
| Ступінь захисту                        | IP65                                                    |
| Маса, кг                               | 3                                                       |

## 2.2 Вибір типу керування

Векторне керування - це метод керування синхронними й асинхронними двигунами, який не тільки формує гармонійні струм і напруг фаз (скалярне керування), а й забезпечує керування магнітним потоком двигуна. В основі векторного керування лежить уявлення про напруги, струми, потокозчеплення, як про просторові вектори.

При векторному керуванні в асинхронному електроприводі у перехідних процесах є можливість підтримувати сталість потокозчеплення ротора, на відміну від скалярного, де потокозчеплення ротора у перехідних процесах змінюється при зміні струмів статора і ротора, що призводить до зниження темпу зміни електромагнітного моменту. У приводі з векторним керування, де потокозчеплення ротора можна підтримувати постійним, електромагнітний момент змінюється так швидко, як швидко змінюється складова струму статора (аналогія зі зміною моменту при зміні струму якоря в машині постійного струму).

Режими векторного керування можна класифікувати наступним чином:

- за точністю математичної моделі електродвигуна, використаної в системі керування:
- за наявності або відсутності зворотного зв'язку за швидкістю (датчика швидкості) векторне керування можна розділити на:

Для реалізації векторного керування необхідне точне позиціонування вектора напруги, особливо при низьких частотах обертання вала ротора. Досягти цього можна за допомогою спеціальних алгоритмів комутації силових ключів, наприклад ШІМ з синусоїдальним розподілом протяжності імпульсів. Закони векторного керування забезпечують не тільки ліпше керування електроприводом в статичних і динамічних режимах, але і підвищення ККД двигуна і, відповідно, всього приводу. При використанні у векторному керуванні датчиків зворотного зв'язку можна забезпечити діапазон регулювання до 1:1000 і більше, точність регулювання за швидкістю – соті долі відсотка, точність за моментом – одиниці відсотків.

Завдяки цим показникам обираємо векторний метод керування двигуном [16-29].

### **2.3 Вибір комплектного електроприводу**

До електроприводів промислових роботів ставляться специфічні вимоги, обумовлені, з одного боку, технологічним циклом їх роботи, з іншого - особливостями їх конструкції. Основним робочим циклом механізму робота є позиціонування. Прискорення переміщення може досягати 30 м/хв, а точність позиціонування - 0,01 мм. Режим роботи електроприводів - повторно-короткочасний з частими пусками і гальмуваннями. Збурень за навантаженням немає через відсутність процесу різання. Потужність приводів мала, як правило, не вище 1 кВт, але при цьому потрібен великий момент і малі швидкості. Таким чином, з точки зору технології електропривод робота повинен мати діапазон регулювання порядку 1000, володіти великою перевантажувальною здатністю в пускових режимах (мати малі часи пусків і гальмувань на максимальну швидкість).

Для отримання великих моментів необхідно встановлювати в механізми робота редуктори чи розробляти двигуни оригінальної конструкції. З точки зору конструкції ПР представляє собою досить складний пристрій: складні кінематичні ланцюги, взаємно впливають один на одного, мала жорсткість механічних передач, змінні моменти інерції механізмів, що перевищують власний момент інерції двигуна.

Переміщення робочого органу робота разом з виконавчим двигуном призводить до необхідності застосування двигунів з малими масогабаритними параметрами.

Таким чином, з-за конструктивних особливостей робота його ЕП повинен мати високі динамічні параметри для відтворення складних алгоритмів керування, а виконавчий двигун повинен швидко реагувати на сигнали управління та мати малі габарити і масу.

Правильний вибір частотного перетворювача дуже важливий, від цього залежить ефективність і ресурс роботи всього електропривода. При виборі перетворювача частоти необхідно враховувати тип і потужність електродвигуна, точність і діапазон регулювання, часу розгону і гальмування, тривалості і кількості включень, а головне враховувати всі вимоги, які ставляться у технічному завданні.

Комплектний електропривод слід обирати за потужністю, необхідною для роботи електродвигуна у номінальному режимі. Якщо обрати перетворювач частоти за потужністю електродвигуна неможливо, то треба його обрати з потужністю на порядок вище. Для отриманого електродвигуна обираємо комплектний електропривод Lenze 9300 [12-15], в якому реалізовано векторний спосіб керування. Загальний вигляд електропривода наведені на рис. 2.3.



Рисунок 2.3– Загальний вигляд комплектного електроприводу



Продовження таблиці 2.2

|                                       |                  |
|---------------------------------------|------------------|
| Температурний діапазон при зберіганні | -10...+70°C      |
| Вологість                             | 5 – 90%          |
| Висота над рівнем моря                | 1500 м           |
| Вібростійкість                        | 10 – 2000 Гц, 2g |
| Клас захисту                          | IP20             |
| Біполярне керування                   | ±10VDC           |
| Перевантаження за струмом             | 300% протягом 2с |

Розглянемо несправності, які можуть з'явитися при роботі комплектного приводу [19]. Усі можливі несправності і шляхи позбавлення від них представлені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3– Індикація несправностей

| Дисплей | Несправність                                  | Причина                                                           | Спосіб позбавлення                                                          |
|---------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| ---     | Немає несправності                            | ----                                                              | ----                                                                        |
| CCr     | Системна несправність                         | Сильні перешкоди на кабелях керування                             | Екранування кабелів керування                                               |
| CE0     | Помилка зв'язку                               | Перешкоди передачі команд керування через інтерфейс автоматизації | При необхідності закріпити болтом роз'єм модуля автоматизації               |
| CE1     | Помилка зв'язку за робочим параметром об'єкту | об'єкт отримує неправдиві дані або розірвано коло                 | Перевірити кабелі та передатчик. У разі необхідності підвищити час контролю |
| CE2     | Помилка зв'язку за робочим параметром об'єкту | об'єкт отримує неправдиві дані або розірвано коло                 | Перевірити кабелі та передатчик. У разі необхідності підвищити час контролю |

Продовження таблиці 2.3

|     |                                                       |                                                                              |                                                                             |
|-----|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| CE3 | Помилка зв'язку за робочим параметром об'єкту         | об'єкт отримує неправдиві дані або розірвано коло                            | Перевірити кабелі та передатчик. У разі необхідності підвищити час контролю |
| CE4 | BUS-OFF стан                                          | Контролер отримав занадто багато невірних повідомлень і від'єднався від шини | Перевірити правильність монтажу                                             |
| EEr | Зовнішня несправність                                 | Активованій цифровий вхід, який передбачається для функції TRIP-Set          | Перевірити зовнішнє АЦП                                                     |
| H05 | Внутрішня несправність                                |                                                                              | Зв'язатися з Lenze                                                          |
| H07 | Некоректна силова частина                             | Несправність силової частини при ініціалізації контролера                    | Зв'язатися з Lenze                                                          |
| H10 | Датчик несправності температури радіатора             | Датчик детектування температури радіатора показує невизначені значення       | Зв'язатися з Lenze                                                          |
| H11 | Датчик несправності внутрішньої температури установки | Датчик детектування внутрішньої температури показує невизначені значення     | Зв'язатися з Lenze                                                          |

## 2.4 Опис обраної системи керування

Цифровою системою автоматичного керування називається система, у замкнутому контурі якої є хоча б один пристрій, що перетворює безперервні сигнали в цифрові коди і виконує математичні операції над цими кодами. У контурі цифрової

системи цифровий регулятор виконує властиві йому математичні операції і видає результат у дискретні моменти часу  $t = T_0, 2T_0, 3T_0$ , і т.д. В інтервалах між цими моментами на виході регулятора зберігається те значення, яке було на початку інтервалу. Тому на виході регулятора існує не безперервна функція  $x(t)$ , а відповідна ступінчаста  $x(nT_0)$ , тобто здійснюється квантування за часом (рисунок 2.5). Крім того, відбувається квантування за рівнем, оскільки внаслідок цифрової подачі інформації вихідний сигнал може набувати тільки певних фіксованих рівнів, що відрізняються один від одного на величину  $q$ . Ця величина відповідає одиниці молодшого розряду цифрового регулятора, тобто безперервний сигнал  $x(t)$  подається у вигляді

$$x(t) = x^*(nT_0) + \sigma,$$

де  $|\sigma| < q$ , а  $x^*(nT_0)$  містить ціле число рівнів.

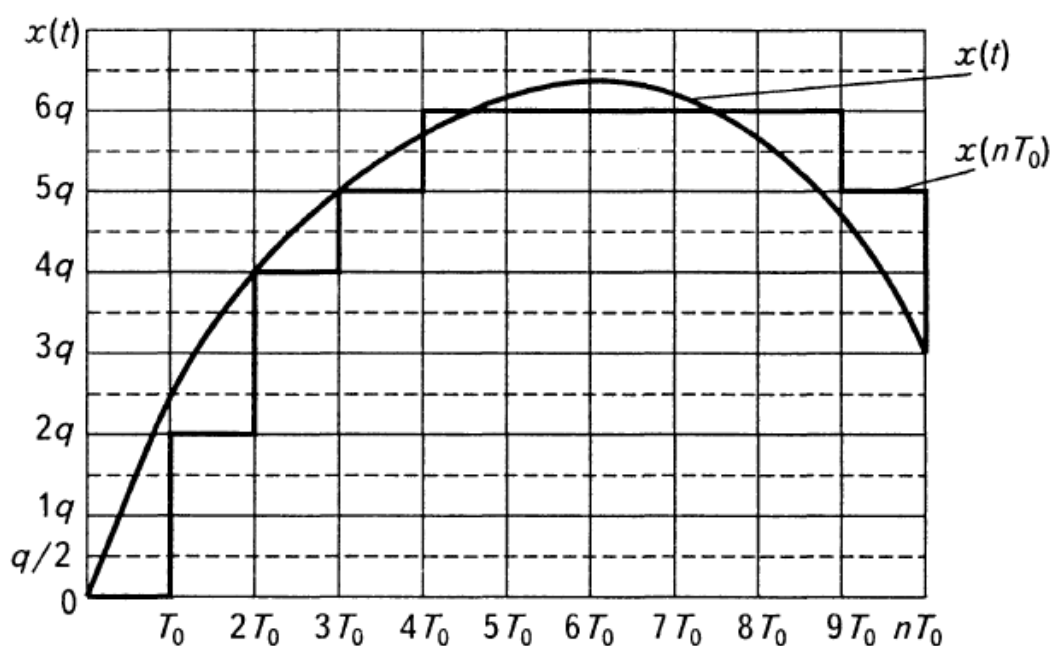


Рисунок 2.5 – Квантування за часом

Отже, в цифрових системах сигнал квантується за часом і рівнем. Квантування за часом робить цифрову систему дискретною, а квантування за рівнем — нелінійною. Однак при малому  $q$  впливом квантування за рівнем на динаміку системи

можна знехтувати, тобто покласти  $q = 0$ . У цьому разі для дослідження цифрових систем можна застосувати математичний апарат дослідження лінійних імпульсних систем з амплітудно-імпульсною модуляцією: дискретне перетворення і різницеві рівняння.

Спрощену структурну схему цифрової системи подано на рис. 2.6. Безперервний сигнал похибки  $\varepsilon(t)$  імпульсним елементом ІЕ1 перетворюється в решітчасту цифрову функцію  $\varepsilon[n]$  і надходить на вхід ЦОМ, яку подано у вигляді передаточної функції  $D(z)$ . Вихідний сигнал ЦОМ імпульсним елементом ІЕ2 і формувачем імпульсів  $W_{\Phi}(p)$  перетворюється в ступінчастий сигнал. Безперервну частину системи подано ланкою з передаточною функцією  $W_{\text{бп}}(p)$ .

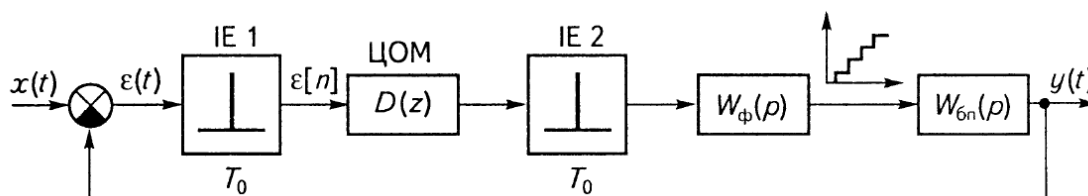


Рисунок 2.6 – Спрощена структурна схема цифрової системи керування

Для керування синхронним двигуном використаємо систему підпорядкованого керування із зворотнім зв'язком за швидкістю. Скориставшись спрощеною структурною зображеною на рисунку 2.6 та принциповою схемою зображеною на рисунках 2.8, 2.9 побудуємо структурну схему керування синхронним двигуном (рис. 2.7).

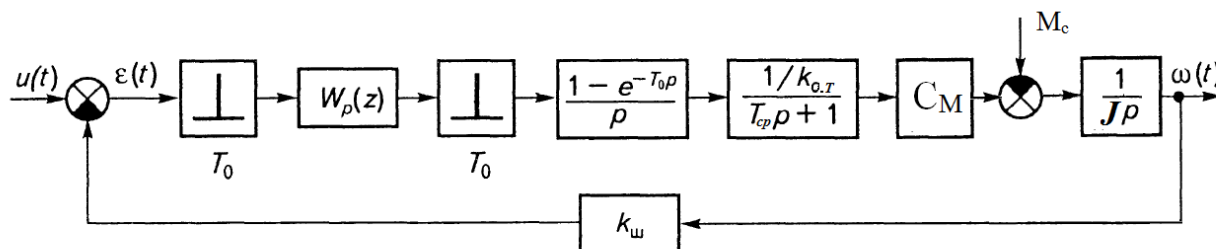


Рисунок 2.7 – Структурна схема цифрової системи керування синхронним двигуном

## 2.5 Особливості реалізації оптимальних цифрових регуляторів

При надходженні впливу  $u(t) = U$  на вхід системи керування, що має статичний об'єкт керування, або впливу  $u(t) = U + \sigma t$  на вхід системи, що має об'єкт керування з астатизмом першого порядку, або впливу  $u(t) = U + \sigma t + \lambda t^2$  на вхід системи, що має об'єкт керування з астатизмом другого порядку, і нульових початкових умовах  $z$ -зображення оптимального керуючого впливу (при якому перехідні процеси в системах закінчуються за  $N$  кроків квантування тривалістю  $h$ ) на вході об'єкта керування передавальна функція оптимального цифрового регулятора має вигляд

$$M(z) = m_0 + m_1 z^{-1} + m_2 z^{-2} + \dots + m_N z^{-N} (1 + z^{-1} + z^{-2} + \dots) = \\ = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_N z^{-N}}{1 - z^{-1}},$$

де  $b_0 = m_0$ ;  $b_1 = m_1 - m_0$ ; ...;  $b_N = m_N - m_{N-1}$ ;  $m_v = m(vh^+) = u'_2(vh^+)$ , а передаточна функція оптимального регулятора

$$W(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_N z^{-N}}{(1 - z^{-1})(U + a_1 z^{-1} + \dots + a_{N-1} z^{-N+1})}.$$

При надходженні впливу  $u(t) = U$  на вхід системи, що має астатичний об'єкт керування, або впливу  $u(t) = U + \sigma t$  на вхід системи, що має об'єкт керування з астатизмом другого або більш високого порядків, або впливу  $u(t) = U + \sigma t + \lambda t^2$  на вхід системи, що має об'єкт керування з астатизмом третього або більш високого порядків, і нульових початкових умовах  $z$ -зображення оптимального керуючого впливу на вході об'єкта керування має вигляд

$$M(z) = m_0 + m_1 z^{-1} + m_2 z^{-2} + \dots + m_N z^{-N} = \\ = b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_{N-1} z^{-N+1},$$

де  $b_0 = m_0$ ;  $b_1 = m_1$ ; ...;  $b_{N-1} = m_{N-1}$ , а передаточна функція оптимального регулятора.

$$W(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_{N-1} z^{-N+1}}{(U + a_1 z^{-1} + \dots + a_{N-1} z^{-N+1})}.$$

Величини  $m_v$  визначають площі миттєвих імпульсів на виході цифрового регулятора (амплітуди імпульсів тривалістю  $h$  на виході фіксатора нульового

порядку) і залежать від параметрів об'єкта керування, кроку квантування  $h$  і параметрів вхідних впливів  $U$ ,  $\sigma$  і  $\lambda$ . Наприклад, для об'єкта керування з функцією передачі  $G(s) = \alpha/s^2$  при лінійно-квадратичному впливі  $u(t) = U + \sigma t + \lambda t^2$  на вході системи оптимальний цифровий регулятор повинен сформувати такий керуючий вплив на вході об'єкта керування,  $z$ -зображення якого

$$M(z) = m_0 + m_1 z^{-1} + m_N z^{-2} (1 + z^{-1} + z^{-2} + \dots),$$

$$\text{де } N = 2; m_0 = \frac{U}{\alpha h^2} + \frac{3}{2\alpha h} \sigma + \frac{2}{\alpha} \lambda; m_1 = -\frac{U}{\alpha h^2} - \frac{1}{2\alpha h} \sigma - \frac{2}{\alpha} \lambda; m_N = \frac{2}{\alpha} \lambda.$$

При надходженні в момент  $t = 0$  на вхід системи керування з оптимальним цифровим регулятором відповідного типового впливу помилка системи при  $t \geq Nh$  дорівнює нулю, а на виході регулятора в перехідному режимі є послідовність з  $N$  імпульсів  $m_v = m(vh^+)$ ,  $v = 0, 1, \dots, N - 1$ . Перехідний режим в системі закінчується за інтервал регулювання  $T = Nh$ .

Якщо при надходженні на вхід системи довільного вхідного впливу вимірювати його величину, швидкість і прискорення і в дискретні моменти часу  $t = nT^+$  подавати на вхід цифрового регулятора, оптимального для лінійно-квадратичного вхідного впливу, прирощування  $\Delta u(nT^+) = \Theta(nT^+)$ ,  $\Delta \sigma(nT^+)$  і  $\Delta \lambda(nT^+)$ , то регулятор на кожному інтервалі керування  $T = Nh$  сформує такі керуючі впливи на об'єкт керування, що система відпрацює зазначені прирощування на кожному інтервалі  $T = Nh$ . Система керування з цифровим регулятором, оптимальним для вхідного впливу, що лінійно змінюється, відпрацює на кожному інтервалі тривалістю  $T = Nh$  прирощування  $\Delta u(nT^+) = \Theta(nT^+)$ ,  $\Delta \sigma(nT^+)$ . Система з цифровим регулятором, оптимальним для ступеневого вхідного впливу, відпрацює на кожному інтервалі  $T = Nh$  тільки помилки  $\Theta(nT^+)$ , тобто збільшення вхідного впливу  $\Delta u(nT^+)$ .

Загальна структурна схема системи, що працює при довільних вхідних впливах, зображена на рисунку 2.8. З виходу вимірювача швидкості  $U_\sigma$  і вимірювача прискорення  $U_\lambda$  дискретні значення  $\sigma(nT^+)$  і  $\lambda(nT^+)$  надходять на ланку затримки з передавальною функцією  $e^{-Ts}$  і віднімач. На входи 2 і 3 цифрового регулятора надходять значення  $\Delta \sigma(nT^+) = \sigma(nT^+) - \sigma[(n-1)T^+]$  і  $\Delta \lambda(nT^+) = \lambda(nT^+) - \lambda[(n-1)T^+]$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots$ . Дискретні значення помилки  $\theta(nT^+)$  надходять на вхід 1 регулятора.

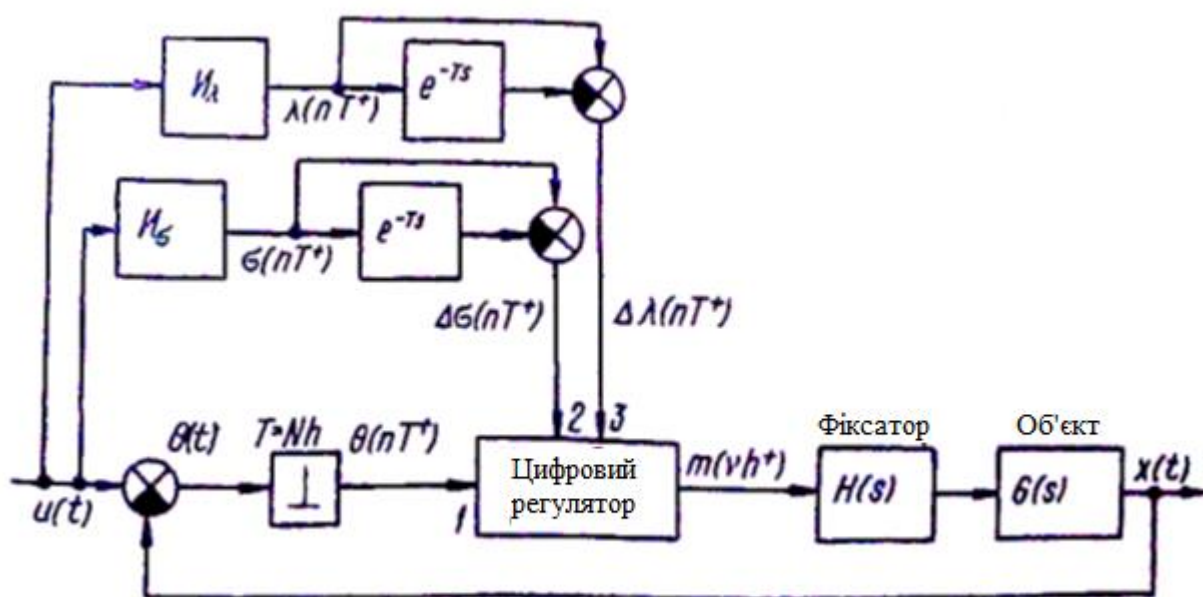


Рисунок 2.8 — Загальна структурна схема системи, що працює при довільних вхідних впливах

Загальна структурна схема цифрового регулятора, побудована на лініях затримки ЛЗ, розмножувальних пристроях і сумматорі, зображена на рисунку 1.2. Кількість елементів в схемі (рисунок 2.9) залежить, в першу чергу, від передавальної функції об'єкта керування. Наприклад, при  $G(s) = \alpha/s^2$  потрібно встановити наступні коефіцієнти:

$K_0 = 1/(\alpha h^2)$ ;  $K_1 = -1/(\alpha h^2)$ ;  $K'_0 = 3/(2\alpha h)$ ;  $K'_1 = -1/(2\alpha h)$ ;  $K''_0 = 2/\alpha$ ;  $K''_1 = -2/\alpha$ ;  $K''_N = K''_2 = 2/\alpha$ , а також по одному елементу затримки в перших двох каналах обробки  $\Theta(nT^+)$ , і  $\sigma(nT^+)$ , і три елементи затримки в третьому каналі обробки  $\lambda(nT^+)$ . Ланки з елементами затримки в зворотному зв'язку можна замінити додатковими каналами формування «підставок». На основі схеми з рисунка 1.2 можна побудувати велику кількість схем цифрових регуляторів, які забезпечують роботу систем автоматичного керування при довільних вхідних впливах. Якість роботи системи визначається тим, який оптимальний регулятор (оптимальний для ступеневого, лінійного або лінійно-квадратичного вхідного впливу) покладено в основу практичної схеми цифрового регулятора, яка забезпечує роботу системи при довільному вхідному впливу.

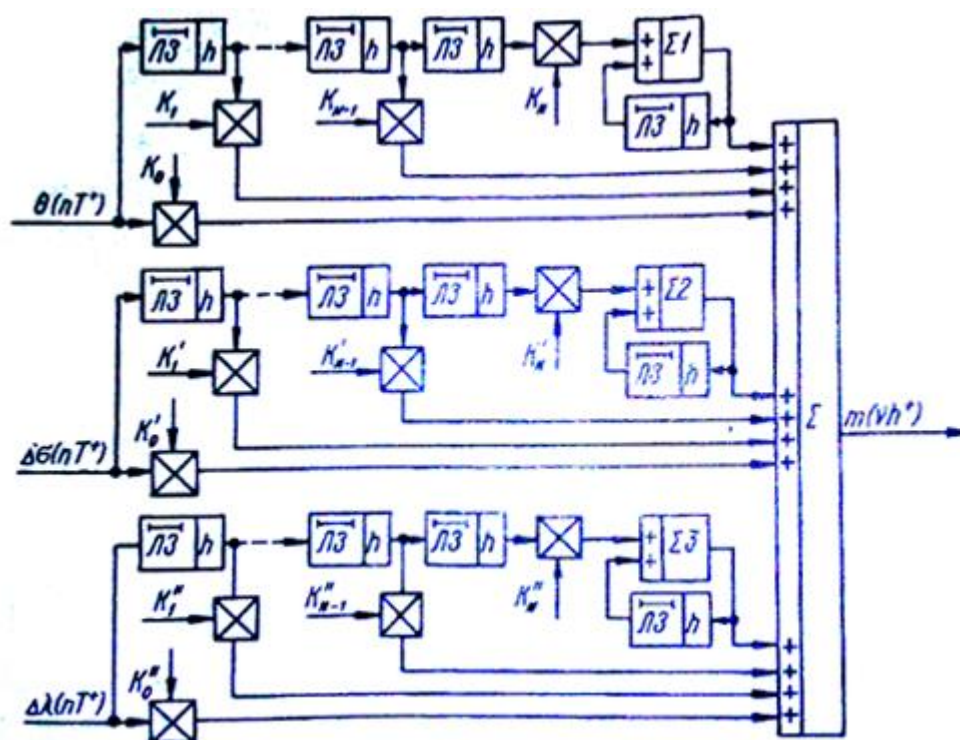


Рисунок 2.9 — Загальна структурна схема цифрового регулятора, побудована на лініях затримки ЛЗ, розмножувальних пристроях і суматорі

## РОЗДІЛ 3

### ТИПОВІ ДИНАМІЧНІ МОДЕЛІ ІМПУЛЬСНИХ СИСТЕМ

#### 3.1 Застосування цифрових методів обробки інформації

Для цифрових методів обробки інформації в системах керування характерні: 1) можливість створення точних і стабільних задаючих впливів, а також задання вхідної інформації з носія і від цифрової ЕОМ; 2) повна відсутність дрейфу параметрів; 3) висока точність знімання інформації про стан об'єкта з можливістю запам'ятовування і корекції виміряних значень величин; 4) хороша відображеність задаючих і вимірюваних величин; 5) можливості багатократного інтегрування без втрати точності і багаторазового диференціювання без посилення перешкод, а також визначення збоїв збереженої і переданої інформації, помилок в операціях шляхом застосування різних методів контролю, наприклад, перевірки парності інформаційних слів і дублювання окремих обчислювальних операцій; 6) мультиплексування цифрових засобів, тобто їх розподіл на кілька контурів керування без збільшення апаратури; 7) мале збільшення витрат при підвищенні точності так як між довжиною інформаційного слова і точністю зв'язок логарифмічний; 8) можливості реалізації поряд з традиційним і лінійними законами керування (П-, ПІ-, ПІД- закони) складних нелінійних алгоритмів керування: адаптивних, оптимальних за різними критеріями; 9) можливості використання для проектування алгоритмів добре розроблених методів теорій імпульсного керування і цифрової обробки сигналів.

Залежно від складності і різноманіття вирішуваних завдань, а також стану технічних засобів, що є в розпорядженні проектувальників систем керування, рівень і межі проникнення цифрових методів в власне процес керування різні (рисунок 3.1).

Рисунок 3.1, а відображає структуру системи, що використовує в цифровому вигляді лише сигнали завдання.

При цьому з'являється можливість вироблення завдання узгодженого руху

декількох координат робочого органу, істотно підвищується точність задаючих впливів. Вони можуть забезпечити виконання динамічних вимог, що пред'являються до виконавчих і робочих органів об'єкта. Крім того, виникає можливість індикації задаючих впливів.

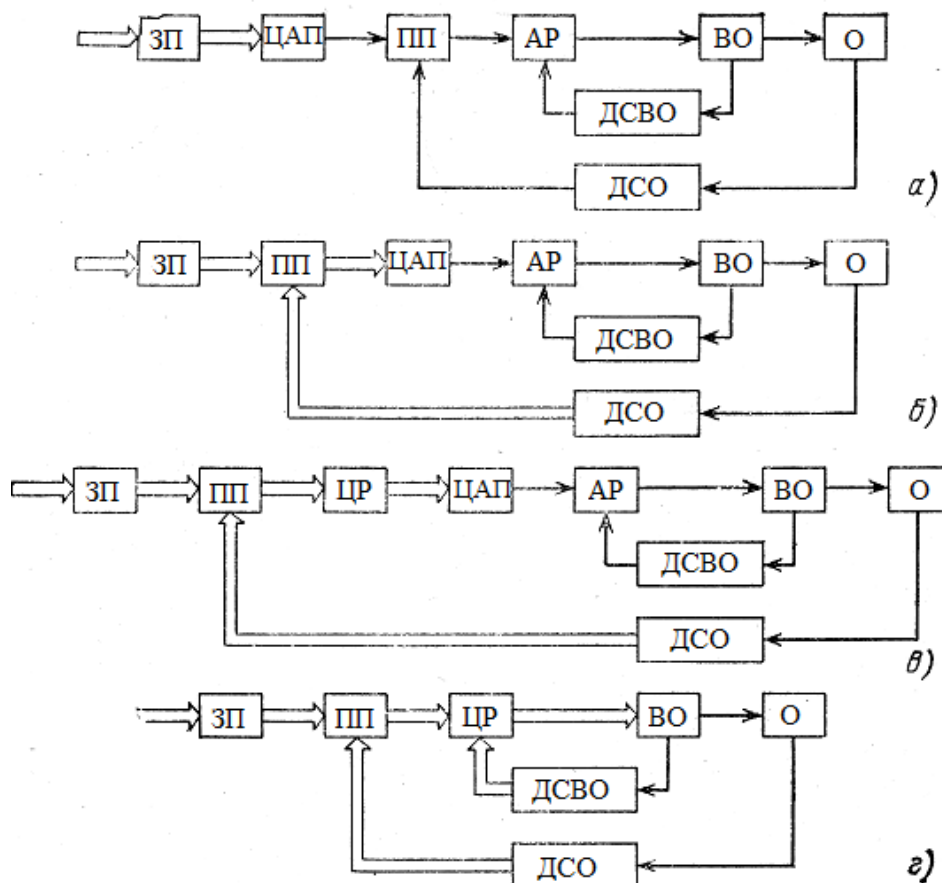


Рисунок 3.1 — Структури систем керування:

⇒ — цифрові сигнали; → — аналогові сигнали; ЗП — задаючий пристрій; ПП — пристрій порівняння; ЦАП — цифроаналоговий перетворювач; АР — аналоговий регулятор; ЦР — цифровий регулятор; ВО — виконавчий орган; О — об'єкт; ДСВО — датчик стану виконавчого органа; ДСО — датчик стану об'єкта.

Перехід до цифрових методів знімання інформації про стан об'єкта і порівняння сигналів завдання і зворотного зв'язку (рис. 3.1,б) дозволяє значно підвищити точність регулювання в цілому. При цьому виникає найпростіший тип регулятора — пропорційний (П), що працює по неузгодженості. Інші функції регулювання, що забезпечують швидку і точну роботу виконавчих органів, здійснюються в аналогових

регуляторах. Знімання інформації про стан об'єкта в цифровому виді дозволяє здійснити індикацію положення робочого органу і неузгодженості. Крім того, з'являється можливість компенсації кінематичних похибок механічних ланок.

На рисунку 3.1, в, г зображені структури, що реалізують всі необхідні для роботи системи функції в цифровому вигляді. Цифроаналогове перетворення виконується або безпосередньо перед виходом на виконавчий орган (рис. 3.1, в), або самим виконавчим органом (рис. 3.1, г). В електромеханічних системах в якості виконавчого органу приймається двигун, який живиться від силового перетворювача. Силкові перетворювачі сучасних електроприводів, будучи елементами дискретної дії, можуть бути легко сполучені з цифровими пристроями. Тому для керування електроприводами може бути застосований будь-який з чотирьох зазначених на рисунку 3.1 варіантів, в тому числі і останній, найбільш повно використовує переваги цифрових методів.

На користь цифрового подання інформації для керування електроприводами можна вказати наступні фактори: 1) в більшості сучасних систем вхідна інформація має цифрову форму і намічена тенденція до розширення кола таких систем; 2) використання для живлення двигуна імпульсних напівпровідникових силових перетворювачів обумовлює через дискретність останніх наявність інтервалів некеруваності. Зміна керуючих сигналів під час цих інтервалів не впливає на режим роботи двигуна. Тому дискретне подання інформації про керуючу дію і вихідні координати не тільки можливо, але й доцільно.

Наявність інтервалів некеруваності дозволяє виключити вплив кінцівки часу розрахунку алгоритмів (часу запізнювання) на динаміку системи. Для цього необхідно, щоб час розрахунку входив в тривалість інтервалу некеруваності. Тим самим виключається додаткове запізнювання; 3) цифрове представлення сигналів задання в разі програмного руху дає можливість широкого використання похідних задаючого впливу без посилення перешкод в алгоритмі керування; 4) використання методів цифрової фільтрації і цифрових спостерігаючих пристроїв дозволяє виключити датчики проміжних координат (наприклад, тахогенератор, датчики струму) і відповідні аналого-цифрові перетворювачі; 5) алгоритми керування можуть

враховувати різні критерії оптимальності та складні функціонали руху електроприводу, що відображають власні потреби комплексу перетворювач — двигун і особливо робочих органів; 6) використання цифрових засобів істотно покращують експлуатаційні якості електроприводу за рахунок підвищення зручності настройки, діагностики, індикації та завдяки можливості ручного керування.

### 3.2 Аналіз типових динамічних моделей

Контури положення призначені для точного відпрацювання задаючих впливів, що виробляються цифровою частиною системи у вигляді чисельних значень координат. Число контурів положення, що входять до складу системи, визначається числом керованих осей робочих органів об'єкта.

До складу контуру положення входять регулятор положення, реалізований в пристрої керування програмно або апаратно; вимірювальна система, що включає кутові або лінійні датчики положення і електронні пристрої, що обробляють сигнали з цих датчиків і перетворюють їх у вигляд, необхідний для пристрою керування; об'єкт регулювання, що являє собою або силову частину електроприводу перетворювач — двигун, або підлеглий контур швидкості.

Структурна схема контуру положення системи зображена на рисунку 3.2. На першому етапі розгляду нехтуємо ефектами від квантування за часом і рівнієм, що мають місце при цифровому керуванні. Добротність контуру положення по швидкості визначається за формулою

$$K_v = \frac{v}{\varepsilon} = \frac{K_{p,п} K_{д,п} K_{ред}}{K_{тг}}, \quad (3.1)$$

де  $v$ ,  $\varepsilon$  — швидкість руху і сигнал неузгодженості контуру положення при цій швидкості, визначається різницею заданого і дійсного значень переміщення  $s_z$  і  $s_{и}$ ;  $K_{p, п}$ ,  $K_{д, п}$ ,  $K_{ред}$ ,  $K_{тг}$  — коефіцієнти передачі регулятора положення, датчика положення, редуктора і тахогенератора відповідно.

Передавальна функція замкнутого контуру швидкості в загальному вигляді

$$(3.2)$$

$$W_{3,c}(p) = \frac{b_m p^m + \dots + b_0}{a_n p^n + \dots + a_0}.$$

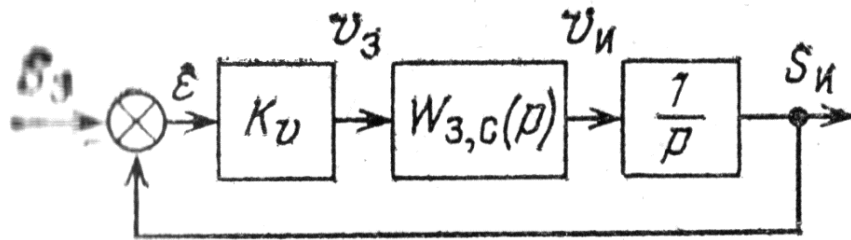


Рисунок 3.2 — Структурна схема контуру положення

Передавальна функція замкнутого контуру положення визначається з структурної схеми рисунок 3.2

$$W_{3,\Pi}(p) = K_v W_{3,c}(p) \frac{1}{p} = \frac{b_m p^m + \dots + b_0}{\frac{a_n}{K_v} p^{n+1} + \dots + \left(\frac{a_{m-1}}{K_v} + b_m\right) p^m + \dots + \left(\frac{a_0}{K_v} + b_1\right) p + b_0} \quad (3.3)$$

Оптимізацію контурів з передавальними функціями виду (3.2) для  $n \geq 3$  доцільно проводити за допомогою умов

$$a_{i-1} a_{i+1} = 0,5 a_i^2, \quad (3.4)$$

де  $i = 1, 2, \dots, n-1$ , виконання яких для всіх  $i$ , як показано в [7] наближає модуль передавальної функції до одиниці в робочому діапазоні частот. При неможливості виконання всіх  $n-1$  умов (3.4) необхідно задовільняти умови для менших  $i$ .

З (3.3) видно, що динамічні властивості контуру положення визначаються властивостями підлеглого контуру швидкості. Як об'єкт регулювання контур швидкості може виступати або безпосередньо перетворювач — двигун, або підлеглий контур струму.

Перший варіант контуру швидкості представлений структурною схемою на рисунку 3.3. Він містить регулятор швидкості, перетворювач і двигун.

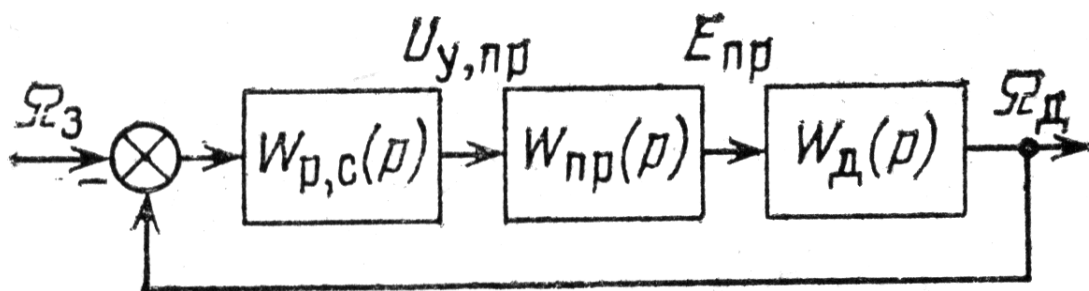


Рисунок 3.3 — Структурна схема контуру швидкості

Передавальна функція ПІ-регулятора швидкості

$$W_{p,c}(p) = \frac{K_{p,c}(1 + T_{p,c}p)}{T_{p,c}p},$$

передавальна функція силового перетворювача

$$W_{пр}(p) = \frac{E_{пр}}{U_{пр}} = \frac{K_{пр}}{T_{пр}p + 1},$$

передавальна функція двигуна

$$W_d(p) = \frac{\Omega_d}{E_{пр}} = \frac{K_d \omega_{0d}^2}{p^2 + 2\xi_d \omega_{0d}p + \omega_{0d}^2}, \quad (3.5)$$

де  $K_d$ ,  $\omega_{0d}$ ,  $\xi_d$  — коефіцієнт передачі двигуна, частота власних незатухаючих коливань і коефіцієнт демпфірування двигуна, що дорівнюють

$$K_d = \frac{I_{ном}}{M_{ном}} = \frac{\Omega_{ном}}{E_{ном}},$$

$$\omega_{0d} = 1/\sqrt{T_m T_e}; \quad \xi_d = \frac{1}{2} \sqrt{T_m/T_e}, \quad (3.6)$$

де  $I_{ном}$ ,  $M_{ном}$ ,  $E_{ном}$ ,  $\Omega_{ном}$  — номінальні значення струму, моменту, проти-ЕРС і кутової швидкості двигуна відповідно;

$T_m$ ,  $T_e$  — електро механічна і електромагнітна постійні часу електроприводу з урахуванням ланцюга якоря двигуна.

Передавальна функція замкнутого контуру швидкості при нехтуванні інерційністю перетворювача  $W_{пр}(p) = K_{пр}$ , а також з урахуванням передавальної функції редуктора  $W_{ред}(p) = K_{ред}$  має вигляд

$$W_{3,c}(p) = \frac{K_{3,c}(T_{p,c}p + 1)}{\frac{T_{p,c}}{\omega_{0d}^2}p^3 + \frac{2\xi_d T_{p,c}}{\omega_{0d}}p^2 + T_{p,c}(1 + K_{3,c})K_{тг}p + K_{3,c}K_{тг}}. \quad (3.7)$$

Так як ПІ-регулятор має два змінних параметра  $K_{p,c}$ ,  $T_{p,c}$ , то можна в (3.4) застосовувати два значення  $i = 1$  і  $2$ . Параметри регулятора швидкості при цьому визначаються наступними виразами:

$$\begin{cases} K_{p,c} = (2\xi_d^2 - 1)/K_{пр}K_d = (T_m - 2T_e)/2T_eK_{пр}K_dK_{тг}; \\ T_{p,c} = (2\xi_d^2 - 1)/\xi_d^2 = 4T_e(1 - 2T_e/T_m). \end{cases} \quad (3.8)$$

При такому виборі параметрів передавальна функція замкненого контуру швидкості має вигляд

$$W_{3,c}(p) = \frac{T_{p,c}p + 1}{8T_e^3p^3 + 8T_e^2p^2 + 4T_ep + 1}. \quad (3.9)$$

Зазначена оптимізація можлива, як це впливає з (3.8), лише при  $\xi_d > 0,707$ . Якщо ж  $\xi_d \leq 0,707$ , то замість ПІ-регулятора швидкості необхідно використовувати ПІД-регулятор з передавальною функцією

$$W_{p,c}(p) = K_{p,c} \frac{T_y T_{и} p^2 + T_{и} p + 1}{T_{и} p},$$

де  $T_y, T_{и}$  — постійні часу випередження і інтегрування.

З огляду на інерційність перетворювача  $W_{пр}(p) = K_{пр}/(T_{пр}p + 1)$  і вибираючи в якості параметрів регулятора швидкості

$$T_y = T_z, T_{и} = T_m, T_{p,c} = \frac{1}{2K_d K_{пр} K_{тг}} \frac{T_m}{T_{пр}},$$

можна отримати передавальну функцію замкнутого контуру швидкості

$$W_{3,c}(p) = \frac{1}{2T_{пр}^2 p^2 + 2T_{пр}p + 1}. \quad (3.10)$$

Структурна схема контуру швидкості з підлеглим контуром струму представлена на рисунку 3.4.

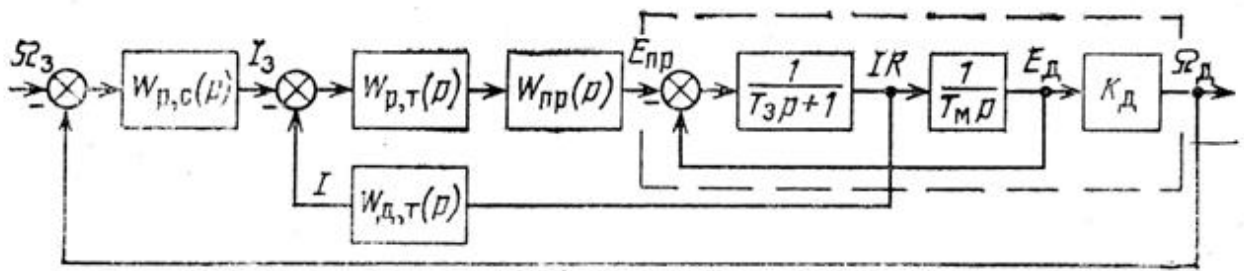


Рисунок 3.4 — Структурна схема контуру швидкості з контуром струму

Оптимізація внутрішнього контуру струму відповідно до (3.4) при датчику струму з функцією передачі

$$W_{д,т}(p) = 1/R(T_{д,т}p + 1)$$

і ПІ-регулятора струму з функцією передачі

$$W_{р,т}(p) = K_{р,т}(T_{р,т}p + 1)/T_{р,т}p$$

і при параметрах рівних

$$T_{р,т} = T_e \text{ і } K_{р,т} = T_e R / 2K_{пр}(T_{пр} + T_{д,т}), \quad (3.11)$$

дає передавальну функцію замкнутого контуру струму

$$W_{з,т}(p) = \frac{1}{2(T_{пр} + T_{д,т})^2 p^2 + 2(T_{пр} + T_{д,т})p + 1}. \quad (3.12)$$

Для подальшої оптимізації контура швидкості передавальну функцію замкнутого контуру струму можна уявити з достатньою для практики точністю у вигляді

$$W_{з,т}(p) \approx 1/(T_{з,т}p + 1). \quad (3.13)$$

Тут

$$T_{з,т} = 2(T_{пр} + T_{д,т}). \quad (3.14)$$

Зазвичай постійну фільтра датчика струму  $T_{д,т}$  вибирають рівною  $T_{пр}$ , тоді

$$T_{з,т} = 4T_{пр}. \quad (3.15)$$

Застосовуючи умови оптимізації (3.4) до передаточної функції замкнутого контура швидкості, можна отримати

$$T_{р,с} = 4 T_{з,т}; \quad K_{р,с} = T_m / 2 K_d K_{тг} T_{з,т}. \quad (3.16)$$

Тоді передавальна функція замкнутого контуру швидкості набуває вигляду

$$W_{3,c}(p) = \frac{4T_{3,T}p + 1}{8T_{3,T}^3p^3 + 8T_{3,T}^2p^2 + 4T_{3,T}p + 1}. \quad (3.17)$$

Таким чином, замкнутий контур швидкості, будучи об'єктом регулювання контуру положення, в залежності від структури і параметрів двигуна і перетворювача описується в загальному вигляді передавальними функціями двох типів

$$W_{3,c}(p) = \frac{1}{2T^2p^2 + 2Tp + 1} \quad (3.18)$$

або

$$W_{3,c}(p) = \frac{4Tp + 1}{8T^3p^3 + 8T^2p^2 + 4Tp + 1}. \quad (3.19)$$

Передавальна функція (3.18) відповідає налаштуванню контуру швидкості на модульний оптимум, а (3.19) — на симетричний оптимум.

Для подальших міркувань (3.19) можна представити також у вигляді передавальної функції другого порядку

$$W_{3,c}(p) \approx \frac{4Tp + 1}{8T^2p^2 + 4Tp + 1}. \quad (3.20)$$

Для компенсації форсуючої дії ланки з передавальною функцією  $4Tp + 1$ , що стоїть в чисельнику (3.20), і ланцюги завдання контуру швидкості включають аперіодическую ланку з передавальною функцією  $1 / (4Tp + 1)$ .

У загальному вигляді замкнутий контур швидкості можна представляти в вигляді передавальної функції другого порядку

$$W_{3,c}(p) = \frac{\omega_{0c}^2}{p^2 + 2\xi_c\omega_{0c}p + \omega_{0c}^2}. \quad (3.21)$$

У цьому виразі власна частота незатухаючих коливань  $\omega_{0c}$  і коефіцієнт демпфування  $\xi_c$  визначаються структурою і налаштуванням контуру швидкості. Для контуру швидкості без підлеглого контуру струму (рисунок 3.3) з ПІ-регулятором швидкості  $\omega_{0c} = 1/2\sqrt{2T_e}$ ,  $\xi_c = 707$ ; з ПІД-регулятором  $\omega_{0c} = \sqrt{2T_{пр}}$ ,  $\xi_c = 707$ , а для контуру швидкості з підлеглим контуром струму (рисунок 3.4)  $\omega_{0c} = 1/8\sqrt{2T_{пр}}$ ,  $\xi_c = 707$ . Тоді з урахуванням (3.3) і (3.21) передавальна функція

замкнутого контура положення набуває вигляду

$$W_{з,п}(p) = \frac{\omega_{0c}^2}{\frac{1}{K_v} p^3 + \frac{2\xi_c \omega_{0c}}{K_v} p^2 + \frac{\omega_{0c}^2}{K_v} p + \omega_{0c}^2}.$$

Так як в цій передавальній функції є лише один параметр для варіювання, а саме добротність  $K_v$ , то можна виконати лише одну умову оптимізації (3.4) при  $i = 1$ . При цьому вираз для добротності

$$K_v = \frac{\omega_{0c}}{4\xi_c} = \frac{\omega_{0c}}{4} \cdot 0,707 = 0,35\omega_{0c}. \quad (3.23)$$

При реальних значеннях параметрів  $T_{пр}$  і  $T_c$  значення добротності становить  $K_v = 10..75$  1 / с.

Ці результати по оптимізації контура положення отримані в припущенні, що механічні ланки передавального пристрою (редуктора), що входить в контур швидкості, є абсолютно жорсткими. Однак на практиці це часто не виконується і при оптимізації контура положення необхідно враховувати кінцеву жорсткість механічних ланок.

Контур швидкості, що включає в себе нежорстку механічну частину, може бути представлений структурною схемою рисунку 3.5. Тут  $J_d, J_n$  — моменти інерції відповідно двигуна і навантаження;  $c$  — коефіцієнт жорсткості;  $K_{д,м} = M_{тр} / \Omega_n$  — коефіцієнт демпфування механічної частини;  $\omega_{0c}, \xi_c$  — параметри контуру швидкості.

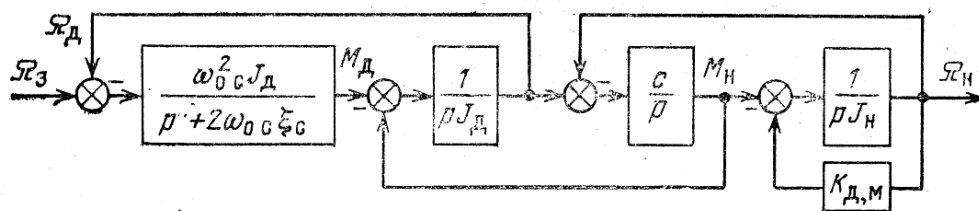


Рисунок 3.5 — Структурна схема контуру швидкості з нежорсткою механічною частиною

Оптимізація за умовами (3.4) передавальної функції замкнутого контуру положення з нежорсткою механічною частиною дозволяє отримати оцінку для

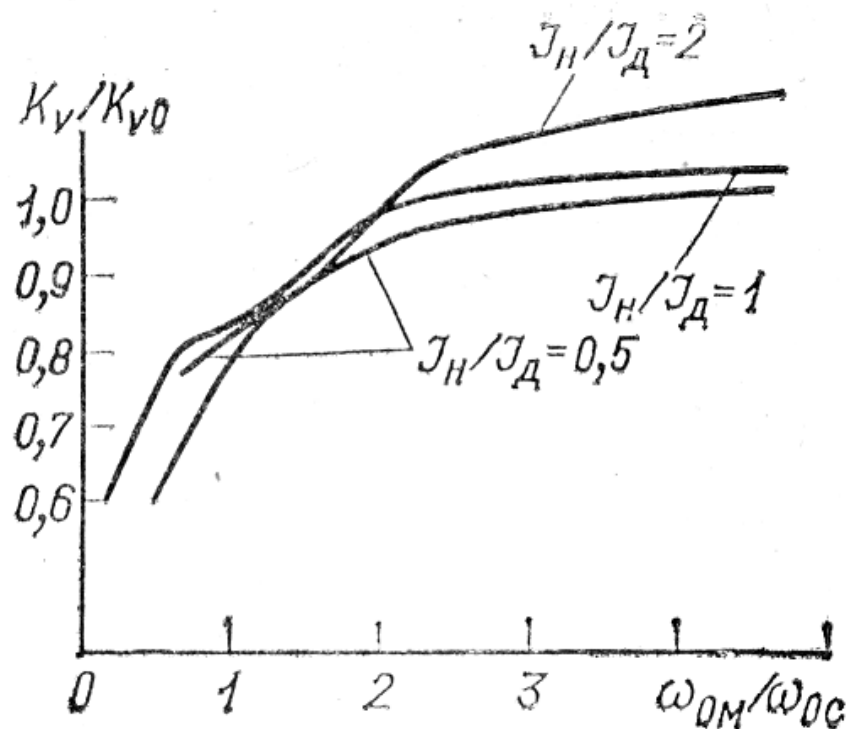
значень добротності, що досягаються в цьому випадку,

$$K_v = K_{v0} \frac{\left(1 + 4 \frac{\omega_{0M}}{\omega_{0c}} \xi_c \xi_M \frac{J_H}{J_D}\right)^2}{1 + \frac{\omega_{0c}}{\omega_{0M}} \frac{\xi_M}{\xi_c} + \frac{J_H}{J_D} \left(1 + 2 \frac{\xi_M \omega_{0M}}{\xi_c \omega_{0c}}\right)}, \quad (3.24)$$

де  $K_{v0} = \omega_{0c}/4\xi_c$  — добротність контура швидкості з жорсткою механічною частиною;

$$\omega_{0M} = \sqrt{c/J_H}; \quad \xi_M = K_{dM}/2\sqrt{cJ_H}. \quad (3.25)$$

На рисунку 3.6 представлені залежності гранично досяжної відносної добротності у разі нежорсткої механічної частини при різних співвідношеннях параметрів системи, що розраховані по (3.24). З них видно, що при  $\omega_{0M}/\omega_{0c} \geq 5$   $K_v \approx K_{v0}$ , тобто нежорсткістю механічної частини можна знехтувати.



Рисуно 3.6 — Відносна добротність контуру положення системи з нежорсткою механічною частиною

### 3.3 Опис обраного методу синтезу

Виконаємо синтез цифрового регулятора системи автоматичного регулювання синхронного сервопривода.

Одним з найефективніших інженерних методів синтезу систем автоматичного керування є метод, в основу якого покладено використання ЛАХ розімкнутої системи. Ідея методу ґрунтується на тому, що для стійких мінімально-фазових систем існує однозначний зв'язок між перехідною характеристикою замкнутої системи і виглядом ЛАХ відповідної розімкнутої системи. Виходячи з бажаного вигляду перехідного процесу, будують ЛАХ, яка відповідає такому процесу (бажану ЛАХ). Далі, знаючи вигляд бажаної ЛАХ, до неї наближують ЛАХ вихідної системи, запроваджуючи різні коректувальні пристрої.

Структурна схема модернізованої системи керування промислового робота маніпулятора зображена на рисунку 2.5.

Будь-яка САР з електроприводом складається з незмінної частини, до якої належить об'єкт регулювання, електродвигун, силовий керований перетворювач, а також елементи головного зворотного зв'язку та порівняння. Об'єкт регулювання вважається відомим при проектуванні САР, двигун і вибирають, виходячи з технологічних характеристик об'єкта. Природно, що ці елементи не підлягають зміні при корекції динамічних властивостей САР. Елементи САР, що не змінюються, визначають ЛАХ вихідної системи.

Принципова схема модернізованої системи керування промислового робота маніпулятора зображена на рисунку 3.7.

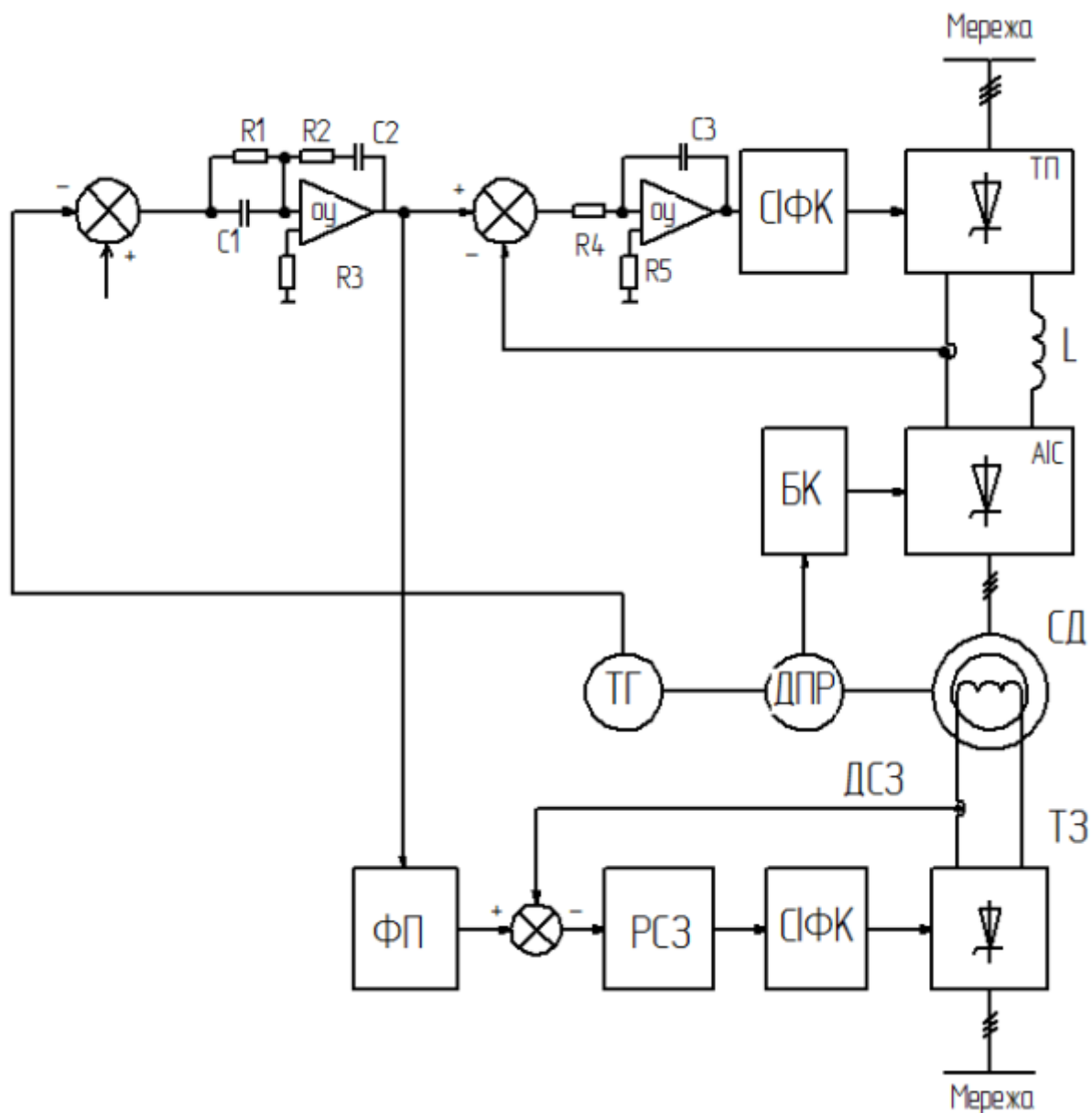


Рисунок 3.7 – Принципова схема цифрової системи керування синхронним двигуном

Силовая часть ТП та АІС зображена на рисунку 3.8.

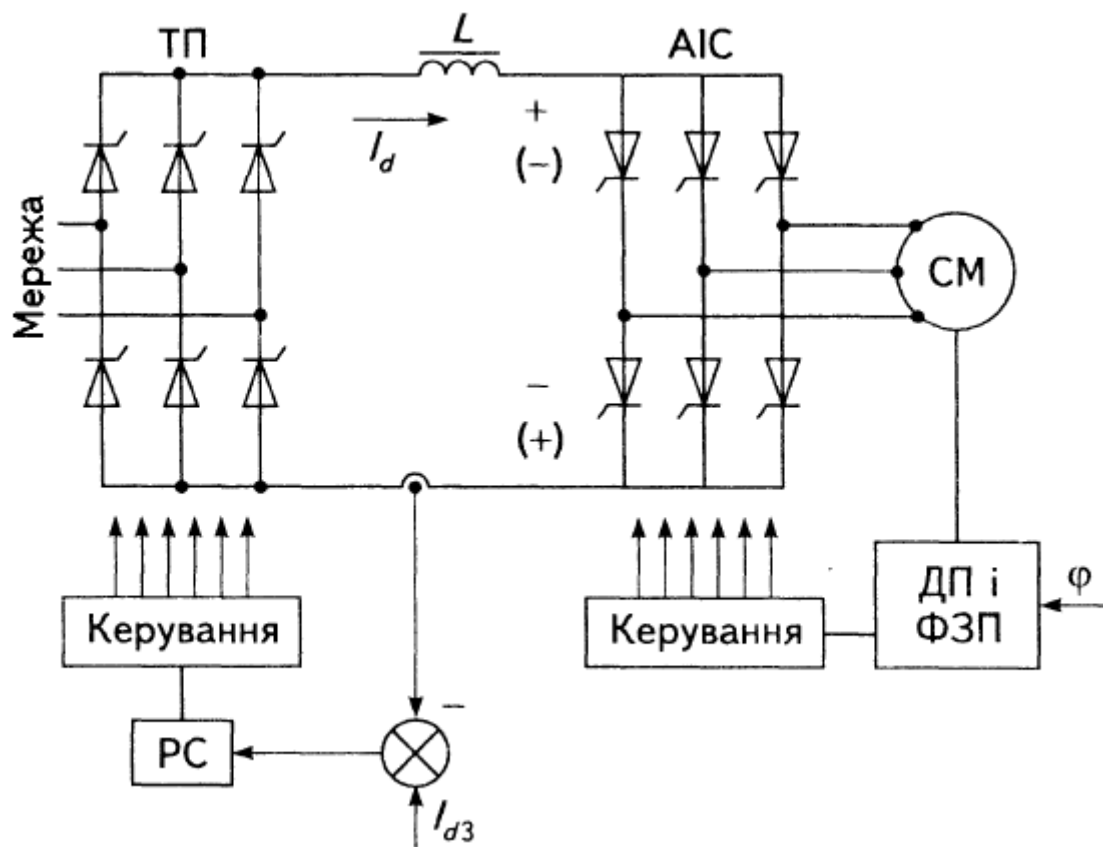


Рисунок 3.8 – Силова частина сисеми

### 3.4 Синтез регулятора методом бажаних ЛАХ

Вимоги до показників якості системи: добротність за швидкістю  $k_v = 50 \text{ c}^{-1}$ , час регулювання, перерегулювання  $\sigma < 25 \%$ .

Розрахунок коефіцієнтів передаточної функції.

Приймемо:

$$C_M = \frac{M_{ДВ}}{I_{ИНВ}} = \frac{14,08}{8,4} = 1,71 \text{ – коефіцієнт пропорційності між моментом двигуна та}$$

струмом інвертора.

$$k_{o.t.} = \frac{U_{зт max}}{I_{ст}}.$$

При умовах:

$$U_{зт max} \leq 10 \text{ В};$$

$$I_{\text{ст}} = (2..3)I_{\text{н}} = 2 \cdot I_{\text{н}} = 2 \cdot 2,8 = 5,6 \text{ A};$$

$$k_{\text{о.т.}} = \frac{U_{\text{зт max}}}{I_{\text{ст}}} = \frac{10}{5,6} = 1,8 \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

Момент інерційності двигуна  $J$ ,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ :

$$J = (m_{\text{гр}} + m_{\text{сп}})L_{\text{цм}} = (12 + 3) \cdot 0,1 = 0,15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

З урахуванням невеликої постійної часу фільтру  $T_{\text{ф}}$  у колі датчика струму постійна часу  $T_{\text{ср}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ .

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю -  $k_{\text{ш}} = 0,01 \text{ Ом}$ .

Загальний коефіцієнт підсилення:

$$k = \frac{C_M k_{\text{ш}}}{J k_{\text{о.т}}} = \frac{1,71 \cdot 0,01}{0,15 \cdot 1,8} = \frac{0,017}{0,27} = 0,06.$$

Передаюча функція безперервної частини системи  $W_{\text{бп}(p)}$ :

$$W_{\text{бп}(p)} = \frac{C_M k_{\text{ш}}}{J k_{\text{о.т}} p^2 (T_{\text{ср}} p + 1)}.$$

Побудуємо ЛАХ безперервної частини.

Вибираємо період квантування так, щоб злам асимптотичної ЛАХ був ліворуч

від частоти  $\omega = \frac{2}{T_0}$ .

Частота зламу ЛАХ безперервної частини системи становить  $\omega_1, c^{-1}$ :

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0,0015} = 666 c^{-1}.$$

Приймаємо  $T_0 = 0,003 c$  (умова  $T > 0,5 T_0$  виконується). У низькочастотній зоні  $\omega \approx \lambda$ . Знаходимо абсолютну псевдочастоту зламу асимптотичної ЛАХ  $\lambda, c^{-1}$ :

$$\lambda = \frac{2}{T_0} \operatorname{tg} \frac{\omega_1 \cdot T_0}{2} = \frac{2}{0,003} \operatorname{tg} \frac{666 \cdot 0,003}{2} = 660 c^{-1},$$

тобто похибка становить усього  $\sim 2 \%$ .

Через те, що високочастотна частина ЛАХ практично не впливає на якість перехідних процесів, під час синтезу коректувальної ланки можна обмежитися спрощеною побудовою ЛАХ приведеної безперервної частини системи  $W_{\Pi}(j\lambda)$ :

$$W_{\Pi}(j\lambda) = \frac{\left(1 - j\lambda \frac{T_0}{2}\right) 0,06}{j\lambda(0,0015j\lambda + 1)}.$$

Побудовану характеристику  $L_{\Pi}(\lambda)$  зображено на рисунку 3.9.

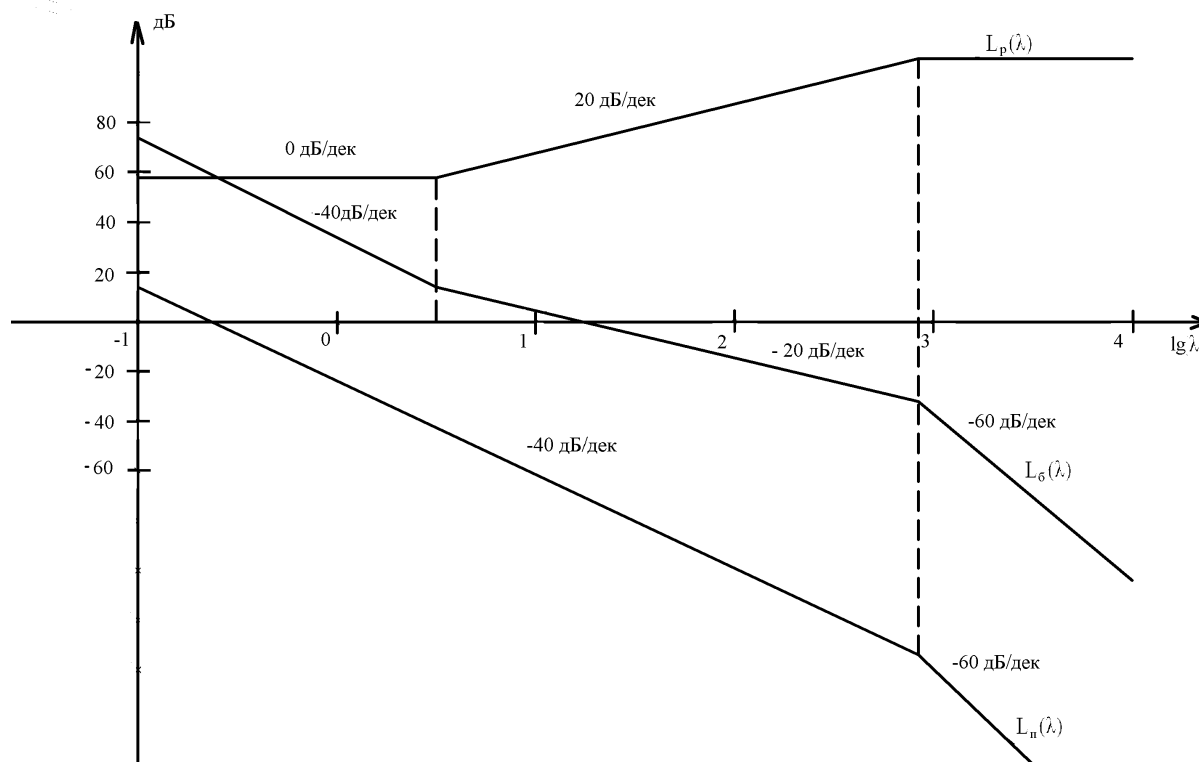


Рисунок 3.9 – Побудова ЛАХ системи

Бажану ЛАХ побудуємо за методикою, що застосовується для безперервних систем. Виходячи із заданої добротності системи за швидкістю, низькочастотну частину ЛАХ  $L_6(\lambda)$  проводимо через точку з координатами  $\lg \lambda = 0$ ,  $L_6(\lambda) = 20 \lg k_v = 34$  дБ з нахилом  $-20$  дБ/дек. Виходячи із заданого часу регулювання  $t_p = 0,5$  с і перерегулювання  $\sigma < 25$  %, визначимо частоту зрізу  $\lambda_3$ ,  $\text{с}^{-1}$ :

$$\lambda_3 = \frac{c}{t_p} = \frac{8}{0,5} = 16 \text{ с}^{-1}.$$

де  $c = 8$  — коефіцієнт, що визначається за графіком.

Середньочастотну частину  $L_6(\lambda)$  проводимо через точку з координатами  $L(\lambda) = 0$ ,  $\lg \lambda_3$  з нахилом  $-20$  дБ/дек і сполучаємо її з низькочастотною частиною на частоті  $\lg \lambda_2 = 0,5$ ,  $\lambda_2 = 3,2 \text{ с}^{-1}$ .

Виходячи з типу бажаної ЛАХ, частоти сполучення середньочастотної частини з низькочастотною і високочастотною частинами визначаємо з умов:

$$\lambda_3/\lambda_2 = 10; 2 < \lambda_2/\lambda_3 < 4.$$

Високочастотну частину характеристики  $L_6(\lambda)$  проводимо паралельно характеристиці  $L_\pi(\lambda)$ .

ЛАХ цифрового регулятора  $L_p(\lambda)$  визначається як різниця  $L_6(\lambda) - L_\pi(\lambda)$ . За виглядом ЛАХ  $L_p(\lambda)$  знаходимо комплексно-частотну функцію

$$W_p(j\lambda) = \frac{794(j\tau_1\lambda + 1)}{j\tau_2\lambda + 1} = \frac{794(j0,31\lambda + 1)}{j0,0015\lambda + 1}.$$

в якій  $\lg \lambda_1 = 0,5$ ,  $\lambda_1 = 3,2 \text{ c}^{-1}$ ,  $\tau_1 = 0,31 \text{ c}$ ;  $\lg \lambda_2 = 2,8$ ,  $\lambda_2 = 660 \text{ c}^{-1}$ ,  $\tau_2 = 0,0015 \text{ c}$  визначено за характеристикою  $L_p(\lambda)$  (рисунок 3.1).

Виконавши підстановку:

$$j\lambda = \frac{2}{T_0} \frac{z - 1}{z + 1}.$$

Дістанемо  $W_p(z)$ :

$$W_p(z) = \frac{123864z - 122276}{1985z - 397}.$$

Цей вираз зведемо до вигляду, зручному для складання різницевого рівняння  $W_p(z)$ :

$$W_p(z) = \frac{U_p(z)}{\varepsilon(z)} = \frac{62,4z - 61,6}{z - 0,2} = \frac{62,4 - 61,6z^{-1}}{1 - 0,2z^{-1}}.$$

Введемо співмножник  $z^{-1}$ , що забезпечує виконання програми корекції на мікро-ЕОМ у реальному масштабі часу  $\frac{U_p(z)}{\varepsilon(z)}$ :

$$\frac{U_p(z)}{\varepsilon(z)} = \frac{62,4z^{-1} - 61,6z^{-2}}{1 - 0,2z^{-1}}.$$

і запишемо різницеве рівняння корекції

$$u_p[nT_0] = 0,2u_p[n(-1)T_0] + 62,4\varepsilon[(n-1)T_0] - 61,6\varepsilon[(n-2)T_0].$$

У цьому рівнянні  $u_p[nT_0]$  — число, що подається на ЦАП, увімкнений на виході цифрового регулятора;  $\varepsilon[nT_0]$  — число на виході АЦП, що перетворює різницю сигналів завдання і зворотного зв'язку за швидкістю в цифровий код.

Під час обчислення  $u_p[nT_0]$  приймається, що  $u_p[nT_0] = 0$  при  $n < 0$  і функція  $\varepsilon[nT_0]$  прикладається в момент  $n = 0$ . Тоді  $u_p[nT_0]$  обчислюємо у такій послідовності: в кінці першого такту  $n = 1$  і  $u_p[1T_0] = 62,4\varepsilon[0]$ , в кінці другого такту  $n = 2$  і  $u_p[2T_0] = 0,2u_p[1T_0] + 62,4\varepsilon[1T_0] - 61,6\varepsilon[0]$ .

### 3.5 Моделювання системи у середовищі Simulink

Для дослідження стійкості системи скористуємося пакетом програм Matlab, а саме середовищем Simulink.

Опираючись на структурну схему сформуємо математичну модель системи. Для реалізації АЦП використаємо ланку екстраполятора нульового порядку, математична модель якого присутня у середовищі Simulink. Формувач імпульсів змодельовано за допомогою цифрового диференціатора та інтегруючої ланки. Цифровий регулятор представляю собою підсилювальну ланку та дискретну передаточну функцію. Загальний вигляд математичної моделі системи зображен на рисунку 3.10.

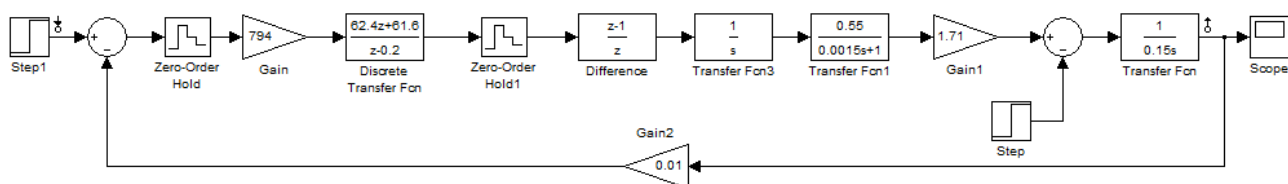


Рисунок 3.10 – Математична модель системи

Результат моделювання перехідних процесів у середовищі Simulink зображений на рисунку 3.11.

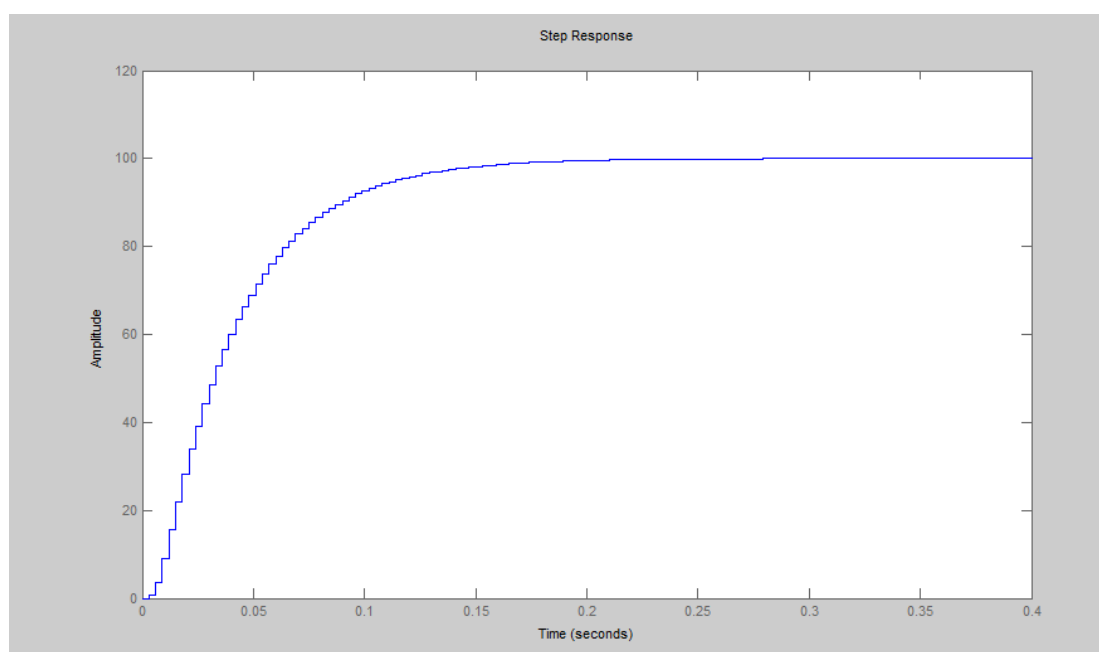


Рисунок 3.11 – Перехідна характеристика системи

За результатами моделювання можна зробити висновок:

- перегулювання складає  $\sigma=0\%$ ;
- час перехідного процесу  $t_p=0,15$  с.

## РОЗДІЛ 4

### АНАЛІЗ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА З ІМПУЛЬСНИМ РЕГУЛЯТОРОМ

#### 4.1 Побудова моделі електропривода в програмному середовищі *Simulink*

а рисунку 4.1 представлена модель електропривода з автономним інвертором, що керований імпульсним регулятором, в якості якого виступає широтно-імпульсний регулятор (ШИР).

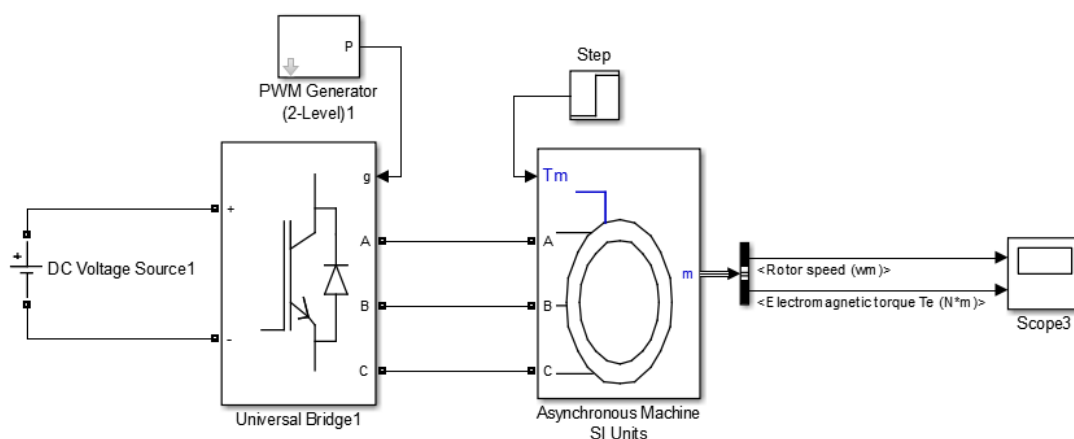


Рисунок 4.1 — Модель електропривода з імпульсним керуванням

Перетворювач частоти виконаний блоком *Universal Bridge*; живлення перетворювача отримує від акумуляторної батареї; керуюча напруга формується в блоці *PWM Generator*. На рисунку 4.2 представлені вікна налаштування основних блоків автономного інвертора напруги: *Universal Bridge* і *PWM Generator*.

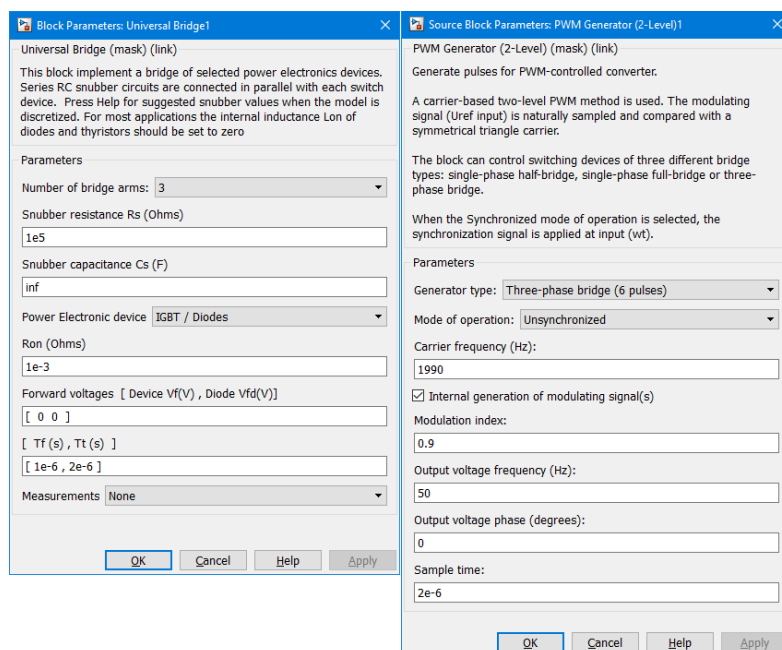


Рисунок 4.2 — Параметри блоків *Universal Bridge* і *PWM Generator*

## 4.2 Аналіз перехідних процесів моделі

Перехідна характеристика оцінюється сукупністю параметрів, які називаються показниками якості. До них відносяться:

- перерегулювання  $\sigma$  – відношення максимального відхилення керованої змінної щодо її сталого значення в напрямі, протилежному початковому відхиленню;
- коливальність  $\mu$  – число максимумів або мінімумів перехідної характеристики за час регулювання;
- тривалість перехідного процесу  $t_{\pi}$  – це час, після закінчення якого відхилення керованої змінної щодо сталого значення стає і залишається по абсолютній величині менше заданого значення  $\Delta$ , визначуваного вимогами, що пред'являються до САК;
- час встановлення  $t_{\text{пmax}}$  – проміжок часу після закінчення якого керована змінна вперше досягає свого сталого значення;

Як було зазначено вище, імпульсний елемент, при введенні його в неперервну систему, спотворює її частотну характеристику і може покращити динамічні властивості системи, зокрема показники якості.

На рисунку 4.3 представлені графіки перехідного процесу кутової швидкості і електромагнітного моменту двигуна, з яких видно що перехідний процес займає 0,1 с. Перерегулювання відсутнє. Коливальність по моменту,  $\mu = 4$ . Час встановлення,  $t_{\text{max}} = 0,09$  с.

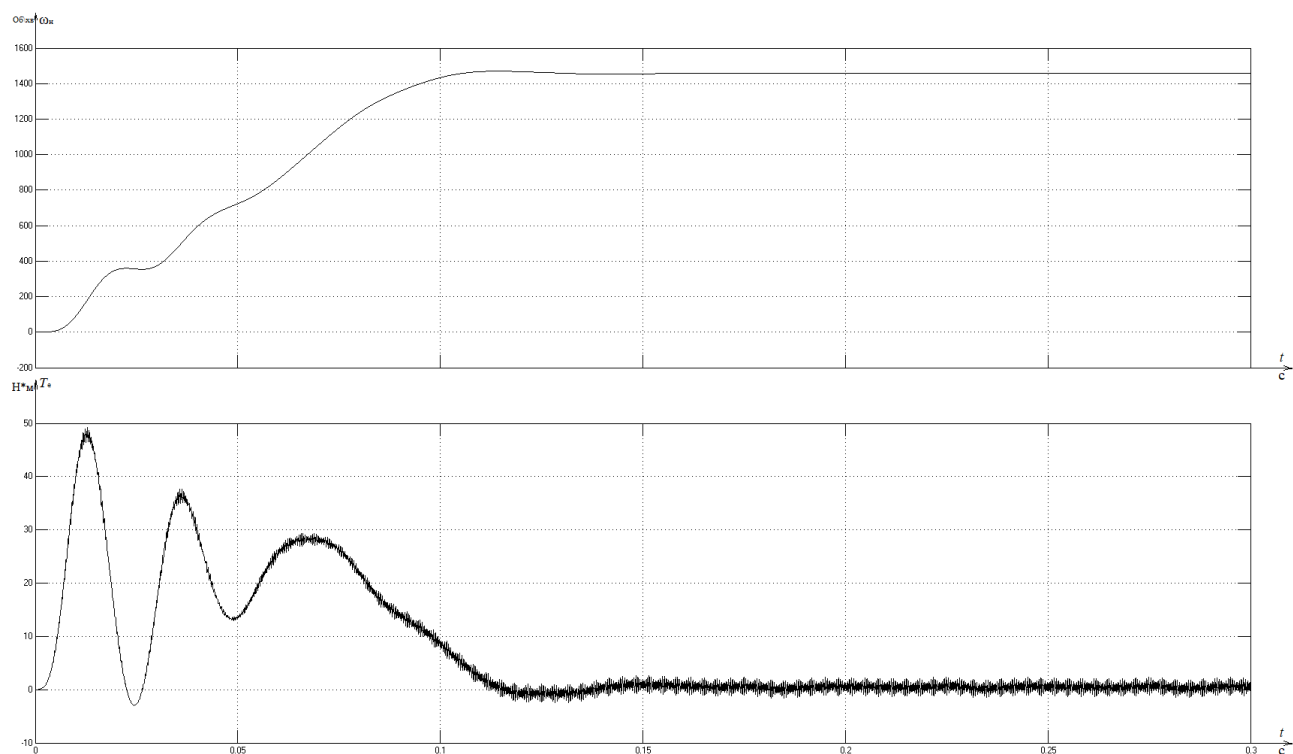


Рисунок 4.3 — Графіки перехідних процесів

### 4.3 Аналіз впливу періоду повторення на стійкість системи

Для проведення аналізу були побудовані АФЧХ для різних значень періоду повторення ( $T_0$ ). Вони були розраховані за допомогою програмного середовища *Matlab*, код програми представлений на рисунку 4.4.

```
clear all; clc;
Wn = tf([2],[48.048*10^-6 8.932*10^-2 0.154 0]);
Wo = 1;
W = feedback(Wn, Wo);
Wz = c2d(W, 0.1);
nyquist(Wz);
```

Рисунок 4.4 — Код для побудови АФЧХ дискретної системи  
Побудовані АФЧХ представлені на рисунках 4.5 - 4.8.

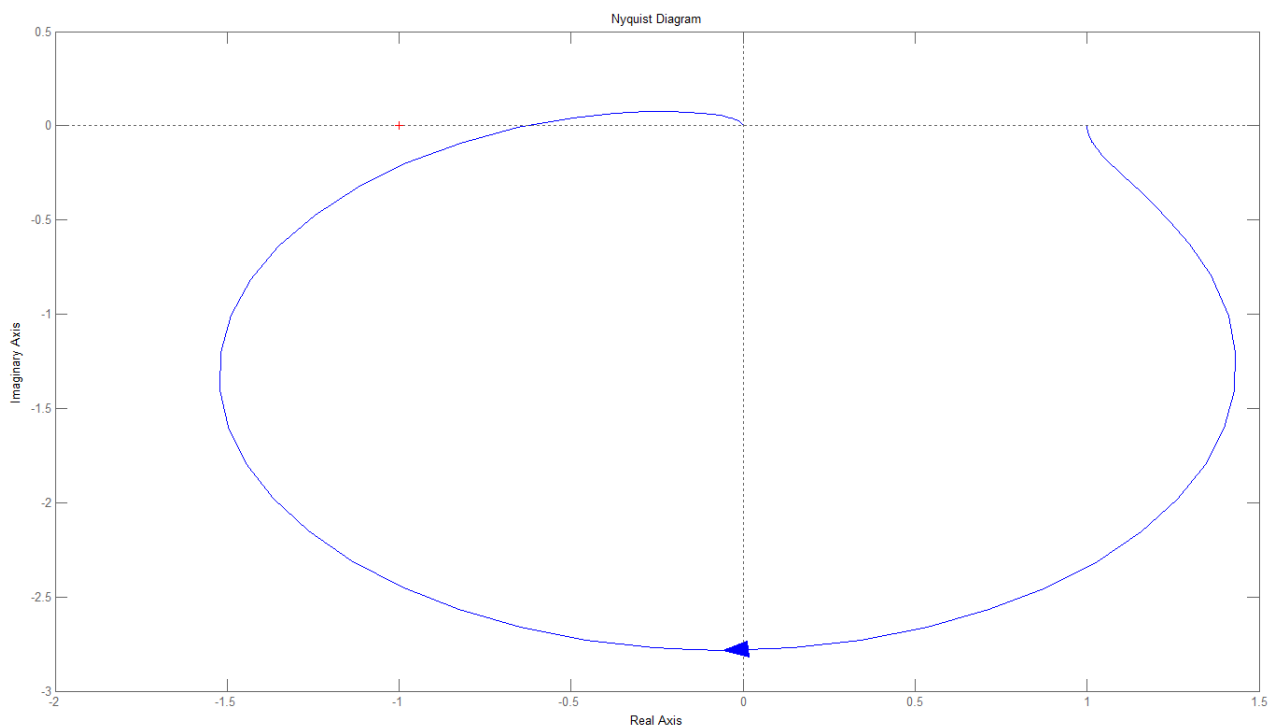


Рисунок 4.5 — АФЧХ для  $T_0 = 0,1$

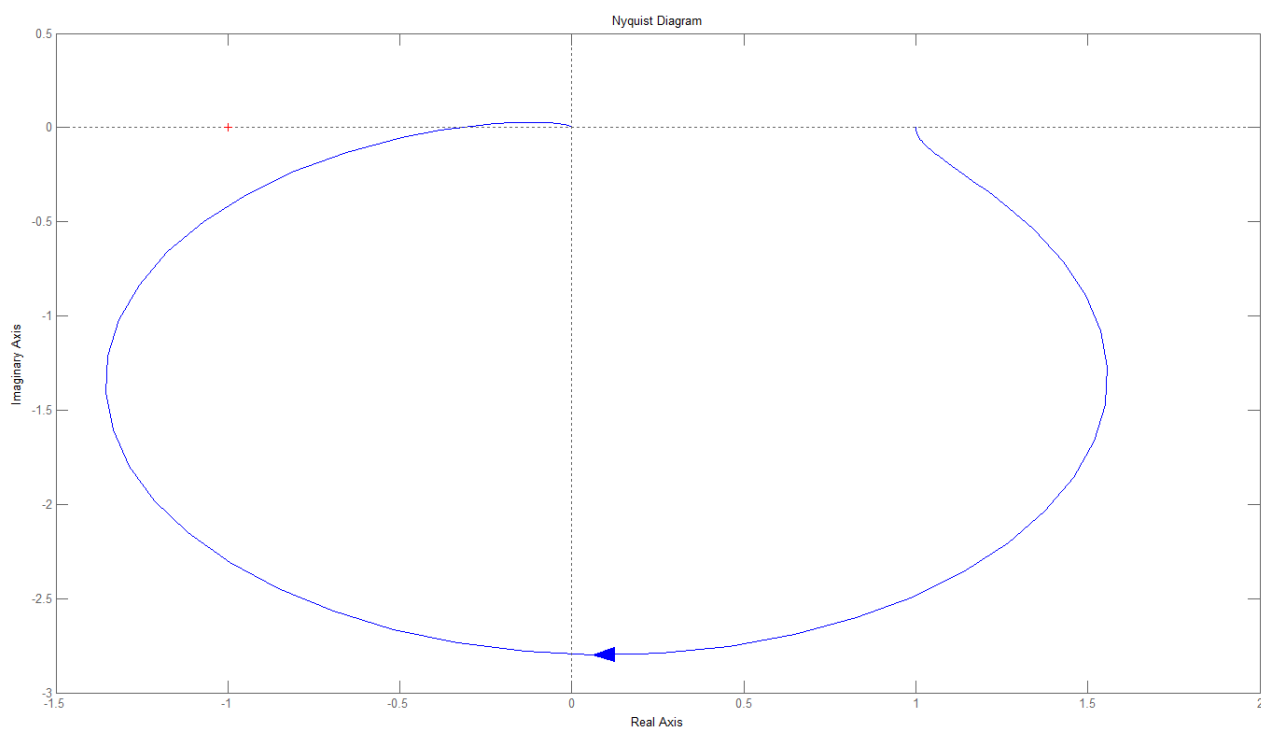


Рисунок 4.6 — АФЧХ для  $T_0 = 0,05$

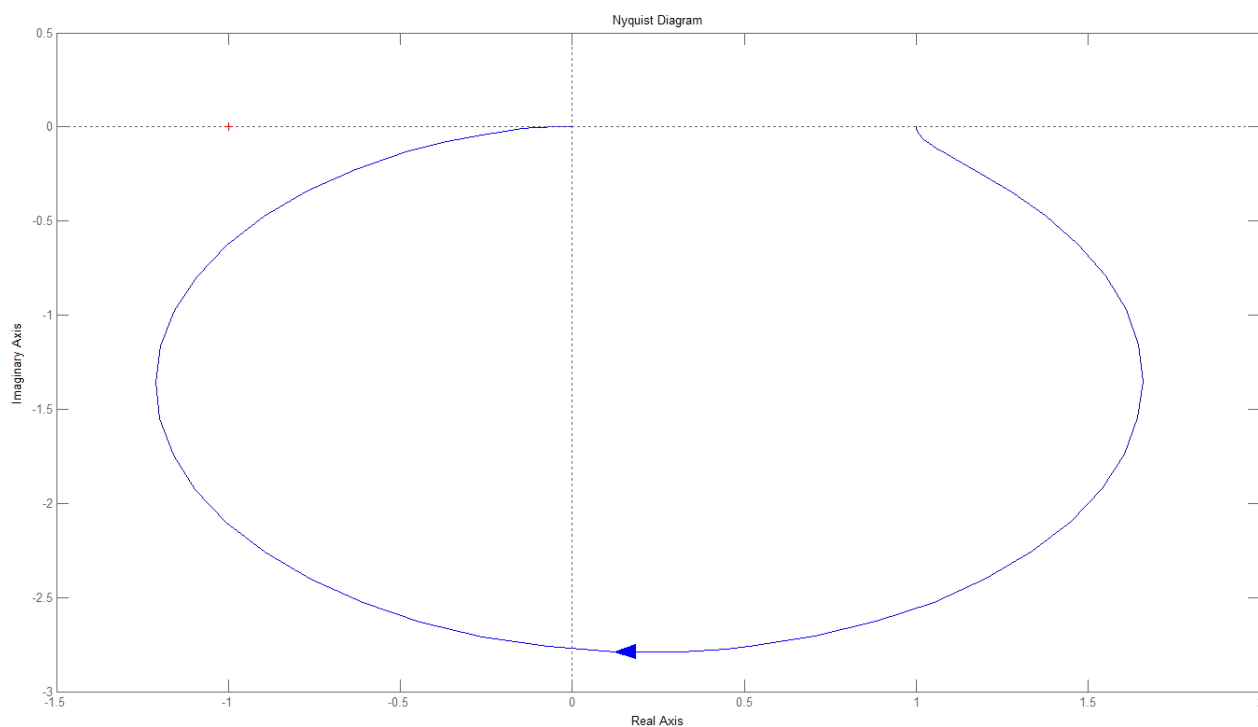


Рисунок 4.7 — АФЧХ для  $T_0 = 0,01$

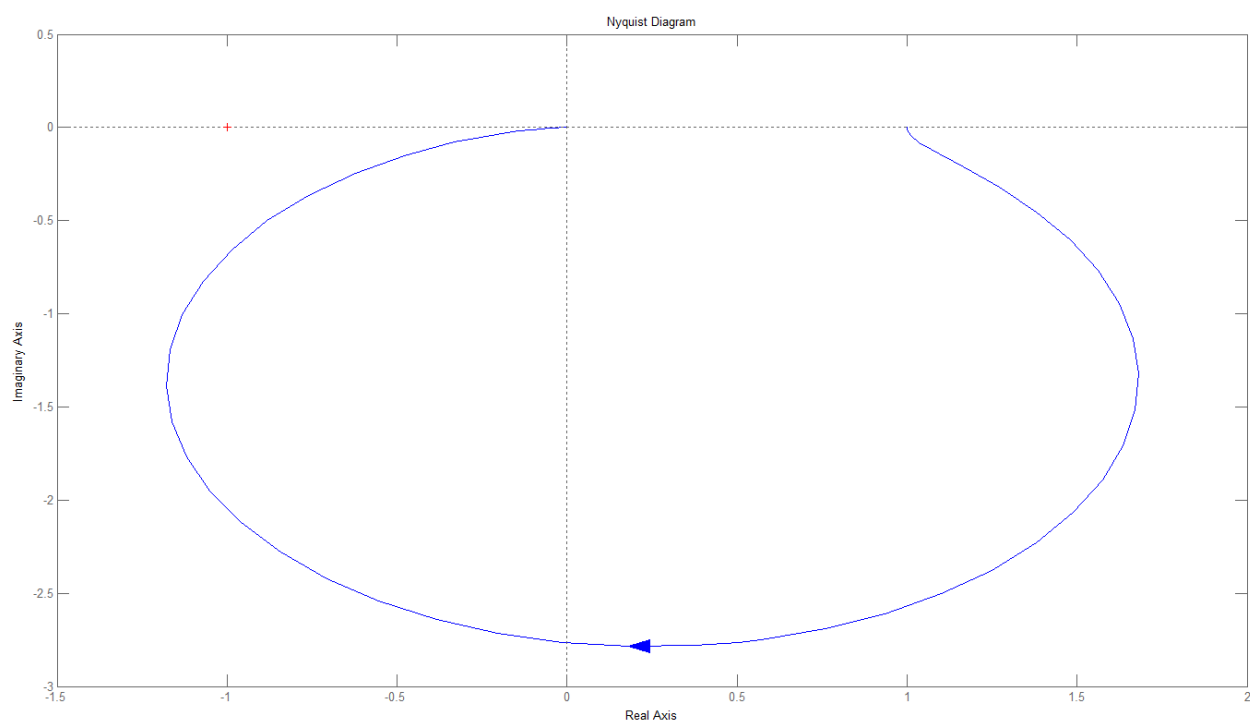


Рисунок 4.8 — АФЧХ для  $T_0 = 0,001$

Як видно з АФЧХ, збільшення частоти повторення, в деяких межах, призводить до підвищення запасу стійкості системи. З цього можна зробити висновок, що

введення імпульсного регулятора може слугувати засобом стабілізації системи. Цей висновок важливий тим, що даним видом характеристики володіє велике число об'єктів з розподіленими постійними, запізненням і т. д., безперервне регулювання яких зазвичай представляє труднощі.

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система правових, соціально–економічних, організаційно–технічних, санітарно–гігієнічних та лікувально–профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці [30,31].

Умови праці – це система правових, соціально–економічних, організаційно–технічних, санітарно–гігієнічних та лікувально–профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці.

Шкідливий виробничий фактор – виробничий фактор, вплив якого може призвести до погіршення стану здоров'я, зниження працездатності працівника.

Небезпечний виробничий фактор – виробничий фактор, дія якого за певних умов може призвести до травм або іншого раптового погіршення здоров'я працівника.

Дія окремих несприятливих факторів виробничого середовища може призвести до виробничої травми – порушення анатомічної цілісності організму людини або його функцій внаслідок впливу виробничих факторів.

Часто травма є наслідком нещасного випадку. Нещасний випадок на виробництві – раптовий вплив на працівника небезпечного виробничого фактора чи середовища, внаслідок яких заподіяна шкода здоров'ю або наступила смерть.

Наслідком дії несприятливих виробничих факторів може бути і професійне захворювання – паталогічний стан людини, обумовлений роботою і пов'язаний з надмірним напруженням організму або несприятливою дією шкідливих виробничих факторів.

Окрім професійних, на виробництві зараз відокремлюють групу, так званих, виробничо зумовлених захворювань – захворювань, перебіг яких ускладнюється умовами праці, а частота їх перевищує частоту подібних у працівників, які не зазнають впливу певних професійних шкідливих факторів.

Правовою основою законодавства щодо охорони праці є Конституція України, Закони України: “Про охорону праці”, “Про охорону здоров'я”, “Про пожежну

безпеку”, “Про використання ядерної енергії та радіаційний захист”, “Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення”, а також Кодекс законів про працю України (КЗпП).

В ст. 43 Конституції України записано: “Кожен має право на працю, що включає можливість заробляти собі на життя працею, яку він вільно обирає, або на яку вільно погоджується”, “Кожен має право на належні, безпечні і здорові умови праці, на заробітну плату, не нижчу від визнаної законом”, “Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров’я роботах забороняється”.

Кожен, хто працює, має право на відпочинок (ст. 45 Конституції України). Це право забезпечується наданням днів щотижневого відпочинку, а також оплачуваної щорічної відпустки, встановленням скороченого робочого дня щодо окремих професій і виробництв, скороченої тривалості роботи у нічний час.

У тексті ст. 46 Конституції України вказано те, що громадяни мають право на соціальний захист, що включає право на забезпечення їх у разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності, втрати годувальника, безробіття з належних від них обставин, а також у старості та в інших випадках, передбачених законом.

Основоположним законодавчим документом в галузі охорони праці є Закон України “Про охорону праці”, дія якого поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності, на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах.

Державні нормативні акти про охорону праці (ДНАОП) – це правила, стандарти, норми, положення, інструкції та інші документи, яким надано чинність правових норм, обов’язкових для виконання.

## **5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих чинників діючих на людину**

### **Виробничі травми та профзахворювання**

На суднах під час експлуатації обладнання та виконання технологічних процесів працівники можуть перебувати в небезпечних зонах. Небезпечним

виробничим чинником називають такий чинник, вплив якого на працівника за певних умов призводить до травми чи різкого погіршення здоров'я.

Виробничі фактори (рухомі машини й механізми, рухомі частини виробничого устаткування та ін.) можуть спричинити травми. Під виробничою травмою розуміють порушення анатомічної цілісності або фізіологічних функцій тканин чи органів людини внаслідок механічного, теплового, хімічного та іншого впливу факторів виробничого середовища на організм людини у зв'язку з виконанням нею професійної праці, будь-якого виробничого завдання або громадського доручення.

Відповідно до впливу чинників виробничого середовища на працівників травми поділяють на:

- механічні травми (уражені частини тіла, переломи, рани тощо) можуть бути заподіяні рушійними частинами виробничого устаткування та оброблюваними предметами, інструментом. Вони можуть виникнути при падінні працівника (якщо приміщення захищено устаткуванням, зіпсовані переносні драбини);

- теплові травми (опіки, обмороження, теплові удари) викликані переважно прямим доторканням до поверхні виробничого устаткування, впливом полум'я, гарячих предметів; раптовою дією розплавленого металу. Обмороження є наслідком дії низьких температур повітря, устаткування чи предметів;

- електричні травми пов'язані з проникненням струму через організм людини. Причини електричних травм на виробництві різноманітні: обриви дроту, доторкання до неізольованих дротів чи предметів під напругою;

- комбіновані травми можуть бути заподіяні кількома видами впливу.

Відповідно до “Схеми розподілу виробничих травм за ступенем серйозності ушкоджень” і “Схеми розподілу гострих профотруєнь за ступенем їх серйозності” травми поділяються на легкі, тяжкі й смертельні. Крім того, травми можуть бути груповими, якщо травмовано двох і більш працівників. Сукупність виробничих травм називають виробничим травматизмом.

Унаслідок довготривалої або багатократної дії шкідливих речовин та небезпечних факторів виробничого середовища і трудового процесу виникають професійні захворювання. До професійного захворювання належить захворювання,

що виникло внаслідок професійної діяльності виключно або переважно під впливом шкідливих речовин і певних видів робіт та інших факторів, пов'язаних з роботою.

#### Мікроклімат суднових приміщень, його вплив на організм працівника

На суднах на самопочуття, стан здоров'я людини впливає мікроклімат приміщень, який визначається дією на організм людини температури, вологості, рухомості повітря і теплового випромінювання. Виробничий мікроклімат, як правило, відрізняється значною мінливістю, нерівномірністю по горизонталі та вертикалі, різноманітністю сполучень температури, вологості, рухомості повітря, інтенсивності випромінювання залежно від особливостей технології виробництва, кліматичних особливостей місцевості, конструкцій споруд, організації повітрообміну із зовнішнім середовищем.

Розглядаючи механізми впливу метеорологічних факторів виробничого середовища (температури, вологи, швидкості руху повітря, тощо) на людину, маємо на увазі, що людський організм прагне підтримати відносну динамічну сталість своїх функцій за різноманітних метеорологічних умов. Ця сталість забезпечує насамперед один з найважливіших фізіологічних механізмів – механізм терморегуляції. Вона спостерігається при певному співвідношенні теплоутворення (хімічної терморегуляції) і тепловіддачі (фізичної терморегуляції).

Відомо, що надлишкова вологість повітря негативно впливає на механізм терморегуляції організму. Особливо шкідливою є вологість повітря, яка перевищує 70 – 75 % за температури 30 °C і більше. Фізична робота в умовах підвищеної температури призводить до прискорення серцебиття, зниження артеріального тиску. За низької температури може статися переохолодження організму, що спричинить простудне захворювання. Висока температура послаблює організм, викликає млявість, а низька – сковує рухи, що при обслуговуванні машин спричиняє підвищену небезпеку травмування. За високої температури та вологості може статися перегрів тіла, навіть тепловий удар.

#### Вплив освітлення на здоров'я людини та його продуктивність

Близько 90 % всієї інформації, що отримується людиною, приходить на органи зору. Організація освітленості робочих місць грає велику роль у житті людини. Недостатнє та нераціональне освітлення веде до втомлення очей, розладу центральної нервової системи, зниженню розумової та фізичної працездатності, а у ряді випадків може бути причиною травматизму.

Суднове освітлення залежно від джерела світла може бути:

- природнє – обумовлено прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу, міняється залежно від географічної широти, ступеню хмарності, часу діб від сотен частин люкс вночі до десятків тисяч люкс вдень;
- штучне – створюється штучними джерелами світла: лампами розжарювання або газорозрядними лампами;
- суміщене – уявляє собою доповнення природнього освітлення штучним в світлий час діб при недостатньому за нормами природнім освітленям.

По функціональному призначенню штучне освітлення підрозділяють на:

- робоче – освітлення приміщень суден, а також діляниць відкритих просторів, призначених для роботи, проходу людей та руху транспорту;
- аварійне – використовується для продовження роботи при аварійному відключенні робочого освітлення. Найменша освітленість робочих поверхней при аварійному режимі роботи повинна складати 5 % освітленості, нормованої для робочого освітлення;
- евакуаційне – передбачається для евакуації людей при аварійному відключенні робочого освітлення. Воно необхідне у проходах, на сходах, у виробничих приміщеннях, де працює більш 50 чоловік; у приміщеннях допоміжних будинків, де можуть одночасно знаходитись більш 100 чоловік. Найменша освітленість при евакуаційному освітленні на підлозі основних проходів та на ступенях сходів – 0,5 лк. Світильники аварійного та евакуаційного освітлення приєднують до незалежного джерела живлення;
- охоронне – передбачається вздовж меж територій, що охороняються у нічний час. Освітленість має бути 0,5 лк на рівні землі у горизонтальній площини;

– чергове – освітлення приміщень, прибігають у неробочий час, при цьому використовуються частина світильників того або іншого виду освітлення.

### Шум, його вплив на організм працівника

Одним з найшкідливіших факторів, притаманних нашій цивілізації, є шум. Виробничий шум – це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що виникають у повітряному середовищі і безпосередньо впливають на працездатність.

Шум є одним з небезпечних факторів зовнішнього середовища на виробництві. Це пов'язано з підвищенням потужності та продуктивності машин, їх повсюдним застосуванням на всіх ділянках і сферах виробництва. В умовах виробництва, як правило, мають місце шуми різної інтенсивності і спектри, які виникають унаслідок дії різноманітних механізмів, агрегатів та інших пристроїв.

Шум несприятливо впливає на людину. У робітників, які мають справу з гуркотливими машинами та механізмами, виникають стійкі порушення слуху, що нерідко призводить до професійних захворювань (глухуватості і глухоти). Найбільша втрата слуху спостерігається протягом перших десяти років роботи, і з плином часу ця небезпека зростає. Проте тривалий шум впливає не лише на слух. Він робить людину нервовою, погіршує її самопочуття, знижує працездатність та швидкість руху, сповільнює розумовий процес. Усе це може спричинити аварію на виробництві.

Шум впливає на систему травлення і кровообігу, серцево-судинну систему. У разі постійного шумового фону до 70 дБ виникає порушення ендокринної та нервової систем, до 90 дБ – порушує слух, до 120 дБ – призводить до фізичного болю, який може бути нестерпним. Шум не лише погіршує самопочуття людини, а й знижує продуктивність праці на 10 – 15 %.

### Вібрація, її вплив на працівника

Деякі виробничі процеси пов'язані з вібрацією. Вібрація – це тремтіння всього тіла або окремих його частин унаслідок виконання певних робіт.

За характером впливу на організм розрізняють загальну та локальну вібрацію. Загальна вібрація викликає тремтіння всього тіла людини, локальна – залучає до

коливання лише окремі частини тіла (руки, передпліччя, ноги). У виробничих умовах часто зустрічаються випадки комбінованого впливу вібрації – загальної та локальної.

Вібрація завдає великої шкоди здоров'ю людини – від перевтоми організму та незначних змін функцій організму до струсу мозку, розриву тканин, порушення серцевої діяльності і нервової системи, деформації м'язів та кісток, порушення чутливості шкіри і кровообігу тощо. Вібрації частотою понад 200 Гц перевантажують нервову систему людини, потребують підвищеного психічного напруження.

Вібрація викликає порушення фізіологічного та функціонального станів людини. Стійкі шкідливі фізіологічні зміни називають вібраційною хворобою. Симптоми вібраційної хвороби проявляються у вигляді головного болю, заніміння пальців рук, болю в кистях та передпліччі, виникають судоми, підвищується чутливість до охолодження, з'являється безсоння. При вібраційній хворобі виникають патологічні зміни спинного мозку, серцево–судинної системи, кісткових тканин та суглобів змінюється капілярний кровообіг.

Функціональні зміни, пов'язані з дією вібрації на людину – погіршення зору, зміни реакції вестибулярного апарату, виникнення галюцинацій, швидка втомлюваність. Негативні відчуття від вібрації зникають при прискореннях, що складають 5 % прискорення сили ваги, тобто при  $0,5 \text{ м/с}^2$ . Особливо шкідливі вібрації з частотами, близькими до частот власних коливань тіла людини, більшість котрих знаходиться в межах 6 – 30 Гц.

#### Інфразвук, його вплив на працівника

Інфразвуком називають акустичні коливання з частотою нижче 20 Гц. Цей частотний діапазон лежить нижче порога чутності і людське вухо не здатне сприймати коливання зазначених частот. Для інфразвуку характерні дуже великі пороги слухового сприйняття, що робить його практично нечутним. Фізичні особливості інфразвукових коливань зумовлені їх малою частотою і великою довжиною хвиль. Характерною ознакою інфразвуку є його здатність поширюватися на значну відстань без істотної втрати енергії, огинати перепони внаслідок дифракції або проникати крізь них.

Виробничий інфразвук виникає за рахунок тих же процесів що і шум чутних частот. Найбільшу інтенсивність інфразвукових коливань створюють машини і механізми, що мають поверхні великих розмірів, що роблять низькочастотні механічні коливання (інфразвук механічного походження) чи турбулентні потоки газів і рідин (інфразвук аеродинамічного або гідродинамічного походження).

Максимальні рівні низькочастотних акустичних коливань від промислових джерел досягають 100 – 110 дБ. Дослідження біологічної дії інфразвуку на організм показали, що при рівні від 110 до 150 дБ і більш він може викликати в людей неприємні суб'єктивні відчуття і численні реактивні зміни, до числа яких варто віднести зміни в центральній нервовій, серцево–судинній і дихальній системах, вестибулярному аналізаторі. Маються дані про те, що інфразвук викликає зниження слуху переважно на низьких і середніх частотах. Виразність цих змін залежить від рівня інтенсивності інфразвуку і тривалості дії фактора.

В осіб, які працюють в умовах дії інфразвуку з найпоширенішими у промисловості рівнями тиску 90 – 110 дБ, специфічної патології не виявлялося. Працівники скаржились на млявість, пригніченість, швидке втомлення. У них спостерігалися значні зміни функції вестибулярного і слухового аналізаторів, дихальної і серцево–судинної систем.

Інфразвук має подразнюючу дію, що найбільшою мірою виявляється при виконанні роботи у приміщеннях без джерел шуму. За цих умов інфразвук може призвести до швидкої втоми і знизити якість виконуваної роботи. Відомі дані і про маскуючий ефект інфразвуку, який призводить до зниження розбірливості мови. Експериментальні дані, одержані під час короткочасного впливу інфразвуку з великими рівнями звукового тиску у промислових умовах на людину, свідчать про його виражену дію: підвищення слухового порога, погіршення функції рівноваги, зміну ритму серцевих скорочень і артеріального тиску, функціонального стану центральної нервової системи.

Дія електричного струму на організм людини

Електричний струм – це спрямоване переміщення електричних зарядів усередині провідної речовини (усередині металів, рідких провідників і т. ін.). Електричний струм, проходячи через тіло людини, обумовлює перетворення електричної енергії в інші види і спричиняє термічну, електролітичну та біологічну дії.

Термічна дія полягає в тому, що струм, проходячи через тіло людини, нагріває його, як і будь-який провідник, через який він проходить. Таким чином, проходячи через органи людського тіла, електричний струм може викликати їхні опіки, обуглювання тканин і всього тіла.

Електролітична дія полягає в тому, що електричний струм має властивість розщеплювати кислотні, лужні й інші провідні рідкі розчини на складові частини. Проходячи через тіло людини, що, як відомо, складається на 70 % із води (протоплазма клітин, кров і т. ін.), він справляє подібну електролітичну дію, розщеплюючи протоплазму і кров. У результаті клітини втрачають спроможність до нормального існування, обміну речовин і т. д.

Біологічна дія електричного струму полягає в тому, що при його проходженні відбувається подразнення і збудження живих тканин організму і порушення внутрішніх біологічних процесів. У результаті можуть відбуватися мимовільні рухи кінцівок, голови, інших органів; може змінитися ритм биття серця (настає так звана фібриляція, некерована вібрація серця); порушується робота легень.

Механічна дія електричного струму може призводити до розриву тканин внаслідок електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухоподібного утворення пари з тканинної рідини і крові; до вивихів, переломів. Дія електричного струму може призвести як до травм, так і до летальних наслідків.

Вплив електричного струму на організм людини класифікують за ступенем складності:

1. Електротравми – опіки, електричні знаки (специфічне ураження тканин); металізація шкіри (частина розплавленого металу); електрофтальмія (запалення зовнішніх оболонок очей під дією ультрафіолетових променів електричної дуги);

механічні ушкодження (розірвання шкіри, вивихи, переломи і т. ін., викликані мимовільним скороченням м'язів).

2. Електричний удар. Розрізняють 4 ступені електричного удару:

1 ступінь – судорожне скорочення м'язів без втрати свідомості;

2 ступінь – судорожне скорочення м'язів з втратою свідомості, але зі збереженням дихання і роботи серця;

3 ступінь – втрата свідомості; порушення дихання або роботи серця;

4 ступінь – клінічна смерть.

З погляду безпеки розрізняють три ступені впливу струму:

а) граничний відчутний струм – це мінімальний струм, що викликає чуттєві, контактні подразнення відповідних аналізаторів шкіри. Величина змінного відчутного струму дорівнює 0,5 – 1,5 мА, постійного – 5 – 7 мА;

б) граничний струм (невідпускний) – це мінімальний струм, що викликає судорожне скорочення м'язів. Величина змінного невідпускного струму – 6 – 10 мА; постійного – 50 – 80 мА;

в) граничний фібриляційний струм – це струм, при якому починається фібриляція серця. Величина змінного фібриляційного струму – 80 – 100 мА; постійного – 300 мА. Виходячи з цього, правилами безпеки встановлено, що електричний струм силою 0,1 А (100 мА) – смертельний. Для жінок зазначені граничні значення струму в 1,5 раза нижче.

## 5.2 Розрахунок загального освітлення суднового приміщення

Довжина  $A = 100$  м, ширина  $B = 20$  м, висота  $H = 6$  м. Висота робочої поверхні  $h_p = 2$  м.

Для освітлення приймаємо світильники типу УПД. Мінімальна освітленість лампи розжарювання за нормами  $E_{\min} = 100$  лк.

Відстань від стелі до робочої поверхні:

$$H_0 = H - h_p = 6 - 2 = 4 \text{ м}$$

Відстань від стелі до світильника:

$$h_c = 0,25 \cdot H_0 = 0,25 \cdot 4 = 1 \text{ м}$$

Висота підвішування світильника над освітлюваною поверхнею:

$$h = H_0 - h_c = 4 - 1 = 3 \text{ м}$$

Висота підвішування світильника над підлогою:

$$H_n = h + h_p = 3 + 2 = 5 \text{ м}$$

Для досягнення найбільшої рівномірності освітлення приймаємо відношення:

$$L/h = 1,5$$

Тоді відстань між центром світильників:

$$L = 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 3 = 4,5 \text{ м}$$

Необхідна кількість світильників:

$$N = S/L^2 = A \cdot B/L^2 = 100 \cdot 20/4,5^2 = 99$$

а) Знаходимо оптимальну кількість рядків:

$$B/L = 20/4,5 = 5$$

Приймаємо 5 рядки, тобто 4 відстані:  $4 \cdot L = 4 \cdot 4,5 = 18 \text{ м} < B$

б) Знаходимо оптимальну кількість світильників в 1 ряду:

$$A/L = 100/4,5 = 22$$

Приймаємо 22 світильника, тобто 21 відстань:  $21 \cdot L = 21 \cdot 4,5 = 94,5 \text{ м} < A$

$$5 \cdot 22 = 110 \text{ світильників}$$

Приймаємо 110 світильників: 5 рядів по 22 світильника.

Відстань від стіни до центру світильника:

$$l = 0,3 \cdot L = 0,3 \cdot 4,5 = 1,35 \text{ м}$$

Індекс приміщення:

$$i = A \cdot B/h(A + B) = 100 \cdot 20/3 \cdot (100 + 20) = 5,5$$

За табл. 26 [1] знаходимо коефіцієнти відбиття  $\rho_{\text{п}} = 50 \%$ ,  $\rho_{\text{с}} = 30 \%$ ,

$$\rho_{\text{р}} = 10 \%$$

За табл. 22 [1] при  $i = 5,5$ ,  $\rho_{\text{п}} = 50 \%$ ,  $\rho_{\text{с}} = 30 \%$ ,  $\rho_{\text{р}} = 10 \%$  для світильника типу

УПД коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta = 0,66$ .

Світловий потік однієї лампи:

$$\Phi = E_{\text{min}} \cdot S \cdot K_z \cdot Z/N \cdot \eta = 100 \cdot 2000 \cdot 1,5 \cdot 1,15/110 \cdot 0,66 = 4752 \text{ лм}$$

За знайденим світловим потоком з табл. 16 [1] вибираємо лампу потужності 300 Вт, що має світловий потік 4610 лм, найбільш близький до розрахункового.

При цьому фактична освітленість:

$$E_f = E_n \cdot \Phi_l / \Phi_p = 100 \cdot 4610 / 4752 = 97 \text{ лк}$$

Загальна потужність освітлювальної установки:

$$P_z = P_l \cdot N = 300 \cdot 110 = 33000 \text{ Вт}$$

### 5.3 Заходи з техніки безпеки

Заходи щодо попередження травматизму та захворювання працівників на виробництві поділяються на:

а) технічні:

- модернізація технологічного обладнання;
- перепланування розміщення обладнання;
- впровадження автоматичного та дистанційного керування виробничим обладнанням;

б) санітарно–виробничі:

- придбання або виготовлення пристроїв, які захищають працівників від дії електромагнітних випромінювань, пилу, газів, шуму тощо;
- влаштування нових і реконструкцію діючих вентиляційних систем, систем опалення, кондиціонування;
- реконструкцію та переобладнання душових, гардеробних тощо;

в) медико–профілактичні:

- придбання милок, засобів миття та знешкодження шкідливих впливів;
- організація профілактичних медичних оглядів;
- організація лікувально–профілактичного харчування;

г) організаційні:

- проведення навчання та інструктаж з охорони праці, виробничої санітарії, пожежної безпеки. Застосування комп'ютерних методів прикладного й

інструментального забезпечення значно підвищує якість навчального процесу, використовуючи необхідну інформацію з ресурсів мережі Internet та ін.;

- робота з професійного відбору;
- здійснення контролю за дотриманням працівниками вимог інструкцій з охорони праці.

Зниження негативного впливу мікроклімату можна досягти за рахунок вжиття таких заходів:

- впровадження раціональних технологічних процесів;
- механізації та автоматизації виробничих процесів;
- дистанційного управління, що дозволяє вивести людину в більшості випадках з несприятливих умов;
- захисту працівників різними видами екранів;
- раціональної теплової ізоляції устаткування;
- раціонального розміщення устаткування;
- ефективного планування і конструкторського рішення виробничих приміщень (гарячі цеха розміщуються в одноповерхових приміщеннях);
- раціональної вентиляції та опалювання;
- раціоналізації режимів праці й відпочинку, перерви;
- спеціального питного режиму. Працівники гарячих цехів отримують газовану підсолену воду (з вмістом від 0,2 до 0,5 % хлористого натрію). Пиття такої води зменшує спрагу, потовиділення, сприяє зниженню температури тіла, покращує самопочуття і працездатність;
- застосування спецодягу.

Заходи захисту працівників від переохолодження у виробничих умовах передбачають: створення захисних споруд від вітру на відкритих майданчиках, застосування пристроїв місцевого опалення на постійних робочих місцях, установлення періодичних перерв у роботі, обладнання спеціальних приміщень для обігріву, використання спецодягу з достатнім тепловим опором. Надійним захистом від холодного повітря є також повітряна завіса.

### Основні вимоги до суднового освітлення

Задачу створення найкращих умов для бачення можна вирішити освітлювальною установкою, що відповідає наступним вимогам:

Освітленість на робітничому місці повинна відповідати характеру зорової роботи, тобто не нижче встановлених норм. Збільшення освітленості (до визначеної межі) збільшує продуктивність праці (оптимальна освітленість підвищує продуктивність праці на 15 %). Подальше збільшення освітленості приводить до збільшення відбитої блискучості, що неприємно людському оку.

Необхідно забезпечити рівномірний розподіл блискучості на робочій поверхні, а також у межах оточуючого простору. В полі зору повинна бути відсутня пряма та відбита блискучість, що приводить до погіршення видимості об'єктів. Для обмеження осліплюючої дії світильників загального освітлення (тобто прямої блискучості) їх підвищують на визначеній висоті над рівнем підлоги, або використовують освітлювальну арматуру з відповідним захисним кутом, або арматуру, що розсіює світ. Щоб обмежити відбиту блискучість, наприклад, при освітленні блискучих поверхней (глянцевий папір, екран діплею та ін.) треба встановлювати світильники з регульованим направленням світлового потоку чи з розсіювачами світла.

Всі елементи освітніх установок не повинні створювати небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Слід виключити або зводити до мінімуму шум, теплові виділення, небезпеку поразки струмом, пожежо– та вибухонебезпечність світильників.

Найефективніший засіб боротьби із шумом – зниження його в джерелі створення. У першу чергу необхідно замінювати устаткування ударної дії на устаткування безударної дії.

Боротьба із шумом тертя в джерелі його створення здійснюється головним чином за допомогою змащувальних матеріалів. Своєчасне змазування не тільки забезпечує безшумну роботу устаткування, а й зменшує зношення деталей, підвищує їх довговічність.

Важливе профілактичне значення мають організаційно–технічні заходи, такі як своєчасний ремонт, догляд та відповідне зберігання ручного механізованого

інструмента. В тих випадках, коли зниження шуму в джерелі його створення не досягло потрібних результатів, слід застосовувати засоби зменшення шуму на шляху його поширення. Для цього рекомендується використовувати місцеву та загальну звукоізоляцію, шумовловлюючі екрани, поглинаючі фільтри, глушители шуму. Загальна звукоізоляція досягається створенням загорож із звукопоглинаючих матеріалів. Місцева звукоізоляція здійснюється у вигляді боксів, де розміщують окремий агрегат чи технологічну лінію.

Одним з важливих профілактичних засобів попередження стомлення при дії шуму є чергування періодів роботи і відпочинку. Відпочинок знижує негативний вплив шуму на працездатність лише в тому випадку, якщо його тривалість та кількість відповідають умовам, в яких відбувається найефективніше відновлення нервових центрів.

Захист від високочастотного шуму забезпечують засоби індивідуального захисту (навушники, заглушки для вух та ін.). Працівники, які направляються у цехи з високим шумом, повинні обов'язково проходити медичні огляди, а під час праці для профілактики профзахворювань – профілактичні медичні огляди не менш одного разу на рік. Такі огляди допомагають своєчасно виявити зміни у стані здоров'я і запобігти профзахворюванню.

Загальні методи боротьби з вібрацією базуються на аналізі рівнянь, котрі описують коливання машин у виробничих умовах і класифікуються наступним чином:

- зниження вібрацій в джерелі виникнення шляхом зниження або усунення збуджувальних сил;
- відлагодження від резонансних режимів раціональним вибором приведеної маси або жорсткості системи, котра коливається;
- вібродемпферування – зниження вібрацій за рахунок сили тертя демпферного пристрою, тобто переведення коливної енергії в тепло;
- динамічне гасіння – введення в коливну систему додаткових мас або збільшення жорсткості системи;

– віброізоляція – введення в коливну систему додаткового пружного зв'язку, з метою послаблення передавання вібрацій, суміжному елементу конструкції або робочому місцю;

– використання індивідуальних засобів захисту.

Вживаються колективні та індивідуальні заходи щодо боротьби з вібрацією. Найпоширенішим інженерним методом захисту від вібрації є віброгасіння. Вібруючі машини з динамічним навантаженням встановлюють на окремі фундаменти. Джерела коливань ізолюють від опорних поверхонь гумовими, пружинними або комбінованими віброізоляторами.

Для зниження вібрацій, що передаються на несучу конструкцію, застосовуються пружинні або гумові віброізолятори. Віброізоляція зменшує рівні вібрації, що передаються від джерела на тіло працюючого. Вібропоглинання може бути здійснено: використанням конструктивних матеріалів з великим внутрішнім тертям; нанесенням на поверхню виробу шару пружнов'язких матеріалів, що мають потужне внутрішнє тертя. Вібропоглинання здійснюється покриттям машин в'язкими матеріалами (мастикою), використанням масляних ванн для зубчастих зчеплень. До засобів індивідуального захисту від вібрації відносяться: спеціальне віброзахистне взуття, рукавиці з м'якими надолонниками.

Боротьба з несприятливим впливом виробничого інфразвуку охоплює комплекс заходів, які належать до технічної і медичної компетенції. Розглянемо окремі з них.

1. Ослаблення інфразвуку в межах джерела, усунення причин його виникнення, що є найрадикальнішим способом боротьби з низькочастотними коливаннями машин і механізмів.

2. Ізоляція інфразвуку. Важливе місце у боротьбі з інфразвуком належить методам будівельної акустики. Велике значення має раціональне планування і розміщення виробничого устаткування, ізоляція в окремих приміщеннях агрегатів – джерел шуму та інфразвуку. Водночас слід наголосити, що застосування звукопоглинаючого оздоблення звичайного типу практично не ослаблює енергії звукових коливань.

3. Поглинання інфразвуку. Для цього застосовують багатошарові звукопоглинаючі покриття.

4. Медична профілактика. Одним з найважливіших заходів медичної профілактики шкідливого впливу інфразвуку є здійснення запобіжних і періодичних медичних оглядів. Протипоказаннями для прийняття на роботу є порушення вестибулярної і слухової функції, виражені неврози, вегетативна дисфункція, захворювання центральної нервової та серцево–судинної систем, органів травлення.

Найбільш ефективним і практично єдиним засобом боротьби з інфразвуком є зниження його в джерелі. При виборі конструкцій перевага повинно віддаватися малогабаритним машинам великої твердості, тому що в конструкціях із плоскими поверхнями великої площі і малої твердості створюються умови для генерації інфразвуку. Боротьбу з інфразвуком у джерелі виникнення необхідно вести в напрямку зміни режиму роботи технологічного устаткування – збільшення його швидкохідні.

Як індивідуальні засоби захисту рекомендується застосування навушників, вкладишів, що захищають вухо від несприятливої дії супутнього шуму.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є такі:

1. Застосування малих напруг і електричний поділ мереж. Для забезпечення безпеки електроспоживачів варто застосовувати напругу до 42 В, приміщеннях із підвищеною небезпекою – 36 В, в особливо небезпечних – 12 В. Як правило, при використанні електроустаткування з такою напругою враховується те, що одяг, взуття мають певний опір, немає щільного контакту з землею і т. ін.; в аварійних ситуаціях струм через тіло людини не досягає невідпускаючого порогу. Необхідно пам'ятати, що для одержання малої напруги необхідно використовувати автономні джерела (акумулятори, спеціальні мотор–генератори і т. ін.).

2. Контроль ізоляції. При порушенні ізоляції мереж і устаткування корпусу, конструкції, на яких вони змонтовані, труби, в яких прокладені проводи, можуть виявитися під небезпечною напругою. Тому контроль ізоляції є необхідною мірою, що попереджує небезпеку ураження електричним струмом.

3. Захисне заземлення – це навмисне з'єднання із заземленим пристроєм металевих частин електроустаткування, що нормально не знаходяться під напругою, але можуть виявитися такими у випадку ушкодження ізоляції. Металеві частини устаткування – це корпуси, кожухи, постійні огороження, арматура і т. ін. Зміст заземлення полягає в тому, щоб знизити напругу доторкання при ушкодженні ізоляції до безпечної для людини величини.

4. Захисне відключення – це система захисту, що забезпечує безпеку шляхом автоматичного відключення (протягом не більш 0,2 хвилин.) електроустановки у випадках замикання струмоведучої частини на землю, зниження опору ізоляції, несправності заземлення і т. ін. При замиканні струмоведучої частини на корпус, кожух, огороження і т. ін. спрацьовує спеціальне реле захисту, яке відключає електричну установку від мережі.

5. Захист від випадкового дотику до струмоведучих частин досягається шляхом використання огорожень і відповідних конструкцій електроустановок; блокувань; розташування струмопровідних частин на недоступній висоті (наприклад лінії електропередач); застосування подвійної ізоляції.

#### Заходи пожежної безпеки

Для попередження пожежі проводяться такі заходи:

- організаційні – навчання працюючих правилам пожежної безпеки, проведення інструкцій, бесід, лекцій та ін.;
- технічні – дотримування протипожежних правил та норм при устаткуванні опалення, вентиляційного обладнання;
- експлуатаційні – заходи передбачаючі правильну експлуатацію машин, обладнання, транспорту, правильне утримання будинків та території;
- режимні – заборона куріння у невстановлених місцях, виробництва зварних робіт у пожежонебезпечних зонах і тощо.

Всі підприємства згідно правил повинні бути забезпечені первинними засобами гасіння, внутрішніми пожежними кранами, ручними вогнегасниками, діжками з водою, скриньками з піском, ручним пожежним інструментом та пожежним інвентарем.

Існують два способи гасіння пожеж:

а) фізичний:

- охолодження зони горіння або горючих речовин;
- розбавлення реагуючих речовин в зоні горіння негорючими речовинами;
- ізоляція реагуючих речовин від зони горіння

б) хімічний – це хімічне гальмування реакції горіння.

До основних засобів гасіння пожежі (з допомогою яких здійснюється той чи інший спосіб припинення горіння) відносяться:

- вода (у вигляді струменя або у розпиленому стані);
- інертні гази (вуглекислий газ, азот);
- піни хімічні та повітряномеханічні;
- порошкові суміші;
- покривала з брезенту та азбесту.

Для гасіння пожеж всередині будівель, крім пожежних кранів встановлюються автоматично діючі спринклерні або дренчерні установки.

Вибір тих чи інших способів та засобів гасіння пожеж визначається в кожному конкретному випадку залежно від стадії розвитку пожежі, масштабів загорянь, особливостей горіння речовин та матеріалів.

## РОЗДІЛ 6

### ПРАВИЛА ЗАПОБІГАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ШКІДЛИВИМИ РІДКИМИ РЕЧОВИНАМИ, ЩО ПЕРЕВОЗЯТЬСЯ НАЛИВОМ

#### **6.1 Правило 7 приймальні споруди і пристрої для вивантаження вантажу біля причалів**

1. Уряд кожної сторони Конвенції зобов'язується передбачити приймальні споруди, що відповідають потребам суден, що користуються її портами, причалами або ремонтними портами, як зазначено нижче [32]:

а) порти і причали навантаження і вивантаження забезпечуються спорудами, достатніми для прийому без надмірної затримки суден таких залишків і сумішей, що містять шкідливі речовини, які могли б залишитися для видалення з перевозять їх судів як наслідок [15];

б) ремонтні порти, що проводять ремонт танкерів-хімовозів, забезпечуються спорудами, достатніми для прийому залишків і сумішей, що містять шкідливі рідкі речовини.

2. Уряд кожної сторони визначає типи споруд, передбачених для цілей пункту 1 цього Правила, в кожному розташованому на його території порту навантаження і вивантаження, терміналі і порту ремонту суден і повідомляє про це Організацію.

3. Уряд кожної сторони Конвенції зобов'язується забезпечити, щоб причали для вивантаження вантажу були обладнані пристроями, що полегшують зачистку вантажних танків суден, вивантажують шкідливі рідкі речовини на цих терміналах. Вантажні шланги і трубопроводи терміналу, що містять вивантажується за судів шкідливі рідкі речовини, не повинні допускати стоку цих речовин назад на судно.

4. Кожна сторона повідомляє Організацію для сповіщення зацікавлених сторін про будь-якому випадку передбачуваної недостатності необхідних пунктом 1 цього

Правила споруд або необхідних пунктом 3 цього правила пристроїв.

## **6.2 Правило 8 заходи контролю**

1. а) Уряд кожної сторони Конвенції призначає або уповноважує інспекторів для цілей виконання цього правила. Інспектори здійснюють контроль відповідно до процедури контролю, розробленої Організацією.
2. б) Капітан судна, що перевозить шкідливі рідкі речовини наливом, забезпечує виконання положень правила 5 і цього правила і заповнення журналу вантажних операцій відповідно до правила 9 [15] в усіх випадках, коли проводяться операції, згадані в правилі 9.
3. с) Звільнення, згадане в підпунктах 2 (b), 5 (b), 6 (c) або 7 (c) цього правила, може бути представлено урядом якій передається вантаж боку тільки судну, зайнятому в рейсах в порти або термінали, що знаходяться під юрисдикцією інших держав - сторін цієї Конвенції . Якщо таке звільнення надано, то відповідний запис, зроблений в журналі вантажних операцій, завіряється інспектором, згаданим у підпункті (а) цього пункту.

### *Речовини категорії А у всіх районах*

2. Щодо речовин категорії А у всіх районах застосовуються такі положення: а)  
3 урахуванням підпункту (b) цього пункту танк, з якого вивантажено вантаж, піддається миттю відповідно до вимог пункту 3 і 4 цього правила, перш ніж судно залишить порт вивантаження .

б) На прохання капітана судна уряд якому передається вантаж може звільнити судно від виконання вимог, зазначених у підпункті (а) цього пункту, якщо вона впевнилися, що:

(І) розвантажений танк підлягає завантаженні тим же речовиною або іншим речовиною, сумісним з попереднім, і що до навантаження танк не буде піддаватися мийці або баластировку;

(II) розвантажений танк не буде піддано мийці, ні баластировку в море і положення пункту 3 або 4 цього правила будуть виконані в іншому порту, за умови, що письмово підтверджено, що в цьому порту є приймальне спорудження, достатню для такої мети;

(III) залишки вантажу будуть видалені методом вентиляції, схваленим Адміністрацією і заснованим на нормативах, розроблених Організацією.

3. Якщо танк підлягає мийці відповідно до пункту 2 (а) цього правила, то промивні води, що утворилися при митті танка, скидаються в приймальне спорудження щонайменше до тих пір, поки концентрація речовини в стоках, що скидаються, визначається аналізом проб стоку, взятих інспектором, не знизиться до концентрації, встановленої в пункті 1 або 7 правила 5, в залежності від конкретного випадку, цього Додатка. Якщо необхідної концентрація досягнута, що залишилася в танку промивальну воду продовжують скидати в приймальне спорудження до тих пір, поки танк не буде пустим. Відповідні записи про ці операції вносяться в журнал вантажних операцій і завіряються інспектором, згаданим а підпункті 1 (а) цього правила.

4. Якщо уряд отримує вантаж боку переконалося в практичну неможливість виміру концентрації речовини в стоці без надмірної затримки судна, ця сторона може допустити інший метод, якщо він є еквівалентним методу, зазначеному в пункті 3 цього правила, за умови, що:

а) танк підданий попередньої мийці відповідно до методу, схваленим Адміністрацією і заснованим на стандартах, розроблених Організацією;

б) інспектор, згаданий в підпункті 1 (а), засвідчив в журналі вантажних операцій, що:

(I) танк, його насоси і трубопроводи спорожнені;

(II) попереднє миття проведена відповідно до методу попереднього миття,

схваленим Адміністрацією для даного танка і для даної речовини;

(III) промивні води, що утворилися в результаті такої попередньої мийки танка, скинуті в приймальне спорудження і танк опорожнен. Речовини категорій В та С за межами особливих районів.

5. Щодо речовин категорій В та С за межами особливих районів застосовуються такі положення:

а) З урахуванням положень підпункту (b) цього пункту танк, з якого вивантажено вантаж, піддається попередній мийці, перш ніж судно залишить порт вивантаження, всякий раз, коли :

(I) вивантажене речовина віднесено в стандартах, розроблених Організацією, до речовин, що створює залишки в кількості, що перевищує максимальну кількість, яке може бути скинуто в море відповідно до пункту 2 або 3 правила 5 [15] в разі перевезення речовин в або с відповідно;

(II) вивантаження проводиться не у відповідності з умовами викачування з даного танка, схваленими Адміністрацією і заснованими на стандартах, розроблених Організацією і згаданих в пункті 5 правила 5А [15], якщо тільки не прийняті альтернативні заходи, що задовольняють згаданим в пункті 1 (а) цього Правил інспектора, для видалення з судна залишків вантажу до відповідної кількості, зазначеного в правилі 5А цього Положення, що застосовується метод попереднього миття повинен бути схвалений Адміністрацією та заснований на стандартах, розроблених Організацією, а що утворилися в результаті мийки танка промивні води будуть скинуті в приймальне спорудження в порту вивантаження.

б) На прохання капітана судна уряд якій передається вантаж боку може звільнити судно від виконання вимог підпункту (а) цього пункту, якщо воно переконалося, що:

(I) розвантажений танк підлягає завантаженні тим же речовиною або іншим

речовиною, сумісним з попереднім, і що до навантаження танк не буде піддаватися мийці або баластировку;

(II) розвантажений танк не буде піддано мийці, ні баластировку в море, а буде підданий попередньої мийці в іншому порту згідно з методом, схваленим Адміністрацією і заснованим на стандартах, розроблених Організацією, а що утворилися в результаті мийки танка промивні води будуть скинуті в приймальне спорудження, за умови, що письмово підтверджено, що в цьому порту є приймальне спорудження, достатню для такої мети;

(III) залишки вантажу будуть видалені методом вентиляції, схваленим Адміністрацією і заснованими стандартах, розроблених Організацією.

#### *Речовини категорії В особливих районах*

6. Щодо речовин категорії В особливих районах застосовуються такі положення:

а) з урахуванням положень пунктів (b) і (c) танк, з якого вивантажено вантаж,

піддається попередній мийці, перш ніж судно залишить порт вивантаження. Застосовуваний метод попереднього миття повинен бути схвалений Адміністрацією та заснований на стандартах, розроблених Організацією, а що утворилися в результаті мийки танка промивні води скидаються в приймальне спорудження в порту вивантаження.

b) Вимоги підпункту (a) цього пункту не застосовуються, коли одночасно виконуються наступні умови:

(I) вивантажене речовина категорії В віднесено в стандартах, розроблених Організацією, до речовин, що створює залишки в кількості, що не перевищує максимальної кількості, яке може бути скинуто в море за межами особливих районів відповідно до пункту 2 правила 5 [15], і залишки зберігаються на борту для подальшого скидання в море за межами особливого району відповідно до пункту 2

правила 5 [15];

(II) вивантаження проводиться відповідно до умов викачування з даного танка, схваленими Адміністрацією і заснованими на стандартах, розроблених Організацією і згаданих в пункті 5 правила 5А [15], а якщо не можна дотримати схвалені умови викачування, прийняті альтернативні заходи, що задовольняють згаданого в підпункті 1 (а) цього правила інспектора, для видалення з судна залишків вантажу до відповідної кількості, зазначеного в правилі 5А [15].

с) На прохання капітана судна уряд якій передається вантаж боку може звільнити судно від виконання вимог підпункту (а) цього пункту, якщо воно переконалося, що:

(I) розвантажений танк підлягає завантаженні тим же речовиною або іншим речовиною, сумісний з попереднім, і що до навантаження танк не буде піддаватися мийці або баластировку;

(II) розвантажений танк не буде піддано мийці, ні баластировку в море, а буде підданий попередньої мийці в іншому порту згідно з методом, схваленим Адміністрацією і заснованим на стандартах, розроблених Організацією, а що утворилися в результаті мийки танка промивні води будуть скинуті в приймальне спорудження, за умови, що письмово підтверджено, що в цьому порту є приймальне спорудження, достатню для такої мети;

(III) залишки вантажу будуть видалені методом вентиляції, схваленим Адміністрацією і заснованим на стандартах, розроблених Організацією.

#### *Речовини категорії С в особливих районах*

7. Щодо речовин категорії С в особливих районах застосовуються такі положення:

а) З урахуванням положень підпунктів (b) і (c) цього пункту танк, з якого вивантажено вантаж, піддається попередній мийці, перш ніж судно залишить порт

вивантаження, всякий раз, коли:

(I) вивантажене речовина категорії с віднесено в стандартах, розроблених Організацією, до речовин, що створює залишки в кількості, що перевищує максимальну кількість, яке може бути скинуто в море відповідно до пункту 9 правила 5 [15];

(II) вивантаження проводиться не у відповідності з умовами викачування з даного танка, схваленими Адміністрацією і заснованими на стандартах, розроблених Організацією і згаданих в пункті 5 правила 5А [15], якщо тільки не прийняті альтернативні заходи, що задовольняють інспектора, згаданого в пункті 1 ( а) цього правила, для видалення з судна залишків вантажу до відповідної кількості, зазначеного в правилі 5А [15].

Застосовуваний метод попереднього миття повинен бути схвалений Адміністрацією та заснований на стандартах, розроблених Організацією, а що утворилися в результаті мийки танка промивні води скидаються в приймальне спорудження в порту вивантаження.

б) Вимоги підпункту (а) цього пункту не застосовуються, коли одночасно задовольняються всі наступні умови:

(I) вивантажене речовина категорії С віднесено в стандартах, розроблених Організацією, до речовин, що створює залишки в кількості, що не перевищує максимальної кількості, яке може бути скинуто в море за межами особливих районів відповідно до пункту 3 правила 5 [15], і залишки зберігаються на борту для подальшого скидання в море за межами особливого району відповідно до пункту 3 правила 5 [15];

(II) вивантаження проводиться відповідно до умов викачування з даного танка, схваленими Адміністрацією і заснованими на стандартах, розроблених Організацією і згаданих в пункті 5 правила 5А [15], або, якщо не можна дотримати умов викачування, прийняті альтернативні заходи, що задовольняють інспектора,

згаданого в пункті 1 (а) цього правила, для видалення з судна залишків вантажу до відповідної кількості, зазначеного в правилі 5А [15].

с) На прохання капітана судна уряд якій передається вантаж Сторони може звільнити судно від виконання вимог підпункту (а) цього пункту, якщо воно переконалося, що:

(I) розвантажений танк підлягає завантаженні тим же речовиною або іншим речовиною, сумісним з попереднім, і що до навантаження танк не буде піддаватися мийці або баластировку;

(II) розвантажений танк не буде підданий ні мийці, ні баластировку в море, а буде підданий попередньої мийці в іншому порту згідно з методом, схваленим Адміністрацією і заснованим на стандартах, розроблених Організацією, а що утворилися в результаті мийки танка промивні води будуть скинуті в приймальне спорудження за умови, що письмово підтверджено, що в цьому порту є приймальне спорудження, достатню для такої мети; або (iii) залишки вантажу будуть видалені методом вентиляції, схваленим Адміністрацією і заснованим на стандартах, розроблених

*Організацією. Речовини категорії D у всіх районах*

8. Щодо речовин категорії D: танк, з якого вивантажено вантаж, піддається миттю, а що утворилися в результаті мийки танка промивні води скидаються в приймальне спорудження, або збережені в танку залишки розбавляються і скидаються в море відповідно до пункту 4 правила 5 [15].

*Скидання з відстійного танка*

9. Будь-які залишки, які зберігаються на борту судна в отстойном танку, включаючи залишки льял насосного відділення, що містять речовини категорії А, або в межах особливого району, що містять речовини категорії А чи В, скидаються в приймальне спорудження відповідно до положень пунктів 1, 7 або 8 правила 5 цього

Додатка, в залежності від того, яке з них може бути застосовано.

8. Щодо речовин категорії D: танк, з якого вивантажено вантаж, Правило 9 *Журнал вантажних операцій*

1. Кожне судно, до якого застосовується цей Додаток, забезпечується журналом вантажних операцій.

Він може бути частиною офіційного судового журналу або окремим журналом за формою, встановленою Додатком IV [15].

2. Журнал вантажних операцій заповнюється по кожному танку у всіх випадках, коли на судні виробляються будь-які із зазначених нижче операцій з шкідливими рідкими речовинами:

(I) навантаження вантажу;

(II) внутрішньосуднового перекачування вантажу;

(III) вивантаження вантажу;

(IV) очистка вантажних танків;

(V) прийом баласту в вантажні танки;

(VI) скидання баласту з вантажних танків;

(VII) видалення залишків в приймальні споруди;

(VIII) скидання в море або видалення залишків методом вентиляції відповідно до правила 5 [15].

3. У разі будь-якого із згаданих в статті 8 цієї Конвенції і в правилі 6 цього Додатка скидання будь-якого шкідливого рідкої речовини або суміші, що містить таку речовину, незалежно від того, чи є він навмисно або внаслідок аварії, в журналі вантажних операцій проводиться запис з викладенням обставин і причин такого

скидання.

4. Після того як інспектор, призначений або уповноважений урядом сторони Конвенції для нагляду за будь-якими операціями відповідно до цього Додатка, оглянув судно, він виробляє відповідний запис в Журналі вантажних операцій.

5. Кожна операція, про яку йдеться в пунктах 2 і 3 цього правила, детально і без зволікання реєструється в журналі вантажних операцій так, щоб всі записи в журналі, що відносяться до даної операції, були повністю завершеними. Кожен запис в журналі підписується особою або особами, відповідальними за відповідну операцію, і кожна сторінка підписується капітаном судна. Записи в журналі вантажних операцій виробляються на офіційній мові держави, під прапором якої судну дано право плавання, а на суднах, що мають Міжнародне свідоцтво про запобігання забрудненню під час перевезення шкідливих рідких речовин наливом або довідку, зазначену в правилі 12А [15], англійською або французькою мовою. У разі спору або різночитання перевага віддається записів на офіційному національній мовою держави, під прапором якої судну дано право плавання.

6. Журнал вантажних операцій зберігається на судні, за винятком буксированих судів без екіпажу, в такому місці, яке легко доступно для перевірки. Журнал зберігається протягом трьох років після внесення до нього останнього запису.

7. Компетентні органи уряду боку можуть перевірити журнал вантажних операцій на борту будь-якого судна, що знаходиться в її порту, до якого застосовується цей Додаток, і зняти копію з будь-якого запису в цьому журналі, а також вимагати, щоб капітан судна запевнив, що ця копія є справжньої копією такого запису. Будь-яка така копія, завірена капітаном судна як справжня копія запису в журналі вантажних операцій, може бути пред'явлена незалежно від розгляду в якості доказу фактів, викладених в запису. Перевірка журналу вантажних операцій і зняття завіреної копії компетентними органами відповідно до цього пункту здійснюються якомога швидше, щоб не викликати необґрунтованої затримки судна.

## ВИСНОВКИ

Сутність розв'язаної задачі, якій присвячена магістерська робота полягає в синтезі цифрової системи автоматичного керування електроприводом камери телевізійного зпозтереження та аналізу впливу параметрів імпульсного регулятора на якість і стійкість системи автоматичного керування.

1. В результаті проведених теоретичних досліджень розв'язана актуальна задача, яка полягає в стабілізації неперервної системи автоматичного керування за рахунок впровадження імпульсного регулятора.

2. Проведено математичне моделювання перехідних процесів, що відбуваються в системі керування з імпульсним регулятором.

3. Встановлено вплив періоду квантування імпульсного елемента на стійкість системи і на її динамічні властивості.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Волхонский В. В., Малышкин С. Л. Проблемы терминологии в области методов и средств обеспечения безопасности // Алгоритм безопасности. – 2013. – № 3. – С. 18–21.
2. Системы охраны и безопасности объектов. Термины и определения: РД 25.03.001-2002. – М.: Стандартинформ, 2002. – 131 с.
3. Волхонский В. В., Волковицкий В. Д. Цифровые видеореги-страторы. Термины, определения, классификация // Безопасность, достоверность, информация. – 2008. – № 1. – С. 64–66.
4. 60H Technology – the New Analog. Security Today. March 20, 2013. Retrieved 10 September 2013. [http://videodom.su/pages/effio-global\\_standart\\_960h\\_700tv1](http://videodom.su/pages/effio-global_standart_960h_700tv1). (дата обращения: 31.10.2014).
5. Чура Н. HD-SDI/CVI/TVI/AHD: некоторые особенности новых форматов // Системы безопасности. – 2014. – № 4. – С. 84–86.
6. AHD (Analog High Definition) [http://sec.ru/words/rubrikatsiya/sistemy-videonablyudeniya/ahd\\_analog\\_high\\_definition.html](http://sec.ru/words/rubrikatsiya/sistemy-videonablyudeniya/ahd_analog_high_definition.html). (дата обращения: 31.10.2014).
7. Омелянчук А. М. Как задать количественные требования к СОТ объекта. Критерии эффективности систем охранного телевидения (СОТ) в составе комплексных систем безопасности // Системы безопасности. – 2007. – № 4. – С. 42–46.
8. Омелянчук А. М. Критерии эффективности систем охранного телевидения. Ч. 2: Опыт полиции Великобритании // Системы безопасности. – № 5. – 2007. – С. 104–108.
9. Cohen N., Gattuso J., MacLennan-Brown K. CCTV Operational Requirements Manual. CROWN Sandridge St Albans AL4 9HQ United Kingdom. – 2009. – 55 p.
10. Волхонский В. В. Некоторые особенности выбора положения и ориентации телевизионных камер // Алгоритм безопасности. – 2011. – № 2. – С. 20–26.
11. Chen T., Haursecker H. Computer Vision Workload Analysis: Case Study of Video Surveillance System // Intel Technology Journal. – May 2005. – Vol. 9. – Iss. 2. – P. 109–119.
12. [www.lenze.org.ua](http://www.lenze.org.ua).

13. [www.lenze-ru.com/SERVOPRIVOD](http://www.lenze-ru.com/SERVOPRIVOD).
14. [www.prst.ru/4\\_2\\_3.html](http://www.prst.ru/4_2_3.html).
15. [www.electro.heavycars.ru/b.pl?id=81274](http://www.electro.heavycars.ru/b.pl?id=81274).
16. Автоматизированный электропривод. Под ред. Н.Ф.Ильинского, Н.Г. Юнькова. -М.: Энергоатомиздат, 1990.
17. Терехов В.М., Осипов О.И. Система управления электроприводов: Учебник. –М: «Академия», 2005.
18. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для ВУЗов. - Л. : Энергоиздат, 1982.
19. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для ВУЗов. - М.: Энергия, 1980.
20. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода : Учебник для ВУЗов. - 6-е изд., доп, и перераб. - М. : Энергоиздат, 1981.
21. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
22. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. / Под общей редакцией И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т.1.-М.: Энергоатомиздат, 1988.
23. Тимофеев А.В. Адаптивные робототехнические комплексы – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 332 с.: ил.
24. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы. Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 392 с.: ил.
25. Спыну Г.А. Промышленные роботы. Конструирование и применение: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. И доп. – К.: Выща шк., 1991. – 311 с.: ил.
26. Промышленная робототехника/А.В.Бабич, А.Г.Баранов, И.В.Калабин и др. Под.ред Я.А.Шифрина – М.:Машиностроение, 1982 – 415 с., ил.
27. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».- Иваново, 2008.- 298 с
28. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Регулируемые электроприводы переменного тока – Мн.: Техноперспектива, 2006 – 363 с.

29.Кирилов Р.С. Моделирование векторной системы управления.

30.Кодекс законів про працю України.

31.Закон України «Про охорону праці» від 14.10.92 №2694-ХІІ.

32.Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 года, измененная Протоколом 1978 года к ней (МАРПОЛ 73/78) (с изменениями на 17 февраля 1978 года)

# ***Електропривод камери відеоспостереження***

**Студент магістратури:** Михальчук Руслан Валентинович

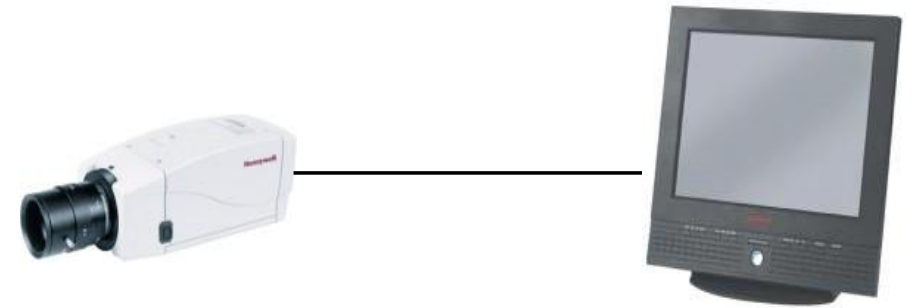
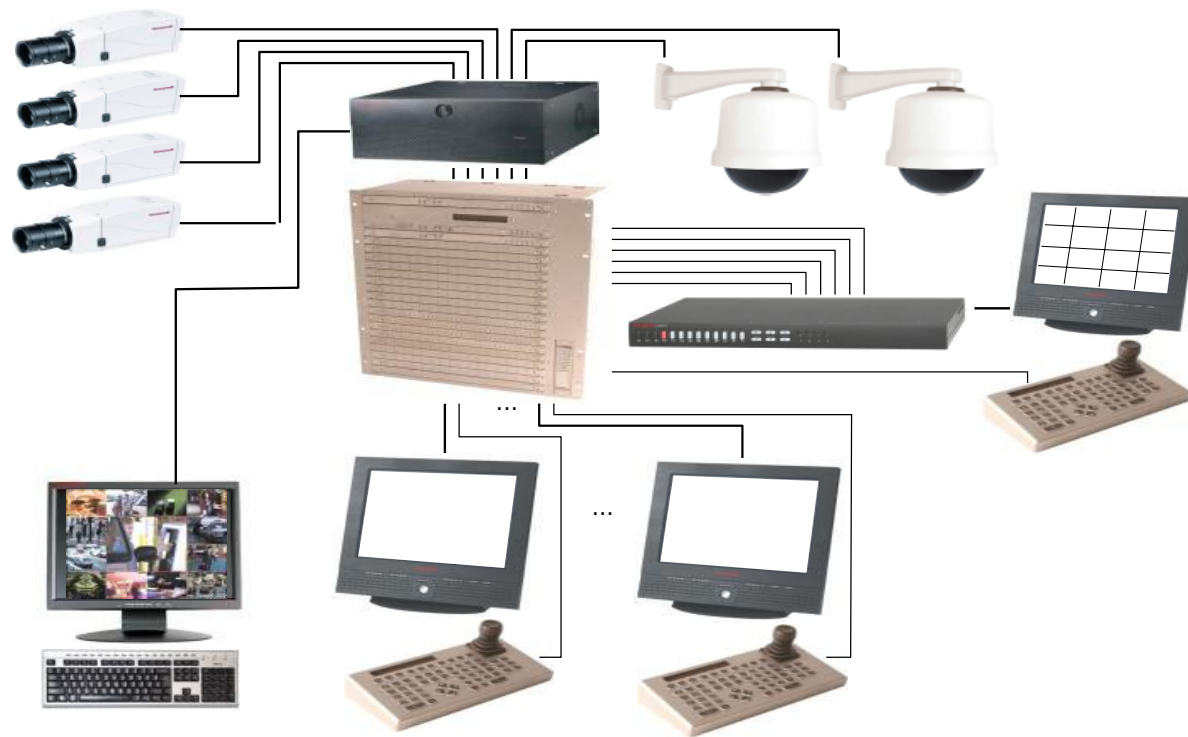
**Науковий керівник:** к.т.н., доцент Надточій Анатолій Вікторович

**Мета дослідження:** на основі існуючих теоретичних досліджень провести аналіз та синтез електропривода суднової камери відеозпозтереження з імпульсним регулятором.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Скласти математичну модель імпульсного регулятора в системі автоматичного керування.
2. Провести теоретичні дослідження, щодо поведінки електропривода з різними періодами квантування імпульсного регулятора.
3. Довести доцільність використання імпульсного регулятора.

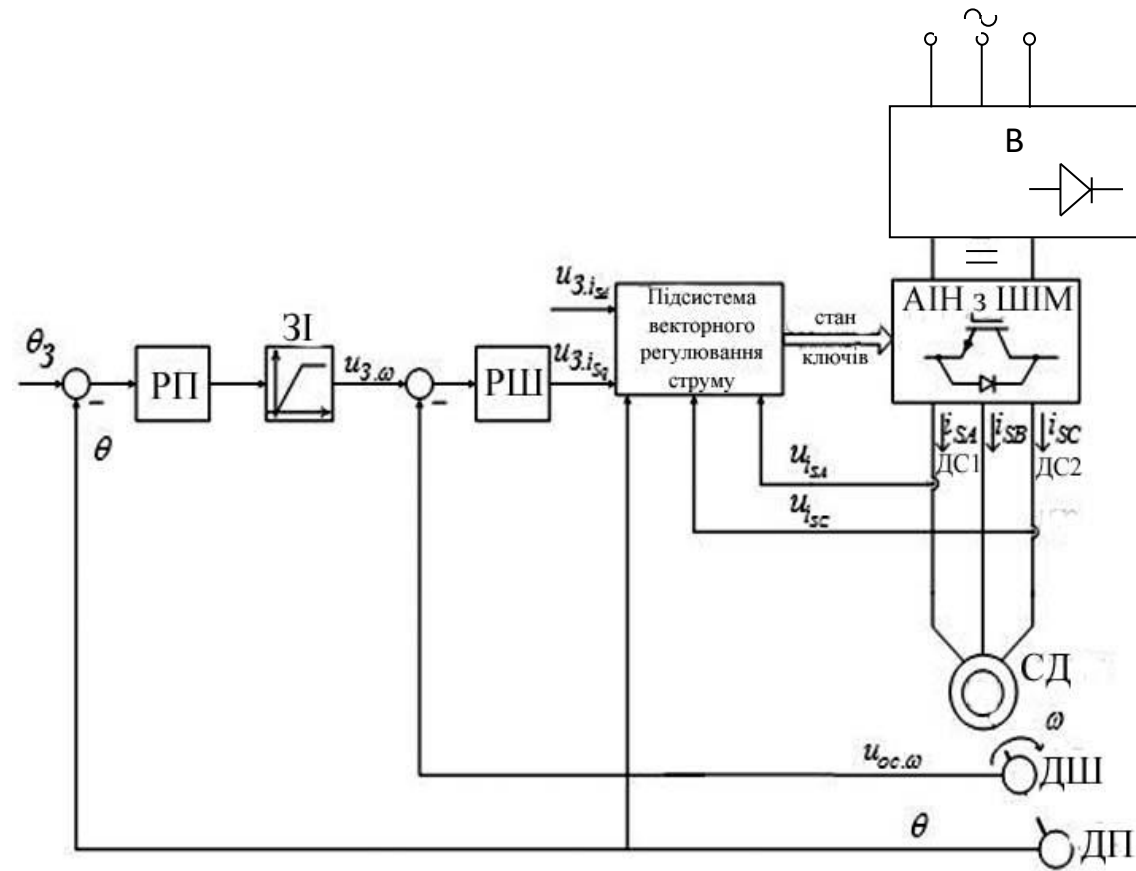
## Телевізійні системи спостереження (ТВСС)



Найпростіша система телеспостереження

ТВСС з кількома постами охорони з розширеними можливостями

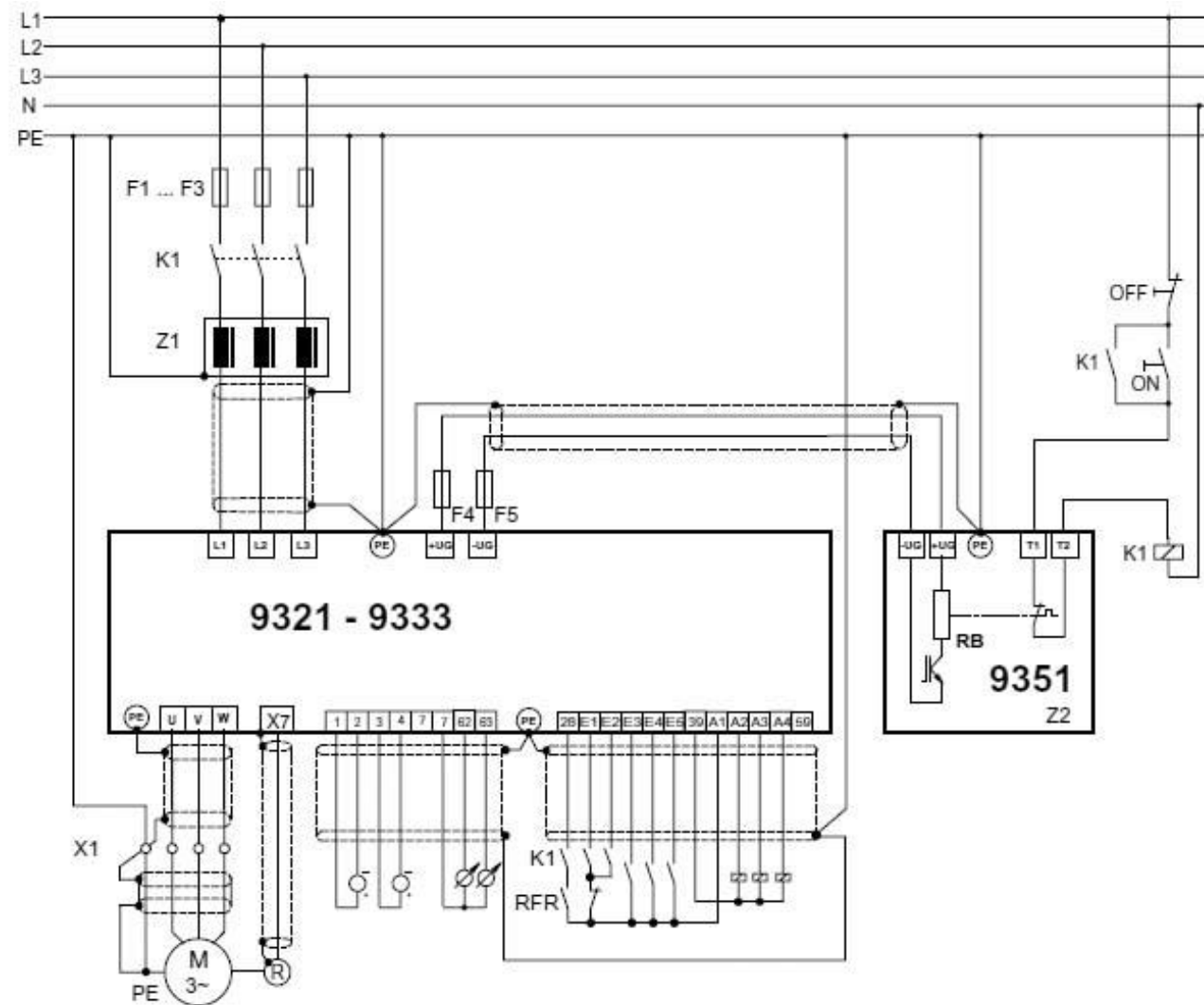
# Функціональна схема системи керування електроприводом



## Загальний вигляд комплектного електроприводу

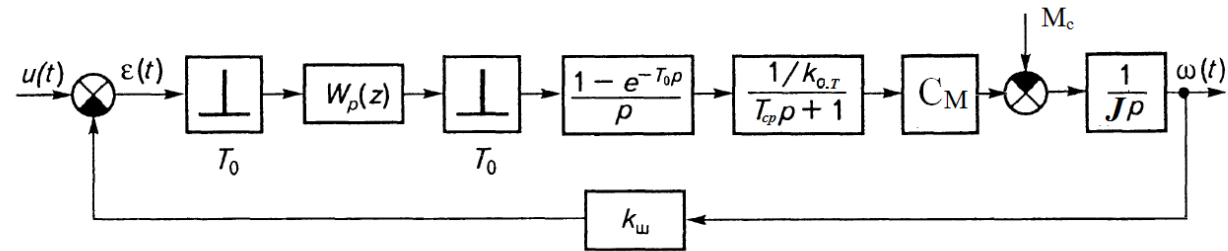


## Схема підключення комплектного приводу

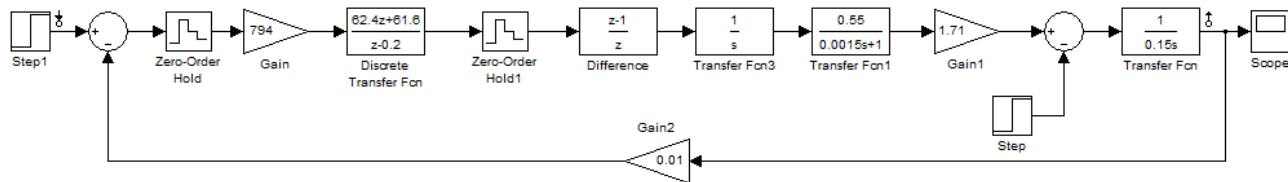


## Схеми для машинних розрахунків

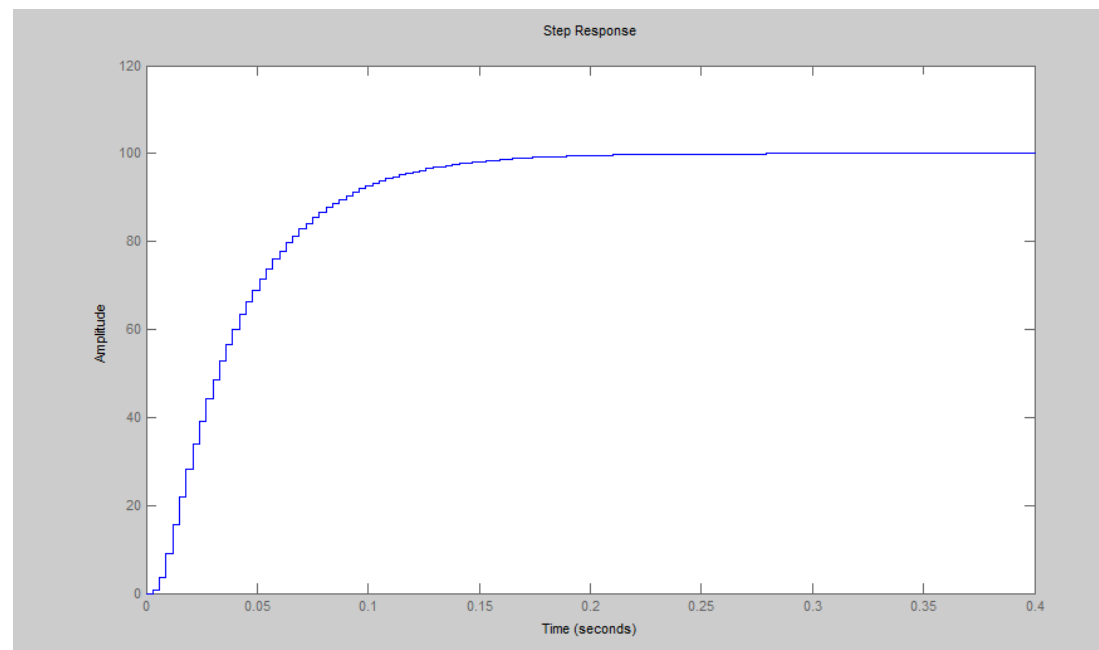
### Структурна схема цифрової системи керування синхронним двигуном



### Математична модель системи



## Перехідна характеристика системи



## ВИСНОВКИ

Сутність розв'язаної задачі, якій присвячена магістерська робота полягає в синтезі цифрової системи автоматичного керування електроприводом камери телевізійного зпозтереження та аналізу впливу параметрів імпульсного регулятора на якість і стійкість системи автоматичного керування.

1. В результаті проведених теоретичних досліджень розв'язана актуальна задача, яка полягає в стабілізації неперервної системи автоматичного керування за рахунок впровадження імпульсного регулятора.
2. Проведено математичне моделювання перехідних процесів, що відбуваються в системі керування з імпульсним регулятором.
3. Встановлено вплив періоду квантування імпульсного елемента на стійкість системи і на її динамічні властивості.