

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

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню магістра**

студент Шпак Ігор Вікторович  
(ПІБ)

академічної групи 151М-22-1  
(шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(офіційна назва)

на тему Синтез та дослідження системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна  
(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	проф. Прядко Н.С.			
розділів:				
Стан питання та постановка завдання	проф. Прядко Н.С.			
Спеціальна частина	проф. Бубліков А.В.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
<b>Рецензент</b>				
<b>Нормоконтролер</b>	проф. Бубліков А.В.			

Дніпро  
2023

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

\_\_\_\_\_ Бубліков А.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Шпак І. В. академічної групи 151М-22-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

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

(офіційна назва)

на тему Синтез та дослідження системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 13.11.2023 р. №1372-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень	01.09.23 – 14.09.23
Спеціальна частина	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу Провести синтез системи та її дослідження із використанням обґрунтованих методів та інструментів Розробити програмне забезпечення системи керування на підставі запропонованого алгоритмічного забезпечення	15.09.23 – 14.11.23
Економічна частина	Обґрунтувати доцільність витрат на створення та експлуатацію системи керування	15.11.23 – 24.11.23
Охорона праці	Розробити організаційно-технічні заходи щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи	25.11.23 – 05.12.23

Завдання видано

\_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

проф. Прядко Н.С.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі

01.09.2023

Дата подання до атестаційної комісії

10.12.2023

Прийнято до виконання

\_\_\_\_\_  
(підпис студента)

Шпак І.В.  
(прізвище, ініціали)

## Реферат

Об'єкт дослідження: система автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна.

Мета роботи: підвищення ефективності роботи видобувного комбайна за рахунок вдосконалення алгоритму автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна.

Керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна відбувається за допомогою регулювання швидкості його переміщення через привод подачі. Необхідна швидкість переміщення комбайна забезпечується вбудованим в привод подачі перетворювачем частоти, що дозволяє задавати швидкість в діапазоні від 0 до 10 м/хв.

Головними показниками якості роботи системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна є забезпечення зміни у часі потужності двигуна приводу різання комбайна з мінімальною дисперсією.

Під час виконання кваліфікаційної роботи магістра отримані наступні результати:

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна;
- досліджена залежність енергоефективності процесу автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна від параметрів закону керування;
- розроблені математичне, апаратне та програмне забезпечення системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна.

СИСТЕМА, ВИДОБУВНИЙ КОМБАЙН, ПОТУЖНІСТЬ ДВИГУНА ПРИВОДУ РІЗАННЯ, СИНТЕЗ, РЕГУЛЯТОР, ЛЮДИНО-МАШИННИЙ ІНТЕРФЕЙС

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- КР – кваліфікаційна робота;  
САК – система автоматичного керування;  
ОК – об'єкт керування;  
ВК – видобувний комбайн;  
ВП – вугільний пласт;  
ПЛК – програмований логічний контролер  
ТЕЦ – теплова електроцентраль  
ТЕС – теплова електростанція

## ЗМІСТ

Вступ .....	6
1. Стан питання та постановка завдання .....	8
1.1 Галузь промисловості .....	8
1.2 Технологічний процес .....	9
1.3 Об'єкт управління .....	11
1.4 Структура системи керування .....	18
1.5 Формулювання задачі дослідження .....	19
1.6 Висновки по розділу .....	19
2. Спеціальна частина .....	21
2.1 Синтез та моделювання роботи системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна .....	21
2.2 Програмне забезпечення системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна .....	30
2.3 Висновки по розділу .....	39
3. Економічна частина .....	41
4. Охорона праці та безпека у надзвичайній ситуації .....	53
Висновки .....	63
Перелік посилань .....	66

## Вступ

**Актуальність теми.** Україна за прогнозованими запасами вугілля є одним з лідерів країн світу. Крім того, ще з радянських часів енергосистема України була створена таким чином, що наразі практично третина електроенергії виробляється з використанням енергії, що виділяється при горінні вугілля. Також електростанції, що працюють на вугілля, є набагато гнучкішими до коливань споживання електроенергії протягом доби. Все це робить вугілля ключовим енергоносієм для України на найближчі десятиліття, незважаючи на активне впровадження сонячних та повітряних електростанцій.

Основною проблемою видобутку вугілля є його висока собівартість та низька якість у порівнянні з закордонним вугіллям. Причиною цього є не тільки гірничо-геологічні умови залягання вугілля, но і відсутність модернізації гірничого обладнання та систем керування ним.

Таким чином, створення вдосконалених методів, моделей та інформаційного забезпечення для автоматизації гірничого обладнання є **актуальною науково-технічною задачею**, розв'язання якої за рахунок підвищення якості процесу автоматичного керування режимними параметрами гірничих машин забезпечить підвищення ефективності процесу видобутку вугілля шахтними підприємствами.

**Мета і задачі дослідження.** Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні ефективності роботи видобувних комбайнів за рахунок покращення показників якості процесу автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання. Основним критерієм якості процесу керування є забезпечення мінімальної дисперсії коливань потужності, та статичної похибки щодо відпрацювання системою уставки.

Для досягнення поставленої мети у роботі поставлені і розв'язані такі наукові задачі:

- аналіз процесу автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання комбайна, у ході якого визначаються причини

незадовільної якості керування з використанням існуючих алгоритмів;

- визначення оптимальних налаштувань регулятора потужності на основі встановлених закономірностей її зміни у часі.

**Об'єкт дослідження** – процес автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна.

**Предмет дослідження** – методи, моделі, алгоритми та інформаційне забезпечення для автоматизації процесу переміщення видобувного комбайна за умови стабілізації потужності двигуна приводу різання.

**Методи дослідження.** Для дослідження систем автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна використані методи теорії автоматичного керування, а також системний аналіз. Дослідження проводилося на основі обчислювальних експериментів з використанням комп'ютеризованих методів синтезу системи. Оцінювання ефективності процесу автоматичного керування проведене з використанням методів математичної статистики.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у наступному:

Встановлено, що через інерційність процесу заштибування виконавчого органу при роботі видобувного комбайну на тонких вугільних пластах за умови використання існуючого алгоритму керування потужністю двигуна приводу різання відбуваються автоколивання в системі керування, що є неприйнятним. Для запобігання цього явища запропоновано ввести інерційність в закон керування швидкістю подачі, синхронізуючи таким чином у часі швидкість наростання циркулюючого вугілля в робочому об'ємі виконавчого органу та, відповідно, потужності двигуна приводу різання, та прискорення комбайна.

## 1. Стан питання та постановка завдання

### 1.1 Галузь промисловості

Технологічний процес видобутку вугілля у забої за умови підземного видобутку вугілля шахтним підприємством, що розглядається у кваліфікаційній роботі, є складовою частиною гірничої галузі України [1].

Наразі в Україні більшість вугледобувних підприємств приватного сектору входять до складу вертикально інтегрованих структур металургії або електроенергетики (ТОВ «Метінвест холдинг» та Донбаська паливно-енергетична компанія (ДТЕК)), та однієї горизонтально інтегрованої структури – НВО «Механік». Крім цього, у приватному секторі функціонують понад 10 незалежних вугледобувних підприємств різних організаційно-правових форм, серед яких ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька»; ПАТ «Шахта «Жданівська»; ТОВ «Краснолиманське»; ПАТ «Укрвуглебуд» та ін.

Більшість державних вугледобувних підприємств, частка яких у видобутку вугілля оцінюється на рівні до 30 %, є шахтами з незначною потужністю вугільних пластів та складними гірничо-геологічними умовами.

Внаслідок військових дій на Донбасі з 2013 року відбулося різке падіння видобутку вугілля – видобуток вугілля усіх груп, крім антрацитової, впав більш ніж на 50 %, а видобуток антрацитової групи взагалі став неможливим. Але, незважаючи на це, в Україні частка електроенергії, що виробляється за допомогою вугілля, все ще є досить значною, та складає близько третини від всієї виробленої електроенергії [2,3]. Крім того, слід враховувати суттєвий потенціал вугільного ресурсу нашої країни – загальні ресурси вугілля в Україні із заляганням до 1500 м за різними оцінками становлять від 100 до 117,5 млрд тон, близько половини з яких є підтвердженими (45-56 млрд тон).

Таким чином, з оглядом на складну економічну ситуацію України, що поки що не дозволяє кардинальним чином модернізувати енергосистему країни, видобуток вугілля протягом найближчих десятиріч є питанням енергетичної



безпеки нашої держави, оскільки вугілля є стратегічно важливим енергоресурсом для паливно-енергетичної галузі України.

## 1.2 Технологічний процес

Розглянемо основні процеси в забої, які відбуваються при видобутку вугілля за допомогою очисного механізованого комплексу [4]. На шахтах, де більшість безпосередніх покрівель належать категорії легко- та середньообрушуваних, широке застосування здобули заряджена схема роботи механізованого кріплення з послідовним посекційним переміщенням секцій та човникова схема роботи комбайна. Згідно з цими схемами у вихідному положенні забійний конвеєр 2 розміщений близько до забою (рис. 1.1), очисний комбайн 1 розташований на одному з кінців лави та підготовлений до зняття смуги вугілля, секції кріплення 3 розперті й віддалені від конвеєра 2 на крок пересування, кріплення сполучення розперті.

Потім комбайн 1 починає переміщатися вздовж лави та проводити виймання вугілля. При цьому вслід за комбайном 1 відбувається зняття розпору, послідовне переміщення секцій механізованого кріплення 3 та їх розпір. Якщо комбайн 1 пройшов відмітку 3 – 7 м від секції, а процес переміщення секції та розпору стояків не встиг завершитися, то відбувається зупинка комбайна 1, оскільки кріплення не встигає перекривати оголений за ним простір. На відстані 13 – 14 м від комбайна 1 починається переміщення в сторону оголеного простору відповідної частини забійного конвеєра 2, тобто реалізується хвилеподібна схема переміщення забійного конвеєра 2. Рекомендоване значення довжини виробленого простору за комбайном, що не закріплюється, визначається за станом порід покрівлі. З позиції ефективного керування станом порід, що вміщують вугільний пласт, об'єм оголеного простору за комбайном повинен бути якомога менше. З іншої сторони, згідно із стандартами необхідно зберігати безпечну відстань між секцією кріплення, що переміщується, та працюючим виконавчим органом комбайна. Для очисного комбайна вона дорівнює 2 – 3 м.

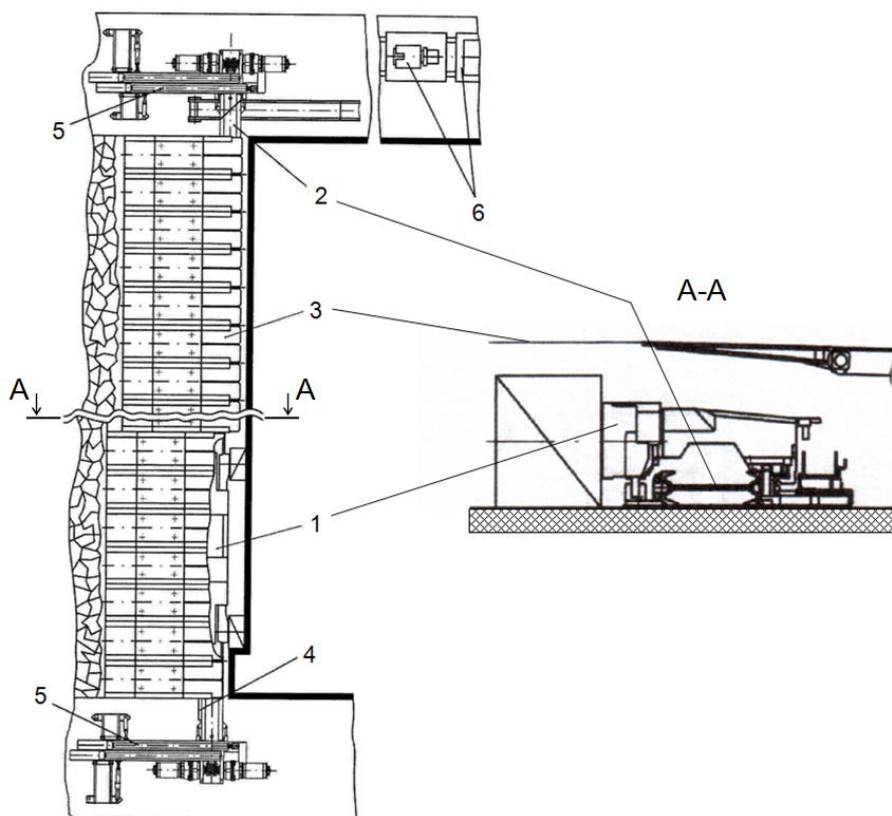


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виймання вугілля очисним механізованим комплексом: 1 – комбайн; 2 – забійний конвеєр; 3 – механізоване кріплення; 4 – кабелеукладач; 5 – кріплення сполучення; 6 – станція керування, насосні станції та насосна установка

Наведена схема переміщення секцій забійного кріплення та конвеєра має перевагу, тому що вона дозволяє проводити кріплення забійної смуги після виймання вугілля з мінімальною тривалістю і за рахунок цього більш ефективно керувати станом покрівлі та бічних порід.

Якщо комбайн працює за човниковою схемою, він заїжджає на новий шлях на кожному кінці лави та щоразу при переміщенні вздовж лави знімає нову пачку вугілля.

Незалежно від схеми роботи комбайна в процесі його переміщення вздовж лави машиніст керує виконавчим органом, що знаходиться зверху, за гіпсометрією пласта. Він піднімає виконавчий орган до того моменту, коли той

починає присікати породу безпосередньої покрівлі, а потім опускає його, доки зубки виконавчого органу у верхній його частині не починають руйнувати вугілля. Таким чином, машиніст задає траєкторію переміщення виконавчого органу біля покрівлі вздовж лави згідно з границею порода – вугілля.

Керування швидкістю переміщення комбайна, які і навантаженням двигунів приводів різання, здійснюється автоматично.

### **1.3 Об'єкт керування**

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – видобувний комбайн. Цільовим продуктом є вугілля з заданими показниками якості.

#### **1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування**

Видобувний комбайн є складовою частиною очисного механізованого комплексу та виконує такі функції [4]:

- руйнування прошарку вугілля за рахунок обертального руху виконавчих органів, поступального руху корпусу комбайна вздовж забою та поступального руху виконавчих органів за гіпсометрією пласта;

- часткове навантаження зруйнованого вугілля на забійний конвеєр за рахунок обертального руху виконавчих органів.

Рух виконавчих органів та корпусу комбайна забезпечують такі підсистеми:

- корпусна підсистема, яка призначена для об'єднання окремих корпусних вузлів у конструктивно цілісний технічний об'єкт;

- підсистема приводу виконавчого органу, яка призначена для забезпечення обертального руху цього органу з необхідними рушійними моментами;

- підсистема переміщення, за допомогою якої рухається корпусна підсистема комбайна з необхідними значеннями швидкості та тягових зусиль;

- підсистема підвіски та переміщення виконавчого органу (ВО), яка призначена для поступальних переміщень виконавчого органу відносно

основних жорстко з'єднаних вузлів корпусної підсистеми з необхідними швидкостями та зусиллями (та підтримки заданого положення виконавчого органу відносно вказаних вузлів).

Розглянемо загальну побудову перелічених підсистем комбайна на прикладі комбайна нового покоління УКД300 [4].

До складу підсистеми підвіски ВО входять виконавчий орган 8 (рис. 1.2), поворотний блок різання (ПБР) і гідропривід регулювання положенням ВО на основі гідродомкрата 15 та аксіально-плунжерного насоса, який установлюється в один з відсіків корпусу редуктора ПБР або в камері корпусу приводу подачі. У першому випадку обертальний момент на вал насоса передається з вала-шестерні редуктора приводу різання, у другому – насос має власний електродвигун (маслостанція). Подача насоса становить від 6 до 12 л/хв з тиском робочої рідини на виході до 20 МПа.

Для комбайнів нового покоління поворотний блок різання ПБР разом з ВО одночасно є підсистемою приводу виконавчого органу комбайна. Він включає електродвигун 1 (рис. 1.2) та редукторні кінематичні кола для передачі обертального моменту з валу електродвигуна на ВО. Для комбайнів цього покоління зазвичай у редукторних колах застосовуються циліндричні й планетарна (планетарні) зубчаті передачі. Комбайн має дві незалежно працюючі підсистеми приводу виконавчого органу.

Корпусна підсистема виконана на основі загального корпусу (у вигляді моноблока) 18 (рис. 1.2) зварної конструкції коробчастої форми, що має відсіки для автономних знімних блоків різного функціонального призначення. До корпусної підсистеми також входить портална частина 17, в якій відбувається монтаж електричного та гідравлічного розведення, системи охолодження та зрошення, а також опорних механізмів 5 та 6. Крім того, на порталі розміщені органи керування комбайном.

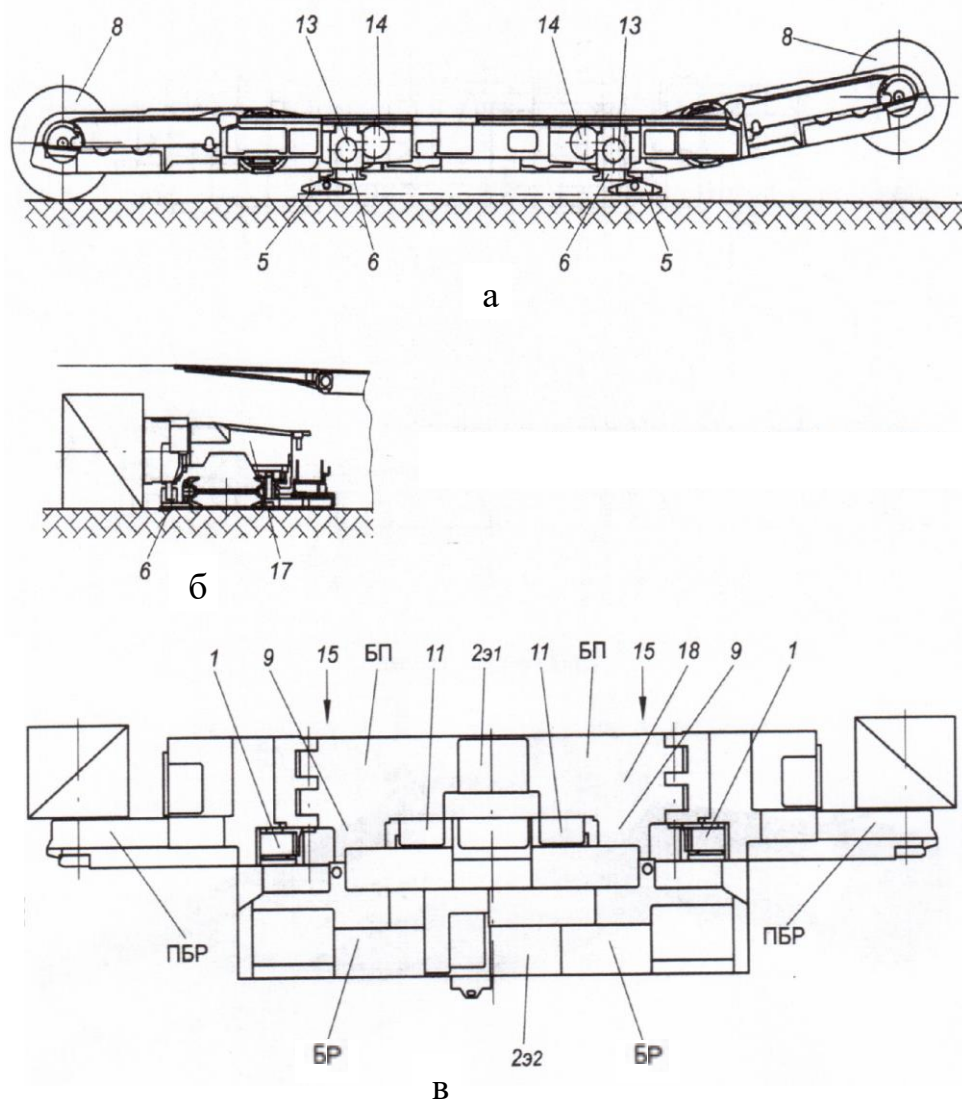


Рисунок 1.2 – Видобувний комбайн УКД300 у різних виглядах: а – фронтальний; б – збоку; в – зверху

Підсистема переміщення видобувних комбайнів нового покоління складається з блока електричного 2 (рис. 1.2), приводного електродвигуна 9 (розміщується в блоці подачі БП), редукторних кінематичних кіл 11 та рушія механічного типу на основі проміжного 13 й привідного 14 зубчатих коліс (розміщуються в блоці рушія БР), а також жорсткого тягового органу у вигляді зубчатої або цівкової рейки. Комбайн має дві незалежно працюючі підсистеми переміщення та спільний для них тяговий орган.

Обертальний момент з валу електродвигуна 9 через редукторні кінематичні кола 11 на базі циліндричних та планетарних передач передається

на привідне зубчате колесо 14, яке за допомогою посадженого на осі проміжного колеса 13 взаємодіє з цівками рейки, відштовхуючи таким чином корпус комбайна 18 від нерухомого тягового органа.

До підсистеми переміщення видобувних комбайнів також можна віднести їх захопні елементи, завальні 5 та забійні 6 опорні механізми (рис. 1.2). На деяких комбайнах (1ГШ68, КА200, РКУ13 та інші) забійні опорні механізми регулюються за допомогою гідродомкратів. Для подачі до порожнин цих гідродомкратів робочої рідини під тиском застосовується гідропривід підсистеми підвіски ВО.

Таким чином, на сучасних видобувних комбайнах можна виділити такі приводи:

- електроприводи виконавчих органів на основі нерегульованих асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором потужністю від 150 до 350 кВт з можливістю дистанційного керування їх вмиканням та вимиканням;

- гідроприводи підсистем підвіски виконавчих органів на основі гідродомкратів з можливістю ручного або автоматизованого керування подачею робочої рідини в їх порожнини для переміщення штоків;

- гідроприводи забійних опорних механізмів на основі гідродомкратів з можливістю ручного або автоматизованого керування подачею робочої рідини в їх порожнини (на деяких комбайнах);

- гідроприводи огорожувального щита на основі гідродомкратів з можливістю ручного або автоматизованого керування подачею робочої рідини в їх порожнини (тільки на комбайнах для потужних пластів);

- приводи підсистем переміщення видобувних комбайнів з можливістю дистанційного керування їх вмиканням і вимиканням та автоматичного керування швидкістю переміщення комбайна.

### 1.3.2 Структура об'єкту керування

Об'єкт керування є одномірним з одним керуючим входом (на перетворювач частоти приводу подачі) та одним керованим виходом (потужність двигуна приводу різання). Його структурна схема показана на рис.1.3.

На керуючий вхід, з урахуванням того, що перетворювач частоти має власний блок керування, подається керуюча команда по мережі (через канал передачі даних).

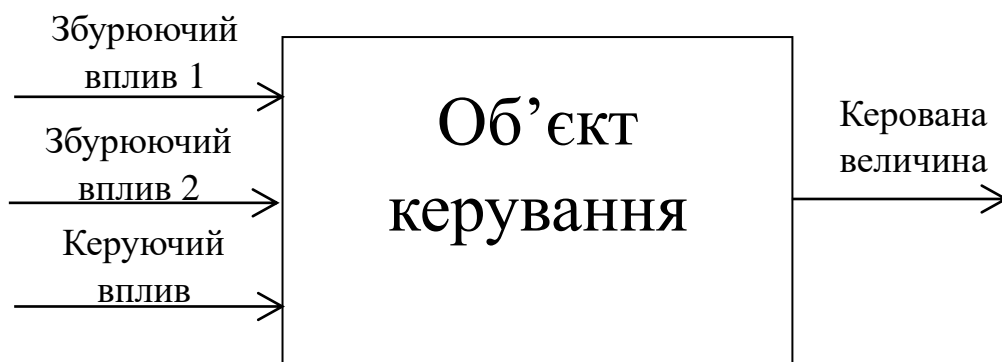


Рисунок 1.3 – Структурна схема об'єкта керування

Керованою величиною є потужність двигуна приводу різання.

Збуренням №1 є перепади напруги в електромережі.

Збуренням №2 є так звана “просадка” двигуна за умови коливань опору обертання ВО та, відповідно, обертання валу двигуна.

### 1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування

До складу підсистем автоматизованого управління для класу мехатронних комбайнів з підсистемами подачі на основі частотно-регульованого електроприводу входять перетворювачі частоти та комплекси технічних засобів управління.

Перетворювачі частоти можуть встановлюватися на штреку (перетворювачі ПЧЕШ для комбайнів УКД300) або в енергоблоці на самому комбайні (перетворювачі ПЧЕ-120М для машин КДК400, КДК500, КДК700). В останньому випадку немає необхідності в спеціальному силовому кабелі для передачі регульованого за частотою і величиною напруги, проте для розміщення цих перетворювачів безпосередньо на машині потрібні відповідні габаритні можливості.

Комплекси технічних засобів автоматизованого управління комбайнами КС500Ч (для машини КДК400, КДК500, КДК700) та КУОК (УКД300) розташовуються частково на штреку та частково на самому комбайні.

Діапазони регулювання частоти мережі живлення  $f_l$  прийняті для електродвигунів підсистем подачі вищевказаних комбайнів, наступні: для УКД300  $f_l = 2,5-70,6$  Гц; для КДК400  $f_l = 2,5-87,5$  Гц; для КДК500 та КДК700  $f_l = 2,5-125$  Гц. Для всіх аналізованих двигунів цих машин діапазон регулювання напруги  $U$  становить 56-950 В.

Сучасні мехатронні комбайни оснащені засобами контролю технічного стану та діагностики відповідальних вузлів, забезпечені рядом сенсорних пристроїв у вигляді датчиків струму, температури обмоток електродвигунів, рівня масла в редукторах та гідросистемі, витрати та температури води для пилоподавлення й охолодження та ін.

На пультах управління, розташованих на комбайнах УКД300, КДК400, КДК500, КДК700, розміщені органи управління та засоби відображення інформації, є дисплей для візуалізації оперативної інформації про роботу цих машин.

Також для зазначених вище комбайнів на штреку розташований пульт управління, що містить відповідні органи управління, засоби відображення інформації та дисплей, на якому формується інформація: оперативна про роботу машини, про стан відповідальних вузлів та діагностична. При цьому на штрековому пульті за допомогою контролерів забезпечується два режими контролю:



- режим реєстрації подій, що відбуваються в реальному часі на комбайні за умови їх виникнення: факти включення виконавчих органів, наявності перевантаження, перекидання кожного з електродвигунів, факти спрацьовування метан-реле, датчика витрати води для пилоподавлення та охолодження тощо;

- режим моніторингу у вигляді реєстрації миттєвих значень контрольованих параметрів із заданою дискретністю: значень навантаження кожного з електродвигунів, поточного значення швидкості подачі та ін.

Комплекси технічних засобів управління комбайнами виконують такі основні функції:

- регуляторів режимів роботи шляхом управління перетворювачами частоти (підтримання заданого значення швидкості подачі, стабілізація середнього рівня потужності електродвигунів підсистем приводу виконавчих органів та ін.);

- забезпечення необхідних захистів, в т. ч. від перекидання кожного ЕД підсистем подачі, обмеження тягового зусилля підсистеми подачі.

Необхідний рівень функціонування комбайнів з підсистемами подачі на базі частотно-регульованого електроприводу неможливо забезпечити людиною-оператором без використання відповідних підсистем автоматизованого управління, що обумовлено необхідністю регулювання параметрів живильної електромережі за допомогою перетворювача частоти.

Основні принципи автоматизації видобувних комбайнів, сформульовані раніше, передбачають два варіанти автоматизації їх режимів роботи – мінімальний та максимальний. Мінімальний варіант передбачає підтримку потужності, що споживається двигуном приводу різання, на заданому рівні за рахунок регулювання швидкості подачі при постійній швидкості різання.

Максимальний варіант – підтримка споживаної двигуном приводу різання потужності на заданому рівні одночасним та незалежним регулюванням швидкості різання та подачі.

Наразі розповсюдження отримали системи керування видобувними комбайнами, що реалізують мінімальний варіант автоматизації, оскільки досі не створено надійного варіатора для регулювання швидкості різання.

#### 1.4 Структура системи керування

Структурна схема системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна показана на рис.1.4.

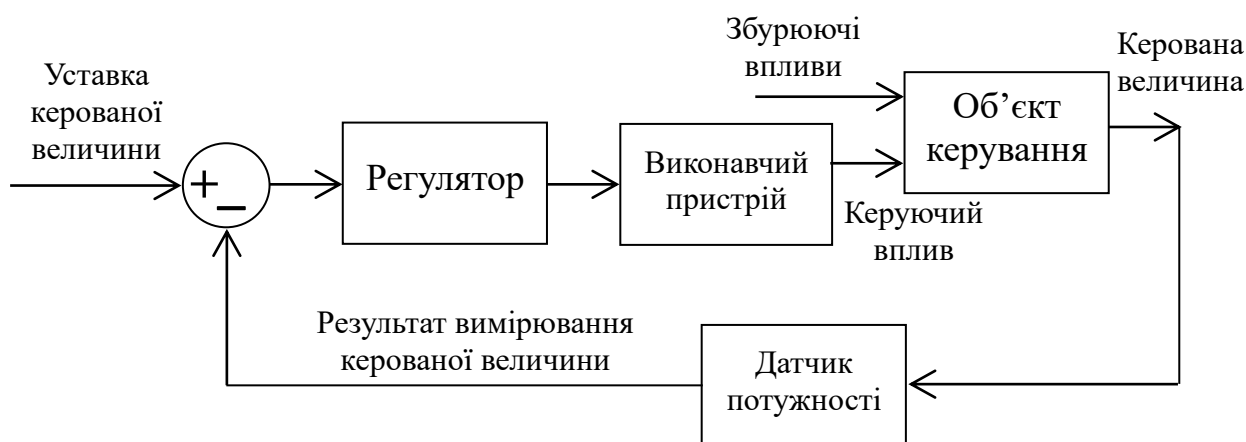


Рисунок 1.5 – Структурна схема системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна

Як видно зі структурної схеми системи автоматичного керування на рис.1.4, при автоматичному керуванні потужністю двигуна приводу різання використовується принцип керування за від'ємним зворотним зв'язком на основі подачі на вхід регулятора відхилення фактичного значення керованої величини від уставки.

Виконавчим пристроєм є перетворювач частоти приводу різання комбайна.

Об'єктом керування є підсистеми виконавчого органу, переміщення комбайна та корпусна підсистема.

Керуючим впливом є керуюча команда на блок керування перетворювача частоти по мережі (через канал передачі даних). Фактичною керованою величиною є потужність двигуна приводу різання комбайна.

### **1.5 Формулювання завдань дослідження**

Для досягнення основної мети – забезпечення коливання потужності двигуна приводу різання з мінімальною дисперсією та мінімальним відхиленням її середнього значення від уставки, з урахуванням дії збурюючих впливів, необхідно виконати наступні завдання дослідження:

- для проведення обчислювальних експериментів створити імітаційну модель системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна;

- обґрунтувати метод синтезу системи автоматичного керування з урахуванням особливостей роботи об'єкта керування та визначених критеріїв якості роботи системи;

- провести дослідження критеріїв якості керування за умови використання існуючого наразі алгоритму керування;

- з урахуванням виявлених недоліків існуючого алгоритму автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання провести синтез системи керування;

- провести дослідження ефективності роботи запропонованого алгоритму автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання.

### **1.6 Висновки по розділу**

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – видобувний комбайн. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування комбайна, завданням керування якої є забезпечення стабілізації навантаження двигунів підсистем виконавчих органів з заданими критеріями якості. Предметом дослідження є закони автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна.

Динаміку потужності двигуна приводу різання визначає процес руйнування органом вугільного пласта, який є складним, та призводить до зміни сили опору обертанню виконавчого органу та, відповідно, потужності двигуна приводу різання в широкому спектрі частот з випадковою амплітудою.

Об'єкт керування є одномірним з одним керуючим входом (на перетворювач частоти підсистеми переміщення комбайна) та одним керованим виходом (потужність двигуна приводу різання), але збурення у вигляді зміни опірності вугілля різанню вздовж пласта змінює як саму керовану величину, так і кут нахилу статичної характеристики об'єкта керування, що робить його складним для керування.

Отже, необхідно провести дослідження впливу збурень на процес автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання з урахуванням заданих показників якості при різних алгоритмах керування.

## 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 2.1. Синтез та моделювання роботи системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна

Для проведення обчислювальних експериментів з метою синтезу й дослідження системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна буде використана імітаційна модель видобувного комбайна як об'єкта автоматизації. Структурна схема цієї моделі показана на рис.2.1.

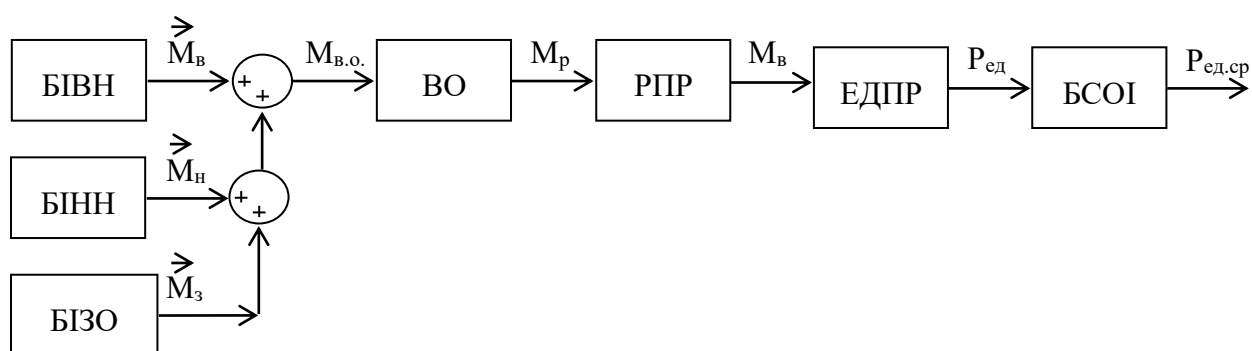


Рисунок 2.1. – Загальна структурна схема динамічної математичної моделі "вибій - виконавчий орган – видобувний комбайн"

Модель розроблена для видобувного комбайну УКД300 [4] та гірничо-геологічних умов західної частини Донецького басейну.

Тут БІВН – блок імітації високочастотної складової навантаження на виконавчому органі. Є генератором випадкового сигналу нормального розподілу, статистичні характеристики якого є функціями математичного очікування сумарного зусилля різання на різцях, а також режиму транспортування та навантаження вугілля органом. Частота даного сигналу прийнята рівною власній частоті вільних коливань ротора електродвигуна ЕКВ4-150, через які на його амплітудно-частотній характеристиці утворюється резонансна зона. Оскільки на цій частоті відбувається посилення амплітуди сигналу в 2,5-3,5 рази, то весь спектр високочастотних складових навантаження, що пройшли через виконавчий орган, без суттєвого спотворення

картини динамічних процесів, що протікають, можна замінити одним випадковим сигналом з резонансною частотою електродвигуна [5]; БІНН – блок імітації низькочастотної складової навантаження на виконавчому органі. Цей блок є генератором випадкового сигналу нормального розподілу з постійним значенням дисперсії та математичного очікування, однак зі змінним значенням періоду. Частота даного сигналу є функцією швидкості подачі комбайна і простору кореляції, яке, у свою чергу, залежить від типу механізованого кріплення, що застосовується, швидкості просування фронту роботи лави, гірничо-геологічних параметрів пласта; БІЗО – блок імітації процесу завантаження та транспортування вугілля органом. Вмістом його є математична модель, що описує силову картину процесу транспортування вугілля та його навантаження органом [6]. Динамічна математична модель транспортування та завантаження вугілля дозволяє визначати миттєві значення тиску вугілля на лопать шнека, силу та момент опору руху та навантаженню вугілля, а також потужність навантаження; ВО – передавальна функція виконавчого органу. За своїми частотними характеристиками виконавчий орган є лінійним пасивним фільтром, що виключає передачу високочастотних складових навантаження від вихідного валу шнека до ротора [7]. Передатна функція за впливом, що обурює, є нелінійною функцією товщини стружки, але в реальному діапазоні навантажень автоматизованої машини може бути лінеаризована з достатньою для практичних розрахунків точністю [7, 8]. Отже, при незмінній швидкості подачі комбайна ВО вважатиметься підсилювальним ланкою з постійним коефіцієнтом посилення; РПР – редуктор приводу різання. У даному блоці зроблено математичний опис руху двомасової динамічної системи з урахуванням пружних та дисипативних властивостей механічної частини приводу; ЕДПР - електродвигун приводу різання. Електромеханічні процеси перетворення енергії, що мають місце в електродвигуні ЕКВ4-150, моделювалися за диференціальними рівняннями для узагальненої електричної машини з прив'язкою до системи координат  $\alpha, \beta$  і замкненою коротко обмоткою ротора [11]; БСОІ – блок виміру та статистичної обробки миттєвих значень

споживаної з мережі потужності. У блоці статистичної обробки інформації визначається математичне очікування активної потужності, що споживається електродвигуном з мережі протягом тривалого часу, її миттєвих значень (з кроком 10 мілісекунд). Максимальна відносна похибка розбіжності середніх значень активної потужності електродвигуна, обчислених за детермінованою та динамічною моделями, становила 4,6 %. Це є непрямим підтвердженням адекватності розробленої динамічної моделі реальних процесів, що мають місце під час роботи видобувних комбайнів.

З метою виявлення недоліків управління видобувними комбайнами на малопотужних пластах за алгоритмом, закладеним у мінімальному варіанті автоматизації видобувних комбайнів, проведено моделювання роботи регулятора навантаження видобувного комбайна УКД300 для умов, описаних вище. Результати моделювання подано на рис. 2.2, 2.3, 2.4 та 2.5.

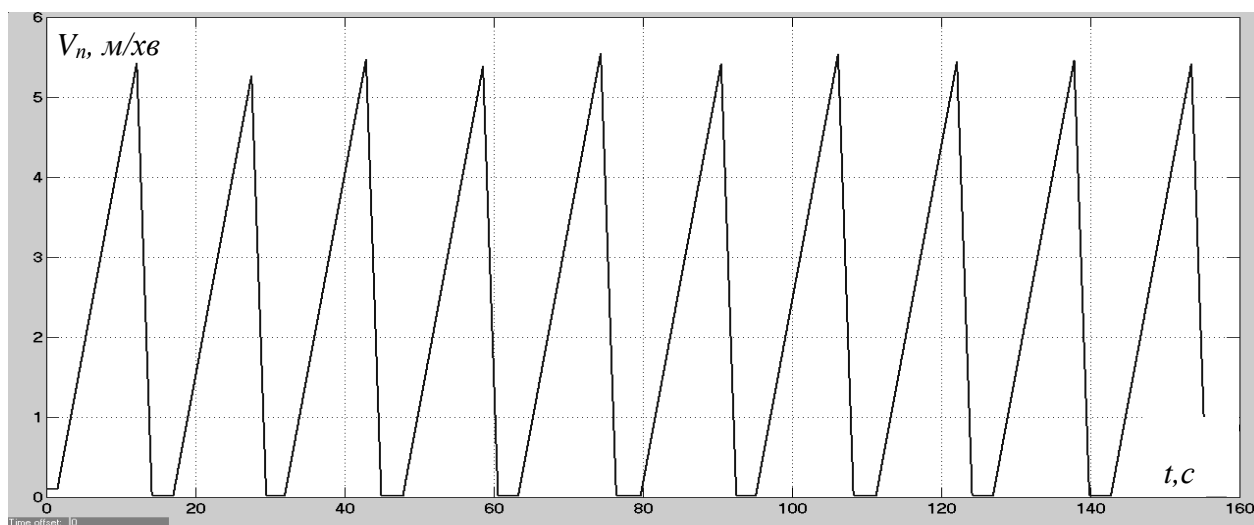


Рисунок 2.2 – Часова характеристика швидкості подачі при автоматичному керуванні видобувним комбайном УКД300 регулятором навантаження

Як видно з рис.2.2, зміна швидкості подачі комбайна відбувається у вигляді періодичних коливань з амплітудою 5,3-5,6 м/хв. При перевищенні швидкості подачі значення 2,5 м/хв у робочій зоні виконавчого органу поступово накопичується вугілля, оскільки виконавчий орган не справляється з

вивантаженням вугілля інтенсивному режимі роботи комбайна. Зниження швидкості подачі починається в той момент, коли потужність, споживана електродвигуном приводу різання, перевищить стійке значення (214,7 кВт). Для вивантаження вугілля, що накопичилося, і, відповідно, зниження потужності регулятор навантаження зменшує швидкість подачі до тих пір, поки потужність двигуна приводу різання не стане менше стійкого значення.

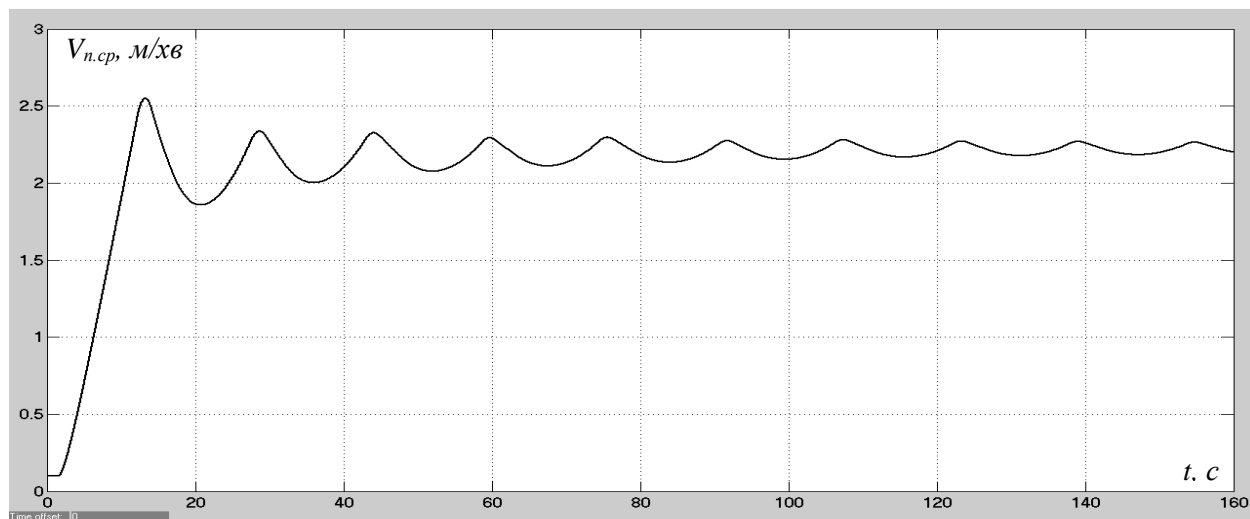


Рис.2.3 – Часова характеристика поточного середнього значення швидкості подачі при автоматичному керуванні видобувним комбайном УКД300 регулятором навантаження

Через значну кількість вугілля в робочій зоні виконавчого органу та інерційність процесу вивантаження вугілля органом, швидкість подачі знижується до нуля. На рис.2.3 показано зміну часу поточного середнього значення швидкості подачі комбайна.

На рис.2.3 помітно, що середня швидкість подачі комбайна становить приблизно 2,23 м/хв, тоді як критична швидкість заштибування дорівнює 2,5 м/хв. Тобто, через наявність процесу заштибування, що є тривалим, продуктивність видобувного комбайна знизилася на 9,4%.

Проведемо оцінку впливу процесу тривалого заштибування на питомі енерговитрати комбайна. На рис.2.4 видно, що значення середньої потужності



змінюється в часі у вигляді періодичних коливань в широкому діапазоні. Максимальне значення відповідає моменту заштибування шнека та є випадковою величиною, мінімальне – потужності холостого ходу електродвигуна приводу різання.

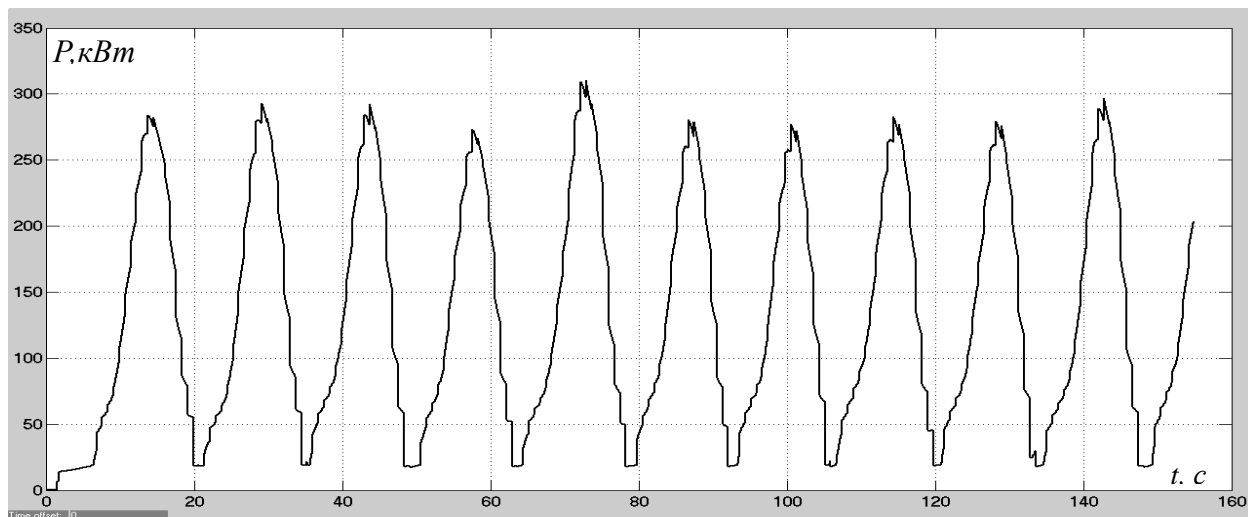


Рис.2.4 – Часова характеристика середньої потужності, споживаної електродвигуном приводу різання, при автоматичному керуванні видобувним комбайном УКД300 регулятором навантаження

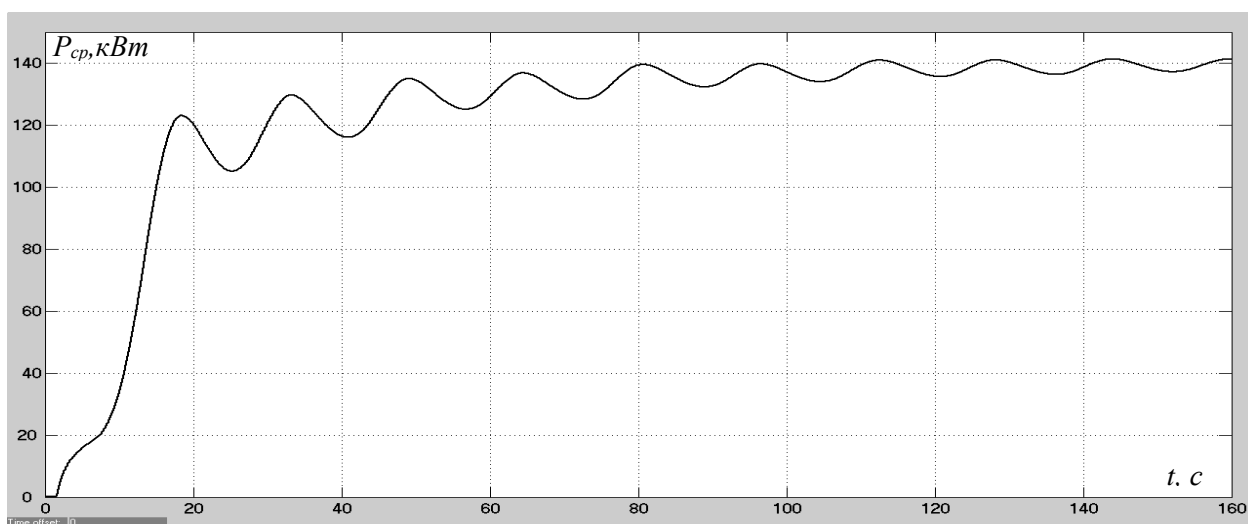


Рис.2.5 – Часова характеристика поточного середнього значення потужності двигуна приводу різання при автоматичному керуванні видобувним комбайном УКД300 регулятором навантаження

На рис.2.5 представлено графічне відображення процесу вимірювання середнього значення потужності споживаної електродвигуном приводу різання. Воно становило 139,5 кВт.

Знайдемо теоретичну продуктивність видобутку.

$$Q_{m.cp} = \gamma_n \cdot D \cdot B_z \cdot V_{под} \cdot 60 = 1,25 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 2,23 \cdot 60 = 105,37, \text{ т/год.}$$

Визначимо питомі енерговитрати на видобуток вугілля:

$$H_{w.u.cp} = \frac{P_{дв.ср}}{Q_{m.cp}} = \frac{139,5}{105,37} = 1,33, \text{ кВт}\cdot\text{год/т.}$$

Враховуючи, що питомі енерговитрати на руйнування та завантаження вугілля при переміщенні видобувного комбайна з постійною швидкістю 2,23 м/хв (без наявності процесу заштибування органу) становлять 0,557 кВт·г/т, автоматичне керування видобувним комбайном на малопотужних пластах регулятором навантаження за сучасним алгоритмом автоматизації призводить до збільшення питомих енерговитрат у 2,38 рази.

Аналіз ефективності існуючого алгоритму автоматичного керування навантаженням двигунів приводів різання показав присутність негативного явища – автоколивання в системі керування через неврахування в алгоритмі суттєвої інерційності процесу завантаження вугілля виконавчим органом. Цей процес відбувається набагато повільніше, ніж накопичення вугілля в робочому об'ємі органу та збільшення потужності двигуна приводу різання. Таким чином, в алгоритм керування необхідно додати штучну інерційність, щоб синхронізувати динаміку комбайна та процесу завантаження вугілля органом на конвеєр. Це можна зробити, використовуючи інерційність диференціюючої складової ПД-регулятора.

Для цього виконаний синтез системи автоматичного керування комп'ютеризованим методом з використанням спеціальних інструментів пакету MATLAB. Під час синтезу коефіцієнт фільтру задавався на порядок менше для

обмеження динаміки керуючого впливу. Результат синтезу САК показаний на рис.2.6.

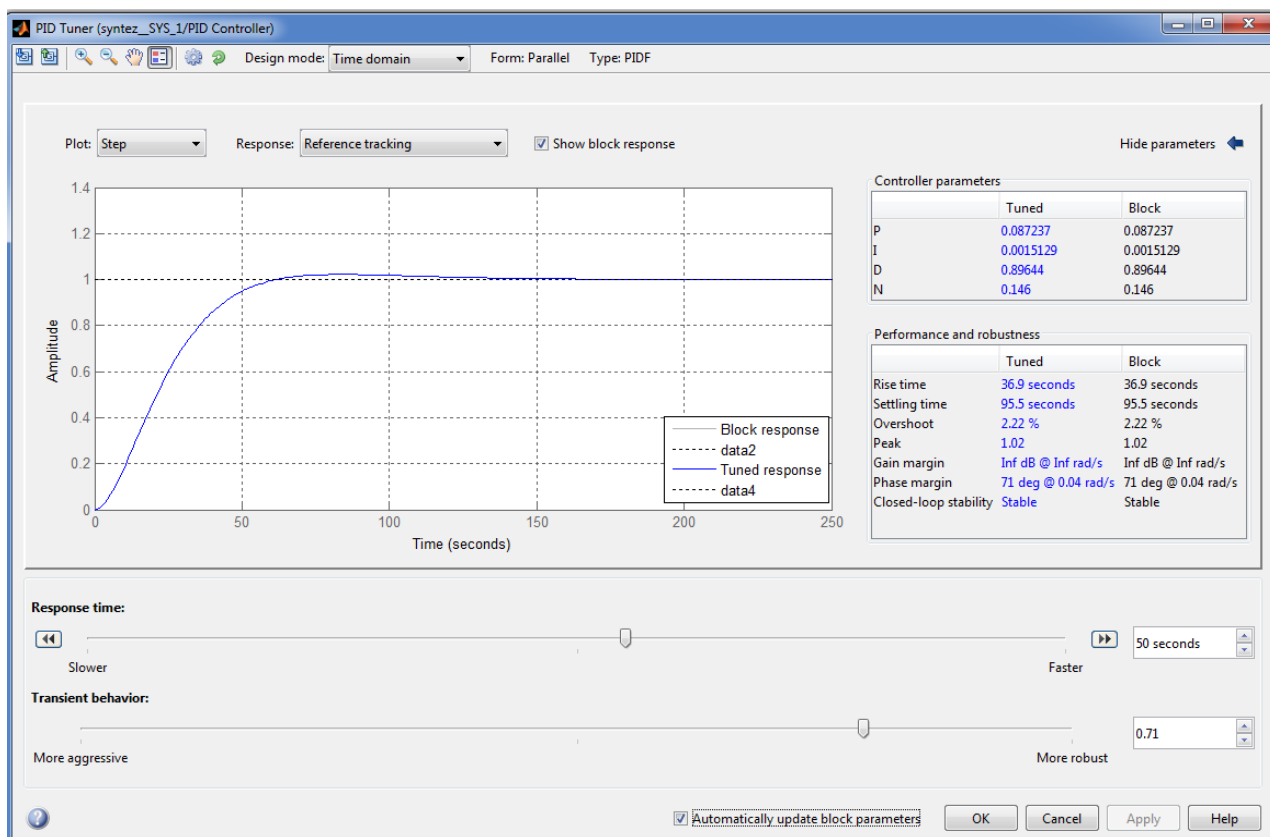


Рисунок 2.6 – Результат синтезу САК

З метою підтвердження ефективності запропонованого алгоритму автоматичного керування комбайном проведено імітаційне моделювання роботи автоматичної системи керування. Результати імітаційного моделювання наведено на рис.2.7.

На рис.2.7,а видно, що при автоматичному управлінні комбайном за новим алгоритмом швидкість подачі змінюється східчасто. Автоматична система постійно збільшує швидкість подачі до 2,9 м/хв і переводить комбайн у режим роботи із незначним заштибуванням шнека.

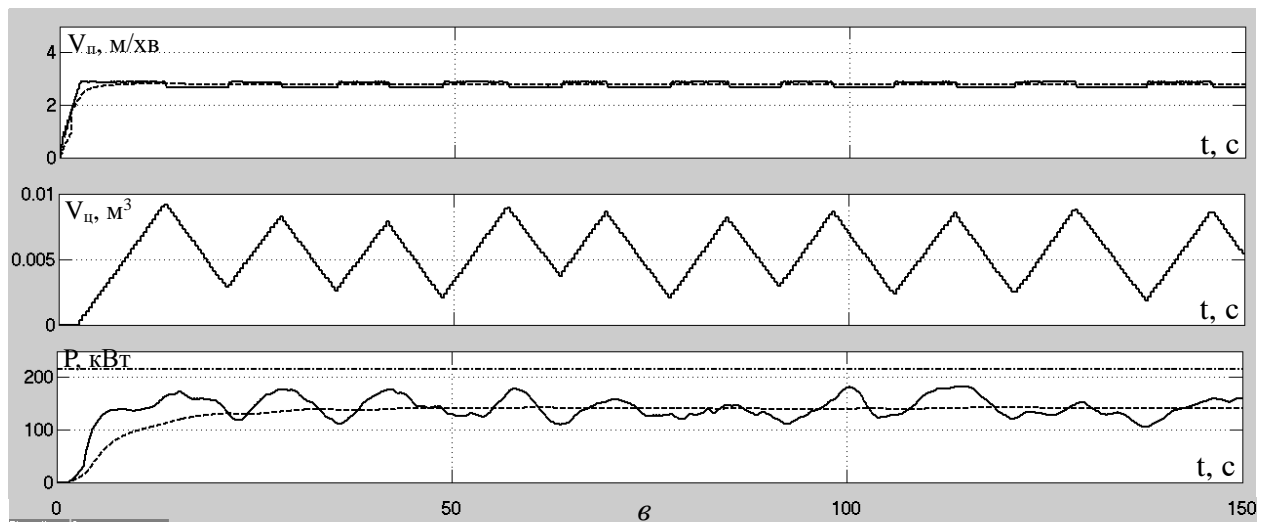


Рисунок 2.7 – Часові характеристики швидкості подачі (а), об'єму циркулюючого вугілля (б) та потужності електродвигуна приводу різання (в) при автоматичному керуванні видобувним комбайном УКД300 за запропонованим алгоритмом

Зі швидкістю 2,9 м/хв комбайн працює кількість часу, необхідну для появи перевищення середньою фактичною потужністю своєї уставки, після чого автоматична система знижує швидкість подачі до 2,7 м/хв. Зі швидкістю подачі 2,7 м/хв комбайн працює доти, доки обсяг циркулюючого вугілля не знизиться до 0,0025-0,0035 м<sup>3</sup>. Після цього автоматична система знову задає уставку швидкості подачі 2,9 м/хв. Цей процес підтверджується рис.2.7,б, з якого видно, що обсяг циркулюючого вугілля починає лінійно збільшуватися під час переходу швидкості подачі до 2,9 м/хв. Максимальне значення об'єму циркулюючого вугілля складає при цьому “0,007-0,009”, що становить 28-35% робочого обсягу виконавчого органу. Коли комбайн знижує середню швидкість подачі до 2,7 м/хв, обсяг циркулюючого вугілля починає знижуватися до значень “0,0025-0,0035” (10-14% робочого об'єму органу).

Розрахуємо середню швидкість подачі при автоматичному керуванні комбайном за новим алгоритмом:

$$V_{n.cp} = \frac{\sum_{i=1}^{10000} V_{n.i}}{10000} = 2,77, \text{ м/хв,}$$

де - миттєве значення швидкості подачі комбайна, м/хв.

Завдяки тому, що об'єм циркулюючого вугілля в робочому обсязі шнека знизився в 2,9 рази, значно знизилися межі зміни потужності двигуна приводу різання, як це видно з рис.2.7,в (суцільна лінія). При керуванні комбайном за новим алгоритмом середня потужність двигуна випадково змінюється в межах від 100 до 190 кВт. Середнє значення потужності, що споживається електродвигуном приводу різання:

$$P_{дв.ср} = \frac{\sum_{i=1}^{10000} P_{дв.i}}{10000} = 140, \text{ кВт}$$

де  $P_{дв.i}$  - миттєве значення потужності, що споживається електродвигуном приводу різання, кВт.

Визначимо теоретичну продуктивність вугільного комбайна при управлінні за новим алгоритмом:

$$Q_{m.cp} = \gamma_n \cdot D \cdot B_z \cdot V_{nod} \cdot 60 = 1,43 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 2,77 \cdot 60 = 150, \text{ т/год.}$$

Визначимо питомі енерговитрати на руйнування та навантаження вугілля при керуванні комбайном за новим алгоритмом:

$$H_{wи.ср} = \frac{P_{дв.ср}}{Q_{m.cp}} = \frac{140}{150} = 0,933, \text{ кВт}\cdot\text{год/т.}$$

Отже, можна дійти висновку, що автоматичне керування видобувним комбайном для тонких пластів за запропонованим алгоритмом з погляду витрати електроенергії під час роботи комбайна набагато ефективніше керування відповідно до мінімального варіанту автоматизації, що є єдиним варіантом нині. Як показали результати обчислювального експерименту, новий алгоритм управління знижує питомі енерговитрати на 58% (на 0,413 кВт·год/т). Середня продуктивність видобувного комбайна УКД300 при автоматичному керуванні згідно з мінімальним варіантом автоматизації та за запропонованим алгоритмом є однаковою.

## **2.2 Програмне забезпечення системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна**

В даному підрозділі створене програмне забезпечення системи автоматичного керування та ЛМІ для SCADA системи zenon Supervisor 7.10. Програмне забезпечення передбачає використання замість реального об'єкта керування його програмної моделі. Структура модель системи автоматичного керування представлена складається з двох програмних модулів: модуля регулятора та модуля об'єкта керування (рис.2.8).

Для перетворення моделі математичного пакету MATLAB до тексту програми необхідно, щоб усі елементи моделі системи керування мали цифрову форму. Таким чином, спочатку виконана заміна усіх неперервних елементів моделі системи керування на цифрову форму за допомогою інструментів математичного пакету MATLAB з поділом моделі системи керування на модель регулятора та модель об'єкта керування.

При цьому проведена перевірка відповідності цифрової моделі САК неперервній, яка показала відносний рівень збіжності 99,2%. Результати сумісного моделювання наведені на рис.2.9.

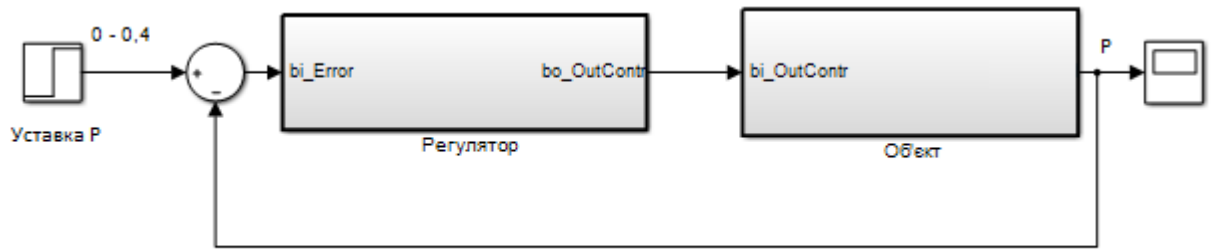


Рисунок 2.8 – Модель системи керування у вигляді двох підсистем

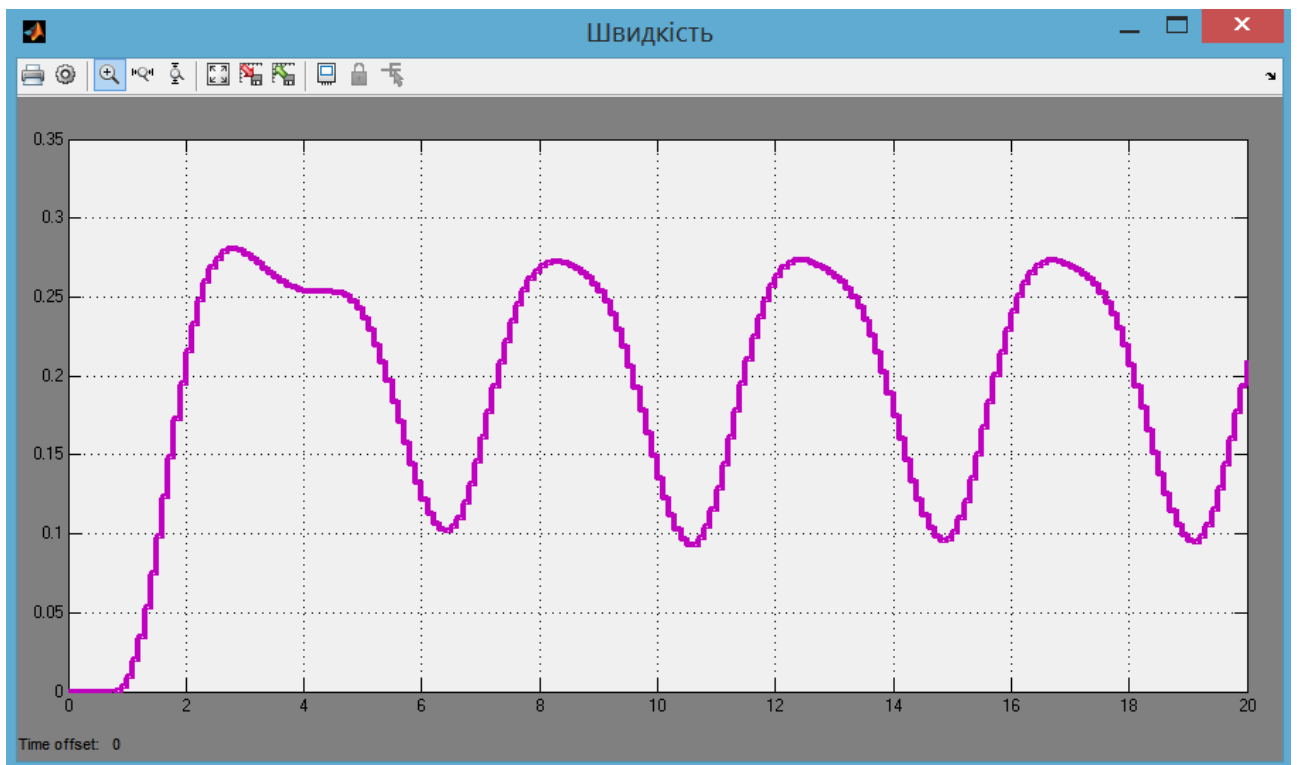


Рисунок 2.9 – Результат моделювання системи автоматичного керування

З використанням спеціальних інструментів математичного пакету MATLAB блок підсистеми, в якому реалізований регулятор, та блок підсистеми, в якому реалізований об'єкт керування, були трансформовані до програмних модулів на мові стандарту MEK 61131-3 "Structured text". На основі одержаних модулів далі буде розроблено програмне забезпечення для SCADA системи zenon.

### 2.2.1 Розробка програмного забезпечення системи керування

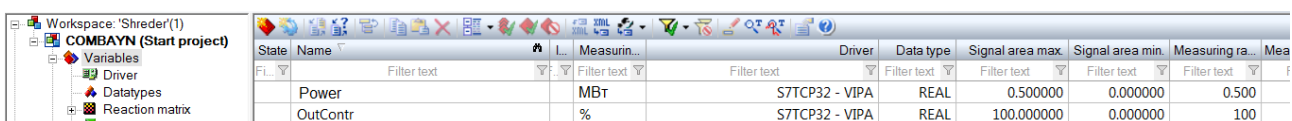
Розробка програмного забезпечення системи автоматичного керування в даному підрозділі здійснена в SCADA системі zenon для програмованого логічного контролера zenon Logic.

Програмне забезпечення системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання було розділене на два окремих програмних модуля: регулятора і об'єкта керування.

Програмне забезпечення регулятора створене для програмованого логічного контролера zenon Logic, що входить до складу SCADA системи zenon.

Програмне забезпечення об'єкта керування створене для перевірки коректності функціонування моделі системи автоматичного керування в режимі симуляції.

В SCADA системі zenon розроблений драйвер пристрою керування “S7 TCP-IP driver”. Тип драйвера обраний відповідно до апаратного забезпечення та пристрою керування. При цьому режим драйверу заданий в режимі програмної симуляції. Час оновлення даних прийнятий рівним 100 мс. Для цього драйвера надалі буде створене програмне забезпечення об'єкта керування.



State	Name	Measurin...	Driver	Data type	Signal area max	Signal area min	Measuring ra...	Mea
	Power	MBт	S7TCP32 - VIPA	REAL	0.500000	0.000000	0.500	
	OutContr	%	S7TCP32 - VIPA	REAL	100.000000	0.000000	100	

Рисунок 2.10 – Змінні програмованого логічного контролера

Програмне забезпечення об'єкта керування функціонує на базі програмного логічного контролера в zenon Logic, який в режимі симуляції здійснює реалізацію програмованого логічного контролера VIPA та об'єкта керування.

На основі програмного коду, отриманого за допомогою інструментів математичного пакету MATLAB, розроблений користувацький функціональний



блок “Object”. Текст програми цього блоку створено на мові програмування Structured Text.

Виклик функціонального блока “I\_Object” виконується в тілі основної програми, яка представлена на рисунку 2.11.

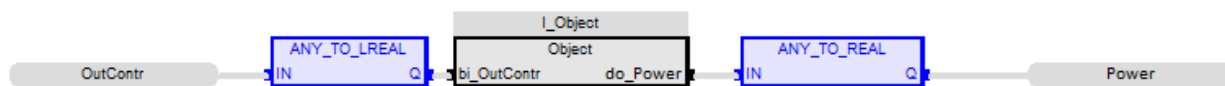


Рисунок 2.11 – Основна програма об’єкта керування

На вхід блока об’єкта керування подається фактичне значення потужності двигуна приводу різання “OutContr”. З виходу блока це фактичне значення записується до змінної “Power”. Змінні “OutContr” та “Power” є глобальними та закріплені за SCADA системою zenon.

Програмне забезпечення контролера має функціонувати в SCADA системі zenon на моделі програмованого логічного контролера zenon Logic. Для цього в SCADA системі системі zenon доданий проєкт zenon Logic “Controller”. Для зв’язку з SCADA системою також додані змінні, що представлені на рисунку 2.12.

State	Name	I.	Measurin...	Driver	Data type	Signal area max.	Signal area min.	Measuring ra...	Mea...
	Controller/Global/Control_OutContr	%	STRATONNG - zenon Logic: Contr...		REAL	100.000000	0.000000	100	
	Controller/Global/Control_SetPoint	МВт	STRATONNG - zenon Logic: Contr...		REAL	0.500000	0.000000	0.500	
	Controller/Global/Control_Power	МВт	STRATONNG - zenon Logic: Contr...		REAL	0.500000	0.000000	0.500	

Рисунок 2.12 – Змінні програмованого логічного контролеру

На базі програмного коду, отриманого за допомогою інструментів математичного пакету MATLAB, створений користувацький функціональний блок “Controller”, текст програми якого відображується на мові програмування Structured text.

Виклик функціонального блоку здійснюється в основному тілі програми, що представлено на рисунку 2.13.

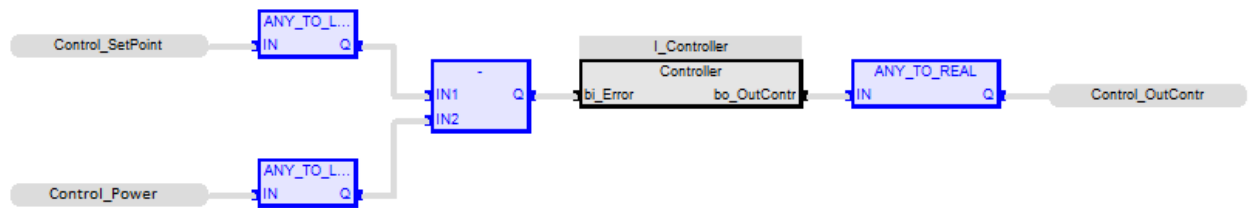


Рисунок 2.13 – Основна програма контролера

На вхід блока задається значення похибки системи автоматичного керування, що визначається як різниця між уставкою потужності “Control\_SetPoint” та фактичним значенням потужності “Control\_Power” (0-0.4 МВт). На виході блока формується керуючий вплив, значення якого копіюється до змінної “Control\_OutContr” (керуючий вплив – команда на перетворювач частоти приводу подачі (0-100%).

### 2.2.2 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейса

Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу розділено на декілька складових: вікно технологічного процесу, вікно загальної інформації, вікно демонстрації діаграм процесу, хронологічний список подій та список тривоги. Людино-машинний інтерфейс повинен здійснювати демонстрацію декілька вікон, тож він повинен мати два шаблони. На першому шаблоні повинні відображатися кнопки переключення зображення, а на другому шаблоні – самі зображення.

Основне зображення містить інформацію про технологічний процес, зміну потужності двигуна приводу різання, хронологічний список подій та інформаційний список тривоги.

Допоміжний шаблон має ім'я “Buttons”, він використовується для розробки вікна з кнопками зміни основного зображення.

У вікні зображення, яке розроблене на базі шаблону “Buttons”, розташовані кнопки “Технологічна схема”, “Загальна інформація”, “Характеристики процесу”, “Тривоги”, “Події”. Окрім цього, на ньому знаходяться кнопка “Перезавантажити”, що ініціює оновлення людино-машинного інтерфейсу, а також кнопка “Вихід”, що ініціює закриття людино-машинного інтерфейсу.

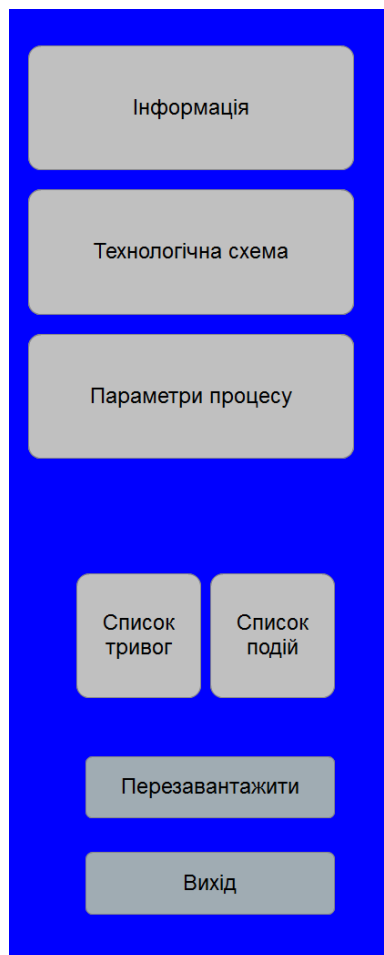


Рисунок 2.14 – Зображення на базі шаблону “Buttons”

Створене вікно технологічного процесу, яке наведено на рисунку 2.15.

Для контролю зміни потужності створене відповідне зображення, що показано на рисунку 2.16. На ньому з використанням розширеного тренду відображається зміна потужності та керуючого сигналу на перетворювач частоти.

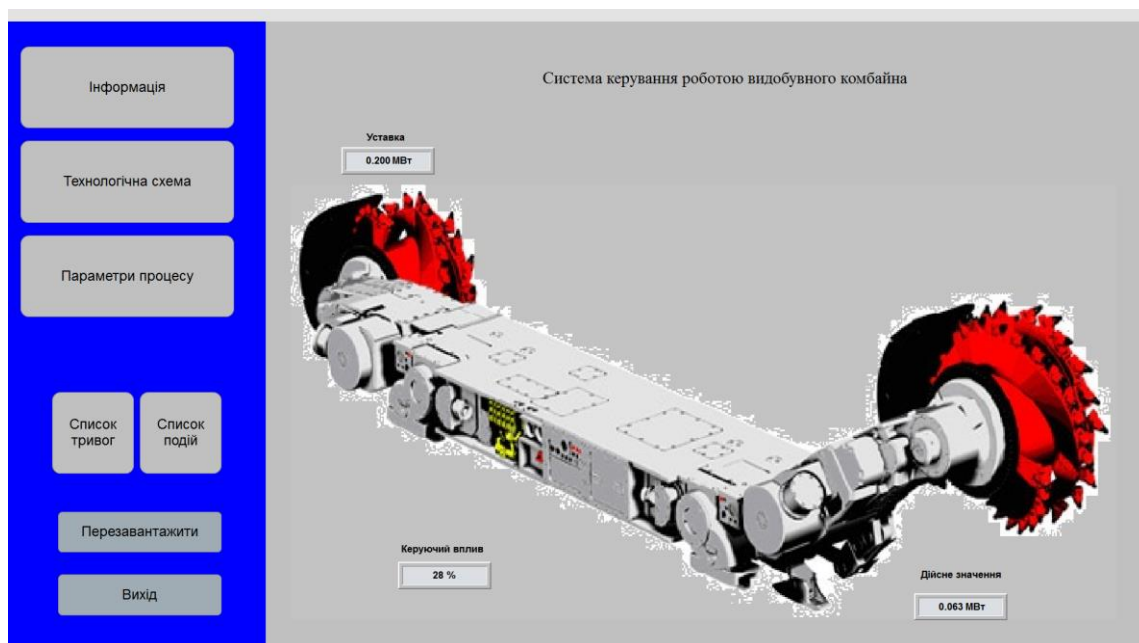


Рисунок 2.15 – Технологічне зображення

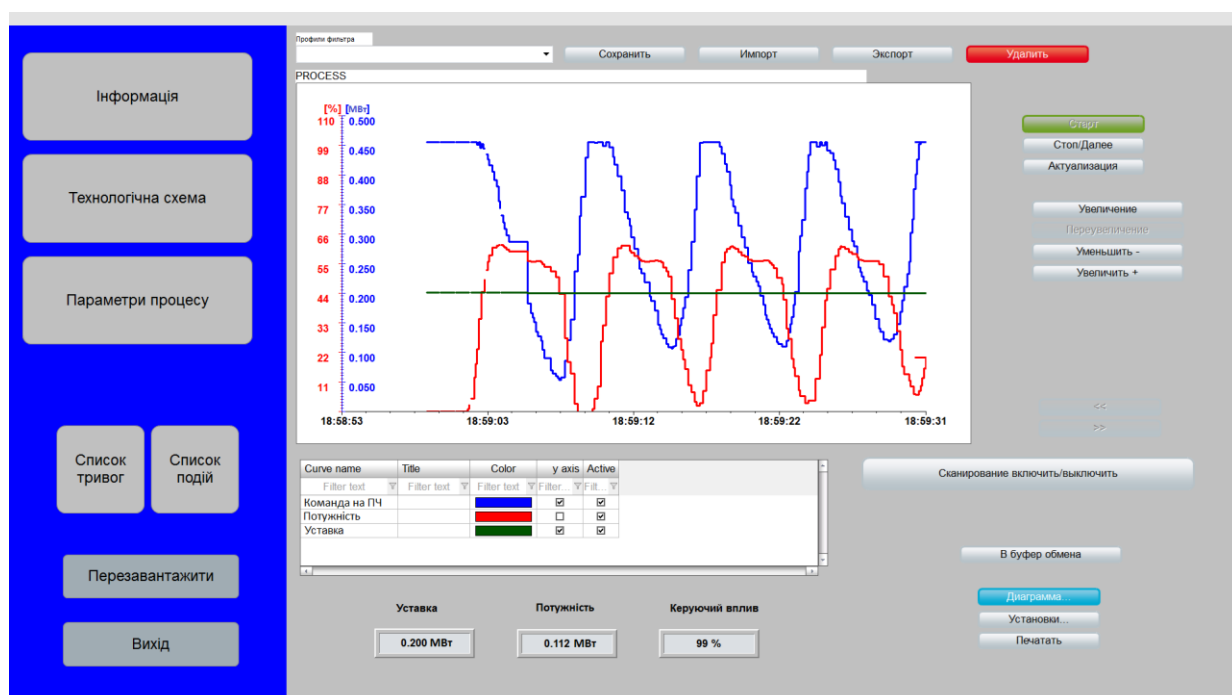


Рисунок 2.16 – Зображення тренду зміни потужності двигуна приводу різання

На вікні технологічного процесу вказане основне обладнання процесу.

Для відтворення списку подій розроблене зображення типу “Chronologic event list”. В списку подій записується інформація про зміни параметрів технологічного процесу. Створене зображення наведено на рисунку 2.17.

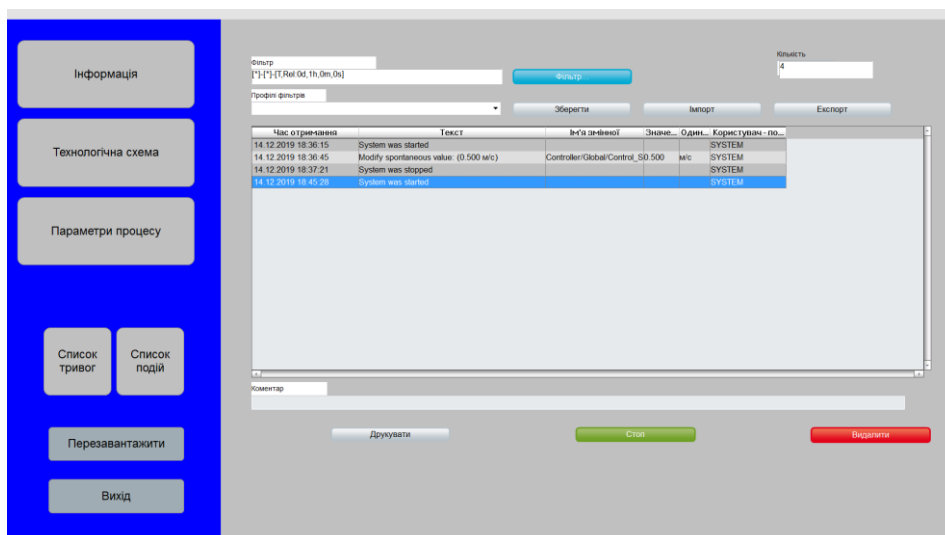


Рисунок 2.17 – Зображення хронологічного списку подій

Також на вікні відображення хронологічного списку подій показуються події, що виникають під час роботи системи автоматичного керування.

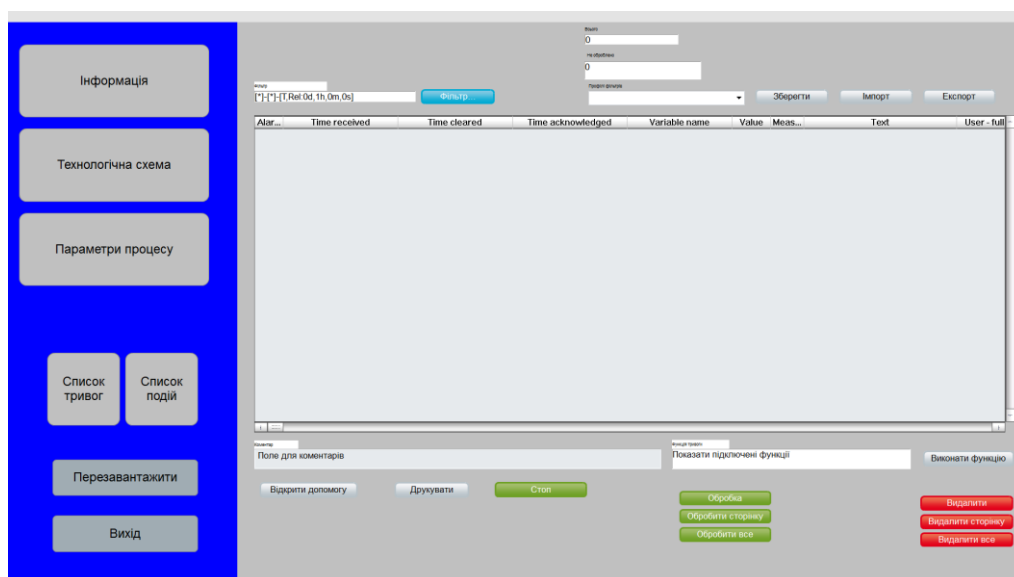
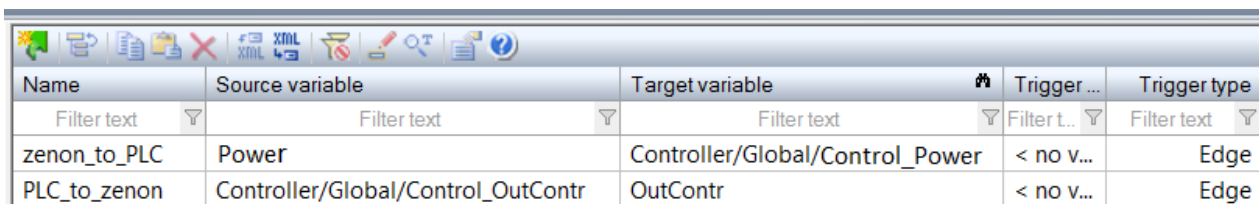


Рисунок 2.18 – Зображення інформаційного списку тривоги

Для відтворення списку тривог створене зображення типу “Alarm message list”. В інформаційному списку тривог зберігається інформація про досягнення кінцевих станів процесу. Створене зображення інформаційного списку тривог показано на рисунку 2.18.



Name	Source variable	Target variable	Trigger ...	Trigger type
Filter text	Filter text	Filter text	Filter t...	Filter text
zenon_to_PLC	Power	Controller/Global/Control_Power	< no v...	Edge
PLC_to_zenon	Controller/Global/Control_OutContr	OutContr	< no v...	Edge

Рисунок 2.19 – Список зв’язків

Щоб з’єднати створені зображення з змінними програмованого логічного контролера, а також змінними моделі об’єкта керування, використані зв’язки, список яких показаний на рисунку 2.19.

### 2.2.3 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка коректності роботи програмного забезпечення здійснена в режимі симуляції. В режимі симуляції замість програмованого логічного контролера використовувалася його модель, а також модель об’єкта керування з реалізацією зв’язків між ними.

В процесі перевірки було доведено, що робота системи керування виконується коректно, та співпадає з результатами роботи моделі системи, яка реалізована в пакеті Matlab.

Тренди відображають коректну інформацію про зміну потужності двигуна приводу різання видобувного комбайна (рис 2.20). Форма кривої співпадає з зображенням на рисунку 2.15.

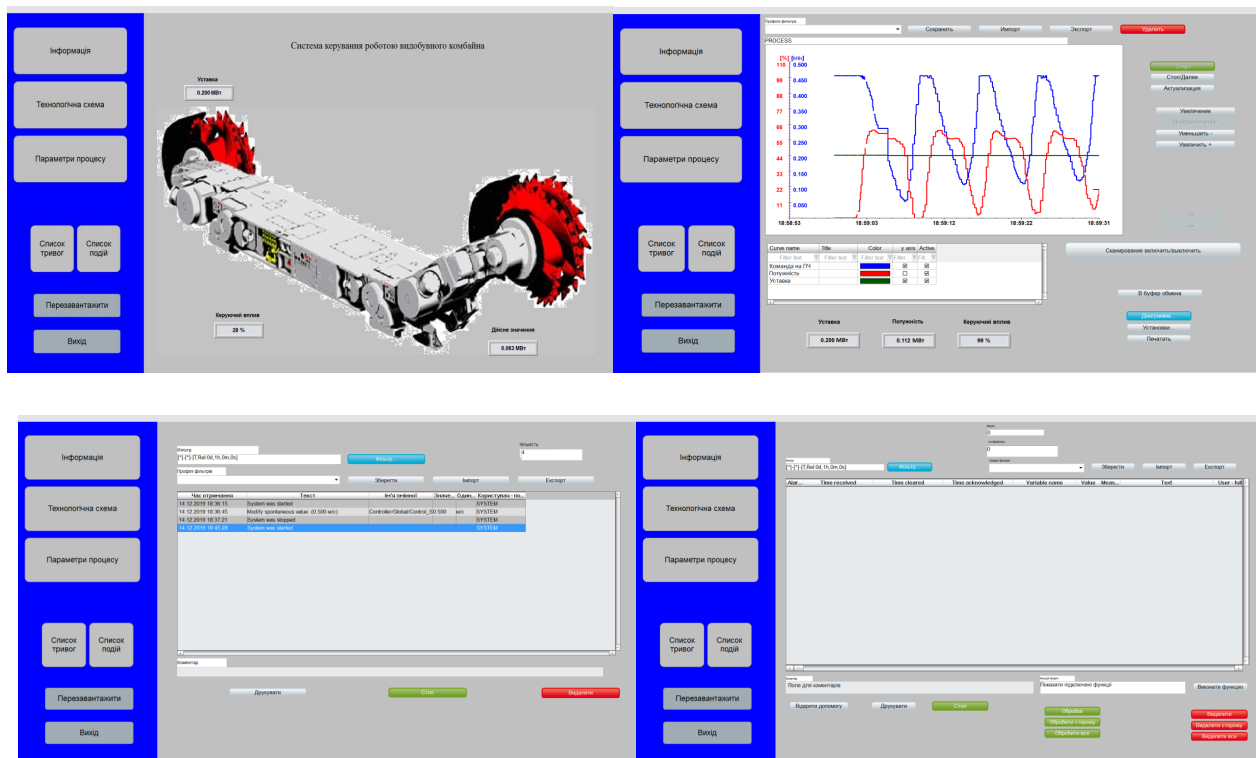


Рисунок 2.20 – Перевірка роботи людино-машинного інтерфейсу

### 2.3 Висновки по розділу

1. Виконана розробка математичного забезпечення системи автоматичного керування. Визначена динамічна модель системи керування, на основі якої проведено дослідження енергоефективності роботи комбайна при керуванні за існуючим алгоритмом, та з урахуванням виявлених в результаті досліджень недоліків, проведений синтез системи автоматичного керування.

Аналіз ефективності існуючого алгоритму автоматичного керування навантаженням двигунів приводів різання показав присутність негативного явища – автоколювання в системі керування через неврахування в алгоритмі суттєвої інерційності процесу завантаження вугілля виконавчим органом. Цей процес відбувається набагато повільніше, ніж накопичення вугілля в робочому об’ємі органу та збільшення потужності двигуна приводу різання. Встановлено,

що через це негативне явище питомі енерговитрати на видобуток вугілля комбайном збільшуються у 2,4 рази.

Таким чином, в алгоритм керування необхідно додати штучну інерційність, щоб синхронізувати динаміку комбайна та процесу завантаження вугілля органом на конвеєр. Це можна зробити, використовуючи інерційність диференціюючої складової ПІД-регулятора. Для цього виконаний синтез системи автоматичного керування комп'ютеризованим методом з використанням спеціальних інструментів пакету MATLAB. Під час синтезу коефіцієнт фільтру задавався на порядок менше для обмеження динаміки керуючого впливу.

2. На основі неперервної моделі системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна визначена її цифрова модель. Ця модель розділена на модель об'єкта керування та модель регулятора. За допомогою спеціальних інструментів математичного пакета MATLAB розроблені програмні модулі, які є програмними емуляторами об'єкту керування та регулятора з використанням мови програмування Structured Text. На основі цих програмних модулів створене програмне забезпечення системи автоматичного керування для емулятора програмованого логічного контролера zenon Logic, що є частиною SCADA системи zenon.

Також в SCADA системі zenon створений людино-машинний інтерфейс, що здійснює відображення інформації про технологічний процес, зміну потужності двигуна приводу різання, хронологічний список подій та інформаційний список тривоги.

Здійснена успішна перевірка коректності функціонування програмного забезпечення системи керування.



### 3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Розрахунки капітальних витрат

##### 3.1.1 Визначення витрат на обладнання

Капітальні вкладення – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Зведення капітальних витрат на встаткування при впровадженні системи автоматизації процесу керування швидкістю подачі видобувного комбайна наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Зведення капітальних витрати, грн.

№ п/п	Найменування статей витрат	Кіл. од.	Вартість за од. товару, грн.	Вартість, грн.
1	ПЛК VІРА	1	14800	14800
2	Блок живлення	1	2400	2400
3	Датчик швидкості подачі	1	2600	2600
4	Датчик метану	2	2900	5800
5	Датчик потужності	1	1500	1500
6	Датчик екстреної зупинки	1	3410	3410
7	Датчик витрат води	3	165	495
8	НМІ панель керування	1	9000	9000
Разом				40005

Визначаємо капітальні витрати. Визначення проектних капітальних витрат проводиться за наступною формулою:

$$K_{\text{пр}} = C_{\text{об}} + D_{\text{тр}} + M_{\text{мн}} \quad (3.1)$$

де  $C_{\text{об}}$ – витрати на комплектуючі вироби;

$D_{\text{тр}}$ – витрати на транспортно-заготівельні витрати;

$M_{\text{мн}}$ – витрати на монтаж і налагодження системи;

Вартість комплектуючих деталей наведена в таблиці 3.1.

Транспортно-заготівельні витрати визначаються по всіх розділах залежно від вартості устаткування, матеріалів, виробів, конструкцій та дорівнюють 8% від загальної вартості.

$$Д_{тр} = С_{об} \cdot 0,08, \quad (3.2)$$

де,  $С_{об}$  – вартість комплектуючих, грн.

Таким чином витрати на транспо-заготівельні і складські роботи складають

$$Д_{тр} = 40005 \cdot 0,08 = 3200,4 \text{ грн}$$

Вартість монтажно-налагоджувальних робіт приймаємо на рівні 7% від вартості обладнання.

$$М_{мн} = С_{об} \cdot 0,07 \quad (3.3)$$

Витрати на монтажна-налагоджувальні роботи складуть

$$М_{мн} = 39810 \cdot 0,07 = 2800,35 \text{ грн.}$$

Проектні капітальні витрати на обладнання складуть:

$$К_{пр.} = 40005 + 3200,4 + 2800,35 = 46005,75 \text{ грн.}$$

До статтям капітальних витрат також відносяться витрати на розробку програмного забезпечення для системи управління транспортно-навантажувальних комплексом.

### 3.1.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення:

$$t = t_o + t_u + t_a + t_n + t_{от} + t_g, \quad (3.4)$$

де  $t_o$  - витрати праці на підготовку і опис поставленої задачі;

$t_u$  - витрати праці на дослідження алгоритму рішення завдання;

$t_a$  - витрати праці на обробку блок-схеми алгоритму;

$t_n$  - витрати праці на програмування по готовій блок-схемі;

$t_{от}$  - витрати праці на налаштування програм на ЕОМ;

$t_g$  - витрати праці на підготовку документації по завданню.

Умовну кількість операторів у програмі:

$$Q = q \cdot c \cdot (1+p), \quad (3.5)$$

де  $q$  – кількість операторів, яка допускається;

$c$  – коефіцієнт складності програми (1,25...2,0);

$p$  – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки (0,05...0,1).

Таким чином, для програми, описаній у роботі:

$$Q = 20 \cdot 1,25(1+0,1) = 27,5$$

Оцінка витрат праці на підготовку і опис завдання становлять

$$t_0 = 10 \text{ люд.-год.}$$

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з урахуванням уточнення опису і кваліфікації програміста за формулою:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k}, \text{ люд.-год.} \quad (3.6)$$

де  $B$  – коефіцієнт збільшення витрат праці,  $B=1,4$ ;

$k$  – коефіцієнт кваліфікації програміста, які визначається залежно від стажу роботи зі спеціальності. У нашому випадку коефіцієнт кваліфікації програміста становить  $k=1,2$ .

Для розроблюваного програмного забезпечення:

$$t_u = \frac{27,5 \cdot 1,4}{80 \cdot 1,2} = 0,4 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати на розробку алгоритму розв'язку завдання:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \text{ люд.-годин} \quad (3.7)$$

Для розроблювального програмного забезпечення:

$$t_a = \frac{27,5}{20 \cdot 1,2} = 1,14 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати праці на складання програми по готовій блок-схемі алгоритму:

$$t_n = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \text{ люд.-годин} \quad (3.8)$$

Для розроблюваного програмного продукту:

$$t_n = \frac{27,5}{20 \cdot 1,2} = 1,14 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати праці на налагодження програми на ЕОМ розраховуються по формулі:

$$t_{нал} = \frac{Q}{(4...5) \cdot k} \text{ люд.-годин} \quad (3.9)$$

Для конкретного програмного продукту:

$$t_{нал} = \frac{27,5}{5 \cdot 1,2} = 4,58 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати праці на підготовку документації за завданням визначаються по формулі:

$$t_D = t_{ДР} + t_{ДО}, \text{ люд.-година,} \quad (3.10)$$

де  $t_{ДР}$  – трудомісткість підготовки матеріалів до написання;

$t_{ДО}$  – трудомісткість редагування, друку й оформлення документації.

$$t_{ДР} = Q / (15...20) \cdot k, \quad (3.11)$$

$$t_{ДР} = 27,5 / 18 \cdot 1,2 = 1,83 \text{ люд.-година;}$$

$$t_{ДО} = 0,75 \cdot t_{ДР}, \quad (3.12)$$

$$t_{ДО} = 0,75 \cdot 1,83 = 1,37 \text{ люд.-година.}$$

Для розроблюваного програмного забезпечення витрати праці на підготовку документації за завданням будуть становити:

$$t_D = 1,83 + 1,37 = 3,2 \text{ люд.-година.}$$

Трудомісткість розробки програмного забезпечення буде становити:

$$t = 10 + 0,4 + 1,14 + 1,14 + 4,58 + 3,2 = 20,46 \text{ людино-годин.}$$

### 3.1.3 Розрахунки витрат на розробку програмного продукту

Витрати на розробку програмного продукту  $K_{пз}$  містять витрати на заробітну плату розробника програми  $Z_{зп}$  і вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ  $Z_{мч}$

$$K_{пз} = Z_{зп} + Z_{мч}, \text{ грн.} \quad (3.13)$$

Заробітна плата розробника програмного забезпечення:

$$Z_{зп} = t \cdot C_{пр}, \text{ грн.} \quad (3.14)$$

де  $t$  – загальна трудомісткість обробки програмного забезпечення;

$C_{пр}$  – середня годинна тарифна ставка програміста початкового рівня становить:

$$C_{пр} = 50 \text{ грн./година.}$$

Заробітна плата за розробку програмного забезпечення дорівнює:

$$Z_{зп} = 20,46 \cdot 50 = 1023 \text{ грн.}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ:

$$Z_{мч} = t_{нал} \cdot C_{мг}, \text{ грн.} \quad (3.15)$$

де  $t_{нал}$  – трудомісткість налаштування програми на ЕОМ, людино-годин;

$C_{мг}$  – вартість машино-години ЕОМ, грн./година.  $C_{мг} = 5$  грн./година.

$$Z_{мч} = 4,58 \cdot 5 = 22,9 \text{ грн.}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування будуть становити:

$$K_{пз} = 1023 + 22,9 = 1045,9 \text{ грн.}$$

Певні, таким чином, витрати на створення програмного забезпечення є частиною одноразових капітальних витрат на створення системи керування.

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \text{ міс.} \quad (3.16)$$

де  $B_k$  – кількість розробників. Програма розроблялася однією людиною, тому  $B_k = 1$ ;

$F_p$  – місячний фонд робочого часу ( $F_p = 176$  годин).

Визначимо тривалість розробки ПО:

$$T = \frac{20,46}{1 \cdot 176} = 0,12 \text{ міс.}$$

Розрахувавши усі показники, використаємо формулу 3.1, розрахуємо капітальні витрати:

$$K_{\text{пр}} = 46005,75 + 1045,9 = 47051,35 \text{ грн.}$$

Вартість системи керування, що перебуває в експлуатації на підприємстві становить  $K_{\text{баз}} = 40000$  грн.

Отже, різниця капітальних витрат складе:

$$\Delta K = K_{\text{пр}} - K_{\text{баз}} \quad (3.17)$$

$$\Delta K = 47051,35 - 40000 = 7051,35 \text{ грн.}$$

### 3.2 Розрахунки експлуатаційних витрат

До основних статтям експлуатаційних витрат ставляться:

- амортизація основних фондів  $C_a$ ;
- заробітна плата обслуговуючого персоналу  $C_z$ ;
- відрахування на соціальні заходи від заробітної плати  $C_c$ ;
- витрати на ремонт та технічне обслуговування  $C_{p.m.o.}$ ;
- вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування  $C_{ee}$ ;
- інші витрати  $C_{\text{інш.}}$ .

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C_e = C_a + C_z + C_c + C_{p.m.o.} + C_{ee} + C_{\text{інш.}} \quad (3.18)$$

#### 3.2.1 Амортизація основних фондів

Обладнання системи керування, належить до 2 групи за нормами нарахування амортизації основних фондів. Передбачуваний термін експлуатації системи становить 5 років.

При використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визначається за формулою:

$$H_a = (2 / T) * 100\% \quad (3.19)$$

$T$  – термін корисного використання об'єкта;

$H_a$  – норма амортизації;

$$C_a = (ПВ * H_a) / 100\%, \quad (3.20)$$

$C_a$  – амортизація основних фондів (річна);

$PB$  – первинна вартість, дорівнює капітальним витратам  $PB = K$ ;

Отже, норма амортизації для проектованої системи керування складе:

$$H_a = (2/5) * 100\% = 40\%$$

Сума амортизації для проектованої і базової системи становитиме:

$$C_{a.пр} = (47051,35 * 40\%) / 100\% = 18820,54 \text{ грн.}$$

$$C_{a.баз.} = (40000 * 40\%) / 100\% = 16000 \text{ грн.}$$

### 3.2.2 Розрахунки річного фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{ном.рік} = (T_k - T_{вих.св} - T_{відп}) * T_{зм}, \text{ ГОДИН} \quad (3.21)$$

де,  $T_k$  – календарний фонд робочого часу, 365 днів;

$T_{вих.св}$  – вихідні дні та свята, 114 дні;

$T_{відп}$  – відпустка, 21 день;

$T_{зм}$  – тривалість зміни, 8 год.

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{ном.рік} = (365 - 114 - 21) * 8 = 1840 \text{ годин}$$

Для керування процесом задіяно 1 спеціаліста з устаткування.

Після впровадження проектованої системи керування штат персоналу не зміниться, отже заробітна плата і відрахування на соціальні заходи будуть однакові.

Розрахунок річного фонду заробітної плати виробничих робітників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Розрахунок заробітної плати персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих,		Годинна тарифна ставка, грн. / ч.	Номінальний річний фонд робочого часу (годин)	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (10%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
		яв.	сп.						
1	Оператор ЕОМ	2		28	1840	101050	10105	7240	118395

2	Налагодж. електроустаткув.	1	10	1840	73600	7360	5152	86112
	Разом							204507

$$C_3 = 204507 \text{ грн.}$$

### 3.2.3 Розрахунки відрахувань на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи складуть:

$$C_c = 0,22 * C_3 \quad (3.22)$$

$$C_{c.пр} = 0,22 * 204507 = 44991,54 \text{ грн.}$$

### 3.2.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування й ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт електротехнічного встаткування й мереж включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтником.

Витрати, пов'язані з ремонтом та технічним обслуговуванням нового обладнання, становлять 4% від вартості, тобто:

$$C_{р.т.о.} = K * 0,04, \text{ грн.} \quad (3.23)$$

$$C_{р.т.о.пр} = 47051,35 * 0,04 = 1882,05 \text{ грн.}$$

$$C_{р.т.о. баз} = 40000 * 0,04 = 1600 \text{ грн.}$$

### 3.2.5 Розрахунки вартості споживаної електроенергії

Система працює цілодобово, упродовж року.

Розрахуємо вартість електроенергії, споживаної системою керування, розробленої у проекті:

$$C_{ee} = K_e * K_d * T$$

де  $K_e$  – кількість електроенергії, спожите проектованою системою керування за годину, кВт\*год;

$$K_{др} – \text{кількість днів у році, } K_{др} = 365 \text{ днів;}$$

$T$  – тариф на електроенергію для підприємств (Для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 5,8 грн. за кВт з ПДВ.



Виходячи з технічних характеристик апаратної частини системи, споживання електроенергії становить – 0,2 кВт.

Здійснимо розрахунок вартості споживаної електроенергії при впровадженні системи керування.

Витрати на електроенергію будуть становити:

$$C_{ee} = 0,2 * 365 * 24 * 5,8 = 10343,81 \text{ грн,}$$

$$C_{ee} = 0,17 * 365 * 24 * 5,8 = 8619,84 \text{ грн}$$

### 3.2.6 Визначення інших витрат

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

$$C_{інш} = C_з * 0,04 \text{ грн.} \quad (3.24)$$

$$C_{інш.} = 204507 * 0,04 = 8180,28 \text{ грн.}$$

Таблиця 3.3 – Експлуатаційні витрати по варіантах

Найменування показника	Базовий варіант	Проектний варіант
Амортизація	16000	18820,54
Фонд заробітної плати	204507	204507
Відрахування на соц. виплати	44991,54	44991,54
Ремонт і тех. обслуговування	1600	1882,05
Електроенергія	8619,84	10343,81
Інші	8180,28	8180,28
Разом	283898,66	288725,14

За формулою 3.4 розраховуємо річні експлуатаційні витрати:

$$C_{e.пр.} = 18820,54 + 204507 + 44991,54 + 1882,05 + 10343,81 + 8180,28 = 288725,14 \text{ грн.}$$

$$C_{e.баз.} = 16000 + 204507 + 44991,54 + 1600 + 8619,84 + 8180,28 = 283898,66 \text{ грн.}$$

### 3.3 Визначення додаткового прибутку від впровадження системи

Умовний прибуток від впровадження системи може бути отриманий за рахунок зменшення кількості електроенергії, що витрачається на 1 тону видобутого вугілля.

За обчислювальними експериментами економія електроенергії при впровадженні системи керування (при річному видобутку вугілля) складе:

$$\Delta_{тм} = 0,413 \text{ кВт}\cdot\text{год/т} * 365 \text{ день} * 4500 \text{ тон} * 3 \text{ зміни} * 0,3 = 610517 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Додатковий прибуток становитиме:

$$\Delta\Pi = 610517 * 5,8 = 3540998,6 \text{ грн.}$$

### 3.4 Оцінка економічної ефективності

Визначимо показники економічної ефективності системи:

річний економічний ефект:

$$E = \Delta\Pi - \Delta K * E_n > 0 \quad (3.25)$$

і строк окупності розробки:

$$\text{Струм} = \Delta K / E < T_{ож} \quad (3.26)$$

Нормативне значення коефіцієнта ефективності виходячи з прийнятої для підприємства індивідуальної норми прибутковості становить: 0,15 ( $E_n$ )

$$E = 3540998,6 - 0,15 * 47051,35 = 3533940,9 \text{ грн.}$$

$$T_{ож} = 47051,35 / 3533940,9 = 0,013 \text{ року}$$

Нормативне значення коефіцієнта ефективності виходячи з прийнятої для підприємства індивідуальної норми прибутковості становить: 0,15 ( $E_n$ )

$$E_n = 1 / T_{ож}$$

Коефіцієнт ефективності (прибутковості) капітальних витрат  $E_p$  показує, скільки гривень додаткового прибутку (економії) приносить одна гривня капітальних витрат:

$$E_p = E / \Delta K \quad (3.27)$$

Коефіцієнт ефективності становить:

$$E_p = 3533940,9 / 47051,35 = 75,12$$

Отже, при впровадженні системи керування 1 грн. капітальних витрат приносить 501,2 грн. прибутку.

$$E_p > E_n$$

Перспективні капітальні вкладення .

Економічні показники, що характеризують ефективність створення й використання розробленого проекту системи відображено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - Економічні показники використання системи

Найменування показників	Ед. вимірювання	Показники проектного варіанта системи	Показники проектного варіанта системи
Капітальні витрати	грн.	40000	46005,75
Експлуатаційні витрати, всього	грн.	283898,66	288725,14
В тому числі:	грн.	16000	18820,54
- амортизація			
- заробітна плата обслуговуючого персоналу	грн.	204507	204507
- відрахування на соціальні заходи	грн.	44991,54	44991,54
- технічне обслуговування та поточний ремонт системи керування	грн.	1600	1882,05
- вартість споживаної електроенергії	грн.	8619,84	10343,81
- інші витрати	грн.	8180,28	8180,28
Додатковий прибуток	грн.	-	3540998,6
Річний економічний ефект	грн.	-	3533940,9
Коефіцієнт ефективності		-	0,002
Термін окупності капітальних вкладень	років	-	501,2

### 3.5 Висновки по розділу

Виходячи з розрахунків, видно, що впровадження нового обладнання системи автоматизації процесу керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна та її експлуатація є досить коштовними в матеріальному плані, але дуже швидко окупається, оскільки навіть при незначній економії електроенергії близько 0,4 кВт·год на одній тоні вугілля за рахунок значної продуктивності комбайна (протягом 6 годин в середньому 4500 тон) на тривалому інтервалі часу маємо колосальний позитивний ефект.

Аналіз економічних показників при впровадженні системи показав, що річний економічний ефект від впровадження системи керування роботи рівний 3533940,9 грн.

Строк окупності додаткових капітальних вкладень підвищення енергоефективності видобутку вугілля складає 0,002 року. Коефіцієнт економічної ефективності за розрахунками – 501,2.

Порівнявши розрахований коефіцієнт економічної ефективності та нормативний, робимо висновок про доцільність впровадження розробленої системи керування.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглянуто питання впровадження системи автоматизації процесу керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна.

При експлуатації видобувного комбайна вугільної шахти на персонал можуть впливати наступні небезпечні й шкідливі виробничі фактори: підвищене значення напруги в електричній мережі, запиленість робочої зони, шум і вібрація поряд з технологічним обладнанням [12-20].

### 4.2 Інженерно-технічні заходи щодо охорони праці

#### 4.2.1 Електробезпека

Двигун приводу різання видобувного комбайна УКД300 має такі технічні характеристики:

Роторний двигун внутрішнього згоряння, потужність 250 кВт, частота обертання 1500 об/хв.

Маса двигуна 500 кг.

Віброшвидкість, що виникає при роботі двигуна, становить 10 мм/с.

Розрахунок шуму

Для розрахунку шуму, що виникає при роботі двигуна, можна використовувати наступну формулу:

$$L = 10 \log_{10}((P_1 * v_1) / (P_0 * v_0))$$

де:

L - рівень шуму, дБА;

P<sub>1</sub> - потужність джерела шуму, Вт;

v<sub>1</sub> - віброшвидкість, що виникає при роботі джерела шуму, мм/с;

P<sub>0</sub> - еталонна потужність, Вт;

v<sub>0</sub> - еталонна віброшвидкість, мм/с.

Еталонна потужність і віброшвидкість приймаються такими:

$$P_0 = 100 \text{ Вт};$$

$$v_0 = 1 \text{ мм/с.}$$

Тоді рівень шуму, що виникає при роботі двигуна, буде таким:

$$L = 10 \log_{10}((250000 * 10) / (100 * 1)) = 100 \text{ дБА}$$

Як видно з розрахунку, рівень шуму, що виникає при роботі двигуна приводу різання видобувного комбайна УКД300, перевищує допустимий рівень, встановлений санітарними нормами. Тому для захисту оператора комбайна від шуму необхідно використовувати засоби індивідуального захисту.

Найбільш ефективним засобом захисту працівників від шуму є заглушувачі шуму. Вони бувають різних типів і конструкцій. При виборі заглушувачів шуму необхідно враховувати рівень шуму на робочому місці, умови праці та індивідуальні особливості працівника.

Для оператора комбайна УКД300, який постійно працює в умовах шумового впливу, необхідно використовувати заглушувачі шуму з класом захисту не нижче SNR 30 дБА. Такі заглушки забезпечать зниження рівня шуму на робочому місці до допустимого рівня.

Крім того, оператору комбайна необхідно дотримуватися таких правил роботи в умовах шумового впливу:

Робочі перерви повинні проводитися кожні 2 години по 10 хвилин.

У робочій зоні необхідно підтримувати чистоту і порядок.

У робочій зоні необхідно уникати використання гучних інструментів і обладнання.

Для зниження рівня шуму на робочому місці оператора комбайна УКД300 можна також вжити таких заходів:

Застосування обладнання з безударними механізмами. Наприклад, замість роторного двигуна внутрішнього згоряння можна використовувати безударний двигун.

Заміна ударних технологічних процесів безударними. Наприклад, замість різання металу можна використовувати його свердління.

Застосування деталей із матеріалів з високим коефіцієнтом внутрішнього тертя. Наприклад, замість металевих підшипників можна використовувати підшипники з пластмаси або гуми.

Застосування віброізоляції. Наприклад, для зменшення шуму, що виникає при роботі двигуна, можна встановити віброізоляційні прокладки між двигуном і фундаментом.

Розрахунок віброізоляції двигуна приводу різання видобувного комбайна УКД300

Припустимо, що двигун приводу різання видобувного комбайна УКД300 має такі технічні характеристики:

Роторний двигун внутрішнього згоряння, потужність 250 кВт, частота обертання 1500 об/хв.

Маса двигуна 500 кг.

Віброшвидкість, що виникає при роботі двигуна, становить 10 мм/с.

Для розрахунку віброізоляції можна використовувати наступну формулу:

$$L_r = L_0 - 20\log(K_v)$$

де:

$L_r$  - знижений рівень вібрації, дБА;

$L_0$  - початковий рівень вібрації, дБА;

$K_v$  - коефіцієнт віброізоляції.

Коефіцієнт віброізоляції залежить від виду віброізоляційного матеріалу та його товщини. Для розрахунку можна використовувати наступні дані:

Віброізоляційні прокладки з гуми

Коефіцієнт віброізоляції: 0,5 - 0,7

Товщина: 5 - 10 мм

Віброізоляційні прокладки з поліуретану

Коефіцієнт віброізоляції: 0,6 - 0,8

Товщина: 5 - 15 мм

У нашому випадку, початковий рівень вібрації становить 100 дБА. Для того, щоб знизити його до допустимого рівня 80 дБА, необхідно

використовувати віброізоляційний матеріал з коефіцієнтом віброізоляції не нижче 0,4.

Для прикладу, можна використовувати віброізоляційні прокладки з гуми товщиною 10 мм. У цьому випадку, знижений рівень вібрації буде таким:

$$L_r = 100 - 20\log(0,5) = 80 \text{ дБА}$$

Таким чином, використання віброізоляційних прокладок з гуми товщиною 10 мм дозволить знизити рівень вібрації на робочому місці оператора комбайна УКД300 до допустимого рівня.

Вибір віброізоляційного матеріалу

При виборі віброізоляційного матеріалу для комбайна УКД300 необхідно враховувати такі фактори:

Тип вібрації. Вібрація може бути синусоїдальною, нерівномірною або ударною. Для кожного типу вібрації підходить свій вид віброізоляційного матеріалу.

Частота вібрації. Віброізоляційний матеріал має різний коефіцієнт віброізоляції для різних частот вібрації. Тому необхідно вибирати матеріал, який має високий коефіцієнт віброізоляції для частоти вібрації, що виникає при роботі двигуна приводу різання.

Температурний режим. Віброізоляційний матеріал повинен витримувати робочі температури в зоні, де він буде використовуватися.

Для комбайна УКД300, в якому використовується роторний двигун внутрішнього згорання, найбільш поширеним типом вібрації є синусоїдальна вібрація з частотою 50 - 100 Гц. Для цього типу вібрації підходять віброізоляційні матеріали з гуми або поліуретану.

Температурний режим в зоні установки двигуна приводу різання комбайна УКД300 може досягати 60 - 80 градусів Цельсія. Тому необхідно вибирати віброізоляційний матеріал, який витримує такі температури.

На підставі цих факторів, для комбайна УКД300 можна використовувати віброізоляційні прокладки з гуми або поліуретану товщиною 10 - 15 мм.



#### 4.2.2 Нормування кліматичних умов праці в гірничих виробках

Самопочуття і працездатність людини в умовах підземних гірських робіт визначаються спільною дією на його організм температури, вологості і швидкості руху повітря.

Надмірний перегрів організму погіршує працездатність, різко учащає пульс і подих, сповільнює розумову діяльність, розсіює увага, погіршує сприйняття інформації, викликає небезпечні серцево-судинні захворювання.

Забезпечення нормальних кліматичних умов праці в гірничих виробках здійснюється шляхом удосконалювання вентиляції за рахунок [13]:

- збільшення кількості повітря, яке подається в шахту, скорочення шляху його руху від стовбура по якому подається повітря до робочих вибоїв (Таблиця 4.1)

- зниження відносної вологості повітря, що дозволяє поліпшити тепловідводи від організму людини за рахунок випаровування вологи з поверхні тіла;

- розміщення устаткування, що виділяє тепло (трансформаторів, насосних і акумуляторних станцій), на горизонтах і у виробках, по яких направляється вихідний струмінь повітря;

Таблиця 4.1 – Допустима швидкість руху повітря в гірничих виробках

Гірничі виробки	Максимальна швидкість повітря, м/с
Стовбури для спуску і підйому тільки вантажів	18
Стовбури для спуску і підйому людей і вантажів, головні відкаточні і вентиляційні штреки	8
Всі іншу гірничі виробки, проведені по вугіллю і породі	6
Простір біля забійних очисних і тупикових виробок	4

### **4.2.3 Заходи щодо зниження запиленості робочої зони**

Для боротьби з вугільним пилом на всіх шахтах здійснюються заходи по комплексному обезпилюванні згідно з паспортами протипилових заходів, які затверджуються головним інженером шахти. До таких заходів відносяться [14]:

- використання машин, які забезпечують мінімальне пилоутворення під час видобутку вугілля;
- передчасне зволоження вугільного пласта;
- зрошення місць пилоутворення і пилу, який осів;
- ефективно провітрювання виробок;
- періодична очистка від пилу відкаточних і вентиляційних виробок;
- розташування скіпових підйомів в стволах з вихідним повітряним струменем.

До заходів, які перешкоджають виникненню джерел запалювання пилу, відносяться:

- використання запобіжних ВР, засобів підривання; вибухонебезпечного електрообладнання;
- заборону відкритого вогню і паління.

До заходів по локалізації або подавленню вибухів пилу відносяться сланцювання виробок і застосування сланцевих заслонів. Сланцювання виробок – це штучне підвищення зольності пилу, який розташувався на поверхні виробок, за рахунок добавлення до нього стандартного інертного пилу, виготовленого із вапняку і глинистого сланцю. Використання інертного пилу засновано на охолоджуючій дії за рахунок витрати теплової енергії на нагрівання інертного пилу.

### **4.2.4 Заходи щодо зниження шуму й вібрації встаткування**

Нормування шуму для робочих місць регламентується санітарними нормами та державним стандартом. Для постійних шумів нормування ведеться по граничному спектру шуму. Граничним спектром зветься сукупність нормативних рівнів звукового тиску дев'яти стандартизованих октавних смугах

частот із середньо-геометричними частотами 31,5, 63, 125, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Кожен граничний спектр позначається цифрою, яка відповідає допустимому рівню звукового тиску (дБ) в октавній полосі із середньо-геометричною частотою 1000 Гц. Наприклад, граничний спектр ГС-75 означає, що в цьому граничному спектрі допустимий рівень звукового тиску в октавній смузі з середньо-геометричною частотою 1000 Гц дорівнює 75 дБ.

Існують такі способи боротьби з шумом механічного походження та вібрацією [15]:

- зменшення шуму та вібрації безпосередньо в джерелах їх виникнення, застосовуючи обладнання, що не утворює шуму, замінюючи ударні технологічні процеси безударними, застосовуючи деталі із матеріалів з високим коефіцієнтом внутрішнього тертя (пластмаса, гума, деревина та ін.), підшипники ковзання замість кочення, косозубі та шевронні зубчасті передачі замість прямозубих, проводячи своєчасне обслуговування та ремонт елементів, що створюють шум та ін.;

- зменшення шуму та вібрації на шляхах їх розповсюдження заходами звуко- та віброізоляції, а також вібро- та звукопоглинання;

- зменшення шкідливої дії шуму та вібрації, застосовуючи індивідуальні засоби захисту та запроваджуючи раціональні режими праці та відпочинку.

#### **4.2.5 Освітлення**

Для освітлення підземних виробок вугільних та сланцевих шахт, в яких допускається використання обладнання підвищеної надійності, використовуються світильники з люмінесцентними лампами у виконанні підвищеної надійності серії РПЛ01 (типу РПЛ01 – 20/Р – 54 з лампою потужністю 20 Вт на напругу 127 В зі стартерною схемою запалення та типу РПЛ01 – 40/Р – 54 з лампою потужністю 40 Вт на напругу 220 В, з безстартерною схемою запалення) [16]. Від механічних пошкоджень люмінесцентна лампа захищена міцною трубою із оргскла та металічною сіткою.

Для освітлення вибоїв та відкотних виробок дільниць шахт небезпечних за газом та пилом, використовують світильники в вибухонебезпечному виконанні типу РВЛ – 20М з люмінесцентною лампою 20 Вт напругою 127 В зі стартерною схемою запалення лампи. Для стаціонарного освітлення використовують світильники РВЛ – 40М з лампою 40 Вт напругою 220 В та з безстартерною схемою запалення.

#### **4.2.6 Вентиляція вугільних шахт**

При проектуванні систем вентиляції для рудничних і вугільних шахт потрібно враховувати технологію видобутку корисних копалин. У глибоких і сильнозагазованих шахтах вентиляція може виявитися визначальним фактором. Адже повітря, який подається в шахту, це в першу чергу створення безпечних умов праці для робітників:

- підтримання потрібної температури повітря в шахті;
- вміст у повітрі необхідної кількості кисню;
- зміст допустимого (згідно з прийнятими нормами) рівня вологи, кількості пилу і газів.

#### **4.3 Пожежна профілактика**

Пожежна профілактика – це комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на гарантування безпеки людей, запобігання пожежам, обмеження їх поширення, а також створення умов для успішного гасіння пожежі.

Правилами безпеки у вугільних шахтах (ПБ 10.0-1.01-10) передбачено, щоб на кожній шахті був проект протипожежного захисту шахти (ППЗ), який через кожні 5 років коригується з урахуванням розвитку підземних гірничих робіт.

Комплекс заходів, спрямованих на попередження пожеж та обмеження їх розмірів, називають пожежної профілактикою. Стосовно до шахти основними завданнями пожежної профілактики є:

- попередити виникнення рудничної пожежі;

- створити необхідні умови для порятунку людей, захоплених пожежею в підземних виробках;

- забезпечити можливість локалізації виниклої пожежи і повної її ліквідації.

Заходи щодо профілактики екзогенних пожеж в шахтах спрямовані на попередження появи в гірських виробках небезпечних теплових імпульсів. У число таких заходів входять наступні:

- заборона відкритого вогню в шахтах і дотримання спеціальних запобіжних заходів при виконанні вогневих робіт в гірничих виробках;

- надійний захист шахтних електричних мереж і електромеханізмів від перевантажень, коротких замикань і небезпечних струмів витоку;

- дотримання спеціальних правил при виконанні вибухових робіт в гірничих виробках;

- систематичний контроль за станом і правильністю експлуатації всіх шахтних машин і механізмів;

- застосування пожежобезпечних (важкозаймистих) матеріалів і речовин в конструкціях гірничотранспортної і гірничодобувної техніки, елементах шахтного кріплення.

Крім того, в шахтах виконують ряд організаційно-технічних заходів по скороченню можливих об'єктів горіння, розміщення ефективних засобів пожежогасіння, навчання гірників і інженерно-технічних працівників правилами гасіння пожежі в початковій стадії і правилам самопорятунку.

#### **4.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях**

На території Дніпропетровської області, можуть виникати надзвичайні ситуації природнього характеру:

- спека;
- заметілі та снігові замети;
- ожеледь та ожеледиця;
- повінь, буревій та ін.

У регіоні практично не буває катастрофічних землетрусів, сходів сніжних лавин і зсувів.

Однак для Дніпропетровської області, як для території, перенасиченої промисловими підприємствами, інженерними мережами, іншими технічними об'єктами, найбільш характерні надзвичайні ситуації техногенного характеру:

- транспортні аварії;
- катастрофи;
- пожежі;
- неспровоковані вибухи;
- аварії з викидом (загрозою викиду) небезпечних хімічних, радіоактивних, біологічних речовин;
- раптового руйнування споруд та будівель;
- аварії на інженерних мережах.

У будинках, спорудах і об'єктах перебування людей наявність планів евакуації у випадку пожежі або інших надзвичайних ситуацій є обов'язковим.

Плани евакуації являють собою схеми, на які нанесені контури приміщень, коридорів, сходових маршів у будинках і спорудженнях, де можуть перебувати й працювати люди. На цих схемах умовними позначками (елементами) зазначені шляхи евакуації, евакуаційні й аварійні виходи, місця розташування протипожежного встаткування, аварійних телефонів для зв'язку, засобів першої медичної допомоги й додаткових засобів порятунку (наприклад, протигазу і т.п.). На планах евакуації розшифровуються всі умовні позначки, застосовані на них, а також установлені правила поведінки людей, порядок і послідовність їх дій в умовах надзвичайної (аварійної) ситуації

#### **4.5 Висновки по розділу**

У цьому розділі кваліфікаційної роботи розглянуті питання охорони праці при експлуатації технічного обладнання на вугільній шахті.

Розроблені заходи щодо зменшення впливу небезпечних і шкідливих факторів, які можуть впливати на життя і здоров'я співробітників.

## ВИСНОВКИ

1. Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – видобувний комбайн. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування комбайна, завданням керування якої є забезпечення стабілізації навантаження двигунів підсистем виконавчих органів з заданими критеріями якості. Предметом дослідження є закони автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна.

Динаміку потужності двигуна приводу різання визначає процес руйнування органом вугільного пласта, який є складним, та призводить до зміни сили опору обертанню виконавчого органу та, відповідно, потужності двигуна приводу різання в широкому спектрі частот з випадковою амплітудою.

Об'єкт керування є одномірним з одним керуючим входом (на перетворювач частоти підсистеми переміщення комбайна) та одним керованим виходом (потужність двигуна приводу різання), але збурення у вигляді зміни опірності вугілля різанню вздовж пласта змінює як саму керовану величину, так і кут нахилу статичної характеристики об'єкта керування, що робить його складним для керування.

2. Виконана розробка математичного забезпечення системи автоматичного керування. Визначена динамічна модель системи керування, на основі якої проведено дослідження енергоефективності роботи комбайна при керуванні за існуючим алгоритмом, та з урахуванням виявлених в результаті досліджень недоліків, проведений синтез системи автоматичного керування.

Аналіз ефективності існуючого алгоритму автоматичного керування навантаженням двигунів приводів різання показав присутність негативного явища – автоколювання в системі керування через неврахування в алгоритмі суттєвої інерційності процесу завантаження вугілля виконавчим органом. Цей процес відбувається набагато повільніше, ніж накопичення вугілля в робочому об'ємі органу та збільшення потужності двигуна приводу різання. Встановлено, що через це негативне явище питомі енерговитрати на видобуток вугілля комбайном збільшуються у 2,4 рази.

Таким чином, в алгоритм керування необхідно додати штучну інерційність, щоб синхронізувати динаміку комбайна та процесу завантаження вугілля органом на конвеєр. Це можна зробити, використовуючи інерційність диференціюючої складової ПД-регулятора. Для цього виконаний синтез системи автоматичного керування комп'ютеризованим методом з використанням спеціальних інструментів пакету MATLAB. Під час синтезу коефіцієнт фільтру задавався на порядок менше для обмеження динаміки керуючого впливу.

3. На основі неперервної моделі системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна визначена її цифрова модель. Ця модель розділена на модель об'єкта керування та модель регулятора. За допомогою спеціальних інструментів математичного пакета MATLAB розроблені програмні модулі, які є програмними емуляторами об'єкту керування та регулятора з використанням мови програмування Structured Text. На основі цих програмних модулів створене програмне забезпечення системи автоматичного керування для емулятора програмованого логічного контролера zenon Logic, що є частиною SCADA системи zenon.

Також в SCADA системі zenon створений людино-машинний інтерфейс, що здійснює відображення інформації про технологічний процес, зміну потужності двигуна приводу різання, хронологічний список подій та інформаційний список тривоги.

Здійснена успішна перевірка коректності функціонування програмного забезпечення системи керування.

4. Виходячи з розрахунків, видно, що впровадження нового обладнання системи автоматизації процесу керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна та її експлуатація є досить коштовними в матеріальному плані, але дуже швидко окупається, оскільки навіть при незначній економії електроенергії близько 0,4 кВт·год на одній тоні вугілля за рахунок значної продуктивності комбайна (протягом 6 годин в середньому 4500 тон) на тривалому інтервалі часу маємо колосальний позитивний ефект.



Аналіз економічних показників при впровадженні системи показав, що річний економічний ефект від впровадження системи керування роботи рівний 3533940,9 грн.

Строк окупності додаткових капітальних вкладень підвищення енергоефективності видобутку вугілля складає 0,002 року. Коефіцієнт економічної ефективності за розрахунками – 501,2.

Порівнявши розрахований коефіцієнт економічної ефективності та нормативний, робимо висновок про доцільність впровадження розробленої системи керування.

5. В кваліфікаційній роботі розглянуті питання охорони праці при експлуатації технічного обладнання на вугільній шахті. Розроблені заходи щодо зменшення впливу небезпечних і шкідливих факторів, які можуть впливати на життя і здоров'я співробітників.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Олексюк В.Г., Самотій Н.С. Тенденції та проблеми розвитку вугільної промисловості України (на прикладі державного підприємства «ЛЬВІВВУГІЛЛЯ») [Електронний ресурс] / Економіка та управління національним господарством — 2019. — Режим доступу до журн. : [https://ird.gov.ua/sep/sep20191\(135\)/sep20191\(135\)\\_003\\_OleksyukH,SamotiyN.pdf](https://ird.gov.ua/sep/sep20191(135)/sep20191(135)_003_OleksyukH,SamotiyN.pdf)

2. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071. - URL: <https://de.com.ua/uploads/0/1703-EnergyStratagy2030.pdf> (дата звернення: 08.11.2023)

3. Інтелектуалізація підприємств: концептуальні підходи та механізми стимулювання: монографія / Н. Ю. Брюховецька, І. П. Булеєв та ін.; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. Київ, 2022. 424 с. ISBN 978-966-02-9974-0 (електронне видання)

4. Автоматизація технологічних процесів підземних гірничих робіт: підручник /А.В. Бубліков, М.В. Козарь, С.М. Проценко та ін.; під заг. ред. В.В. Ткачова. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 304 с.

5. Бубліков, А. В., Прядко, Н. С., Тернова, К. В., & Соснін, К. В. (2021). Ідентифікація режиму руйнування вугільного масиву виконавчим органом очисного комбайна. System technologies. 5. 144-158. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-5-136-2021-14>

6. Бубліков А. В., Прядко Н. С., & Папаїка Ю. А. (2021) Система нечіткого автоматичного керування режимом руйнування вугільного масиву виконавчим органом очисного комбайна. Технічна механіка. 3. 99 – 110. <https://doi.org/10.15407/itm2021.03.099>

7. Bublikov, A.V., Tkachov, V.V., Kolosov, D.L., Gruhler, G., Stadnik, M.I. (2021) Automation of the control process by the shearer drum in terms of coal seam hypsometry. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 3. 5-13.

8. Бубліков А.В. Система нечіткого автоматичного керування режимом роботи двигуна приводу різання видобувного комбайну / А. В. Бубліков // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2019. – № 30(106). – С. 152–169.

9. Бубликов А.В. Створення бази правил для системи нечіткого автоматичного керування видобувним комбайном за критерієм мінімальних питомих енерговитрат / А.В. Бубликов // Гірнична електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. – Д. : НГУ, 2018. – Вип. 100. – С. 103 – 108.

10. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістра студентами спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / В.В. Ткачов, А.В. Бубліков та ін. – МОН України. – Дніпро: НТУ «ДП», 2020. – 35 с.

11. Нойбергер Н., Півняк Г., Ткачов В. Сенсори і сенсорні системи : Підручник в двох томах; МОН України. – НТУ «Дніпровська політехніка», 2021. – 308 с.

12. НПАОП 10.0-1.01-10. Правила безпеки у вугільних шахтах (56469) [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://dnaop.com/html/56469\\_22.html](https://dnaop.com/html/56469_22.html). (дата звернення: 28.11.2023)

13. Жидецький В.Ц. Охорона праці в галузі гірничо-добувної промисловості / В.Ц. Жидецький, В.С. Джигерей, О.В. Мельников. – Львів: Афіша, 2000. – 435 с

14. ДНАОП 1.1.30-1.01-00. Правила безпеки у вугільних шахтах. Введено в дію 17.10.2000 р. — Харків: Форт, 2004. — 196 с.

15. Кошель В. І., Поплавський О. П. Основи охорони праці: Навчальний посібник. / Укладачі: В. І. Кошель, О. П. Поплавський. — Івано-Франківськ, 2014. – 228 с.

16. ЛК -15 Електричне освітлення [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://docplayer.net/217078518-Lk-15-elektrichne-osvitlennya-prodovzhennya-4-4-osvitlyuvalni-priladi-shcho-take-osvitlyuvalniy-prilad-ta-yake-yogo-priznachennya.html#google\\_vignette](https://docplayer.net/217078518-Lk-15-elektrichne-osvitlennya-prodovzhennya-4-4-osvitlyuvalni-priladi-shcho-take-osvitlyuvalniy-prilad-ta-yake-yogo-priznachennya.html#google_vignette)

17. Голінько В.І., Фрундін В.Ю. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – 235с

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

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

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

**Відгук керівника кваліфікаційної роботи магістра на тему “Синтез та дослідження системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна” здобувача вищої освіти групи 151м-22-1 Шпака Ігоря Вікторовича**

Кваліфікаційна робота виконана у вигляді пояснювальної записки на 68 стор.

Мета кваліфікаційної роботи – підвищення якості процесу автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна за рахунок вдосконалення закону автоматичного керування.

Актуальність розробки пояснюється рішенням актуальної проблеми низької точності відпрацювання заданого рівня потужності двигуна приводу різання видобувного комбайна через складні динамічні властивості підсистеми подачі комбайну та характер взаємодії виконавчих органів з вугільним масивом.

Оригінальність рішень полягає у застосуванні нової процедури налаштування ПД-регулятора, коли коефіцієнт фільтру диференціюючої складової регулятора визначається з урахуванням робочої частини частотного спектру потужності на основі емпіричного методу й обчислювальних експериментів з використанням імітаційної моделі системи автоматичного керування.

Істотних зауважень щодо кваліфікаційної роботи немає. Кваліфікаційна робота виконана у повному обсязі, відповідно до завдання та з достатнім рівнем самостійності.

Всі розділи виконані на оцінку «\_\_\_\_\_». Кваліфікаційна робота у цілому заслуговує на оцінку «\_\_\_\_\_».

Керівник роботи

проф. Н.С. Прядко

**Рецензія на кваліфікаційну роботу магістра на тему “Синтез та дослідження системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна” здобувача вищої освіти групи 151М-22-1 Шпака Ігоря Вікторовича**

Застосування системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна є необхідною умовою вирішення завдання збільшення продуктивності роботи комбайна при руйнуванні нового прошарку вугілля виконавчими органами за рахунок зменшення дисперсії коливань потужності, що споживає двигун привода різання, при її стабілізації. Однак цей позитивний ефект досягається тільки за умов правильного синтезу системи автоматичного керування та, відповідно, коректного закону автоматичного керування з урахуванням як динамічних властивостей самого видобувного комбайна як об'єкта автоматизації, так і складної динаміки потужності двигуна приводу різання через особливості процесу руйнування вугілля органами. Тому актуальним є проведення досліджень перехідних процесів в системі автоматичного керування, оскільки від них безпосередньо залежить якість роботи системи.

У кваліфікаційній роботі магістра на основі запропонованих критеріїв якості функціонування системи за допомогою інструментів комп'ютерного моделювання встановлені нові закономірності зміни у часі потужності двигуна приводу різання комбайна при різних законах керування. Також на основі інструментів математичного пакету MATLAB створене програмне забезпечення для системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна, що реалізує запропонований закон автоматичного керування.

Рішення дослідницьких завдань в кваліфікаційній роботі магістра виконано на хорошому рівні. Робота заслуговує на оцінку \_\_\_\_\_.

Рецензент

**ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ**





**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувачем кафедри  
кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем  
\_\_\_\_\_ Бубликовим А.В.  
(підпис)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

## ВИСНОВОК

Про рівень запозичень у пояснювальній записці кваліфікаційної роботи магістра на тему “Синтез та дослідження системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу різання видобувного комбайна”, здобувача вищої освіти, групи 151м-22-1, Шпака Ігоря Вікторовича.

Загальний обсяг пояснювальної записки кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає 68 сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки пояснювальної записки кваліфікаційної роботи Unichesk. Рівень запозичень у пояснювальній записці кваліфікаційної роботи з одного джерела складає 9,89 %, що є меншим 40 % запозичень з однієї роботи та відповідає вимогам «Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».

Керівник кваліфікаційної роботи,

зав. каф. КФІВС, д.т.н.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Прядко Н. С.



Ім'я користувача:  
Андрій Бубліков

Дата перевірки:  
13.12.2023 21:54:24 EET

Дата звіту:  
14.12.2023 10:12:25 EET

ID перевірки:  
1016003348

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
100008974

Назва документа: 0\_151м-22\_Шпак\_ІВ\_ПЗ

Кількість сторінок: 65 Кількість слів: 10668 Кількість символів: 84607 Розмір файлу: 2.91 MB ID файлу: 1015686785

## 38% Схожість

Найбільша схожість: 9.89% з Інтернет-джерелом (<https://vdoc.pub/documents/-3d5g6s2m82ng>)

36% Джерела з Інтернету 655 ..... Сторінка 67

15.1% Джерела з Бібліотеки 199 ..... Сторінка 77

## 0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 42

Відповідальна особа,  
Доцент каф. КФІВС, к.т.н.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Бойко О. О.