

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеню вищої освіти – магістр
за освітньо-професійною програмою
«Кіберфізичні системи в промисловості, бізнесі та транспорті»

зі спеціальності

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

тема роботи:

«Інтегроване адаптивне керування системами стрічкових конвеєрів на основі автоматизованих систем диспетчерського управління»

Виконав ст. гр. АКІТР-23-1м.	_____	Могіль А.К.
Керівник	_____	Курганов І.Д.
Нормоконтроль	_____	Маринич І. А.
Завідувач кафедри	_____	Рубан С. А.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: Магістр

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри: к.т.н. Рубан С.А.

« 5 » липня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

студентові групи АКІТР-23-1м. Могілю Антону Костянтиновичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Інтегроване адаптивне керування системами стрічкових конвеєрів на основі автоматизованих систем диспетчерського управління»

затверджено наказом по університету № 595с від 04.07.2024 р.

2. Термін здачі кваліфікаційної роботи: 01.12.2024 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка обсягом 120с., додатки, презентація у Microsoft PowerPoint (24 слайдів) в електронному та друкованому вигляді

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-3

ст.викладач. Курганов І. Д.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>10.07.24</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>15.07.24</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>18.08.24</i>
4	<i>Розділ 3</i>	<i>19.09.24</i>
5	<i>Висновки</i>	<i>15.10.24</i>
6	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>20.11.24</i>
7	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>28.11.24</i>
8	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>01.12.24</i>

6. Дата видачі завдання: 28.06.2024р.

Керівник _____ /Курганов І. Д./

7. Запевнення: Я, Могіль Антон Костянтинович, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомлений.

Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Здобувач _____ / Могіль А. К./

АНОТАЦІЯ

Могіль А.К. Інтегроване адаптивне керування системами стрічкових конвеєрів на основі автоматизованих систем диспетчерського управління.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеню вищої освіти магістр за освітньо-професійною програмою “Кіберфізичні системи в промисловості, бізнесі та транспорті” зі спеціальності 174 – Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка. – Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2024

Об’єктом дослідження є технологічний процес транспортування рудної маси стрічковими конвеєрами.

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування стрічкового конвеєра на базі інтеграції адаптивної САК з використанням інформації про натяг стрічки та керування швидкістю приводного барабана.

У першому розділі здійснено дослідження технологічного процесу як об’єкта управління. Досліджено математичні моделі та обґрунтовано застосування техніко-економічного критерію для об’єкта управління.

У другому розділі розглянуто принципи адаптивного управління. Проведено аналіз факторів, що обурюють (втомне розшарування, втомне руйнування від здавлювання, енерговитрати, втрати потужності), що впливають на процес транспортування рудної маси. Проведено розрахунок наведених витрат при зміні натягу стрічки, які в результаті представлені питомими витратами, що припадають на тонну рудної маси, що транспортується. Сформульовано техніко-економічний критерій керування процесом транспортування рудної маси.

У третьому розділі розроблено адаптивну систему автоматичного управління натягом стрічки. Отримано структурні схеми систем управління та їх математичний опис. Виконано синтез алгоритму управління адаптивного регулятора.

АДАПТИВНА СИСТЕМА, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО КРИТЕРІЙ, УПРАВЛІННЯ, НАТЯГ, ШВИДКІСТЬ, КОНВЕЄРНА СТРІЧКА, РОЗШАРУВАННЯ ВТОМНЕ РУЙНУВАННЯ ВІД ЗДАВЛЮВАННЯ.

ANNOTATION

Mohil A.K. Integrated adaptive control of belt conveyor systems based on automated dispatch control systems.

Qualification work for the degree of higher education Master in the educational and professional program “Cyber-physical systems in industry, business and transport” in specialty 174 – Automation, computer-integrated technologies and robotics. – Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, 2024

The object of the study is the technological process of transporting ore mass by belt conveyors.

The purpose of the work is to increase the efficiency of the belt conveyor based on the integration of adaptive AC using information about the belt tension (steady state), (start-up mode and steady state - drive drum speed control).

In the first section, the technological process as a control object is studied. Mathematical models for its implementation in the automatic control system are studied. The application of the technical and economic criterion for the control object under consideration is justified.

The second section discusses the principles of adaptive control. An analysis of disturbing factors (fatigue delamination, fatigue fracture from compression, energy consumption, power loss) affecting the ore mass transportation process is carried out. The resulting costs are calculated when changing the belt tension, which are ultimately represented by specific costs per ton of ore mass being transported. A technical and economic criterion for controlling the ore mass transportation process is formulated. Methods for compensating for them by controlling the belt tension or the speed of its movement are considered.

In the third section, an adaptive system for automatic belt tension control is developed. Structural diagrams of control systems and their mathematical description are obtained. The control algorithm of the adaptive regulator is synthesized.

ADAPTIVE SYSTEM, TECHNICAL AND ECONOMIC CRITERIA, CONTROL, TENSION, SPEED, CONVEYOR BELT, FATIGUE DELAY, COMPRESSION FATIGUE FAILURE.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1	11
АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІЩЕННЯ РУДИ КОНВЕЄРНИМ ТРАНСПОРТОМ.....	11
1.1 Процес переміщення руди конвеєрним транспортом як об'єкт автоматизованого керування	11
1.2 Аналіз існуючих підходів при формуванні автоматизованого керування стрічковими конвеєрами	16
1.3 Критерії управління потоково-транспортними системами на основі стрічкових конвеєрів	22
Висновки до розділу:	25
РОЗДІЛ 2	27
ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ.....	27
КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ.....	27
2.1 Дослідження АСУТП ПівніГЗК дробильної фабрики ДФ-3 для інтегрування розроблених еталонних моделей в АРМ диспетчера	27
2.2 Розробка принципів керування натягом стрічки конвеєра та швидкістю обертання приводного барабана	45
2.3 Аналіз факторів, що обурюють, при управлінні технологічним процесом транспортування рудної маси.....	49
2.4 Оцінка наведених витрат за зміни натягу стрічки конвеєра.	58
2.5 Аналіз питомих витрат при транспортуванні вантажу на конвеєрній лінії із застосуванням регульованого натягу стрічки	61
2.6 Формування узагальненого техніко-економічного критерію оптимального управління технологічним процесом транспортування руди.	64
Висновки до розділу:	68
РОЗДІЛ 3	70
СИНТЕЗ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ.....	70
3.1 Загальна структура адаптивної системи автоматичного керування натяжною станцією стрічкового конвеєра	70
3.2 Синтез алгоритму керування адаптивним регулятором	73
3.3 Розробка еталонної моделі системи автоматичного керування.....	81
3.4 Обґрунтування програмно-технічної реалізації системи керування	86

3.5 Реалізація алгоритмів системи автоматичного керування	93
3.6 Практична апробація адаптивної системи автоматичного керування стрічковим конвеєром	100
ВИСНОВКИ.....	108
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	109

ВСТУП

Актуальність теми. Транспортування руди на гірничо-збагачувальних комбінатах здійснюється за допомогою потоково-транспортних технологій на основі стрічкових конвеєрів. Найбільш дорогим елементом цих установок є конвеєрна стрічка, капітальні витрати на яку становлять 40-70% від усіх витрат на конвеєр. У процесі роботи конвеєра стрічка піддається зносу, який залежить від багатьох факторів. Так, наприклад, на стрічкових конвеєрах великої довжини (від 467 до 1870 метрів) площа зірваної нижньої обкладки може становити від 15 до 25%. До цього призводить пробуксовування стрічки та велика напруга в нижній обкладці стрічки при її взаємодії з приводним барабаном. Вплив на стрічку цих факторів можна зменшити за допомогою оптимізації її натягу шляхом автоматичного управління натяжною станцією конвеєра в режимі, що встановився, і швидкістю приводного барабана в режимі пуску. Натяг стрічки впливає термін її служби, який залежить від таких чинників як величина тертя на дузі робочого ковзання фрикційної передачі барабан-стрічка, втомне розшарування стрічки та її втомне руйнування від здавлювання і т.п. Автоматизоване управління натяжною станцією спрямоване сформувати натяг стрічки, при якому досягається її рівномірне зношування при зміні динамічних навантажень, викликаних різними режимами роботи конвеєра і варіаціями характеристик руди, що транспортується (гранулометричний склад і маса окремого шматка). Такий підхід дозволяє оптимізувати температурний режим фрикційної передачі барабан-стрічка та за рахунок цього збільшити термін служби конвеєрної стрічки, підвищити надійність та енергоефективність всього процесу транспортування, зменшити капітальні та експлуатаційні витрати на нього. Усе це сприяє з того що коефіцієнт готовності конвеєра збільшується з 0,96 до 0,98 [51, 52].

Існуючі автоматизовані системи управління складними потоково-транспортними структурами, що діють на гірничозбагачувальних комбінатах, в більшості випадків не відповідають сучасним вимогам, не дозволяють

забезпечити високу надійність і енергоефективність процесу переміщення руди в умовах її характеристик, що змінюються, обумовлених зміною видобувних ділянок, зміною її мінералогічного типу і т.п. .

Для виконання цих вимог необхідно сформулювати критерії режимного управління стрічковим конвеєром і врахувати основні фактори, що приводять до аварійних зупинок та передчасного виходу з ладу елементів конвеєрних систем та урахувати як у математичній моделі процесу, так і безпосередньо при формуванні управління.

Таким чином підвищення енергоефективності та надійності, зменшення питомих витрат на процес конвеєрного транспортування руди шляхом узагальнення та розвитку принципів автоматизованого режимного управління стрічковим конвеєром на основі ієрархічної структури техніко-економічних критеріїв є актуальним науковим завданням.

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності функціонування стрічкового конвеєра на базі інтеграції адаптивної САК з використанням інформації про натяг стрічки (сталій режим), (режим пуску та сталій режим-керування швидкістю приводного барабана).

Відповідно до зазначеної мети в роботі необхідно вирішити наступні **задачі**:

1. Розробка методу автоматичного керування стрічковим конвеєром транспортування руди на базі двох режимів (пуск, сталій режим) з використанням ієрархічної системи техніко-економічних критеріїв.

2. Уточнення ієрархічної системи техніко-економічних критеріїв керування стрічковим конвеєром транспортування руди.

3. Розробка алгоритмів автоматичного керування стрічковим конвеєром транспортування руди в режимах пуску і сталого функціонування.

4. Розробка інтегрованого програмно-апаратного промислового зразка системи автоматичного керування стрічковим конвеєром на базі уніфікованих засобів дистанційного керування і збору даних.

Ідея роботи полягає в зниженні питомих витрат на транспортування руди на базі використання системи автоматичного керування транспортного конвеєра

на основі регулювання швидкості приводного барабана (режим пуску) і натягу стрічки (сталій режим) з використанням ієрархічної системи техніко-економічних критеріїв.

Об'єктом досліджень є технологічний процес транспортування рудної маси стрічковими конвеєрами.

Предметом дослідження - САК стрічковим конвеєром транспортування руди.

Методи досліджень. У роботі застосовані методи: теорії автоматичного керування - для інтеграції адаптивної САК конвеєрної лінії; системного аналізу - для синтезу ієрархічної системи техніко-економічних критеріїв керування стрічковим конвеєром (розділ 2 підрозділи 2.3-2.6); аналізу адаптивних САК з метою удосконалення (розділ 3 п.3.1); теоретичну основу розробки алгоритмів керування склали елементи теорії автоматичного керування, а, зокрема, елементів теорії адаптивних систем керування; Використовувалися методи синтезу схем електронно-цифрових машин, засновані на базі апарата математичної логіки й теорії дискретних автоматів (розділ 3, п. 3.5-3.6).

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІЩЕННЯ РУДИ КОНВЕЄРНИМ ТРАНСПОРТОМ

1.1 Процес переміщення руди конвеєрним транспортом як об'єкт автоматизованого керування

У системі гірничого виробництва можна виділити два істотно відмінні класи технологічних процесів: видобуток вихідної сировини та переробку сировини або напівфабрикату в готовий продукт [21, 32, 36].

Транспортування сировини, напівфабрикатів та готової продукції може розглядатися як самостійний клас. Тут можна виділити технологічні та міжвиробничі транспортні засоби.

Технологічне транспортування поєднує пристрої переміщення сировини, напівфабрикатів та готової продукції відповідно до розташування технологічного обладнання та вимог технологічного процесу.

Керованими параметрами процесу транспортування, як правило, є потік матеріалу та його склад, а також потік енергоносія та його склад.

Як технологічні об'єкти управління виступають транспортні, дозуючі та масовимірювальні пристрої.

Таким чином, транспортування сировини, напівфабрикату та готової продукції є складовою будь-якого технологічного процесу.

У роботі [54] виконано детальний аналіз стану конвеєрного транспорту на гірничих підприємствах, який показує, що не менше 70% всіх конвеєрів мають довжину до 500 м та забезпечені електроприводом потужністю до 400 кВт; значна частина конвеєрів для великокускових вантажів, особливо похилих конвеєрів довжиною більше 250 м, виконана у важкому або надважкому варіанті з використанням багатопривідних систем; коефіцієнт готовності конвеєрів досить високий (0,920 - 0,985), проте використовуються вони далеко не оптимальним

чином. Так, ступінь корисного використання конвеєрів вбирається у 67-82 %, стрічка завантажується матеріалом лише з 76 — 80 % своєї ширини, продуктивність ліній коливається не більше 10 — 70 % від проектних значень.

Автоматизовані системи керування (АСК) забезпечують дотримання певних регламентних норм, досягнення заданих техніко-економічних показників та оптимізацію процесу транспортування. У таких системах здійснюється реалізація законів управління і як наслідок – найбільш ефективно ведення процесу за допустимого завантаження технологічного обладнання. При цьому в ідеальному випадку витрати мають бути мінімальними.

Розробкам систем автоматизованого управління потоково-транспортними системами присвячені праці багатьох вітчизняних та зарубіжних авторів. Приміром, С.А. Волотковським та В.Д. Фурсовим [27] було сформульовано основні вимоги до структури автоматизованого керування потоково-транспортними системами на основі стрічкових конвеєрів:

- централізований автоматичний пуск всіх конвеєрів лінії необхідної послідовності з необхідною витримкою часу між включенням двигунів конвеєрів;
- дистанційний, візуальний контроль за пуском та роботою конвеєрів;
- Автоматичний контроль часу пуску (нормального розгону) окремих конвеєрів;
- автоматизований контроль стану механізмів встановлення та автоматичне відключення конвеєра при механічних пошкодженнях, зупинці або пробуксуванні його стрічки;
- автоматичне відключення всіх конвеєрів, що передають вантаж на конвеєр, що зупинився;
- можливість зупинки всієї конвеєрної лінії з пункту управління та екстреної зупинки електродвигунів з будь-якого місця вздовж конвеєрної лінії або з місця встановлення двигунів;
- місцевий, ручний пуск будь-якого конвеєра поза блокувальною залежністю при ремонтах, регулюванні та випробуванні;

- двостороння звукова оперативна та попереджувальна сигналізація;
- автоматичне приведення схеми у вимкнене положення при знятті напруги;
- відключення конвеєра при сході стрічки убік;
- відключення наступних конвеєрів при переповненні перевантажувальної тійки;
- пуск з пульта управління частини конвеєрної лінії з наступним дозапуском решти;
- пуск та зупинка бічних відгалужень при розгалуженій схемі конвеєрної лінії.

У роботі [45] представлені загальні принципи побудови автоматизованої підсистеми керування конвеєрним транспортом (АСК КТ).

Слід зазначити, що у роботах такий важливий вузол як фрикційна пара барабан – стрічка не включена до запропонованої структури автоматизованого управління. Однак усунення таких порушень як втомне розшарування стрічки, втомне її руйнування від здавлювання і ударних навантажень, зниження прослизання стрічки на приводному барабані можливе при вирішенні завдання управління натягом стрічки і швидкістю її руху. Розв'язання цього завдання дозволяє за певних параметрів процесу транспортування досягти мінімізації питомих витрат за нього.

На рис.1.1 наведено узагальнену структуру автоматизованого управління конвеєром. Регульованими параметрами є погонна маса транспортованої руди q , швидкість руху матеріалу, що транспортується, і тягового органу $v_{ст}$, натяг тягового органу $S_{нат}$ ($S_{нат. зад.}$ – задане значення натягу). Для контролю режиму роботи приводного барабана використовується значення швидкості зростання температури при нагріванні футерування приводного барабана $\Delta \tau = \tau(n+\Delta t) - \tau(n)$ та допустиме значення температури її нагрівання $\Delta \tau_{зад.}$. Сигнал помилки ε по контуру натягу стрічки та контуру температури надходить у керуючий пристрій (на вхід регулятора).

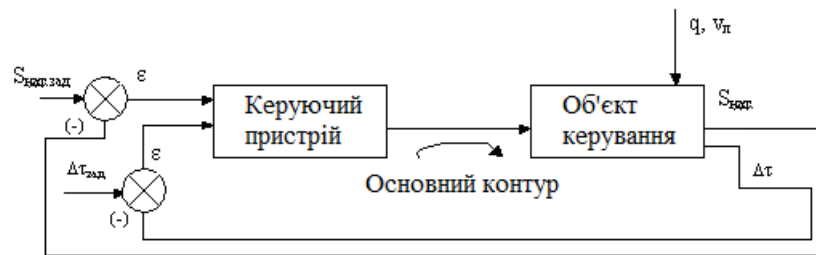


Рисунок 1.1 - Структура автоматизованого керування конвеєром

В теперішній час на всіх конвеєрних лініях встановлюються автоматичні конвеєрні ваги та датчики швидкості, що дозволяють контролювати та регулювати потік рудної маси і тим самим керувати продуктивністю як усієї конвеєрної системи, так і окремо взятого конвеєра.

При формуванні керування стрічковим конвеєром можна виділити дві задачі. По-перше, це завдання управління вузлом приводного барабана – стрічка за допомогою регулювання швидкості обертання барабана або зміни натягу стрічки. Такий підхід знижує тиск стрічки на футерування приводного барабана і тим самим запобігає аварійному пробуксуванню і несанкціонованій зупинці конвеєрної лінії. Друге завдання – керування натяжною станцією для запобігання втомному руйнуванню стрічки на інших ділянках конвеєра. Вирішення цих задач забезпечує ресурсо- та енергозбереження у процесі транспортування руди.

Підсистему керування конвеєрним транспортом неможливо розглядати у відриві від АСК гірничозбагачувальним комбінатом, яка є складною кібернетичною системою, яка має певну ієрархічну структуру. Відповідно до основних принципів функціонування таких структур, підсистеми вищого рівня ієрархії мають право втручатися у роботу нижчих підсистем, причому дії підсистем верхнього рівня залежать від ступеня виконання нижніми рівнями своїх функцій.

Управління підсистемою конвеєрного транспорту здійснюється відповідно до обраного критерію управління. Вибору критерію ефективності управління технологічними процесами присвячені роботи [6,7,10,11] та інших. З усього різноманіття запропонованих критеріїв можна назвати три основні групи: безпосередньо вимірювані, обчислювані технологічні, техніко-економічні.

Критерієм управління, здатним поєднати всі показники процесу транспортування, є техніко-економічний, що поєднує як технічні, так і вартісні його характеристики. Якщо вартісні еквіваленти не встановлені, підвищення ефективності досягається шляхом оптимізації одного або двох найбільш суттєвих параметрів. При двох параметрах доводиться шукати компромісне рішення. Ще складнішими є пошуки компромісу між мінімумами витрати трьох основних компонентів: матеріалу, енергії та інформації [32].

Як оптимальний критерій управління АСК КТ може бути використаний критерій, що мінімізує наведені витрати на процес транспортування руди. Цільовою функцією є функція питомих наведених витрат на транспортування однієї тони руди

$$P = C + \frac{EK}{D}, \quad (1.1)$$

де C – собівартість 1 т продукції;

E – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

D – річний обсяг видобутку;

K – капітальні витрати.

Тенденція розвитку способів технічної реалізації АСК ТП ліній стрічкових конвеєрів зводиться до мінімізації каналів передачі в пункт диспетчеризації для контролю, сигналізації та управління. У період з 60 – 80 роки розроблено велику кількість технічних засобів, що дозволяють здійснювати передачу інформації двопровідною лінією. На сьогоднішній день розвиток мікропроцесорної техніки дозволило відійти від старих принципів побудови АСК ТП у зв'язку із застосуванням у промисловості сучасних мережевих технологій, що дало змогу виключити всі недоліки раніше розроблених АСК ТП, реалізувати їх на базі сучасних промислових контролерів, які здатні виконати всі вищезазначені вимоги до АСК ТП. Застосування сучасних мережевих технологій дозволило підвищити швидкість передачі і при цьому розширити її обсяг, що дозволяє системі виконувати як аварійні відключення і блокування, пов'язані з

неузгодженою роботою конвеєрів, а й здійснювати управління, що дозволяє виключити можливі ситуації.

Реалізація зазначеного підходу вимагає розробки ефективних алгоритмів для локальних систем автоматичного регулювання (САР), об'єднаних в єдину структуру АСК КТ. Для цього необхідно виконати аналіз динамічних та статичних процесів, що протікають при різних режимах роботи приводного барабана та натяжної станції.

1.2 Аналіз існуючих підходів при формуванні автоматизованого керування стрічковими конвеєрами

У роботах [1, 4, 6, 24, 25, 41, 44] показано, що управління натягом стрічки конвеєра істотно впливає на стан стрічки, вартість якої становить 50 - 70% всієї вартості конвеєра. На даний момент розроблено системи автоматичного керування натягом стрічки у функції від таких параметрів конвеєра, як поточний натяг стрічки, розподіл навантаження між приводними.

барабанами, кут робочого прослизання, швидкість прослизання стрічки на приводному барабані при пробуксуванні.

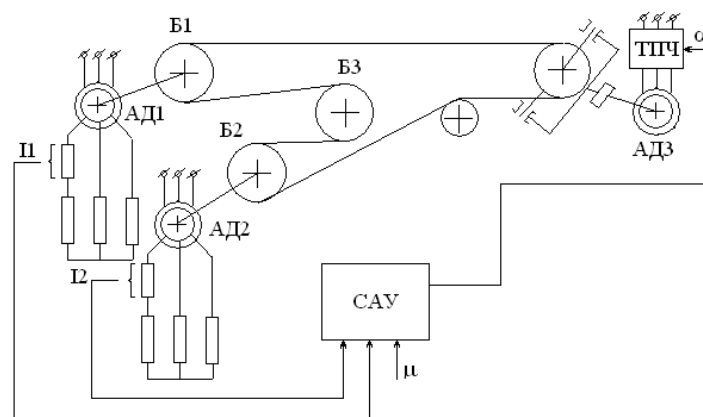
У системі автоматичного управління [41, 42] конвеєром з двома барабанами в голові та одним приводним барабаном, розташованим у хвості, використовується керована натяжна станція. У цій системі управління контролюються струми в ланцюгах роторних електродвигунів приводу. На підставі вимірних значень струмів визначається відношення зусиль в набігає і гілки, що збігає, тобто. тяговий фактор. Отриманий результат порівнюється із заданим значенням і формується сигнал керування натяжною станцією.

Таким чином підтримується мінімально допустимий запас тягової здатності. За такого режиму кут робочого ковзання вбирається у 80-90% від повного кута обхвату, що умовою виключення пробуксовки стрічки на приводному барабані конвеєра.

У роботі [41] тяговий фактор конвеєра визначається також виходячи із струмів роторних ланцюгів електродвигунів.

Далі коли величина $e^{\mu\alpha}$ визначена, в системі використовується нелінійний елемент, що задає зміну коефіцієнта зчеплення μ .

При зміні тиску конвеєрної стрічки на футерування барабана регулюється зчеплення барабана зі стрічкою. При цьому виробляється сигнал управління натягом стрічки (рис.1.2).



AD1-AD3 - асинхронні двигуни приводних барабанів B1, B2 конвеєра і натяжної станції B3; I_1 та I_2 - струми в роторних обмотках приводних двигунів *AD1* та *AD2*; μ - коефіцієнт зчеплення на дузі обхвату стрічки та приводного барабана; α - кут відмикання тиристорів тиристорного перетворювача частоти ТПЧ.

Рисунок 1.2 - Структурна схема управління важким конвеєром на базі вимірних струмів приводних роторних ланцюгів

У роботі [26] для контролю натягу стрічки застосовується силувимірвальний тензометричний датчик, а як привод - натяжна лебідка. Система дозволяє виконувати дистанційне керування натягом стрічки і при досягненні ним граничного значення вмикається сигналізація.

У системі автоматичного управління, розглянутої у роботі [48], керування натягом стрічки здійснюється при завантаженні або розвантаженні конвеєра при досягненні натягом стрічки граничних значень. Натяжне зусилля вибирається таким, щоб виконувалася умова, що відповідає формулі Ейлера.

В роботі [51] розроблено тиристорний блок регулювання натягу стрічки типу БУТНЛ-2.

Він дозволяє виконати програмно-дискретне регулювання при невстановлених режимах і стежить при режимі роботи конвеєра. Із застосуванням системи автоматичного управління коефіцієнт готовності конвеєра збільшився від 0,96 до 0,98 [52].

Усі розглянуті системи автоматичного керування здійснюють поточне керування залежно від одного параметра. При керуванні натягом стрічки не враховується технічний стан елементів конвеєра на даний момент часу, також не враховується зміна технологічних параметрів (погонної маси руди на стрічці, швидкість її транспортування).

У роботі [53] розглядається типова ділянка технологічного ланцюга бункер-живильник-конвеєр. Локальними цілями оптимізації для ділянки транспортування за цією схемою є статична та динамічна оптимізація. Зазначені цілі досягаються з урахуванням адаптивного управління.

Останні розробки варіантів САК конвеєрним транспортом з електроприводом, що регулюється, і керованим натягом засновані на застосуванні оптимальних принципів управління в технологічних лініях гірничих підприємств. Отримані результати свідчать про технічну можливість та економічну доцільність використання цих систем управління як у вигляді локальних, вузлових, так і комплексних підсистем АСК ТП видобутку, транспортування та первинної переробки мінеральної сировини.

У роботах [10,11,18-20] представлені технічні рішення організації систем автоматизованого керування транспортними системами на основі стрічкових конвеєрів. В даний час найбільшого поширення набули такі підходи: управління в режимі поради оператора (експертні системи), супервізорне управління та безпосереднє цифрове управління на нижньому рівні, реалізоване в SCADA-системах [18, 20, 50].

На першому рівні експертної системи використовується аналогова структура автоматичного керування. До її складу входять локальні регулятори,

входи яких подаються сигнали помилки регулювання. З виходів регуляторів управляючі впливи надходять виконавчі механізми. Сигнали з датчиків і з виходів регуляторів через комутатор аналогових сигналів надходять у процесор (контролер), пройшовши перед цим перетворення в цифровий код. На основі інформації сигналів від вхідних датчиків і сигналів керуючих впливів за алгоритмами оптимізації розраховуються впливу локальних регуляторів, що задають, і керуючі впливу для дистанційного управління виконавчими механізмами. Корекція впливових локальних регуляторів і дистанційне управління виконавчими механізмами здійснюється на основі сигналів завдань, одержуваних від другого рівня експертної системи. Недолік цього режиму полягає в обмеженій кількості управляючих впливів, які може реалізувати оператор в одиницю часу, особливо в перехідних режимах, де навантаження на оператора різко зростає [23, 50].

У SCADA-системах відбувається автоматична корекція впливають локальних регуляторів за допомогою постійного підключення виходів з контролера через цифроаналогові перетворювачі (ЦАП) до задаючих пристроїв аналогових регуляторів. У цьому випадку мікропроцесорна система працює в замкнутому контурі другого рівня і використовується для вирішення задач статичної оптимізації об'єкта технологічного управління [50].

При використанні безпосередньо цифрового управління аналогові автоматичні регулятори замінюються на цифрові регулятори, які вбудовані в мікропроцесорні системи управління і реалізують конкретні алгоритми управління. У підсистемі з цифровим управлінням основні функції переробки вхідної інформації та формування впливу, що управляє, виконуються мікропроцесорними пристроями (контролерами) локального рівня. При безпосередньому цифровому управлінні на нижньому рівні SCADA-систем алгоритм керування передбачає виконання наступних операцій:

1 - опитування датчиків регульованої координати $y(t)$ в дискретні моменти часу, перетворення її за допомогою АЦП в цифровий код і введення в пристрій контролера;

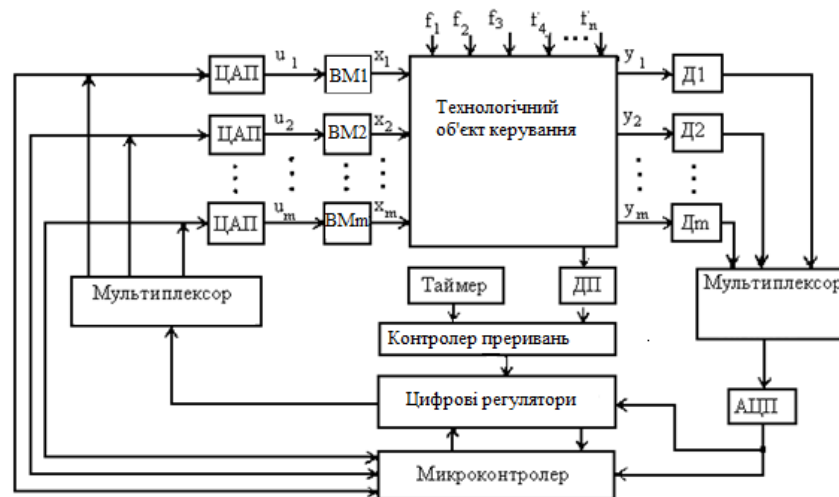
2 - визначення контролером помилки неузгодженості між задаючим впливом і вхідним значенням $u(t)$;

3 - формування керуючого впливу $u(t)$ на основі помилки неузгодженості за допомогою оптимального алгоритму управління;

4 - перевірка умови знаходження сформованого керуючого впливу в заданих межах перед подачею на виконавчий механізм;

5 - перетворення цифрового сигналу керуючого впливу $u[n, T_0]$ за допомогою ЦАП аналоговий сигнал, запам'ятовування на весь період квантування T_0 , видача на виконавчий механізм [50, 34].

Схема адаптивної САР із безпосереднім цифровим керуванням на основі SCADA-системи представлена на рис.1.3 [50]. Інформаційний зв'язок між системою управління та об'єктом управління здійснюється за допомогою датчиків (Д) та виконавчих механізмів (ВМ). Інформація про поточні значення параметрів об'єкта управління з виходів датчиків у вигляді аналогових сигналів по черзі підключається за допомогою комутатора аналогових сигналів на вхід АЦП, в якому перетворюється на дискретну (цифрову) форму.



u_1-u_m - напруга в ланцюгах управління; x, y, f - вхідні, вихідні та обурюючі впливи; Д1-Дm – датчики параметрів технологічного процесу; ІМ1-ІМ - виконавчі механізми; ДП – датчик переривань; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

Рисунок 1.3- Структурна схема системи з безпосереднім цифровим керуванням: [50].

Цифровий код із виходу АЦП вводиться у пам'ять контролера. У контролері першого рівня управління реалізуються алгоритми цифрових регуляторів згідно з пп. 2, 3, 4. Керуюча дія з контролера у вигляді цифрового коду через комутатор цифрових сигналів подається на відповідний ЦАП, в якому перетворюється на аналоговий сигнал і подається на виконавчий механізм. На другому рівні керування SCADA-системи знаходиться контролер, за допомогою якого проводиться автоматична корекція впливів (уставок) цифрових регуляторів, що задають, а також здійснюється автоматичне адаптивне налаштування параметрів цифрових регуляторів або адаптивна зміна структури системи управління. Процес адаптивної настройки параметрів здійснюється у два етапи. На першому етапі вирішується завдання ідентифікації динамічних параметрів об'єкта управління, на другому – проводиться розрахунок та корекція динамічних параметрів налаштування цифрових регуляторів. У разі використання сигнальної адаптивної системи на основі отриманих розрахунків змінюється структурна схема системи управління.

Для особливо важливих параметрів, що визначають безпеку роботи об'єкта, використовується асинхронний принцип зв'язку з об'єктом, побудований на принципі переривань, використовуючи датчики переривань (ДП) безпосередньо пов'язані з об'єктом управління [34, 50].

Застосування мікропроцесорних систем дозволяє реалізувати найскладніші та найефективніші закони управління. Однак у багатьох випадках, при побудові алгоритмів управління динамічними процесами на базі цифрових пристроїв, в першу чергу виходять із принципів дії добре досліджених пропорційного (П), інтегрального (І), пропорційно-інтегрального (ПІ), пропорційно-інтегрально-диференціального регуляторів (ПІД), застосовуючи адаптивне налаштування коефіцієнтів при зміні динаміки об'єкта управління [34, 50].

Таким чином, враховуючи тенденції розвитку АСУ ТП та їх технічної реалізації [3, 13, 15, 18] на базі промислових контролерів із застосуванням

мережевих технологій SCADA, АСК КТ доцільно поділити на два рівні. Перший рівень – локальні САР. На цьому рівні формується поточна інформація про стан окремо взятого працюючого конвеєра та вантажопотоку в поточний момент часу, а також реалізується управління натягом стрічки для підтримки оптимального режиму роботи фрикційної пари приводної барабан-стрічка (система оптимального керування з розподіленими параметрами або субоптимальна система ієрархічної адаптивної системи автоматичного) управління).

Інформація, отримана на першому рівні, надходить на другий, який є складовою АРМ диспетчера і є вузловою АСУ ТП. Однією із завдань цієї структури є розрахунок натягу стрічки, що забезпечує найбільш раціональні умови експлуатації конвеєрної стрічки та мінімізацію енергоспоживання приводу конвеєра як елемента технологічного ланцюга. Певне значення натяжного зусилля використовується на локальному рівні у вигляді величини завдання, відповідно до якого і здійснюється поточне управління натяжною станцією.

Такий підхід може бути реалізований, наприклад, у вигляді адаптивної системи з еталонною моделлю [38,57], вхідними параметрами якої є погонна маса руди, швидкість її руху і тягового органу, поточне натяг стрічки, температура футеровки і швидкість її зростання за фіксований інтервал часу. Величина завдання для локальної САР визначає оптимальне значення натягу стрічки з урахуванням характеристик вантажопотоку, граничної температури футерування барабана, а також граничної швидкості зростання температури футерування для вироблення сигналу на зупинку конвеєра. Як керуючі величини доцільно використовувати натяг стрічки і швидкість її руху.

1.3 Критерії управління потоково-транспортними системами на основі стрічкових конвеєрів

Комплексна оцінка технологічних параметрів потоку, що транспортується, і технологічного обладнання формує основу адаптивного управління для вибору оптимального завантаження конвеєрної лінії при її експлуатації.

При реалізації управління складними технологічними процесами необхідно враховувати відразу кілька показників, що перебувають у різних економічних та технологічних залежностях. У разі багатофакторності критеріальної оцінки доцільно використовувати компромісний критерій, враховує відразу кілька вихідних параметрів. Найбільш універсальними, досить повними та компромісними є економічні критерії.

У роботі [54] розглянуто різні варіанти статичної, динамічної та оптимальної стабілізації параметрів об'єкта управління.

У роботах [55, 58] пропонуються методи оптимізації роботи конвеєрних ліній. Головний критерій для систем оптимального автоматичного керування конвеєрними лініями сформульований у наступному вигляді: зниження часу простою ділянок унаслідок відмов конвеєрної лінії або відмов на виході конвеєрної лінії.

Однак крім зазначеної, існує й інше завдання оптимального автоматичного управління конвеєрними лініями: максимально можливе зниження експлуатаційних витрат на одиницю маси вантажу, що транспортується. При вирішенні зазначеної задачі виділяються дві її частини:

- мінімальні витрати електроенергії на транспортування одиниці маси вантажу (мінімальні питомі енерговитрати);
- мінімальний знос матеріальної частини конвеєра на транспортування одиниці маси вантажу (мінімальний питомий знос).

Енергоефективність будь-якого технологічного процесу характеризується абсолютною чи питомою величиною споживання чи втрати енергоресурсів з його виконання.

У роботі [37] зазначається, що з підвищенні продуктивності технологічних комплексів питомі енерговитрати на одиницю готової продукції знижуються (рис. 1.4, крива 1). Однак при цьому нелінійно зростає споживання технічного ресурсу робочих механізмів (рис. 1.3, крива 2), що є таким же продуктом, як і сировинні або енергетичні ресурси.

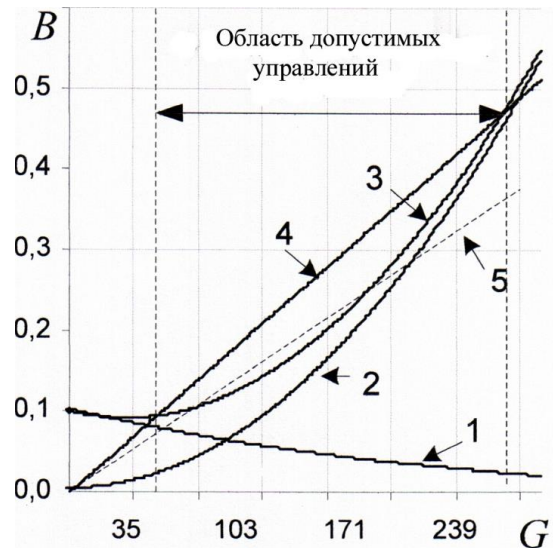


Рисунок 1.4- Залежність вартості продукту від продуктивності G

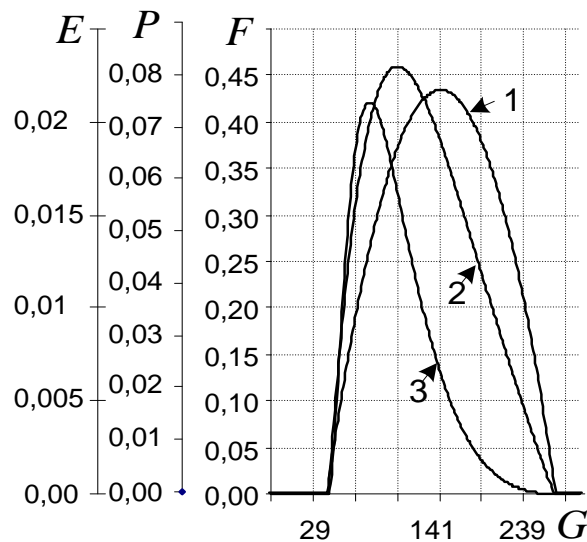


Рисунок 1.5 - Залежність показників результатів управління від продуктивності G

Приведення вихідних продуктів до порівнянних вартісних величин дає можливість одержати картину загального ресурсоспоживання залежно від продуктивності G (рис. 1.5, крива 3) [37]. Оскільки ресурсовіддача при зміні продуктивності змінюється лінійно (рис. 1.4, крива 4), можна отримати область допустимих управлінь, що дають змогу реалізувати ТП та мають економічний зміст. Відповідно, можна отримати точку оптимальної продуктивності. Оптимум ефективності використання ресурсів E (рис. 1.5, крива 3) не збігається з оптимумом, розрахованим відповідно до традиційних економічних показників (рис. 1.5, крива 1 – прибуток P , крива 2 – рентабельність F).

Зміна вартості вхідного (наприклад, за рахунок якості) або кінцевого продукту технологічного процесу (рис. 1.4, крива 5) призводить до зміни положення оптимуму. Таким чином технологічним процесом на всіх його стадіях доцільно керувати відповідно до єдиного критерію ефективності використання ресурсів [37], що враховує як кількісні, так і якісні показники, наведені до єдиних вартісних величин.

У роботі [59] пропонується використання узагальненого показника, вираженого середньозваженим показником якості, що обчислюється за формулою

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i(Q) \cdot q_i, \quad (1.1)$$

де q_i – відносний i -й показник якості, $q_i = P_i/P_{i0}$;

$m_i\{Q\}$ - питома вага i -го показника, що входить до узагальненого показника (Q).

Висновки до розділу:

У цьому дослідженні докладно вивчено та проаналізовано технологічний процес транспортування корисних копалин в умовах збагачувальних комбінатів від початку видобутку, поетапного збагачування та отримання кінцевого продукту – товарного концентрату. Яку роль в цьому процесі займає конвеєрний транспорт, рівень складності конвеєрних систем та сучасні автоматизовані системи контролю та керування конвеєрними системами.

На основі літературного огляду та аналізу наукових джерел, ми висвітлили основні аспекти розвитку систем автоматичного керування та засобів моніторингу стану конвеєрних систем. Визначили сучасні тенденції та переваги використання на основі систем автоматичного керування конвеєрними трактами методів адаптивного та оптимального керування.

У першому розділі п.1.1 проведений аналіз стану проблеми підвищення надійності та енергоефективності процесу переміщення руди конвеєрним транспортом. Розглянуто загально процес переміщення руди як об'єкт керування та конвеєрний транспорт і система автоматизованого керування, як предмет дослідження.

У підрозділі п.1.2 розглянуті та сформовані списки літературних джерел та методи реалізації адаптивного керування на основі систем автоматизованого керування конвеєрними трактами. Сформульовано ідею, а також обґрунтовано наукову новизну роботи. На основі літературних джерел визначені основні технологічні напрями роботи, приблизну структуру та модель майбутньої системи з інтеграцією методів адаптивного керування на основі сучасних мікропроцесорних систем з ієрархічною структурою побудови в рамках SCADA систем та використанням хмарних застосунків для реалізації еталонної моделі складових конвеєрної системи.

РОЗДІЛ 2

ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

2.1 Дослідження АСУТП ПівніГЗК дробильної фабрики ДФ-3 для інтегрування розроблених еталонних моделей в АРМ диспетчера

Призначення та завдання виконувани системою. Мікропроцесорна система автоматизованого диспетчерського управління ЦПТ (циклічно-поточного транспорту) транспорту руди гір. -115м. (ЦПТ-Р) призначена для:

- автоматизованого оперативного управління та контролю ЦПТ-Р в автоматичному зблокованому та ручному (місцевому) режимах управління;
- забезпечення обслуговуючого персоналу своєчасною та достовірною інформацією про стан об'єктів та механізмів автоматизації в обсязі, достатньому для вирішення завдань оперативного контролю та управління технологічним процесом;
- своєчасного інформування обслуговуючого персоналу комплексу про несправності в системі з їх деталізацією;
- ретроспективного аналізу роботи автоматизованого комплексу;
- технічного обліку руди, що транспортується;
- технічного контролю споживання електроенергії та потужності по об'єктах;
- ведення бази даних параметрів обліку в обсязі, достатньому для обчислення узагальнених показників роботи ЦПТ, дробильно-перевантажувальної установки;
- обробки, зберігання, відображення та документування інформації.
- Основною метою автоматизованої системи є забезпечення автоматизації контролю та управління об'єктами, що беруть участь у процесі підготовки та транспортування руди, підвищення ефективності оперативно-диспетчерського управління комплексом за рахунок виконання наступних завдань:

- забезпечення диспетчера оперативною та достовірною інформацією про стан об'єктів управління – конвеєрів, дробильного комплексу;
- реалізації автоматизованої системи оперативно-диспетчерського управління об'єктами конвеєрного тракту;
- діагностики працездатності технологічного обладнання комплексу;
- технічного контролю та обліку споживаної електроенергії;
- обліку транспортованої руди;
- реалізації ефективного та інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу «чоловік-машина»;
- реалізації широкого набору функцій обробки інформації;
- застосування ефективних програмно-апаратних засобів самодіагностики та тестування.

Характеристика об'єкта автоматизації. Склад та конфігурація ЦПТ для доставки руди на дробильну фабрику представлений на рис.2.1

Об'єктом автоматизації є комплекс ЦПТ доставки руди з горизонту -115 м, що включає:

- Корпус великого дроблення горизонту -115м - КПД - 115 м;
- Стрічковий конвеєр №1;
- Стрічковий конвеєр №2;
- Стрічковий конвеєр №3;
- Стрічковий конвеєр №4;
- Стрічковий конвеєр №5;
- Стрічковий конвеєр №6.

Система ЦПТ-Р забезпечує збір оперативної інформації, контроль та управління стрічковими конвеєрами, різними системами та механізмами, що забезпечують роботу стрічкових конвеєрів (головні приводи конвеєрів, гальмівна система, система гідрообезпилювання, система вентиляції, система мастила, системи безпечної експлуатації конвеєра, наявність огорож, швидкість руху конвеєра, натяг конвеєра тощо), перевантажувальними пунктами.

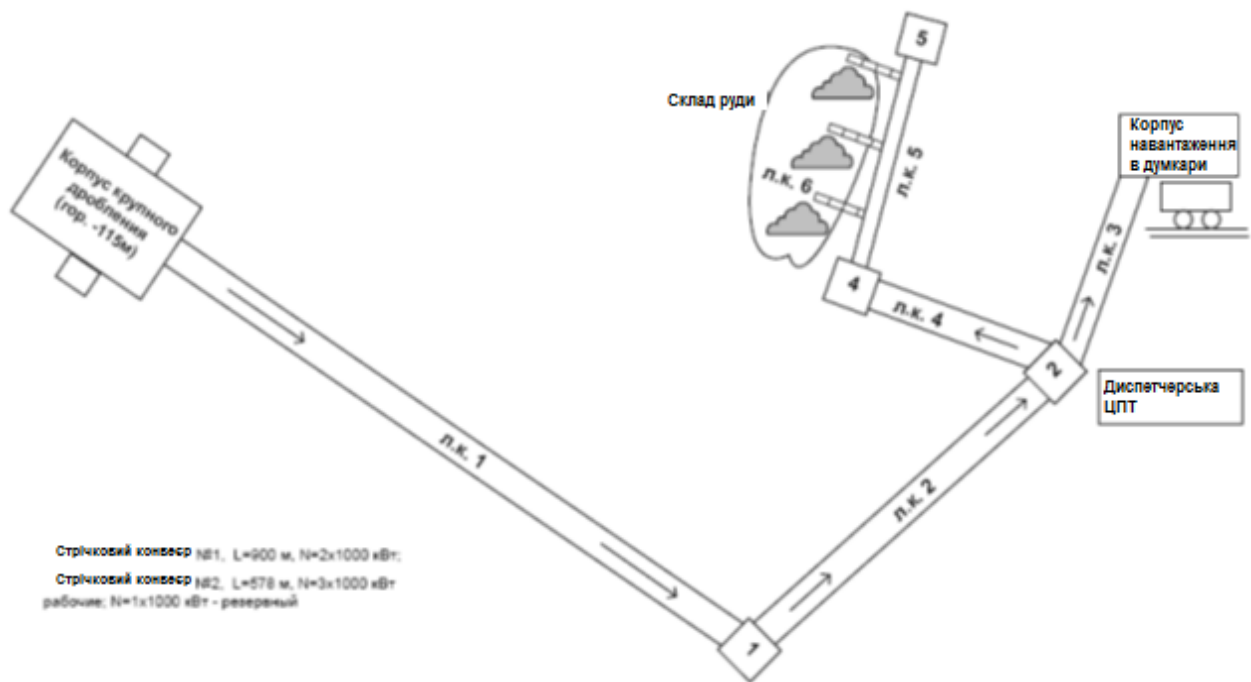


Рисунок 2.1 - Автоматизована система диспетчерського управління ЦПТ транспорту руди горизонт -115м

Вимоги до структури та функціонування системи. Система будується за ієрархічною структурою і включає три рівні (верхній, середній і нижній).

До складу верхнього рівня (ВП) входять:

- основний АРМ диспетчера з монітором 19" TFT;
- резервний АРМ диспетчера з моніторами 19" TFT;
- Джерела безперебійного живлення основний (ДБЖ) і резервний (ДБЖ);
- комутатори інформаційної мережі – основний (HUBo), резервний (HUBr)

та мережі будівлі АБК (HUB);

- Принтер;

- АРМ'и начальника цеху, головного інженера, начальника АСУ ТП, чергового персоналу.

До складу середнього рівня (СУ) входять:

- основний головний контролер (ОГК);
- резервний головний контролер (РГК);

До складу нижнього рівня (НУ) входять віддалені контролери, ПКУ, засоби зв'язку, датчики.

АРМ диспетчера ЦПТ-Р є основним засобом контролю та управління технологічним процесом транспортування руди у місцевому та дистанційному заблокованих режимах. АРМ включає у собі дві ПЕОМ з однаковим програмним забезпеченням, які у паралельному режимі (одна ПЕОМ - основна, друга ПЕОМ – «гарячий резерв»).

АРМи диспетчера ЦПТ-Р призначені також для збору, обробки, формування інформаційної бази даних ЦПТ-Р та зберігання в ній оперативної та підсумкової інформації (інформації про стан пристроїв системи, команд диспетчера ЦПТ-Р, автоматичних команд, що формуються системою, електронні форми документів і т.п.), а також для архівування та резервування інформаційної бази. Формовані архіви повинні зберігатися щонайменше 3-х місяців. Усі архіви, що формуються, можуть зберігатися диспетчером ЦПТ на електронних носіях.

За необхідності автоматизована система управління ЦПТ-Р має забезпечити взаємозв'язок із суміжними АСУ за погодженими протоколами.

Основний головний контролер (ОГК) та резервний головний контролер (РГК) мають однакове програмне забезпечення, працюють паралельно у так званому гарячому резерві. При виході з ладу одного з головних контролерів (у тому числі і при втраті зв'язку з АРМами або з віддаленими контролерами) виконання всіх функцій забезпечує резервний контролер.

Головний контролер забезпечує збір інформації від контролерів нижнього рівня, рішення алгоритмів управління всім технологічним процесом і автоматичне формування команд управління, що передаються в контролери нижнього рівня.

Головний контролер забезпечує також прийом і обробку команд управління, що надходять з АРМ від диспетчера ЦПТ, передачу їх на виконання в контролери нижнього рівня, проміжне накопичення і передачу на верхній рівень інформації про перебіг технологічного процесу.

Контролери нижнього рівня забезпечують збір інформації від датчиків і передачу її на середній рівень, управління виконавчими органами та механізмами за командами, отриманими із середнього рівня або сформованими

при виконанні власних алгоритмів. При обриві зв'язку контролера нижнього рівня з головними контролерами відбувається перехід на місцевий режим блокування роботи механізмів, керованих контролером.

Пульти контролю та управління повинні забезпечити пряме управління віддаленими об'єктами, а також відображення на панелі індикації значень вимірюваних сигналів та стану обладнання віддалених об'єктів.

Зв'язок між абонентами АСУ має бути організований у вигляді двох незалежних рівнів.

Перший рівень – АРМи та основні контролери. Як інтерфейс для 1-го рівня використаний інтерфейс Ethernet. Комутатори та лінії зв'язку цього рівня резервовані.

Другий рівень - головний контролер і віддалені контролери, розташовані за місцем згідно з структурною схемою АСУ ЦПТ.

Враховуючи значні відстані між абонентами, як канали зв'язку 2-го рівня використовується інтерфейс RS-485 з протоколом Modbus, що забезпечує зв'язок у сегментах на відстань до 1200 метрів і швидкість обміну до 19,2 кбіт/с. Для забезпечення зв'язку з абонентами на відстань понад 1200 метрів використовують повторювачі інтерфейсу.

Зважаючи на розташування диспетчерської, головний контролер з'єднаний з віддаленими контролерами за допомогою двох променів резервованих ліній зв'язку. Така побудова забезпечує скорочення часових витрат на обмін із віддаленими контролерами та підвищення надійності зв'язку.

Система забезпечує безперервний контроль та діагностику працездатності власного обладнання.

Система забезпечує ведення баз даних про стан об'єктів автоматизації та дій персоналу, їх документування в обсязі, достатньому для аналізу стану пристроїв системи та причин аварійних ситуацій.

Структурна схема автоматизованої системи управління комплексом циклічно-поточної технології доставки руди (ЦПТ-Р) наведена на рис.2.2

Візуалізація системи будується за ієрархічною структурою містить 73 екранні форми і включає кілька рівнів деталізації.

До складу верхнього рівня входить:

- екранна форма "Головний";

До складу середнього рівня входить:

- екранна форма "ККД";

- екранна форма "ЛК1";

- екранна форма "ЛК2";

- екранна форма "ЛК3";

- екранна форма "ЛК4";

- екранна форма "ЛК5";

- екранна форма "ЛК6";

До складу нижнього рівня входять екранні форми, що містять інформацію про наступні системи і механізми: вентиляційна установка, аспіраційна установка, гідро-обезпилювання, гідрогальма, зумпфова установка, мастило-станції, натяжна станція, оборотне водопостачання, змив корит, установка обдуву повітрям.

Існують і нижчі рівні деталізації, аж до індикації станів на кожному об'єкті та механізмі. На кожному об'єкті ведеться контроль за всіма тепловими реле, контакторами та наявністю 220в.

Структура системи контролю SCADA АСУ ТП представлена на рис.2.3

Вимоги до функцій, що виконуються системою. Система АСУ ЦПТ-Р виконує функції автоматизованого диспетчерського управління технологічним процесом транспортування руди з горизонту -115 м на склад руди та до корпусу навантаження руди в думпкарі.

Система забезпечує управління роботою всіх механізмів ЦПТ у трьох режимах:

- місцевому (управління механізмами провадиться за допомогою пристроїв, розташованих у зоні видимості механізму);

- місцевому зблокованому (управління механізмами проводиться за допомогою пристроїв, розташованих у зоні видимості механізму, але з виконанням всіх блокувальних залежностей);

- централізованому зблокованому (управління механізмами здійснюється оператором АСУ ЦПТ-Р і автоматично системою з виконанням всіх блокувальних залежностей).

Автоматизоване керування технологічною лінією забезпечує:

- Вибір механізмів ЦПТ у роботу, тобто. здійснюється операція набору необхідних механізмів;

- Подачу попереджувального сигналу перед запуском обладнання в роботу. Попереджувальний звуковий сигнал видається тривалістю не менше 10с з паузою 30с і повторним включенням звукового сигналу тривалістю 30с. У місцях з підвищеним рівнем шуму звуковий сигнал дублюється включенням світлової сигналізації;

- запуск конвеєрів послідовно у напрямку, зворотному потоку руди (починаючи з останнього конвеєра, рахуючи від місця завантаження) з дотриманням всіх блокувальних залежностей;

- зупинення всіх механізмів ЦПТ у зворотному порядку щодо пуску;

- формування відповідних тимчасових затримок для забезпечення технології робіт під час пуску та зупинення механізмів;

- автоматичну зупинку всіх механізмів, що передують потоком руди, у разі зупинки будь-якого з механізмів;

- автоматичне відключення обладнання лінії у разі виникнення аварійних ситуацій;

- Блокування повторного включення обладнання до ліквідації аварійної ситуації;

- блокування дистанційного пуску обладнання при проведенні робіт з даним обладнанням (ремонт, профілактичні огляди тощо) для забезпечення безпечної роботи персоналу;

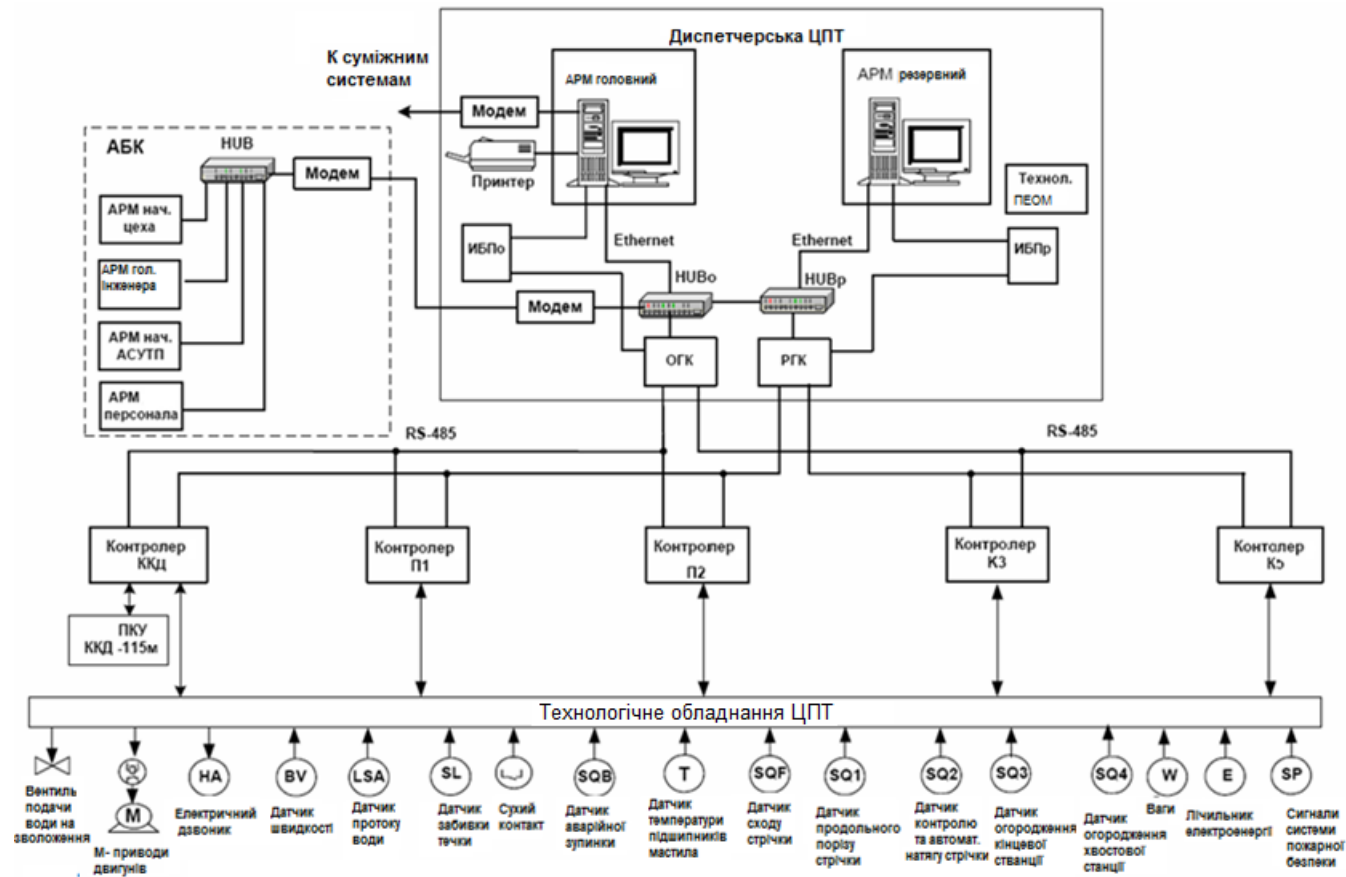


Рисунок 2.2- Структурна схема автоматизованої системи диспетчерського управління ЦПТ транспорту руди гор. -115м

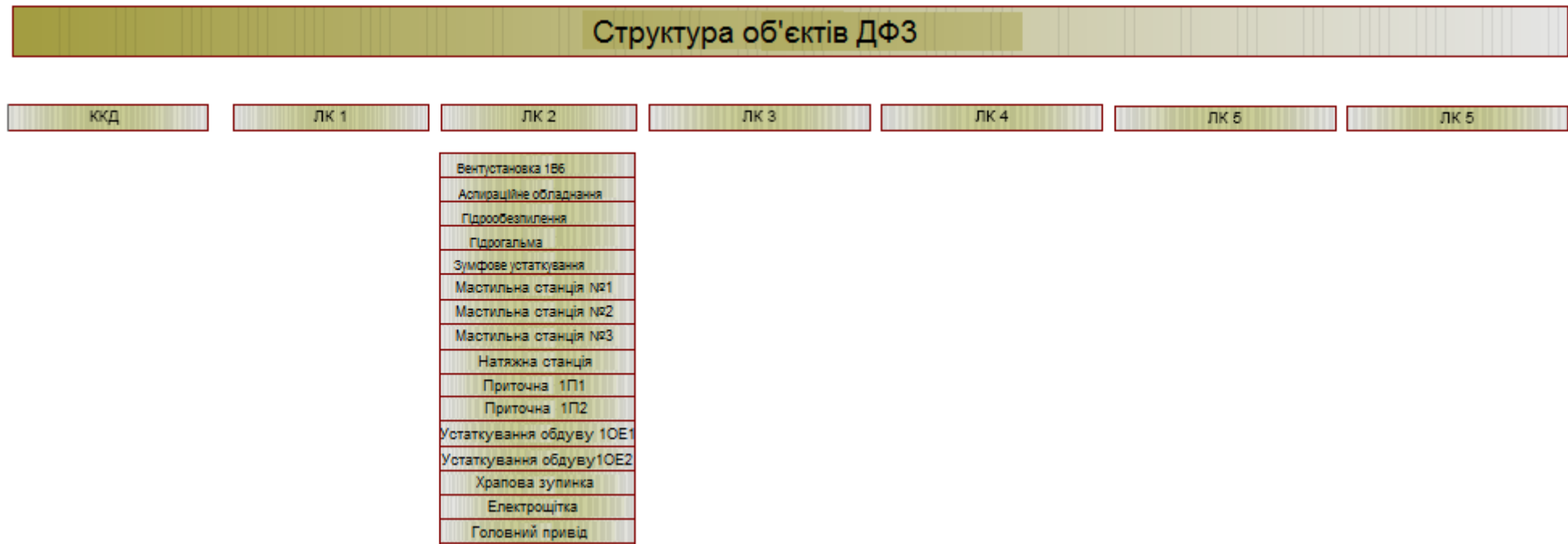


Рисунок 2.3- Структура системи контролю SCADA АСУ ТП дробильної фабрики ДФЗ

- при отриманні аварійних ситуацій (несправностей) конкретизувати місце аварії (місце пориву стрічки, місце займання тощо);

- Можливість дистанційної зміни швидкості ходу стрічки (за наявності обладнання).

Аварійне відключення приводів конвеєрів повинно проводитись ЦПТ-Р у таких випадках:

- обрив стрічки конвеєра;
- пробуксування стрічки конвеєра;
- при сході стрічки;
- обрив канатів натяжних пристроїв;
- обрив тросів конвеєрної стрічки;
- при спрацьовуванні різних струмових захистів;
- забиття течок розвантажувальних воронок та жолобів;
- при знятті огорож головних та хвостових барабанів;
- при отриманні аварійного сигналу храпових пристроїв, що забезпечують запобігання зворотного ходу стрічки;
- при отриманні аварійного сигналу по мастило системі;
- при одержанні аварійного сигналу за системою знепилення;
- при одержанні аварійного сигналу вентиляторів обдування;
- при отриманні сигналів про виникнення пожежі, від існуючої системи пожежної сигналізації.

Детальна інформація про елементи контролю та автоматизації окремо взятого конвеєра ЛК №2, що входить до складу конвеєрного тракту представлена у функціональній схемі на рис. 2.4. Для дослідження елементів контролю та автоматизації приводної станції конвеєра розглядається функціональна схема на рис. 2.5.

Візуалізація технологічного процесу транспортування руди для окремого конвеєра ЛК №2, яка виводиться на монітор диспетчера представлена на рис.2.6.

У дослідженнях роботи конвеєрного тракту дробильної фабрики ДФ-3 було взято за основу тренд зміни продуктивності. Для аналізу використовувався

фрагмент зміни продуктивності конвеєрного тракту при подачі руди на конвеєрну стрічку (див. рис.2.7 і рис.2.8). Аналізуючи отримані тренди, що характеризують часовий інтервал у шістнадцять хвилин після подачі вантажу на конвеєрний тракт, відзначаються такі особливості.

При початковій подачі руди на конвеєрну стрічку спостерігається різкий стрибок навантаження до 3600 т/год (див. рис.2.7), який так само різко спадає. З отриманих результатів видно, що стрибкоподібне зростання навантаження триває близько 10 секунд, після чого різко спадає до 500 т / год і відбувається плавне збільшення навантаження на стрічці. Завантаження конвеєрної стрічки стабілізується величиною 1200 т/год, яка утримується протягом тринадцяти хвилин після відбувається різке зростання навантаження, яке триває протягом 30 секунд. У результаті продуктивність тракту досягає 3600 т/год.

Отримані результати були оброблені і представлені у вигляді графіків зміни величин, які безпосередньо залежать від зміни продуктивності. Графік зміни продуктивності за досліджуваний період представлений на рис.2.9 та рис.2.8 . Ґрунтуючись на зміну продуктивності враховуємо ширину стрічки і швидкість її руху і отримуємо зміну погонної маси на стрічці (див. рис.2.10). У результаті зміни продуктивності змінюється струм статорної обмотки, зміна якого представлена на рис. 2.11. Зміна струму в статорному ланцюгу двигуна призводить до того, що змінюється споживана потужність пропорційно зміні навантаження на конвеєрній стрічці (див. рис.2.11).

Таким чином, зміна продуктивності конвеєрного тракту (кількості рудної маси на стрічці) призводить до зростання енергоспоживання і відповідно до збільшення окружного зусилля на приводних барабанах, а отже і до втрат енергії у фрикційній парі на тертя. Таким чином, з проведених досліджень можна зробити висновок про те, що продуктивність конвеєрного тракту носить не рівномірний характер і зростання навантаження на приводну станцію конвеєра має дуже різкі зміни. Контроль натягу стрічки також необхідний. Натяжна станція досліджуваного конвеєра обладнана датчиками натягу, які оповіщають оператора про крайні положення натяжного візка і положення вантажу.

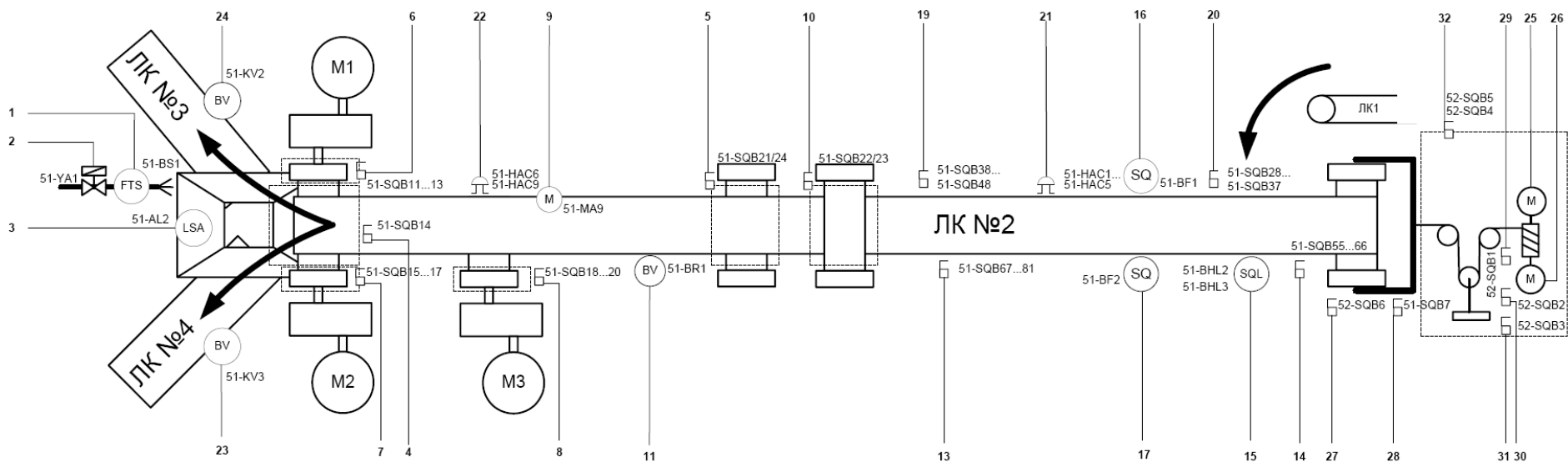


Рисунок 2.4 - Функціональна схема автоматизації конвеєра ЛК №2

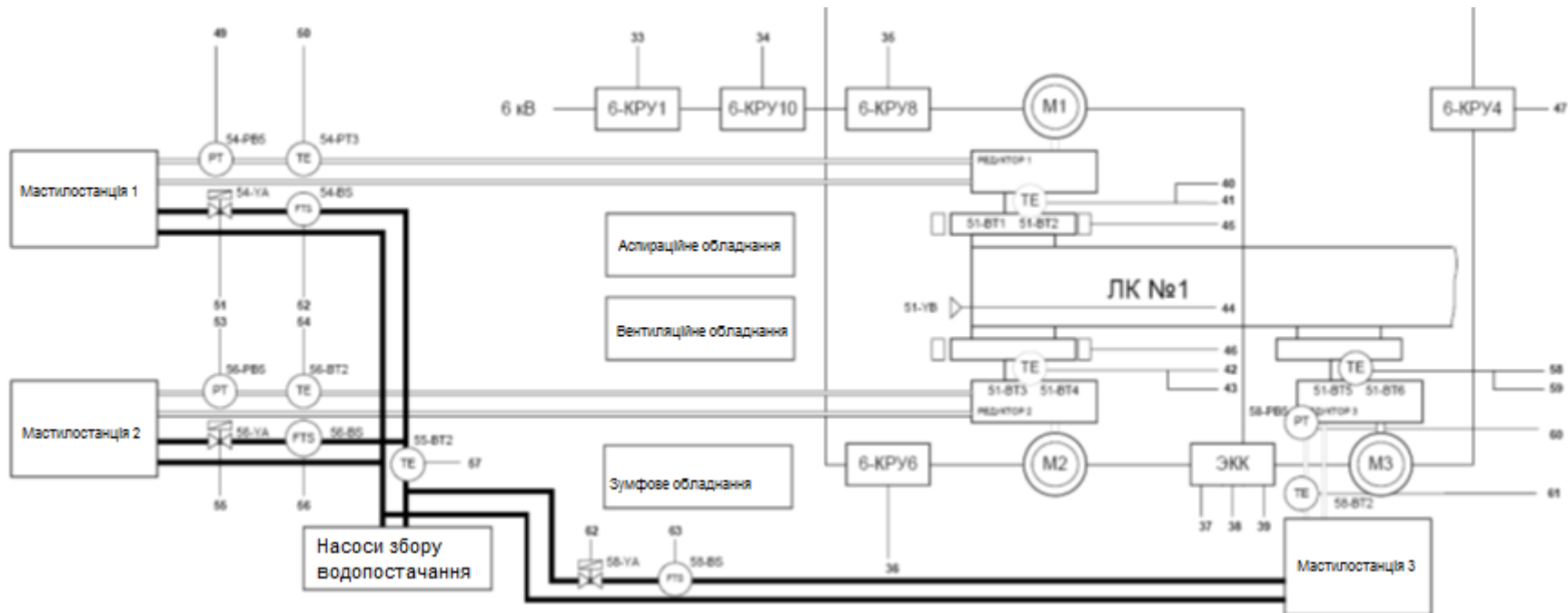


Рисунок 2.5 - Функціональна схема автоматизації станції приводів конвеєра ЛК №2

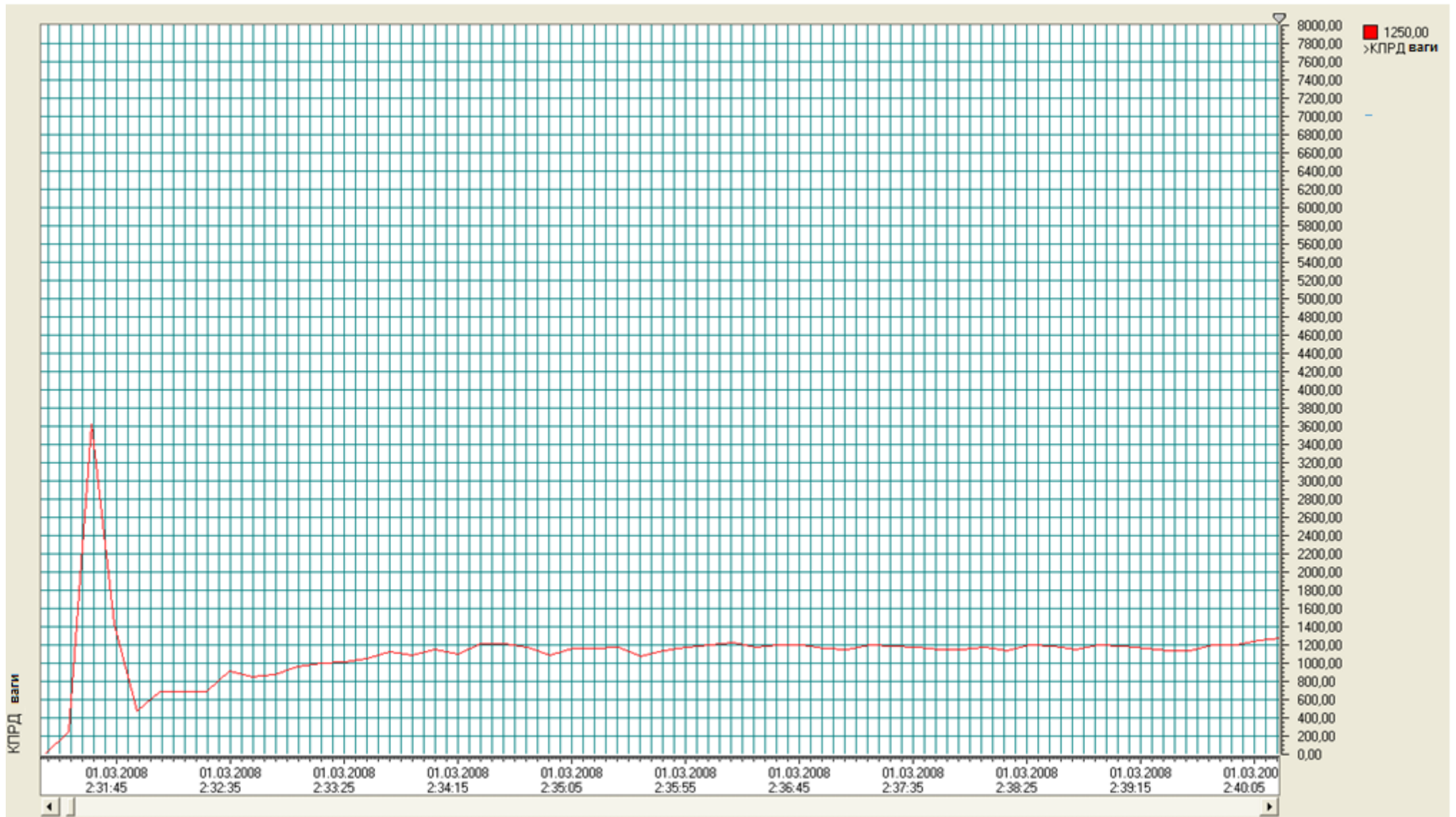


Рисунок 2.7 - Тренд зміни продуктивності конвеєра

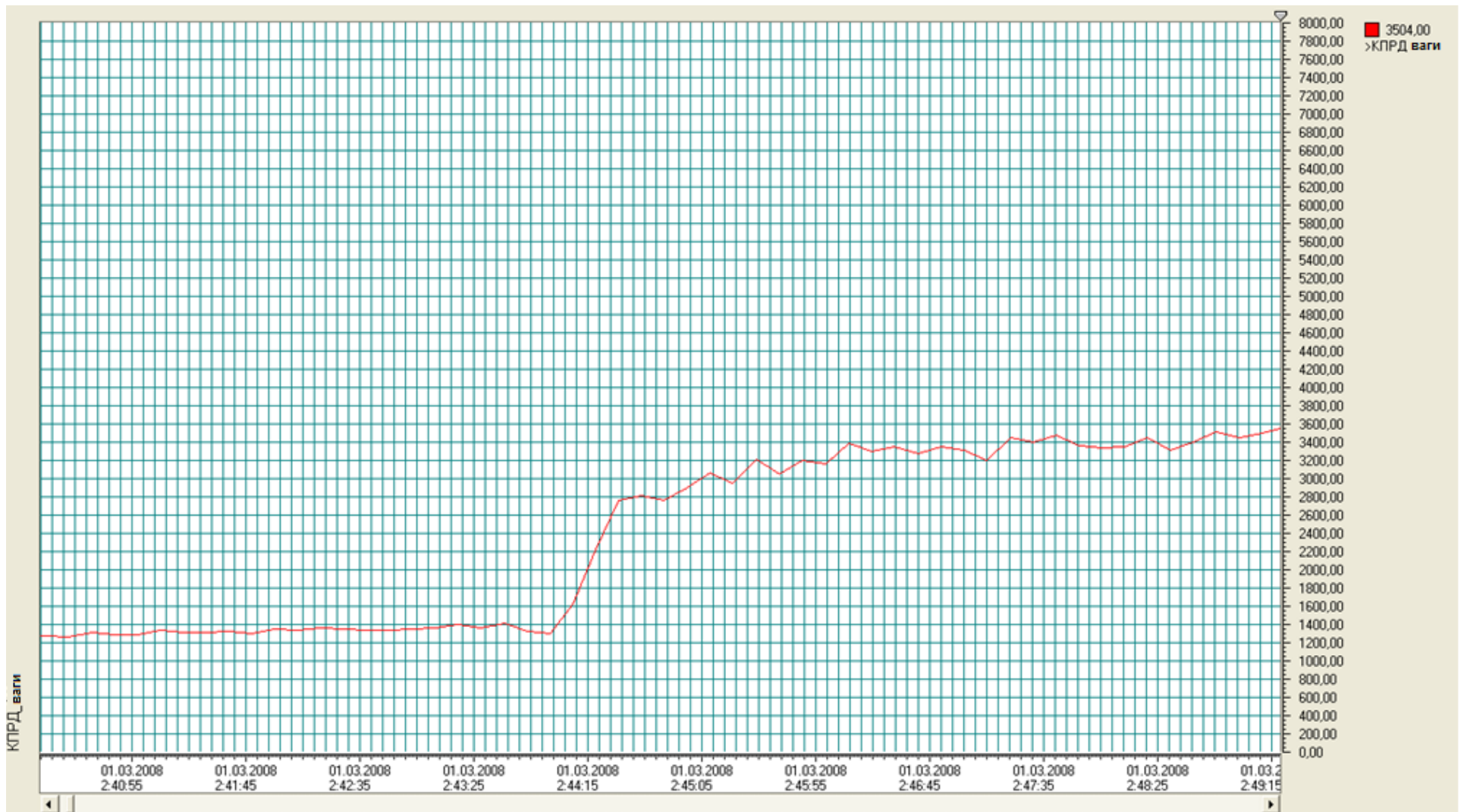


Рисунок 2.8 - Тренд зміни продуктивності конвеєра

Використання тензометричного датчика натягу дасть можливість контролювати не тільки наявність натягу стрічки але і його поточну величину при зміні навантаження конвеєра, а також його динамічна зміна при пуску конвеєра і коливальний характер.

У разі роботи конвеєрного тракту без навантаження тривалий час, доцільно зменшувати натяг (рекомендується при роботі гумово-тканинних стрічок) для зниження зносу в результаті розшарування стрічки, проте необхідно враховувати початкове стрибкоподібне зростання навантаження. У цьому випадку керувати натягом стрічки в залежності від завантаження та розвантаження конвеєра необхідно тільки у складі конвеєрного тракту.

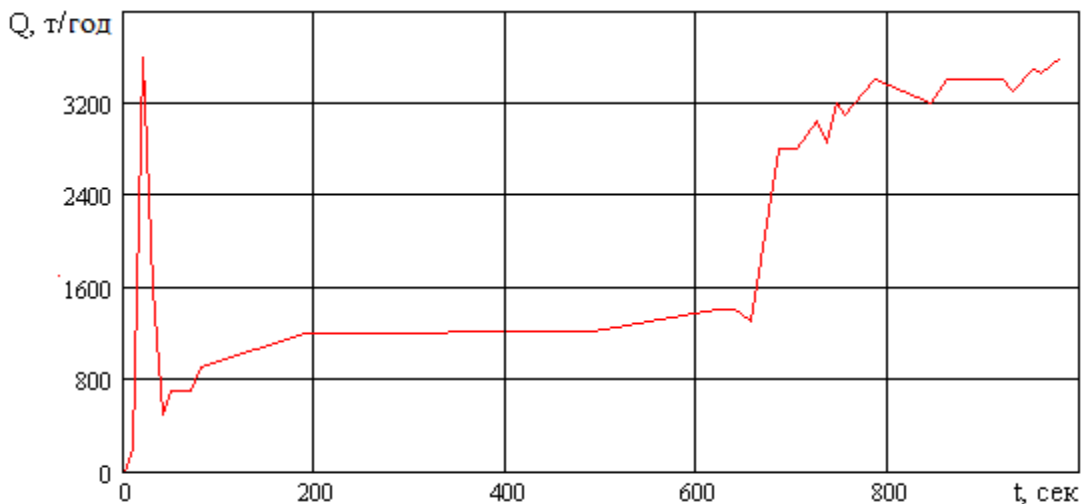


Рисунок 2.9 - Зміна продуктивності транспортованого потоку руди

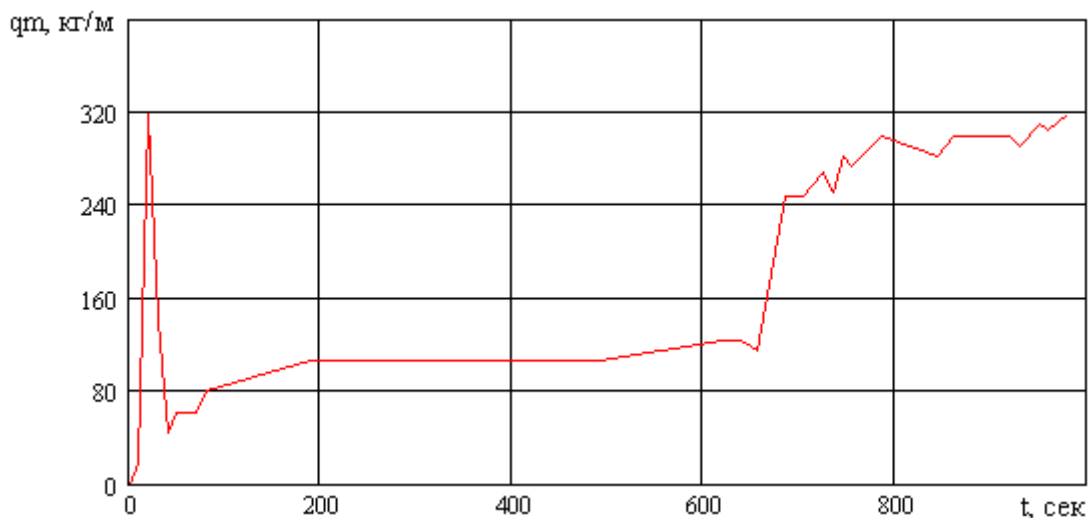


Рисунок 2.10 - Зміна погонної маси потоку руди, що транспортується

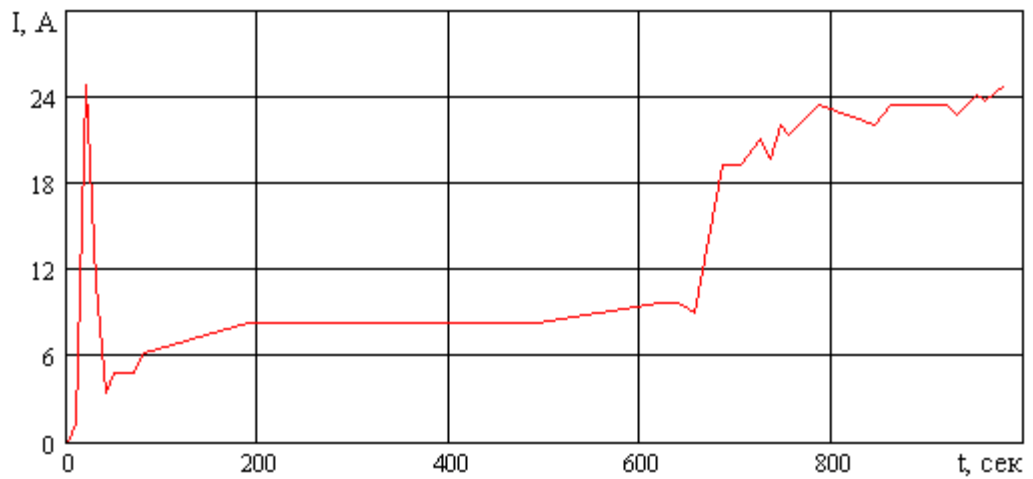


Рисунок 2.11 - Зміна струму обмотки статора при зміні продуктивності

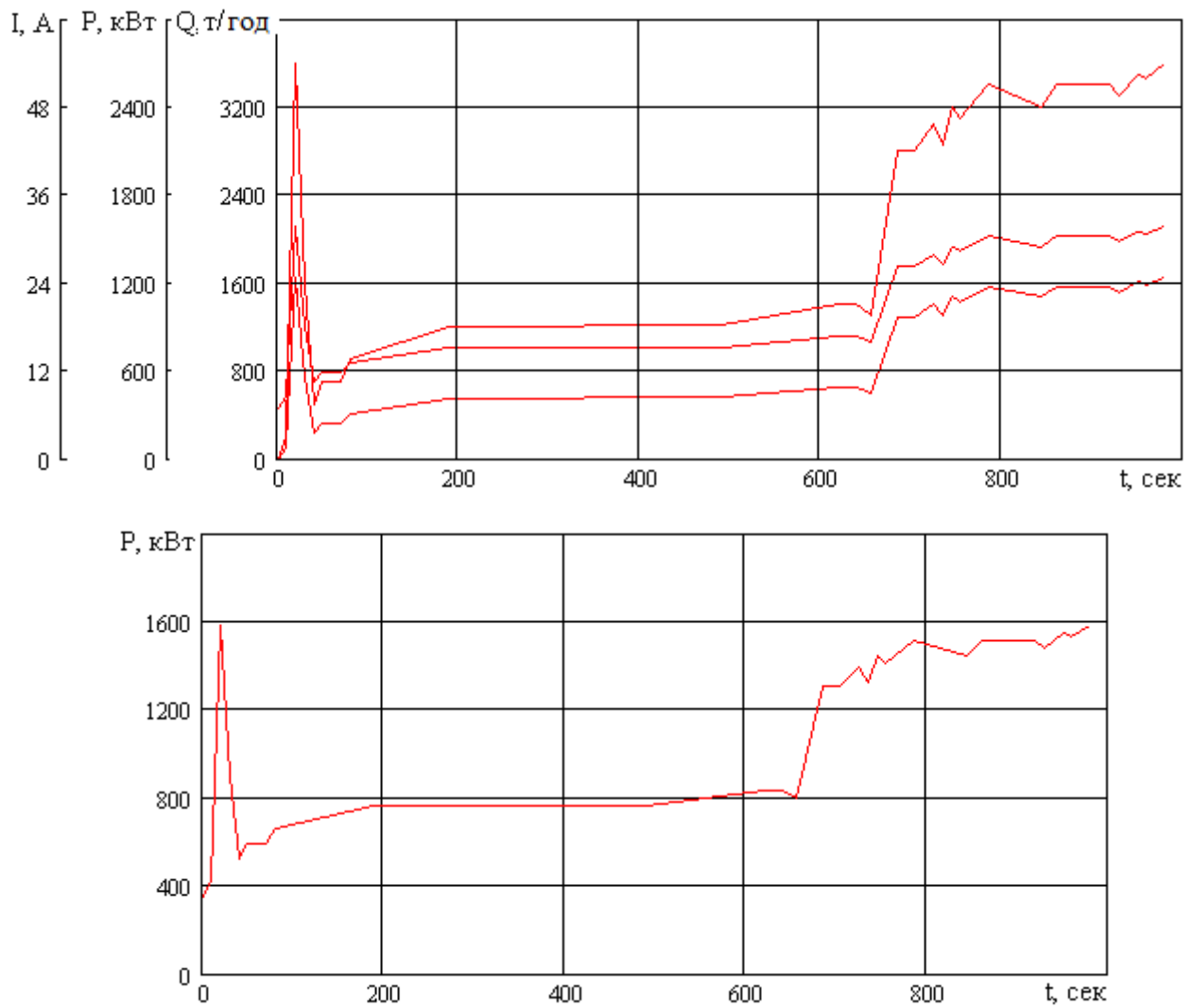


Рисунок 2.12 - Зміна потужності споживаної приводами конвеєра ЛК №2

В результаті при надходженні вантажу на стрічку першого конвеєра, наступні конвеєри на момент подачі вантажу відновлюють натяг для роботи під навантаженням. При цьому зменшується опір руху стрічки з вантажем (зменшується енергоспоживання) і знижується знос стрічки при взаємодії з вантажем у місці навантаження та на лінійній частині конвеєра.

Таким чином, запропоновані в даній роботі до впровадження еталонна модель, яка інтегруються в розглянуту систему АСУТП з незначними доробками на нижньому рівні, дозволяють оператору імітувати роботу конвеєрного тракту за поточними контрольованими параметрами і формувати величини завдання по натягу стрічки з метою забезпечення оптимального режиму експлуатації з точки зору енергоспоживання та зносу обладнання, зокрема, стрічки конвеєра.

2.2 Розробка принципів керування натягом стрічки конвеєра та швидкістю обертання приводного барабана

Формування керуючого впливу натягом стрічки засноване на послідовному ланцюжку впливів, що впливають на елементи об'єкта управління, що разом становлять єдину багатомасову електромеханічну систему, як стрічковий конвеєр, який входить до складу конвеєрної лінії, що утворює єдиний конвеєрний тракт транспортування рудної маси. Таким чином, закон управління, в якому натяг стрічки змінюється, включає всі реакції елементів, що беруть участь у процесі управління.

Першим елементом конвеєра, який безпосередньо виконує вплив, що управляє зі зміни натягу стрічки, є натяжна станція. Для регулювання натягу використовується лебідка з електроприводом. Включення електродвигуна лебідки натяжної станції надає руху натяжний барабан або візок на рейковому ході, пов'язаних з приводом лебідки тросом, який з'єднаний через поліспагтну систему. Зусилля, що реалізується лебідкою, передається через трос і змінює положення візка або натяжного барабана, в результаті якого змінюється довжина

ходу, оскільки скорочується або подовжується довжина троса, що намотується лебідкою.

Положення натяжного барабана (візка) визначає натяг стрічки конвеєра, яке перерозподіляється на кожній геометричній ділянці конвеєра, у тому числі і на приводному барабані, де змінюється окружне зусилля, що передається приводом конвеєра. В результаті при транспортуванні вантажу змінюється величина провисання стрічки між роlikоопорами, що знижує опір руху стрічки з вантажем на ділянках конвеєра.

Зміна окружного зусилля впливає на величину тиску, що надається стрічкою на футеровку приводного барабана. Внаслідок цього змінюється розподіл дотичних напруг при фрикційному взаємодії стрічки і барабана, що змінює величину дуги робочого ковзання і відносного дуги спокою, тобто. їх розподіл на дузі охоплення приводного барабана стрічкою конвеєра.

Управління швидкістю обертання приводу конвеєра надає керуючий вплив як зміни опору, включеного в роторної ланцюга асинхронного двигуна з фазним ротором або частоти напруги живлення статорної обмотки при керуванні частотним перетворювачем. В результаті змінюється швидкість обертання двигуна, пов'язаного через редуктор з приводним барабаном. Зміна швидкості обертання приводного барабана призводить до зміни швидкості руху вантажу тобто транспортного потоку матеріалу на стрічці.

Таким чином, для реалізації викладених принципів керування доцільно використовувати систему автоматичного керування з двома незалежними контурами, які відпрацьовуватимуть закони керування для різних режимів роботи конвеєра. Один контур реалізує управління швидкістю обертання двигуна приводного барабана при пуску конвеєра, другий, здійснює управління натягом стрічки в режимі роботи конвеєра, що встановився.

Формування керуючих впливів системи автоматичного управління одним із конвеєрів потоково-транспортної системи будується на принципах керування транспортним потоком рудної маси. Зміна параметрів одного конвеєра

призводить до зміни технічних характеристик наступних конвеєрів, які пов'язані одним потоком, що транспортується.

Таким чином, розробка локальної АСУ ТП одним елементом технологічного процесу (конвеєр) безпосередньо пов'язана з АСУ ТП, яка керує спільною роботою кількох конвеєрів, що формують конвеєрну потоково-транспортну систему. При розгляді питань автоматичного керування конвеєром та поточно-транспортною конвеєрною системою необхідно враховувати вплив на технологічний процес додаткового обладнання. До складу додаткового обладнання належать: встановлені бункери, пластинчасті живильники, які розподіляють потік рудної маси та, як правило, розміщені між стадіями дроблення (див. рис.2.13). Вони є проміжними елементами технологічного процесу і забезпечують пропускну здатність потоку, що транспортується (продуктивність). Регулювання швидкості руху пластинчастого живильника дозволяє змінювати погонну масу вантажу, що надходить на стрічковий конвеєр. Ступінь заповнення бункера обмежує швидкість матеріалу, що перевантажується в нього, і тим самим знижує продуктивність наступного обладнання.

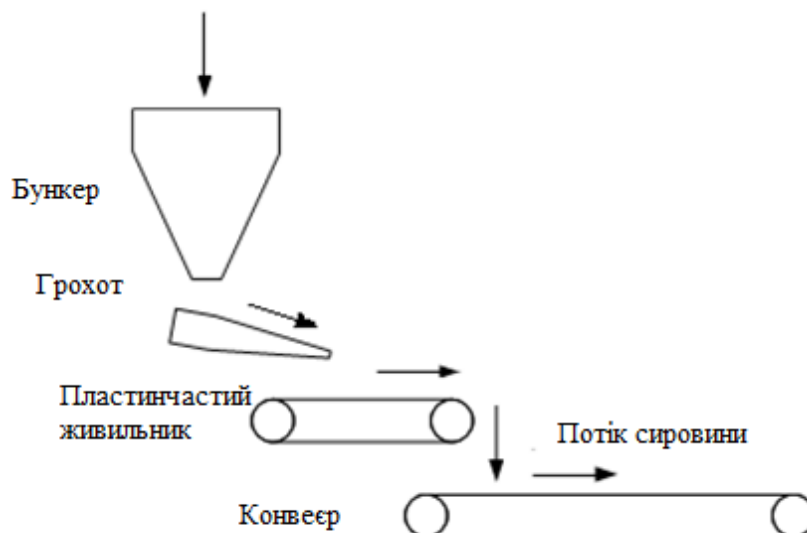


Рисунок 2.13 - Технологічний ланцюжок працюючого обладнання

В результаті при здійсненні керуючих впливів як з боку стрічкового конвеєра, так і з боку іншого технологічного обладнання простежується єдиний

технологічний ланцюжок, який характеризується технологічними параметрами (продуктивність, швидкість потоку, що транспортується, погонна маса вантажу та ін.)

$$q = \frac{Q_n}{3.6 \cdot v_{л}},$$

де Q_n - продуктивність, т / год; $v_{л}$ – швидкість стрічки з вантажем, м/с.

У розділі проведемо аналіз впливу управляючих параметрів на технологічний процес транспортування рудної маси. Розглянемо способи підвищення ресурсу елементів конвеєра за допомогою застосовуваних принципів управління. У п. 2.2 досліджено фактори, що впливають на термін служби конвеєрної стрічки та залежать від величини натягу стрічки та від швидкості її руху спільно з транспортованим потоком рудної маси (погонна маса). Погонна маса та натяг визначають ступінь провисання стрічки між роликоопорами.

$$S_{\min} = 9.8 \cdot \frac{8 \cdot (q + q_{л})}{l_p}, \text{ Н},$$

де S_{\min} – мінімальний натяг стрічки; $q_{л}$ – погонна маса стрічки, кг/м; l_p -відстань між роликоопорами, м.

Дані параметри впливають формування опору руху стрічки конвеєра з транспортованим матеріалом на робочій гілці. Опір руху стрічки визначає окружне зусилля, що передається на приводному барабані, від якого залежить потужність, споживана приводом конвеєра. (див. п.2.4).

У п. 2.3 представлені дві математичні моделі, на основі яких обчислюється термін служби стрічки. Він залежить від втомного розшарування стрічки, втомного руйнування при здавлюванні, від ударних навантажень на стрічку на ділянці навантаження матеріалу і по всій довжині конвеєра. Мета управління натягом стрічки полягає в досягненні рівномірного зношування при впливі факторів, що розглядаються.

Управління натягом стрічки змінює опір руху стрічки з вантажем за рахунок зміни провисання стрічки між роликоопорами, що впливає на потужність, що споживається (див. п. 2.4). Для узагальненого обліку всіх

чинників результати, отримані залежно (див. п. 2.3 і п. 2.4), переводяться до вартісної одиниці, що у п. 2.5.

Аналіз питомих витрат на транспортування вантажу враховує вплив натягу стрічки та швидкості її руху на показники роботи конвеєра.

Таким чином, критерій оптимальної роботи системи автоматичного керування відпрацьовує завдання керування натягом та швидкістю руху стрічки з вантажопотоком. При цьому поточне керування виконує стабілізацію параметрів конвеєра для потрібного режиму роботи. Розглянуто вплив чинників, що оборюють, враховується в еталонній моделі на формування завдання режимів роботи конвеєрів в потоково-транспортній системі.

В результаті для технічної реалізації необхідно розробляти багатоконтурну систему автоматичного управління, яка відпрацьовуватиме управління з натягу стрічки та швидкості її руху.

2.3 Аналіз факторів, що оборюють, при управлінні технологічним процесом транспортування рудної маси

Основне завдання управління реальному часі – це формування оптимального режиму роботи конвеєра у складі конвеєрної лінії. В результаті це дозволяє виключити аварійні режими, зменшити простої обладнання в процесі ремонту, зменшити надмірне стирання неробочої обкладки стрічки та втомного руйнування стрічки, що в результаті призводить до зниження питомих витрат на транспортування рудної маси. У процесі роботи стрічка піддається зносу із боку зовнішніх чинників, обумовлені характеристиками технологічного процесу, тобто. параметрами матеріалу, що транспортується (великістю, швидкістю транспортування). Стрічка також схильна до зносу через характеристики самого конвеєра (кількості барабанів, роликкоопор та їх технічного стану, довжини конвеєра) і знос зростає або знижується при зміні натягу стрічки.

Проведемо аналіз існуючих факторів, які призводять до передчасного зношування елементів конвеєра, і розглянемо як можна їх знизити за допомогою запропонованих у дисертаційній роботі принципів управління.

Як фактори, що впливають на термін служби конвеєрної стрічки, розглянемо:

термін служби стрічки під час транспортування вантажу. В основу покладено втому руйнування стрічки від здавлювання;

довговічність конвеєрних стрічок при втомному розшаруванні.

В обох моделях враховується рівень натягу стрічки при транспортуванні вантажу, тому проведемо аналіз кожного окремо взятого фактора з метою подальшого узагальнення.

Розглянемо вплив сил здавлювання працювати конвеєрної стрічки. Сили здавлювання мають детермінований чи випадковий характер. До першої групи відноситься здавлювання стрічки потоком дрібного вантажу в пункті навантаження і при русі по роликах, до другої - взаємодія стрічки з потоком великих шматків у пункті навантаження та на роликоопорах. Як узагальнюючий показник втомного навантаження стрічки прийнята енергія деформації здавлювання в межах всього обсягу деформації [43].

Складові енергії стискання визначаються з виразів. Енергію стиснення конвеєрної стрічки потоком дрібного вантажу, що падає в пункті навантаження з висоти H , знаходимо за формулою

$$P_{п1} = 4 \cdot k_{и} \cdot \frac{(g \cdot \gamma_{н} \cdot H)^3 \cdot B^2 \cdot d_p \cdot h \cdot l_{рп}}{(S_{нат} + \frac{2 \cdot D_b}{d_p \cdot l_{рп}}) \cdot E_{л}}$$

де $k_{и}$ – коефіцієнт використання ширини стрічки;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

$\gamma_{н}$ – щільність вантажу при насипанні, кг/м³;

H – висота падіння вантажу, м;

B – ширина стрічки, м;

d_p – діаметр ролика, м;

h – товщина стрічки, м;

$E_{л}$ – жорсткість конвеєрної стрічки, Па;

$l_{рп}$ – відстань між роликами в пункті навантаження, м;

D_6 – жорсткість на вигин, Нм²;

$S_{нат}$ – натяг стрічки, Н [43].

Для спрощення розрахунків вважатимемо транспортований вантаж дрібнокусковим. Для визначення енергії стиснення конвеєрної стрічки дрібнокусковим вантажем у зоні контакту з роликами лінійної частини конвеєрної установки виділялася ділянка на середині її ширини. При безпосередньому контакті цієї ділянки із середнім роликом стрічка стискується під дією маси вантажу. До і після зустрічі з роликоопорою вона відчуває практично лише деформації при згинанні. Таким чином, сила деформації стиснення стрічки на середньому ролику є періодичною, що викликає її руйнування втоми [43].

Енергію стиснення стрічки на роликоопорі лінійної частини конвеєра знайдемо з виразу

$$\Pi_{л1} = 74 \cdot \frac{(g \cdot q \cdot l_p)^2 \cdot d_p \cdot h}{B^3 \cdot E_{л}} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot q}{d_p \cdot E_p}} \cdot \left(1 + \frac{k_y \cdot v_{ст}^2}{2 \cdot g \cdot d_p}\right)^2 \cdot k_y^2,$$

де k_y – коефіцієнт участі вантажу;

$v_{ст}$ – швидкість руху стрічки м/с;

E_p – пружність гуми, Па;

l_p – відстань між роликоопорами, м;

q – погонне навантаження, кг/м [43].

Проводимо зміну натягу стрічки та розраховуємо термін її служби з виразу

$$T_{ст} = \frac{2 \cdot C \cdot L_k}{v_{ст}} \cdot \left[\Pi_{л1}^{11/6} + \Pi_{л1}^{11/6} \cdot \frac{L_k}{l_p} \right]^{-1} \quad (2.1)$$

де C – працездатність конвеєрної стрічки;

L_k – довжина конвеєра, м;

$v_{ст}$ – швидкість руху стрічки, м/с [43].

$$T_{\text{ст.сд}} = \frac{\frac{T_{\text{ст}}}{3600}}{t_{\text{рік}}}, \quad (2.2)$$

де $t_{\text{доб}}$ - число годин роботи конвеєра на добу;

$t_{\text{рік}}$ – кількість діб роботи конвеєра на рік.

Залежність терміну служби конвеєрної стрічки від її натягу під впливом втомного руйнування стрічки від здавлювання представлена на рис. 2.14. Зі збільшенням натягу стрічки конвеєра термін служби зростає. Внаслідок регулювання натягу термін служби змінюється від 0.5 до 3 років.

Вивчення характеру зношування конвеєрних стрічок на гірських підприємствах показує, що однією з головних причин виходу конвеєрних стрічок з ладу є відшаровування (дільницями) верхньої гумової обкладки, що веде до руйнування каркасу. Припускаються, що причиною відшаровування верхньої гумової обкладки є втомні явища, що виникають у верхній прокладці стрічки, викликані циклічними деформаціями розтягування при згині стрічки на барабанах і роликоопорах [39].

У роботі [39] було проведено експериментальні дослідження визначення стійкості деяких типів стрічок проти втомного розшарування. За результатами було отримано криву втоми на розшарування конвеєрної стрічки 2ГА-100 [36]. Аналогічні криві були отримані Г. Н. Плешаковим для стрічки з основою з бавовни та лавсану (ЛХ-120), представлені у роботі [22]. В результаті проведених обчислень отримано підтвердження справедливості цих кривих за відомим рівнянням С. Н. Журкова.

$$\sigma = 55.104 - 2.224 \ln N,$$

де σ - нормальні напруження, що виникають у стрічці, кг/см²;

N – кількість циклів, що пройде стрічка до розшарування.

В роботі [39] для визначення залежності між попереднім натягом стрічок та їх довговічністю на флексинг-машині з роликом діаметром 20 мм були випробувані зразки стрічок: БКНЛ-65 (8 прокладок), ПВХ-100 (5 прокладок) та ТК-100 (4 прокладки) на втомне розшарування при натягу $S_{\text{нат}} = 100, 50, 25$ і

12.5% від робітника. В результаті випробувань, у роботі [39] були отримані рівняння регресії

для стрічки БКНЛ-65

$$N = 3.04 \cdot 10^4 / S_{\text{нат}}, \quad (2.3)$$

для стрічки ПВХ-100

$$N = 6.3 \cdot 10^4 / S_{\text{нат}},$$

для стрічки ТК-100

$$N = 2.07 \cdot 10^4 / S_{\text{нат}}.$$

Напруга зсуву в гумових прошарках виникає зі збільшенням числа прокладок у стрічці і зниження діаметра барабанів нижче певного значення.

Так при діаметрі барабана 200 мм число оборотів до розшарування конвеєрної стрічки, що містить 8, 5 і 3 прокладки, становить 2.2; 5.0 та більше 5.5 млн. відповідно. Зменшення діаметра барабана менше 200 мм різко зменшує кількість обертів стрічки до розшарування, а при діаметрі барабана 400 мм розшарування не спостерігається після 10 млн обертів [33].

Тому, керуючись методикою розрахунку, запропонованою А.В. Андрєєвим, і спираючись на експерименти, виконані В. П. Голованем, визначаємо кількість циклів, які проходить стрічка при певному діаметрі барабана і відповідно напругах, що виникають у стрічці, при максимальному робочому натягу стрічки [22].

Методика полягає в тому, що визначається максимальна напруга у верхній прокладці, потім залежностями, які отримані Г.М. Плешаковим визначається кількість циклів, яке може пройти стрічка конвеєра через барабан. Враховується кількість барабанів, а також приблизно приймається, що втома від перегину стрічки на одному барабані відповідає втомі від перегину на 20 роликах навантаженої гілки при нормальному провисанні стрічки між роликотпорами [22]. Виходячи з цього, визначаємо кількість циклів, що пройде стрічка.

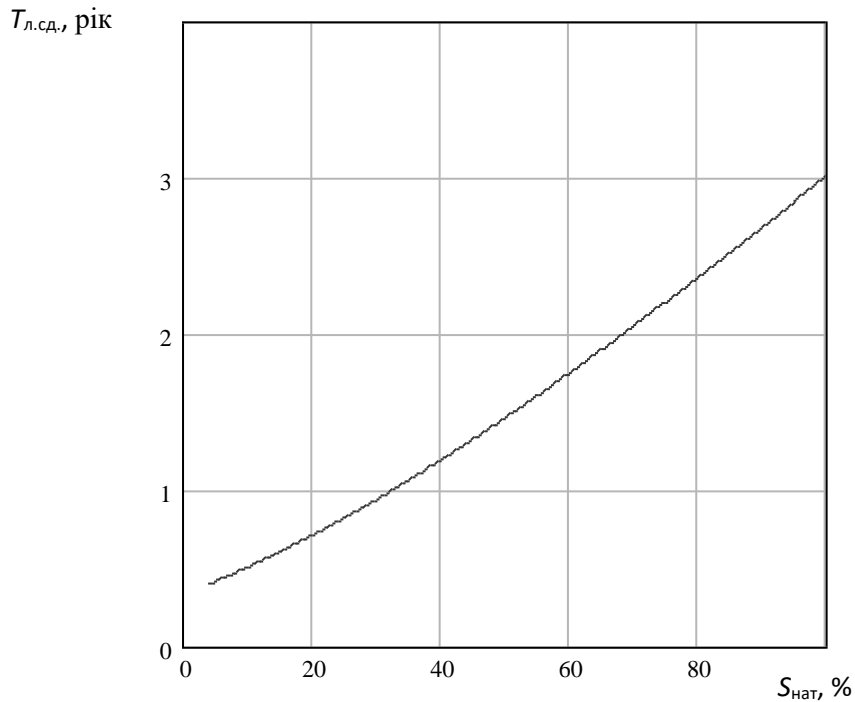


Рисунок 2.14 - Залежність терміну служби конвеєрної стрічки від зміни її натягу при втомному руйнуванні стрічки від здавлювання

Окремо розраховуємо кількість циклів, пройдену стрічкою за рік при паспортній швидкості руху стрічки конвеєра, а також кількість приводних барабанів та роликів на завантаженій гілці.

$$N_{\text{рік}} = 3600 \frac{t_{\text{сут}} \cdot t_{\text{рік}} \cdot v_{\text{л}}}{L_{\text{к}}} \cdot n_{\text{б}},$$

де $t_{\text{доб}}$ — число годин роботи конвеєра на добу;

$t_{\text{рік}}$ — кількість діб роботи конвеєра на рік;

$n_{\text{б}}$ — кількість барабанів.

Розрахувавши кількість циклів для стрічки на заданому стрічковому конвеєрі з урахуванням діаметрів його приводних барабанів, перераховуємо коефіцієнт для вищенаведеного рівняння регресії (2.3). У результаті отримуємо для стрічки ТК-300 вираз виду

$$N = 3.8 \cdot 10^6 / S_{\text{нат}}. \quad (2.4)$$

Розділивши отримане значення кількості циклів, пройдене стрічкою протягом року, отримуємо термін служби стрічки конвеєра. Реальний термін служби конвеєра визначаємо з виразу

$$T_{\text{сн.р}} = \frac{N}{N_{\text{рік}}} . \quad (2.5)$$

В результаті обчислень отримано залежність терміну служби конвеєрної стрічки від зміни її натягу при розшаруванні втоми, яка представлена на рис.2.15. За результатами розрахунків застосування регульованого натягу дозволяє збільшувати термін служби від одного до п'яти років експлуатації.

Графік зміни терміну служби від зміни натягу стрічки при взаємному впливі вищевикладених факторів представлені на рис.2.16. В отриманих залежностях відзначається, що при збільшенні натягу збільшується розшарування втоми і зменшується руйнування стрічки від здавлювання. У свою чергу зменшення натягу призводить до зменшення розшарування, але збільшується руйнування стрічки від здавлювання і ударних навантажень.

Таким чином, застосування регульованого натягу стрічки знижує вплив одного фактора, але збільшує вплив іншого. Аналізуючи розраховані результати роботи, які представлені у вигляді залежностей, можна зробити наступний висновок, що точка перетину даних залежностей говорить про рівномірне зношування при взаємному впливі та відповідає 2 рокам. Застосування регульованої швидкості приводних станцій конвеєрів істотно впливає на зміну терміну служби стрічки. Так при швидкості руху стрічки 1 м/с термін служби складе 3 роки, а якщо швидкість руху стрічки дорівнюватиме 2 м/с, то значення терміну служби в точці перетину залежностей складе 1.5 року. Результати обчислень, які проводилися щодо різних значень швидкості руху стрічки, представлені на рис. 2.17. На значення терміну експлуатації також впливає величина завантаження конвеєра. Управління величиною завантаження конвеєрного полотна можливе за рахунок регулювання швидкості руху пластинчастого живильника, на який з бункера подається подрібнена рудна маса.

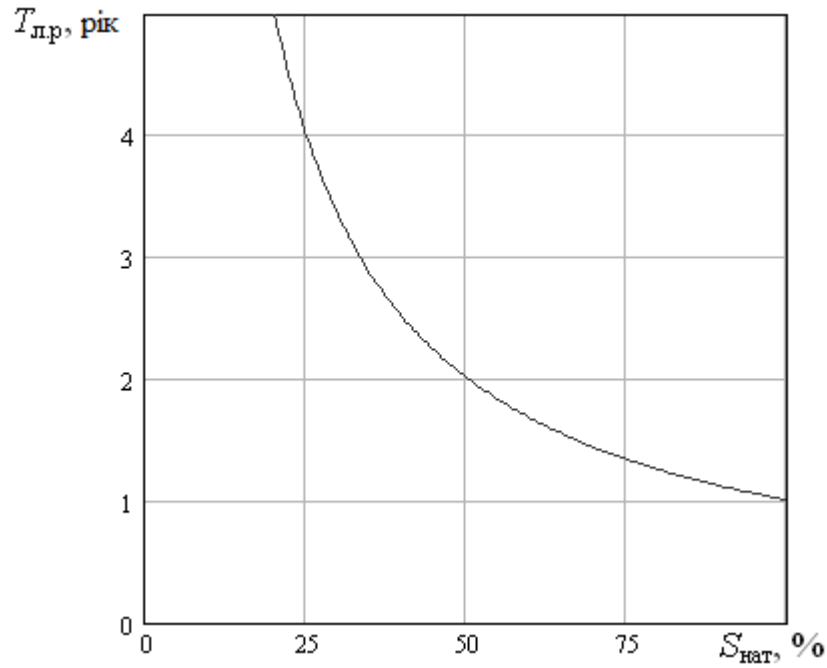


Рисунок 2.15 - Залежність терміну служби конвеєрної стрічки від зміни її натягу при втомному розшаруванні

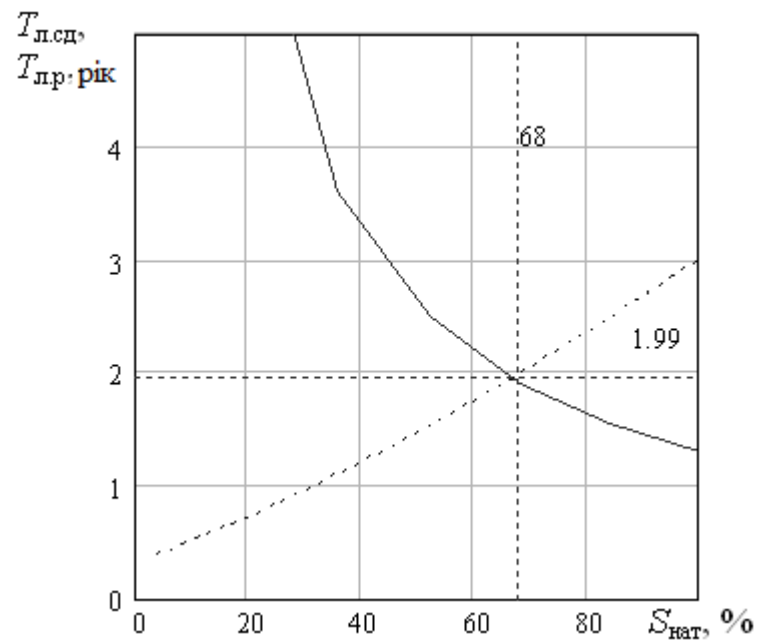


Рисунок 2.16 - Залежність терміну служби конвеєрної стрічки від зміни натягу стрічки при взаємному впливі факторів

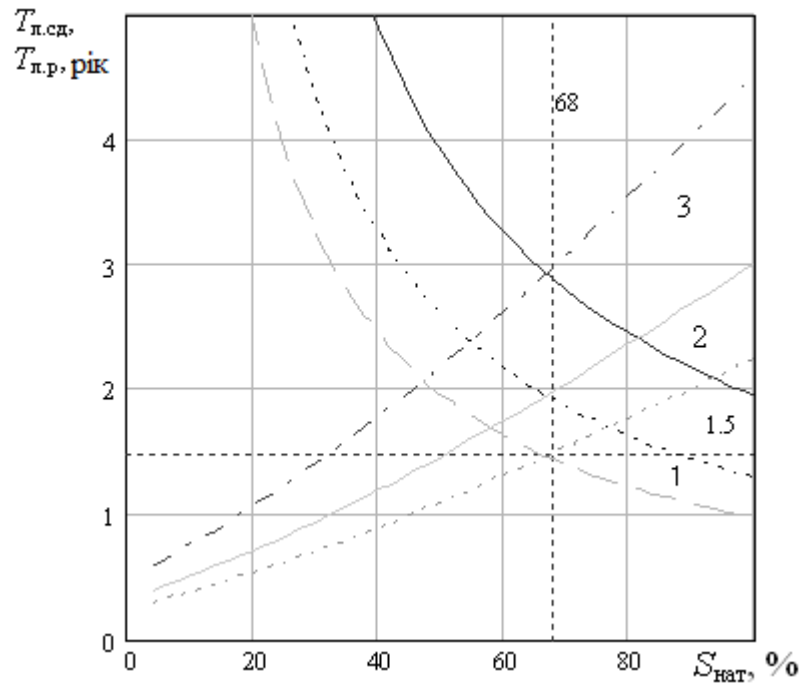


Рисунок 2.17 - Залежність зміни терміну служби від зміни натягу стрічки при різній швидкості руху стрічки: 1- $v_{ст}=2$ м/с, 2- $v_{ст}=1.5$ м/с, 3- $v_{ст}=1$ м/с

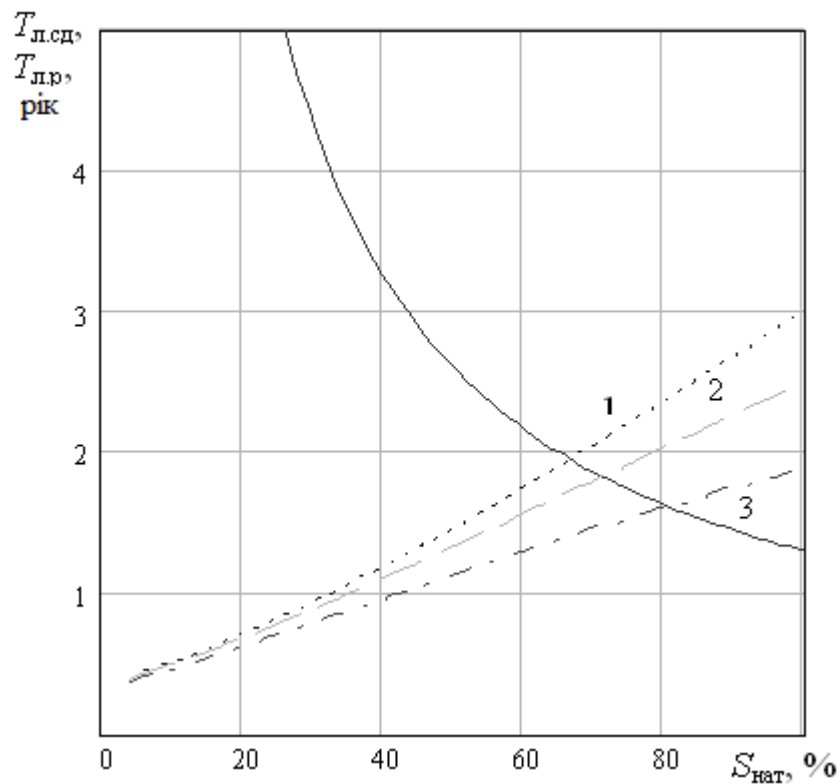


Рисунок 2.18 - Залежність терміну служби від зміни натягу стрічки при різному завантаженні конвеєра: 1- $q=500$ кг/м; 2- $q=600$ кг/м; 3- $q=700$ кг/м

У роботі для різної величини вантажу на стрічці було проведено обчислення при регульованому значенні натягу стрічки з метою досягнення рівномірного зношування стрічки від взаємного впливу вищевикладених факторів. На рис. 2.18. представлено декілька залежностей терміну служби стрічки при її руйнуванні від здавлювання та ударних навантажень.

Точки перетину цих залежностей при погонній масі, що дорівнює 500, 600 і 700 кг/м із залежністю терміну служби стрічки від розшарування, відповідають значенням натягу стрічки, рівним 68, 72 та 82 % від максимального значення.

Таким чином, зміну натягу необхідно здійснювати в залежності від завантаження конвеєра. При виборі швидкості транспортування необхідно визначити раціональне значення терміну експлуатації стрічки.

Розглянуті параметри конвеєра, такі як швидкість транспортування вантажу та його величина на погонний метр конвеєрного полотна безпосередньо впливають на продуктивність конвеєрної установки і продуктивність всього технологічного ланцюга, тому, керуючи натягом стрічки окремо взятої конвеєрної установки, здійснюється корекція узгодженої роботи елементів всього технологічного процесу.

2.4 Оцінка наведених витрат за зміни натягу стрічки конвеєра.

З метою спільного обліку витрат на споживання електроенергії та на знос конвеєрної стрічки необхідно все раніше отримані показники привести до вартісної величини.

Як одиниці відліку було взято вартість одного квадратного метра конвеєрної стрічки та вартість однієї кіловат-години.

На момент 01.01.2024 р. вартість одного квадратного метра гумовотканинної стрічки ТК-300 склала 3560 грн. за метр погонний згідно з прайс-листів. Вартість однієї кіловат-години на момент 01.01.2024 р. згідно з Укренерго склала без урахування ПДВ 528 коп/кВт год.

Щоб оцінити зношування конвеєрної стрічки, необхідно спочатку визначити її повну вартість. Для досліджуваного стрічкового конвеєра довжиною 300 метрів довжина стрічки становить орієнтовно 600 метрів. Повна вартість конвеєрної стрічки становитиме (2 136 000 грн.).

Для оцінки повних витрат, що припадають на рік роботи стрічки, необхідно повну вартість стрічки поділити на отриманий результат розрахунку термін служби конвеєра. Отже, за різного терміну служби стрічки і змінюватися величина капітальних витрат за стрічку на рік тобто значення наведених витрат. При цьому оперуємо лише частиною капітальних витрат, які припадають на вартість конвеєрної стрічки. Витрати на встановлення та розміщення не враховуються. Наведені витрати визначаються з виразу

$$C_n = C_o / T_{ст}$$

де C_o – повна вартість стрічки, грн.; $T_{ст}$ -термін служби стрічки конвеєра, рік. Залежності, отримані результаті розрахунку, показано на рис. 2.19.

З залежностей видно, що витрати від втоми розшарування носять лінійний характер, а залежність витрат при руйнуванні стрічки від здавлювання набуває форми нелінійності. Мінімальні витрати відповідають точці перетину даних залежностей, що відповідає 68% натягу стрічки конвеєра.

Щоб оцінити річні витрати роботи конвеєра, необхідно до витрат на стрічку додати витрати від енергоспоживання приводом конвеєра за рік. Тому до залежності зміни середнього значення наведених витрат (див. рис. 2.19) необхідно додати значення залежності зміни енергоспоживання від зміни натягу стрічки (див. п. 2.4), помножені на вартість одного кВт·год.

Залежність зміни річних енерговитрат від зміни натягу стрічки представлена на рис. 2.20. Сумарна залежність всіх аналізованих у роботі чинників, які впливають річні витрати з експлуатації конвеєра представлені на рис. 2.21.

Таким чином, мінімальні витрати на використання конвеєрної стрічки відповідають 1 106 250 грн. на рік при натягу стрічки 68%, а з урахуванням витрат на електроенергію вони становлять 5 234 250 грн. Максимальні значення

витрат становитимуть для конвеєрної стрічки 1 843 750 грн. при її натягу стрічки 40%, а з урахуванням витрат на електроенергію дорівнюють 5 971 750 грн. при 40% натягу стрічки конвеєра (див. рис. 2.21).

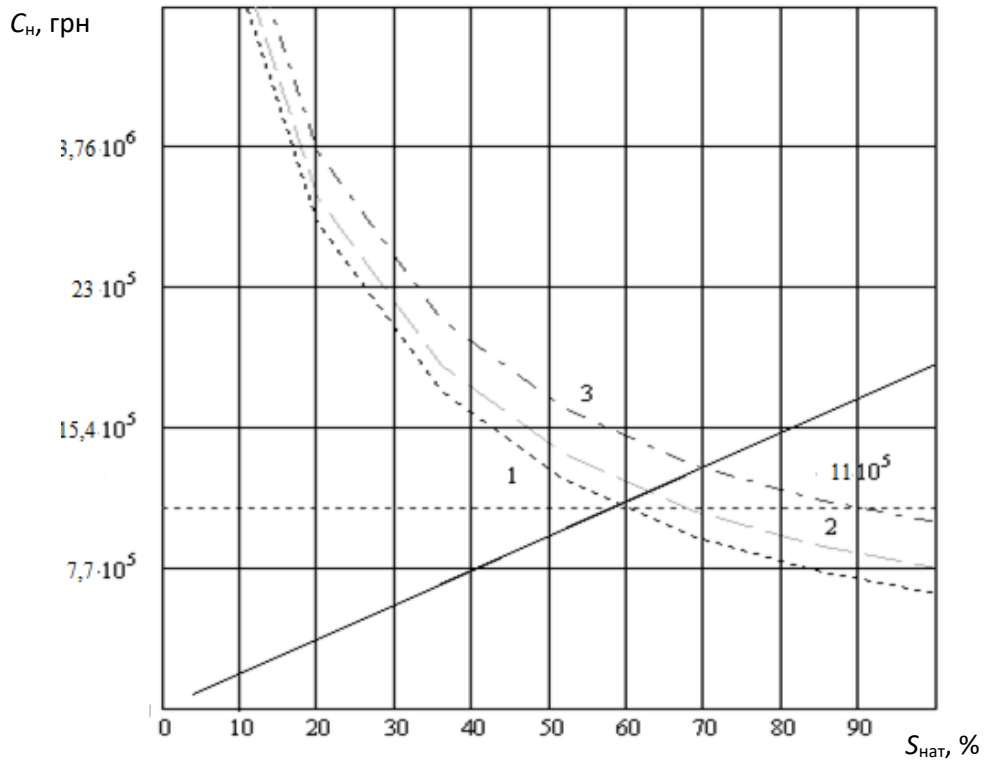


Рисунок 2.19 - Залежність зміни капітальних витрат на стрічку конвеєра від зміни натягу стрічки при різному навантаженні конвеєра:

1- $q=500$ кг/м; 2- $q=600$ кг/м; 3- $q=700$ кг/м

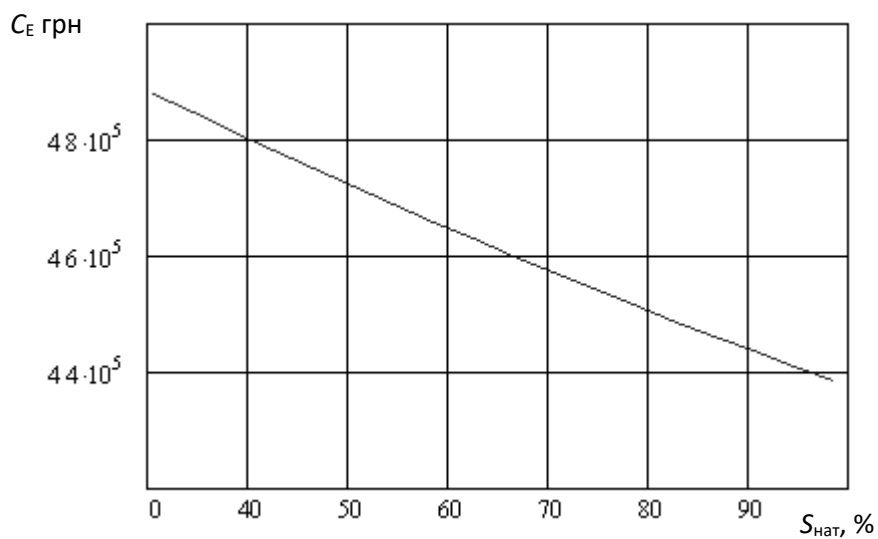


Рисунок 2.20 - Залежність зміни витрат з енергоспоживання протягом року від зміни натягу стрічки

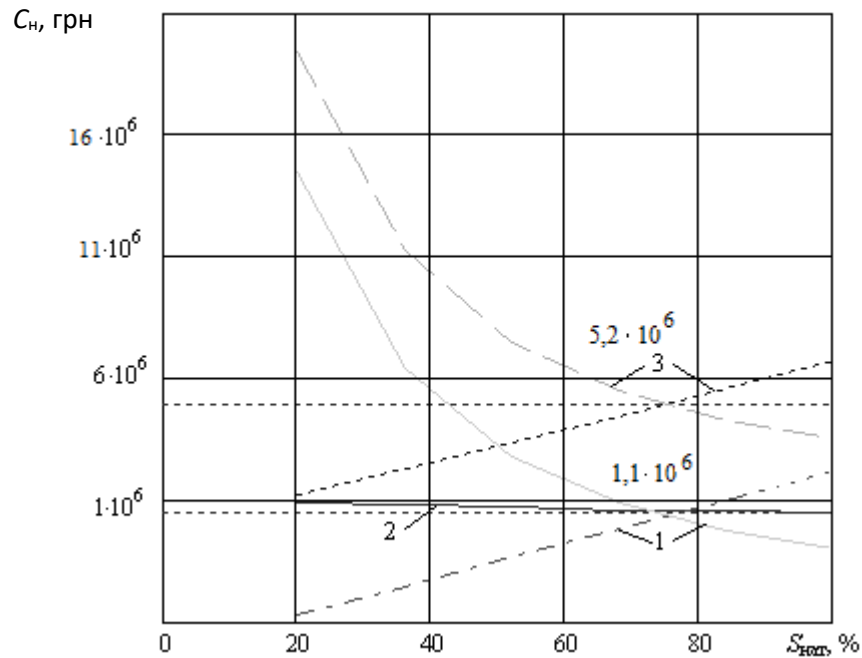


Рисунок 2.21 - Залежність зміни витрат на стрічку та витрат на енергоспоживання та їх сумарна залежність від зміни натягу стрічки

Отримані результати свідчать про економічну доцільність застосування регульованого натягу стрічки відповідно до викладених принципів. Крім того, попередній розрахунок показує, що використання пропонованого підходу для управління всіма конвеєрами гірничо-збагачувального комбінату дозволить отримати економічний ефект на два порядки більше ніж у аналізованому модельному прикладі.

2.5 Аналіз питомих витрат при транспортуванні вантажу на конвеєрній лінії із застосуванням регульованого натягу стрічки

Управління натягом стрічки у цій роботі зводиться забезпечення оптимальних режимів роботи конвеєра і конвеєрного тракту загалом, що у своє чергу призводить до збільшення терміну служби стрічки і цим зниження капітальних витрат за стрічку, наведених одного року експлуатації. Дані результати характеризують економічну доцільність управління натягом стрічки окремо взятому конвеєрі. При транспортуванні вантажу на гірничо-

збагачувальних комбінатах беруть участь, як правило, кілька конвеєрів укладених в одній лінії і розділені стадіями дроблення і подрібнення, тому доцільно розглянути зміна питомих витрат на транспортування вантажу для одного конвеєра, і для ділянки конвеєрної лінії. Таким чином, буде відображено зв'язок між управлінням по натягу стрічки конвеєра та управлінням технологічним процесом щодо зміни питомих витрат на транспортування однієї тонни вантажу. Враховуючи те, що натяг стрічки змінюється у функції зміни поточного вантажопотоку, все вище сказане зводиться до управління технологічним процесом.

Для розгляду було взято стрічкові конвеєри К3, К4, К5, потоково-дробильного комплексу гірничо-збагачувального комбінату ПівнГЗК.

У складі капітальних витрат не враховувалися витрати на монтажні роботи, а враховувалася лише вартість стрічки, що входить у вартість конвеєра.

Експлуатаційні витрати становили лише витрати на енергоспоживання приводу конвеєра. Не було враховано амортизаційні відрахування, витрати на стрічку, на поточний ремонт та заробітну плату.

Як вихідні дані використовуємо продуктивності конвеєрів і швидкості руху стрічки, які наведені в таблиці 2.1, погонна маса вантажу склала 232 кг/м для конвеєрів К3 і К5 і 186 кг/м для конвеєра К4 з розрахунків за формулою

$$q = \frac{Q_n}{3.6 \cdot v_{л}}$$

Мінімальний натяг вибирався з умови, що відповідає виразу

$$S_{\min} = 9.8 \cdot \frac{8 \cdot (q + q_{л})}{lp}, \text{ Н.}$$

Капітальні витрати та строки служби стрічок розраховані згідно з описом, поданим у п. 2.3 та п. 2.4.

Експлуатаційні витрати розраховані згідно з методиками, представленими у п. 2.4.

Отримані результати зведені у таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 - Вихідні дані та результати розрахунків капітальних та експлуатаційних витрат

Конвеєр	Тип стрічки	Довжина стрічки, м	Ширина м	К-сть прокл	$v_{л}$, м/с	Капітальні витрати C_o , грн	Експл. витрати C_E , грн
К3	ТК-300	600	2	5	2.0	2670000	2485056
К4	ТК-300	150	1.6	6	2.5	534000	492367
К5	ТК-300	160	2	6	2.0	711875	602619

Таблиця 2.2 - Вихідні дані та результати розрахунків питомих витрат

Конвеєр	Q_n т/год	T_{min} , рік $T_{зад}$	Об'єм млн. т	Довжин конв. L_k , м	Питомі витр. $C_{пит}$, грн/т*км	Серед. знач грн/т*км
К3	1671	1.15	13.84	270	1.485	3.86
		1.6	19.25			
К4	1671	0.22	2.647	70	5,258	3.86
		0.4	3.609			
К5	1671	0.3	3.609	75	4.84	3.86
		0.4	4.812			

Питомі витрати було отримано за виразом

$$C_{пит} = \frac{C_o + T_{cm} \cdot C_E}{Q_n \cdot T_{cm} \cdot L_k}$$

Результати наведено у таблиці 2.2.

В результаті було отримано такі висновки, що при використанні регульованого натягу, згідно з отриманими залежностями, питомі витрати на транспортування однієї тони вантажу на кілометр знижуються для конвеєрів

великої довжини на 0.352 грн/т·км, а для конвеєрів невеликої довжини на 1.15÷1.452 грн/ т.км. У сумі для трьох конвеєрів, що працюють у лінії, питомі витрати на транспортування знизилися на 0.99 грн/т·км, що підтверджує економічну доцільність застосування натягу, що регулюється.

2.6 Формування узагальненого техніко-економічного критерію оптимального управління технологічним процесом транспортування руди.

Формування критерію оптимального управління технологічним процесом спирається на результати, проведені в поточному розділі. Як управляючі величини розроблюваної системи адаптивного управління виступають погонна маса на стрічці (q), величина завдання рівня натягу стрічки ($S_{\text{нат.}}$), швидкість руху стрічки ($v_{\text{ст}}$). На виході системи отримуємо значення окружного зусилля на приводному барабані (W), потужність конвеєра (P), що споживається, передбачуваний термін служби стрічки ($T_{\text{ст}}$).

Завдання оптимального режиму роботи конвеєра здійснюється за допомогою викладених вище принципів управління, за допомогою яких здійснюється вибір оптимального режиму роботи конвеєра за допомогою регулювання натягу стрічки і швидкості обертання приводного барабана. В результаті досягається максимальне значення коефіцієнта корисної дії використання приводного барабана. У цьому враховуються поточні показники технологічного процесу, тобто. транспортування потоку рудної маси, які вводяться в еталонну модель для поточного режиму роботи та формується значення завдання натягу стрічки, при якому досягається найкращий режим експлуатації конвеєрів у складі конвеєрної лінії з точки зору енергозбереження та ресурсозбереження.

Для формування обмежень оптимальної роботи вимірюємо споживану потужність та набуваємо значення окружного зусилля, а вимірюючи витрати електроенергії отримуємо витрати на транспортування вантажу представлені у

грошовому вираженні. Управляючи натягом стрічки, знижується вплив різних факторів на її зношування (див. п.2.3).

Таким чином, необхідно за результатами аналізу вище наведених факторів сформулювати критерій оптимального управління технологічним процесом транспортування рудною масою за допомогою керування натяжною станцією та приводною станцією стрічкового конвеєра. Це дозволить вибрати оптимальний режим роботи конвеєра, так і конвеєрної лінії, до складу якої він входить, що в подальшому збільшить термін служби конвеєрів і знизить енергоспоживання при заданій продуктивності (див. п.2.4 рис.2.21).

Таким чином критерій оптимального управління процесом транспортування рудної маси можна сформулювати в такий спосіб.

При обмеженнях:

$$W \rightarrow W_{\text{завд}};$$

$$S_{\text{min}} \leq S_{\text{нат.}} \leq S_{\text{доп}};$$

$$\Delta P_{\text{xx}} \leq P < P_{\text{завд}};$$

$$T_{\text{ст}} \geq T_{\text{ст завд}}$$

де $W_{\text{окр}}$ - окружне зусилля, що передається на приводному барабані, Н;

S_{min} - мінімальний натяг стрічки, Н;

$S_{\text{нат.}}$ - натяг стрічки, що змінюється натяжною станцією, Н;

$S_{\text{доп.}}$ - гранично-допустимий натяг стрічки, Н;

P_{xx} - потужність, що витрачається під час роботи конвеєра на холостому ходу, кВт;

$P_{\text{завд.}}$ - потужність конвеєра визначає найбільш раціональний режим роботи, кВт;

P - споживана потужність, кВт;

$T_{\text{ст}}$ - реальний термін служби стрічки конвеєра, год;

$T_{\text{ст завд}}$ - термін служби конвеєрної стрічки обумовлений заводом-виробником, год.

Таким чином, величини, які повинні підтримуватися на оптимальному рівні при керуванні натягом стрічки, є термін служби стрічки, споживана потужність

$$T_{\text{ст}} \rightarrow \max,$$

$$P \rightarrow \min$$

при заданих вище обмеженнях.

Для отримання узагальненого показника величини витрат на транспортування вантажу та терміну служби стрічки конвеєра від зміни натягу стрічки необхідно всі величини витрат привести до грошової одиниці (гривня), тому були розглянуті наступні величини:

$T_{\text{розшарування}}$ – термін служби стрічки, що обмежується її втомним розшаруванням;

$T_{\text{здавлювання}}$ – термін служби стрічки, що обмежується втомним руйнуванням стрічки від здавлювання;

$C_{\text{розшарування}}$ - капітальні витрати на стрічку викликані втомним розшаруванням;

$C_{\text{здавлювання}}$ - капітальні витрати на стрічку викликані втомним руйнуванням стрічки від стискання за рік її роботи.

Тому критерієм оптимального управління можна вважати досягнення наступної рівності

$$C_{\text{здавлювання}} + C_e = C_{\text{розшарування}} + C_e,$$

де C_e - енерговитрати на експлуатацію конвеєра за рік його роботи.

Тому критерієм оптимального управління за ступенем зносу або терміном експлуатації стрічки можна вважати досягнення наступної рівності

$$C_{\text{здавлювання}} = C_{\text{розшарування}}.$$

Далі використовуватимемо не рівність, а відношення

$$k_{\text{зносу}} = C_{\text{розшарування}} / C_{\text{здавлювання}}.$$

Таким чином, при рівномірному зносі стрічки $k_{\text{зносу}} = 1$, коефіцієнт $k_{\text{зносу}} < 1$, якщо переважає знос стрічки від розшарування і $k_{\text{зносу}} > 1$, якщо переважає знос стрічки від стискання вантажем, що транспортується. Керуючись паспортними значеннями термінів служби стрічки, можна вибрати найбільш вигідний з погляду реальних умов експлуатації діапазон регулювання натягу стрічки.

Результати керування натягом стрічки за наведеним критерієм представлені у п. 2.4 рис.2.21.

Керуючись значеннями термінів служби стрічки, можна вибрати найвигідніший з погляду експлуатації діапазон регулювання рівнем натягу стрічки.

При заданих обмеженнях критерію оптимального управління, приймемо такі припущення.

Окружне зусилля на приводному барабані (W) в сталому режимі, можна прийняти постійним, а його зміну вважати тільки в процесі завантаження або розвантаження конвеєрного полотна, тобто від початкового моменту заповнення та до заповнення полотна по всій його довжині (процес завантаження) і навпаки (процес розвантаження).

Натяг стрічки в місці розташування натяжної станції змінюється в межах від натягу, що унеможливорює провисання стрічки (S_{\min}) до натягу (S_{\max}), що забезпечує десятикратний запас міцності стрічки [33]. Стики з'єднання стрічки конвеєрної за своєю міцністю відповідають граничному натягу стрічки конвеєра.

Потужність (P) відображає витрати на транспортування вантажу.

Таким чином, через витрати потужності та зношування обладнання, можна оцінити ефективність застосування АСУТП конвеєрної лінії при транспортуванні рудної маси.

В результаті управління досягається зниження капітальних витрат і витрат на експлуатацію конвеєра, що дозволяє знизити питомі витрати на транспортування рудної маси (див. п.2.5).

Таким чином, отриманий критерій оптимального управління технологічним процесом транспортування рудної маси включає САК з еталонною моделлю, яка враховує параметри технологічного процесу і формує завдання величини натягу стрічки для підвищення показників енергозбереження та ресурсозбереження обладнання. Взаємодія та узгоджена робота представлених систем виконується за допомогою програмно реалізованого регулятора адаптивного керування, який відповідно до ситуації вибирає оптимальний режим

управління. В результаті утворюється єдина система адаптивного керування конвеєрною лінією.

Висновки до розділу:

1. Дослідження існуючих АСУТП дало можливість обґрунтувати доцільність впровадження еталонної моделі, яка інтегрується в систему АСУТП з незначними доробками на нижньому рівні, що дозволяє оператору імітувати роботу конвеєрного тракту за поточними контрольованими параметрами і формувати величини завдання по натягу стрічки з метою забезпечення оптимального режиму експлуатації з точки зору енергоспоживання та зносу обладнання, зокрема, стрічки конвеєра.

2. Аналіз факторів, що впливають на термін служби стрічки, дозволив отримати залежність від терміну служби стрічки від зміни її натягу. Збільшення натягу стрічки (30÷100% від номінального) дозволяє знизити знос від втомного здавлювання та ударних навантажень на стрічку (1÷3 рік), а зменшення натягу (100÷30%) дозволяє знизити знос від втомного розшарування стрічки (1÷4рік), що в результаті знижує вплив одного фактору, але збільшує вплив іншого. Точка перетину отриманих залежностей говорить про рівномірне зношування при взаємному впливі і відповідає 2 рокам експлуатації.

3. Адаптивне управління досягається за допомогою критерію управління, який дозволяє знизити капітальні витрати та витрати на експлуатацію стрічкового конвеєра. Мінімальні витрати на використання конвеєрної стрічки відповідають 1 106 250 грн. на рік при натягу стрічки 68%, а з урахуванням витрат на електроенергію вони становлять 5 234 250 грн. Максимальні значення витрат становитимуть для конвеєрної стрічки 1 843 750 грн. при її натягу стрічки 40%, а з урахуванням витрат на електроенергію дорівнюють 5 971 750 грн. при 40% натягу стрічки конвеєра. В результаті збільшується термін служби стрічки від 1.2 до 2.0 року.

4. Управління натягом стрічки та швидкістю її руху, згідно з критерієм оптимального управління, знижує витрати на транспортування питомої одиниці (тони вантажу) на кілометр: для конвеєрів великої протяжності на 0.352 грн/т·км, а для конвеєрів невеликої довжини на 1.15÷1.452 грн/ т.км. У сумі для трьох конвеєрів, що працюють у лінії, питомі витрати на транспортування знизилися на 0.99 грн/т·км, що підтверджує економічну доцільність застосування натягу, що регулюється.

РОЗДІЛ 3

СИНТЕЗ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

3.1 Загальна структура адаптивної системи автоматичного керування натяжною станцією стрічкового конвеєра

Для реалізації узагальненого техніко-економічного критерію оптимального управління транспортуванням руди конвеєрним трактом найбільш підходять оптимальні та адаптивні системи автоматичного управління. Як об'єкти управління потоково-транспортної системи використовуються натяжна станція та приводна станція конвеєра.

У процесі розробки автоматичної системи управління натяжною станцією необхідно вибрати і обґрунтувати тип системи автоматичного управління, за допомогою якого можлива реалізація запропонованих принципів управління і відповідних їм методів управління.

У основу оптимальних систем управління натяжний станцією закладено принцип управління, за показником якості, тобто. критерію оптимального управління. Критеріями оптимальності розглядається мінімальна величина питомих витрат на транспортування руди при дотриманні заданих обмежень (див. роз. 2 п. 2.6).

Для реалізації системи автоматичного управління пропонується адаптивна система, яка забезпечує вибір оптимального режиму роботи конвеєра з мінімальними витратами на транспортування руди.

Основний контур включає в себе керуючий пристрій і об'єкт управління і являє собою звичайну систему управління зі стаціонарними параметрами. Блок адаптації отримує інформацію про вхідний вплив (задане натяг стрічки $S_{\text{нат завд}}$), що обурює (погонна маса вантажу q і швидкість руху стрічки $v_{\text{ст}}$), і вихідний величині (натяг стрічки $S_{\text{нат}}$) і впливає на керуючий пристрій основного контуру.

Функціональна схема розглянутої системи управління представлена на рис.

3.1.

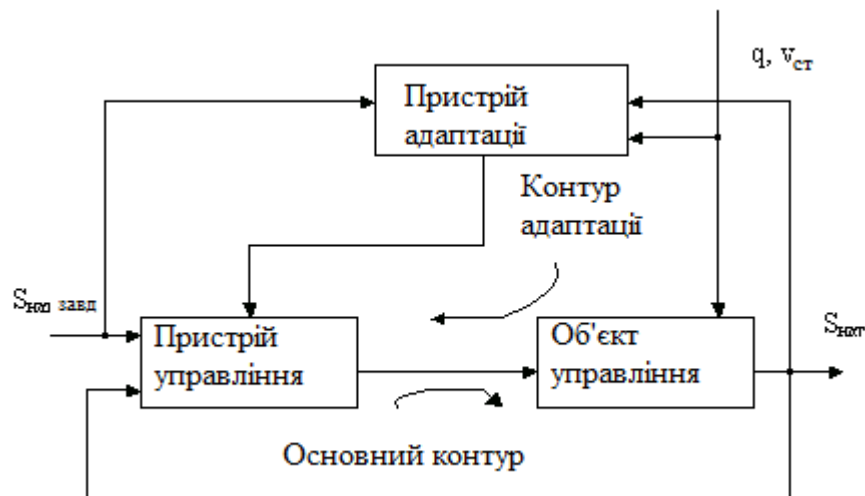


Рисунок 3.1 - Функціональна схема адаптивної системи

Таким чином, система автоматичного керування дозволяє керувати натяжною станцією, в результаті компенсується натяг стрічки в залежності від завантаження або розвантаження конвеєра, що є основним керуючим процесом в режимі, що встановився. При цьому виключається завищений натяг стрічки, що збільшує термін служби стикових з'єднань стрічки та самої стрічки в цілому.

Розглянемо закони управління, які закладені в систему автоматичного управління. Предметом досліджень є процеси, що протікають у конвеєрній установці під час управління натяжною станцією. Внаслідок зміни натягу стрічки змінюється опір руху вантажу на стрічці та змінюється режим роботи приводного барабана. Залежно від натягнення стрічки, швидкості її руху, а також крупності вантажу, що транспортується, змінюється термін експлуатації конвеєрної стрічки.

При зміні терміну служби стрічки змінюється величина капітальних витрат, що припадають однією рік роботи конвеєра. Все вищевикладене включає узагальнений техніко-економічний критерій оптимального управління технологічним процесом транспортування руди, представлений в розд. 2 п.2.6.

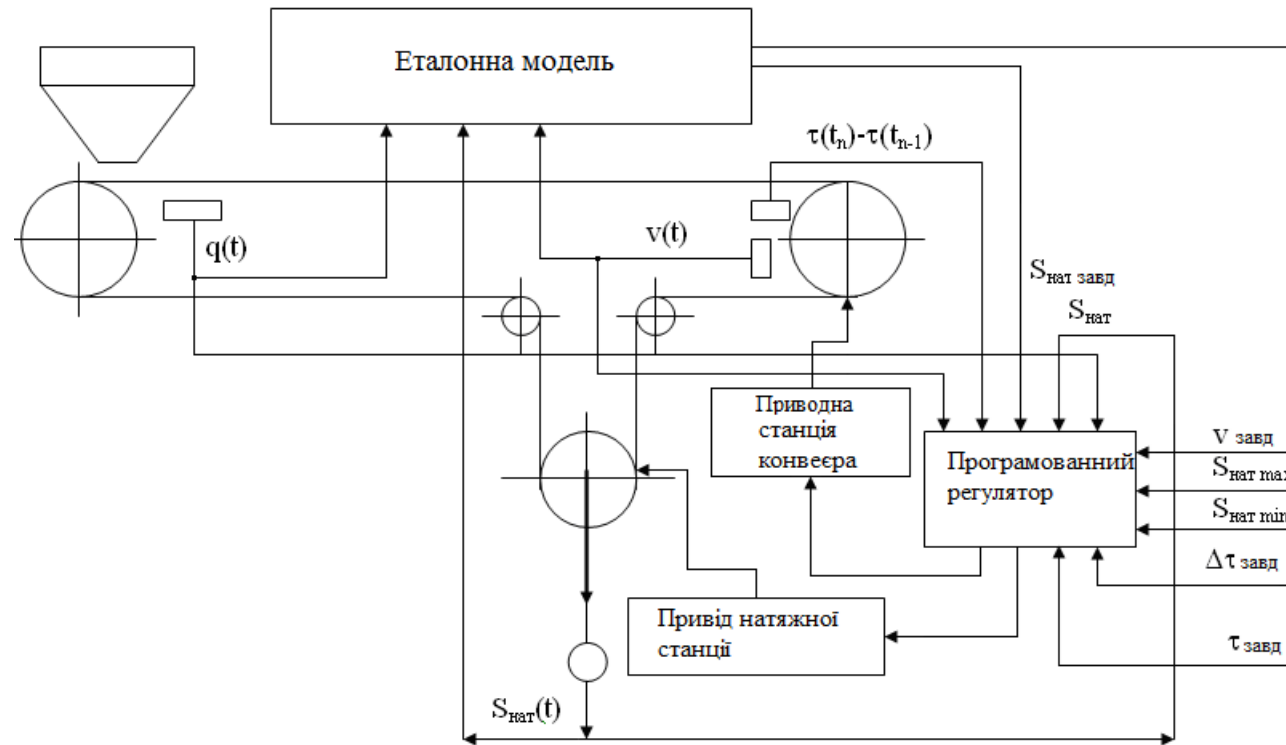


Рисунок 3.2 - Функціональна схема системи автоматичного управління натяжною станцією стрічкового конвеєра, що розробляється

У зв'язку з тим, що керувати натягом стрічки у функції капітальних витрат або функції терміну служби стрічки реалізувати важко, тому математична модель, що реалізує таке управління, закладена в еталонну модель адаптивної без пошукової системи автоматичного управління. Еталонна модель є аналогом конвеєрної установки отримує вхідні сигнали про масу вантажу на стрічці, швидкості руху стрічки, які змінюються в реальному часі. Вихідний сигнал з еталонної моделі порівнюється з поточним значенням натягу стрічки і сигнал помилки подається на регулятор.

3.2 Синтез алгоритму керування адаптивним регулятором

Система адаптивного управління, що розробляється, побудована на принципах управління, які реалізуються через зміну структури системи автоматичного управління. Пропонована система включає кілька контурів управління:

Контур керування натягом стрічки за значенням поточного натягу призначений:

- для завдання мінімального натягу в початковий момент пуску конвеєра без навантаження;
- для завдання максимально можливого натягу під час пуску конвеєра в завантаженому стані;
- для підтримки оптимального натягу, у встановленому режимі роботи конвеєра при завантаженні та розвантаженні конвеєрного полотна з урахуванням терміну служби стрічки.

Контур адаптації, що містить еталонну модель, призначений для реалізації оптимального управління на основі техніко-економічного критерію управління. Він містить:

- еталонну модель, що представляє собою модель конвеєра для визначення рівномірного зносу стрічки в реальному часі. Враховуються такі фактори, як втомне розшарування стрічки і втомне руйнування стрічки від здавлювання

матеріалом. У результаті зміни параметрів технологічного процесу, таких як погонна маса на стрічці, швидкість транспортування рудної маси, натяг стрічки, модель визначає найбільш економічно вигідний термін експлуатації і за критерієм управління формує сигнал завдання на управління натягом стрічки.

У результаті реалізації узгодженої роботи перерахованих контурів управління необхідно розробити алгоритм адаптивного управління. Закон регулювання, за яким працюватиме адаптивний регулятор, реалізований програмно. Вхідними сигналами, що надходять на вхід регулятора і змінюються в часі t , є сигнал маси вантажу на стрічці $q(t)$, швидкість руху стрічки $v(t)$, поточний натяг стрічки $S_{\text{нат}}(t)$. Як сигнали завдання, використовуються: величина максимально допустимого $S_{\text{нат max}}$, мінімально допустимого натягу в стрічці $S_{\text{нат min}}$, величина заданого значення натягу $S_{\text{нат завд}}$, швидкість руху стрічки $v_{\text{ст}}$, крок регулювання натягу ΔS , часовий інтервал для вимірювання температури Δt .

Відповідно до графічно представленого алгоритму на рис. 3.3 основна програма, що виконується контролером, відпрацьовує наступні дії:

- блок 1_ відображає зчитування даних завдання, які зберігаються в пам'яті контролера і надходять від еталонної моделі (контур адаптації). Дані під час введення можуть бути скориговані оператором;

- блок 2_ - виконується опитування датчиків вище названих величин визначення їх поточних значень;

- блок 3_ – визначається режим роботи конвеєра, який необхідний для виконання технологічного процесу. Система передбачає роботу в ручному та автоматичному режимі. Ручний режим відпрацьовує оператор, послідовно вибираючи необхідний режим роботи конвеєра взаємопов'язано з роботою конвеєрної лінії. Автоматичний режим системи відпрацьовується послідовно програмними засобами згідно зі зміною параметрів технологічного процесу;

- блок 4_ - підпрограма виконує керування конвеєром при пуску;

- блок 5_ - підпрограма, виконує управління при встановленому режимі роботи конвеєра;

- блок 6_ - підпрограма виконує зупинку конвеєра;

- блок 7_ - моніторинг поточних значень вимірюваних величин та величин завдання.

Розглянемо більш детально операції, що виконуються підпрограмою в блоці 4_ в момент пуску конвеєра. Система автоматичного керування використовує контур керування натягом стрічки за значенням поточного натягу та контур керування швидкістю обертання приводних барабанів конвеєра за швидкістю зростання температури у фрикційній зоні взаємодії приводних барабанів та стрічки конвеєра [3.5]. Алгоритм керування пуском конвеєра представлений на рис. 3.4.

Відповідно до алгоритму виконуються такі операції:

- блок 1 - перед пуском конвеєра, перевіряється величина натягу стрічки. Якщо умова не виконується, вмикаємо натяжну станцію, яка змінює натяг до значення рівного $S_{нат_min}$, після чого привід натяжної станції зупиняється. Мінімальне значення натягу найбільш оптимальне за відсутності вантажу на стрічці. Це знижує втомне розшарування в стрічці і знижує зусилля в місцях з'єднань стиків конвеєрної стрічки;

- блок 2 – відключення приводу натяжної станції;

- блок 3 – включення приводу натяжної станції;

- блок 4 – перевірка наявності вантажу на стрічці. Якщо умова виконується, переходимо до блоку 5, інакше до блоку 6;

- блок 5 - включення приводу конвеєра, при якому виконується плавний пуск конвеєра і збільшення швидкості руху стрічки до заданого значення $v_{ст}$;

- блок 6 – перевірка умови, чи відповідає величина натягу заданій величині;

- блок 7 – включення приводу натяжної станції задля досягнення заданого значення. У разі пуску конвеєра з вантажем необхідно значення натягу стрічки збільшити до заданого значення $S_{нат\ завд}$, яке формується еталонною моделлю;

- блок 8 – відключення приводу натяжної станції при досягненні заданого значення натягу стрічки;

- блок 9 – перевірка та порівняння із заданим значенням швидкості зростання температури фрикційної пари приводної станції конвеєра.

- блок 10 – перевірка значення температури нагрівання фрикційної пари приводної станції на наявність аварійного пробуксування. Якщо температура досягає критичного значення необхідно виконати відключення приводу конвеєра і виконати його зупинку;

- блок 11 – зміна швидкості обертання приводної станції у бік зменшення (регульований привід АД із частотним перетворювачем);

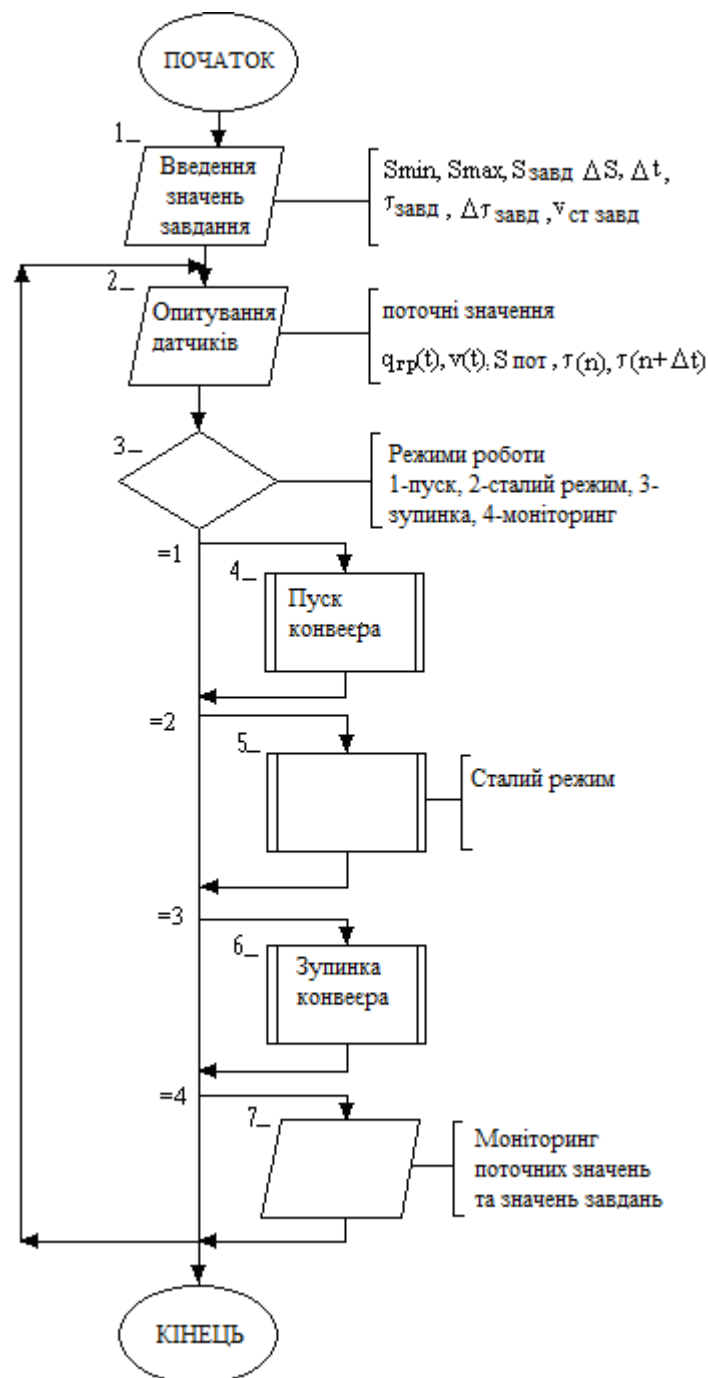


Рисунок 3.3 - Алгоритм основної програми адаптивного регулятора

- блок 12 – перевірка поточної швидкості руху стрічки. Якщо поточне значення не дорівнює заданій величині, то виконуємо плавне збільшення швидкості приводу;

- блок 13 – збільшення швидкості приводу конвеєра.

Після виконання плавного пуску переходимо на управління конвеєром в сталому режимі. У цьому режимі система управляє за допомогою наступних контурів. Управління натягом стрічки за поточним значенням. Управління натягом стрічки за швидкістю зростання температури в зоні фрикційної взаємодії пари приводний барабан – стрічка. Алгоритм програми представлено на рис. 3.5. Детально розглянемо операції, що виконуються в блоці 5 основної програми:

- блок 1 – перевірка наявності вантажу на стрічці. Якщо умова не виконується, необхідно натяг зменшити до мінімального значення;

- блок 2 – перевірка відповідності поточного натягу заданому мінімальному натягу;

- блок 3 – включення приводу натяжної станції зменшення натягу;

- блок 4 – порівняння поточного натягу з натягом завдання, що відповідає робочому натягу, яке формується еталонною моделлю;

- блок 5 – порівняння поточного натягу з максимально допустимим натягом завдання. Якщо натяг стрічки перевищив або дорівнює максимальному значенню, необхідно зменшити натяг;

- блок 6 – включення приводу натяжної станції на зменшення натягу;

- блок 7 – порівняння поточного натягу з натягом завдання, що відповідає робочому режиму. Якщо натяг стрічки вище значення завдання, необхідно зменшити натяг;

- блок 8 - порівняння поточного натягу з натягом завдання, що відповідає робочому режиму. Якщо натяг стрічки нижче значення завдання, необхідно збільшити натяг;

- блок 9 – включення приводу натяжної станції для збільшення натягу;

- блок 10 – порівняння швидкості зростання температури фрикційної пари приводу конвеєра із заданим значенням. Якщо швидкість зростання температури перевищує допустиму величину, необхідно збільшити натяг на величину ΔS ;

- блок 11 – включення приводу натяжної станції для збільшення натягу на величину ΔS ;

- блок 12 – зміна величини завдання щодо натягу стрічки на величину ΔS ;

- блок 13 – перевірка погонної маси вантажу на стрічці для контролю режиму завантаження та розвантаження конвеєрного полотна.

Зупинка конвеєра виконується згідно з підпрограмою, реалізованою в блоці 6_ основної програми. Підпрограма представлена графічним алгоритмом на рис.3.6 і складається з наступних блоків:

- блок 1 – перевірка умови на відсутність вантажу на стрічці конвеєра. Під час виконання умови відключається приводна станція конвеєра;

- блок 2 – вимкнення приводної станції конвеєра;

- блок 3 – включення гальма;

- блок 4 – зменшення натягу стрічки конвеєра;

- блок 5 – перевірка умови для досягнення натягом стрічки мінімального значення;

- блок 6 – перевірка умови аварійна зупинка або запланована;

- блок 7 – вимикання приводної станції конвеєра;

- блок 8 – включення гальма.

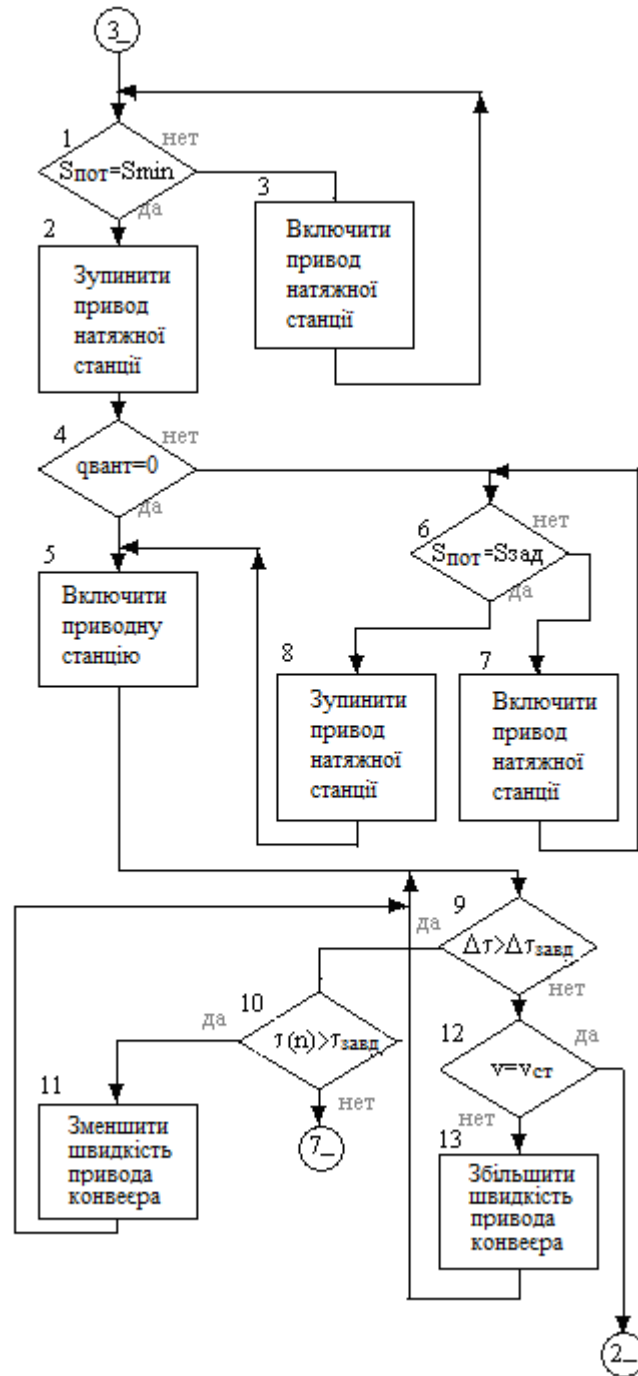


Рисунок 3.4 - Алгоритм підпрограми керування пуском конвеєра

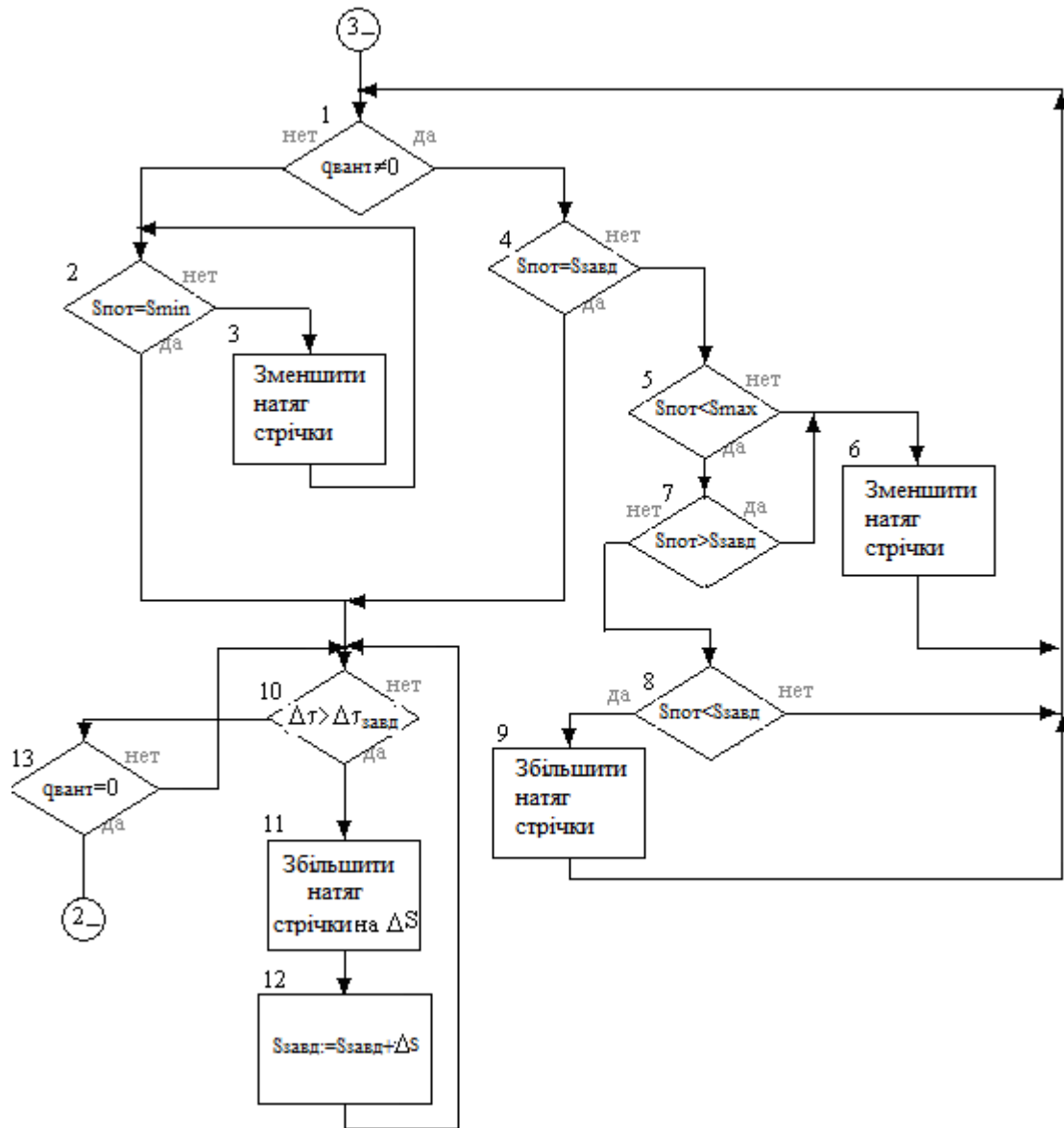


Рисунок 3.5 - Алгоритм підпрограми управління режимом конвеєра, що встановився

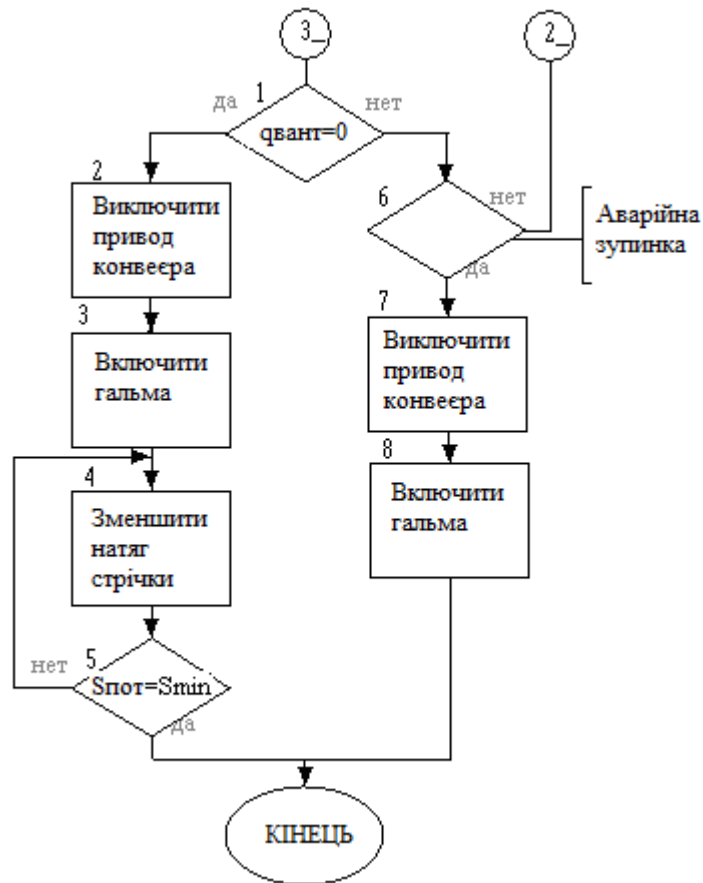


Рисунок 3.6 - Алгоритм підпрограми керування зупинкою конвеєра

Розроблена система автоматичного керування дозволяє керувати натяжною станцією, в результаті компенсується натяг стрічки в залежності від завантаження або розвантаження конвеєра. При такому управлінні задається раціональний режим експлуатації приводного барабана, а при врахуванні факторів, що впливають на термін служби стрічки конвеєра, які відображені в еталонній моделі, знижується величина питомих витрат на транспортування рудної маси.

3.3 Розробка еталонної моделі системи автоматичного керування.

Застосування еталонної моделі дозволяє отримати сигнал завдання (еталонний сигнал) на виході системи паралельно вихідному сигналу, отриманому на виході реально діючої системи. Більш докладно даний матеріал

викладено на початку глави, тут же розглянемо матеріал з технічної реалізації еталонної системи. В основу принципу роботи еталонної системи закладено критерій керування натягом стрічки. Він полягає у знаходженні точки перетину залежностей, що характеризують термін служби стрічки, який залежить від різних факторів, що впливають на знос стрічки конвеєра (див. розділ. 2 п. 2.3). З моделі представленої на рис. 3.1 можна зробити висновок, що положення вище сказаних характеристик залежить від швидкості матеріалу, що транспортується, погонної маси на стрічці, і поточного натягу. Для технічної реалізації моделі розглянемо окремий випадок, при якому швидкість транспортування та погонну масу вантажу приймемо постійними величинами, тоді залежності (3.12), (3.13) та (3.15), (3.16) будуть представлені наступними виразами

$$T_{\text{л.сд}} = \frac{9.259 \cdot 10^{-2}}{\left[\left[\frac{1}{1.8059 \cdot 10^{-4} \cdot S_{\text{нат}} + 1.9043} \right]^2 + 5.48 \cdot 10^{-3} \right]} \quad (3.1)$$

$$T_{\text{л.р}} = \frac{32541.6}{S_{\text{нат}}}. \quad (3.2)$$

В результаті система автоматичного управління натягу з еталонною моделлю буде представлена наступною структурною схемою (див. рис. 3.7).

Поточне натяг надходить на вхід еталонної моделі, де сигнал надходить у два блоки, на виході яких отримуємо значення терміну служби стрічки згідно з виразами (3.1) та (3.2). Отримані сигнали порівнюємо між собою.

Якщо величина сигналу, отриманого з виразу (3.1) менше або дорівнює значенню сигналу, отриманого з виразу (3.2), то на виході блоку порівняння отримуємо сигнал логічної одиниці. Управління натягом стрічки з використанням еталонної моделі здійснюється лише у разі наявності вантажу на стрічці конвеєра. Тому в системі використовується блок, що виконує логічне множення сигналу, що надходить для включення приводу натяжної станції, сигналу, що характеризує присутність вантажу на стрічці. В результаті за наявності двох активних сигналів на виході цього блоку буде встановлений активний сигнал включення приводу натяжної станції.

Таким чином, буде відбуватися збільшення натягу стрічки до тих пір, поки залежності (3.1) і (3.2) не досягнуть точки перетину, при якій стрічка конвеєра рівномірно зношується.

У розглянутому прикладі відбувається зміна натягу стрічки у бік зростання. У випадку зміни натягу у бік зменшення необхідно, щоб сигнал на привід натяжної станції надходив доти, поки значення виразу (3.1) буде більше або дорівнює значенню вираження (3.2). Натяг стрічки конвеєра буде змінюватися доти, доки вирази (3.1) і (3.2) не досягнуть рівності. Розглядаючи другий варіант роботи системи, необхідно відзначити, що при моделюванні потрібно замінити блок для перевірки умов, також необхідно здійснювати реверс приводу натяжної станції.

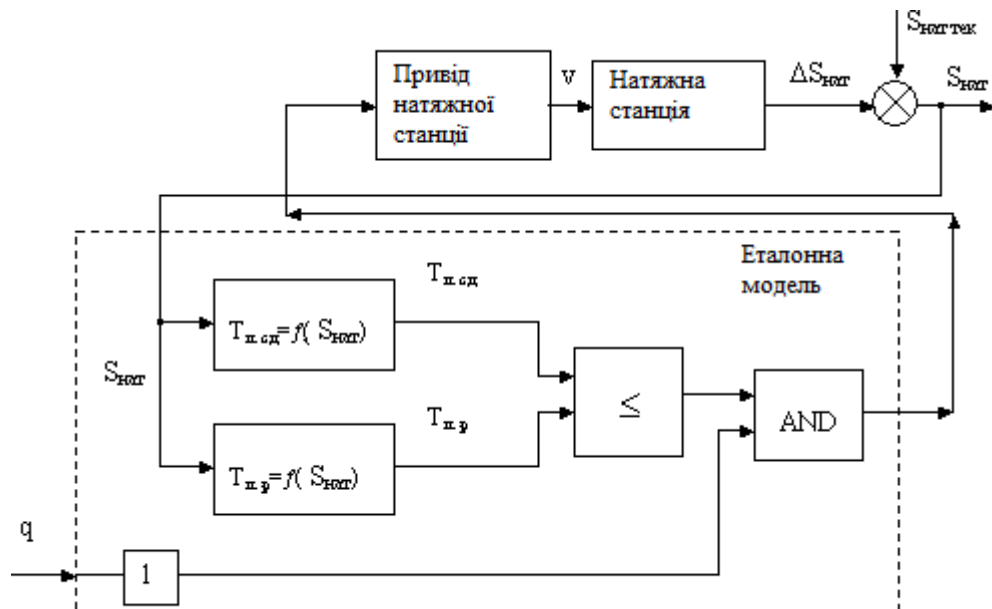


Рисунок 3.7 - Структурна схема системи автоматичного керування натяжною станцією з еталонною моделлю

З метою спрощення реалізації системи управління і виконання всіх поставлених завдань необхідно використовувати нелінійний блок (релейний елемент), який дозволяє здійснювати реверс приводу натягу в тому випадку, якщо умова не виконується. Повна реалізація системи управління представлена структурною схемою (див. рис. 3.8).

Подана схема на відміну від попередньої реалізує управління натягом стрічки як за наявності вантажу, так і за його відсутності. Тому, коли вантаж на стрічці відсутній сигнал, одержуваний на виході еталонної моделі, ігнорується, а управління натягом здійснюється за завданням відповідного мінімально можливого натягу. Незалежно від поточного натягу система змінюватиме натяг стрічки до тих пір, поки воно не досягне сигналу завдання. Цей фрагмент схеми включає блок завдання і блок більше або одно, який формує сигнал включення приводу. Для того щоб система працювала або по сигналу, отриманому з еталонної моделі, або по сигналу, що відповідає мінімально можливому натягу, використовуються блокування, реалізовані на логічних елементах "NOT", "AND", "XOR" і блоку, формує ного сигнал наявність вантажу на стрічці. Модель системи, яка реалізована за допомогою програми Simulink математичного пакета програм Matlab, виконує всі вище сказані функції, але при досягненні керованої величини величини завдання настає режим автоколивань, причиною якого є наявність нелінійного елемента. Привід виконує періодичний реверс, коли система прагне досягти величини завдання. Вирішення питання виключення автоколивань полягає в тому, що необхідно вимкнути привід натяжної станції, до того як почнеться процес автоколивань. Для цього необхідно зробити обмеження помилки, як для роботи контуру з урахуванням еталонної моделі, так і для роботи контуру з мінімально допустимим натягом. Принцип роботи побудований таким чином, різницевий сигнал, що отримується між порівнюваними величинами, надходить з суматора на блок, який видає значення сигналу по модулю, далі цей сигнал порівнюється із заданою величиною помилки в блоці порівняння більше або одно, і якщо умова ви -повнюється, формується сигнал логічної одиниці.

Сформований сигнал надходить на логічний блок "AND", який встановлює на виході логічну одиницю, якщо на другому його вході також буде одиниця (сигнал наявності або відсутності вантажу). У системі, що розробляється використовується два контури управління натягом за наявності вантажу і за його відсутності, які не можуть працювати одночасно.

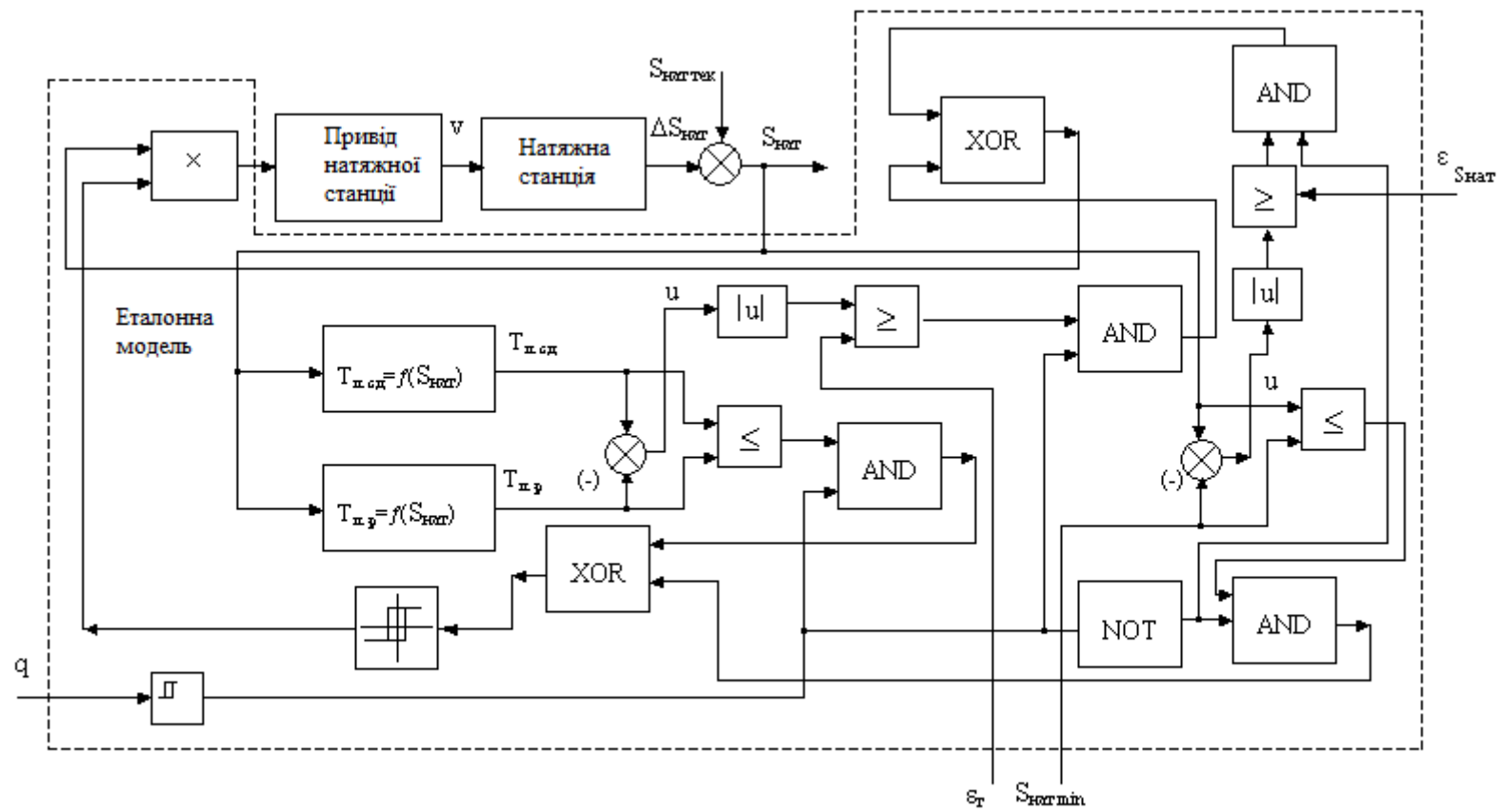


Рисунок 3.8 - Структурна схема адаптивної системи автоматичного керування натяжною станцією з еталонною моделлю

Для того щоб у певний момент часу працював тільки один контур необхідно використовувати блок "XOR" (виключаюче АБО), який за наявності на своїх входах логічних одиниць на виході видасть сигнал логічного нуля і вимкне привід. У зв'язку з тим, що застосування нелінійного (релейного) елемента не дозволяє отримати на своєму виході нульове значення, тому що він включає привід "1", або виконує його реверс "-1", тому на виході нелінійного елемента був встановлений блок множення із двома входами. На другий вхід цього блоку подається сигнал з блоку XOR, який несе інформацію про сигнал помилки для виключення автоколивань. У процесі роботи системи значення натяг стрічки буде змінюватися доти, поки різниця між поточним значенням і заданим не стане менше значення завдання. У результаті на другий вхід блоку множення надійде сигнал, рівний нулю, і привід натяжної станції буде вимкнений.

3.4 Обґрунтування програмно-технічної реалізації системи керування

Для реалізації алгоритмів адаптивного управління режимами роботи стрічкового конвеєра у складі потоково-транспортної системи пропонується до використання два типи промислових контролерів, які набули широкого поширення щодо реалізації завдань автоматичного управління технологічними процесами в металургії та гірничодобувній галузі Криворізького рудного басейну. Перший аналізований промисловий контролер фірми Siemens S7-300, який лідирує за впровадженнями на металургійному комбінаті "Міталстіл" та гірничо-збагачувальних фабрик комбінату "ПівніЗК". Другий представлений до розгляду промисловий контролер фірми Schneider Electric ПЛК TSX 37, який охоплює широке коло впроваджень, проте в даний час домінує за впровадженням у названих вище галузях. Основна перевага другого контролера над першим стосовно автора роботи полягає в тому, що в Криворізькому технічному університеті на кафедрі "Інформатики автоматичного управління та систем управління" створена лабораторія на базі контролерів фірми Schneider Electric. Існуюча технічна база дозволяє виконати розробку програмного забезпечення для

алгоритмів управління та провести моделювання процесу управління технологічним процесом потоково-транспортної системи.

Таким чином, перевага на даному етапі роботи надається контролеру фірми Schneider Electric ПЛК TSX 37 у зв'язку з доступністю реалізації, проте після незначних змін програмна реалізація отриманого програмного забезпечення може використовуватися і для контролера S7-300.

Реалізація технічного та програмного рішення адаптивного регулятора включає наступні етапи:

- розробка рішення для завдання автоматизації;
- реалізація технічного та програмного рішення;
- конфігурування апаратури;
- створення програми;
- передача програми в CPU та її налагодження.

Розглянемо докладно етапи реалізації технічного та програмного рішення. Розробка рішення для задач автоматизації детально проведена на початку даного розділу. Так, у п. 3.2 представлені алгоритми адаптивного управління, якими виконується управління для поточного режиму стрічкового конвеєра. Сам конвеєр сприймається як елемент потоково-транспортної системи.

Для реалізації технічного та програмного рішення використовуємо контролер фірми Schneider Electric ПЛК TSX 37. Обґрунтування обраного обладнання полягає у доступності та можливості моделювання та імітації режимів роботи досліджуваного технологічного процесу. Як програмне забезпечення використовується Система PL7 Junior, яка є програмним забезпеченням для роботи ПЛК TSX 37 та TSX/PMX/PCX 57 під керуванням Windows.

Програмне забезпечення PL7 Micro може використовуватись лише для програмування ПЛК TSX 37.

Програмне забезпечення PL7 Pro надає на додаток до функцій, що забезпечуються програмним забезпеченням PL7 Junior, можливість створення

користувацьких функціональних блоків DFB (Derived Function Block), екранів роботи програми та функціональних модулів.

Програмне забезпечення PL7 Prodyn є інструментом розробки (контролю, діагностики, підтримки) для ПЛК TSX 37 та TSX/PMX/PCX 57, Воно не може використовуватися для створення або модифікації програми.

Програмне забезпечення PL7 (1) містить:

- графічна мова, мова Ступінчастої Логіки Ladder (LD) для розшифровки діаграм Ladder, які є особливо придатними для комбінаторної обробки. Він містить основні графічні елементи: контакти, котушки та блоки. Числові обчислення можуть записуватися до операційних блоків.

- Логічна мова (Boolean), Мова Список команд (Instruction List (IL)), яка є «машинною» мовою для запису логічних та числових операцій обробки. Ці мови використовують зумовлені функціональні блоки (таймери, лічильники, тощо), які доповнюються спеціалізованими функціями, що визначаються додатком (аналоговий пристрій комунікаційний, лічильний і т.д.), і просто спеціалізованими функціями (керування часом, символічна обробка тощо) .п.).

Об'єкти мови можуть замінюватися символами шляхом використання редактора змінних або редактора програми в режимі реального часу.

Програмне забезпечення PL7 використовується для програмування ПЛК відповідно до стандарту IEC: PL7 реалізує підмножину елементів мови, визначених стандартом, а також визначає деякі доповнення, використання яких дозволено стандартом.

Стандарт IEC 1131-3 "ПЛК - частина 3: Мови програмування" визначає синтаксис та семантику елементів програмного забезпечення, що використовуються при програмуванні ПЛК. У цьому стандарті описані дві текстові мови (IL – Список інструкцій та ST – Структурований текст), дві графічні мови (LD – Мова Діаграм Сходової Логіки та FBD – Мова Діаграм Функціональних Блоків), а також мова графічних схем SFC (Мова послідовних функціональних схем).

Конфігурація устаткування. Для кращої відповідності вимогам користувача програмований логічний контролер (ПЛК) TSX37 випускається в трьох виконаннях:

- ПЛК TSX 37-10 компактний, модульний ПЛК, який випускається у шести базових конфігураціях, що відрізняються напругою живлення та типом дискретного модуля входів-виходів, встановленого в першому слоті. Максимальна кількість входів-виходів для цих типів ПЛК становить: 128 - при використанні з'єднань "під гвинт", і 184 - при використанні з'єднувачів HE 10.

- ПЛК TSX 37-21-модульний, з вбудованим астрономічним годинником, з можливістю розширення розміру пам'яті та встановлення комунікаційного модуля. Цей ПЛК не має вбудованих входів-виходів, але дозволяє встановлювати до 160 входів-виходів при використанні з'єднань під гвинт і до 248 - при використанні з'єднувачів HE 10. ПЛК TSX 37-21 мають 2 конфігурації, що відрізняються напругою живлення змінного (AC) чи постійного (DC) струму.

- ПЛК TSX 37-22 модульний, має характеристики, ідентичні ПЛК TSX 37-21, має вбудовані аналогові входи-виходи та рахункові канали.

Всі типи дискретних та аналогових модулів, модулів швидкого рахунку та ін. можуть бути встановлені у всі доступні слоти ПЛК. Для кращої адаптації до вимог користувача дискретні модулі бувають двох форматів: стандартний, який займає один слот (два настановні місця) і напівформатний, який займає лише одне настановне місце. Усі інші модулі (аналогові, лічильні та інших.) – напівформатні. За допомогою міні-шасі розширення, яке може бути безпосередньо підключено до базового шасі, можна збільшувати кількість доступних слотів і, відповідно, кількість модулів, що встановлюються.

Спираючись на матеріал, викладений у п. 3.1 на вибір датчиків для контрольованих величин, сигналів і об'єктів управління для системи, що розробляється, сформуємо вимоги і виконаємо обґрунтування, яке стосується застосування контролера і додаткових модулів у складі її конфігурації. У системі автоматичного управління, що розробляється, контролюються п'ять величин: швидкість руху стрічки, маса вантажу на стрічці, натяг стрічки, температура в

зоні фрикційної взаємодії приводу конвеєра, швидкість її зростання. Для визначення цих величин використовуються чотири датчики:

- погонна маса вантажу на стрічці q вимірюється конвеєрними вагами MUS (Milltronics Universal Belt Scale);

- контроль натягу стрічки виконується тензометричним датчиком на розтягування-стиснення Мерадат К-20, встановлений між натяжним барабаном з візком та поліспаотною системою натяжної станції;

- контроль швидкості визначаємо за допомогою сенсора швидкості MD-256 для стрічкових ваг фірми виробника Siemens Milltronics Process;

- для контролю температури використовується інфрачервоний пірометр ARDOCELL PS 1X фірми виробника Siemens A&D. На основі пропонованого датчика визначається також швидкість зростання температури під час його опитування з постійним інтервалом часу.

Автоматичні системи керування приводів важких стрічкових конвеєрів передбачають контроль струму у статорній обмотці двигуна. У результаті кількості аналогових сигналів додаються сигнали контролю струму, кількість яких дорівнює кількості двигунів приводної станції, що цій роботі не розглядається.

Таким чином, для контролю технологічного процесу на основі перерахованих датчиків необхідно для їх підключення чотири аналогові входи, які інтегровані у базовому шасі контролера.

В результаті система автоматичного управління впливає на такі об'єкти управління, як приводна станція конвеєра та натяжна станція конвеєра, приводом якої виступає лебідка. Для їх управління необхідно два аналогові виходи.

Кількість дискретних входів-виходів залежить від того, скільки контролерів використовується для роботи стрічкового конвеєра. Процес керування конвеєром можна розподілити на дві системи:

- автоматизована система дистанційного керування АСДУ;
- автоматизована система управління технологічним процесом АСУ ТП.

Якщо обидві системи реалізуються з урахуванням одного контролера, необхідно враховувати кількість вхідних і вихідних сигналів, які необхідні системи АСДУ, що у роботі не розглядається, тому враховуємо лише кількість дискретних сигналів необхідне АСУ ТП. З розробленого вище графічного алгоритму (див. рис. 3.3-3.6) випливає, що необхідний один дискретний вихід для включення та вимкнення приводу конвеєра та два дискретних виходи для керування реверсивною лебідкою приводу натяжної станції. Дискретні входи необхідні контролю наявності вантажу на стрічці, положення візка хвостового барабана чи натяжного барабана під час управління натяжною станцією. В результаті для роботи АСУ ТП, що розробляється, використовується три дискретні входи і три дискретні виходи.

У розроблюваній системі автоматичного управління задіяні шість сигналів завдання. Два сигнали формуються еталонними моделями на підставі критерію адаптивного керування отриманого в дисертаційній роботі та чотири сигнали необхідні для введення завдань оператором, завдання яких формується програмно.

Для реалізації апаратної частини використовуємо контролер TSX 37-22, який містить шасі з вбудованим джерелом живлення 24 В постійного струму (TSX 37 22 101) або 100-240 В змінного струму (TSX 37 22 001), процесор, пам'ять, систему резервного копіювання та 3 слота для модулів У таблиці наведено максимальні конфігурації ПЛК TSX 37-22 (максимальна кількість входів-виходів). Структурна схема представлена на рис.3.9

Комплектація шасі ПЛК 37-22, що застосовується, включає:

- шасі з вбудованим джерелом живлення (24 VDC або 100-240 VAC), процесор, пам'ять, резервну пам'ять FLASH EPROM та два слоти для модулів;
- дискретний модуль стандартного формату на 28 або 64 I/O, встановлений у першому слоті шасі (TSX DMZ 28 DTK: 16 вх. 24 VDC, 12 транзисторних вих);

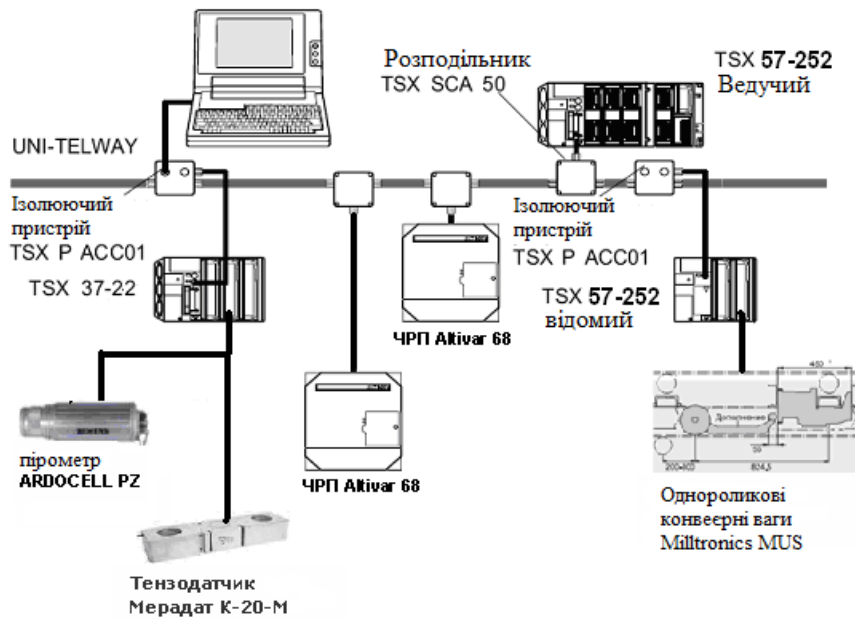


Рисунок 3.9 - Структурна схема АСУ ТП

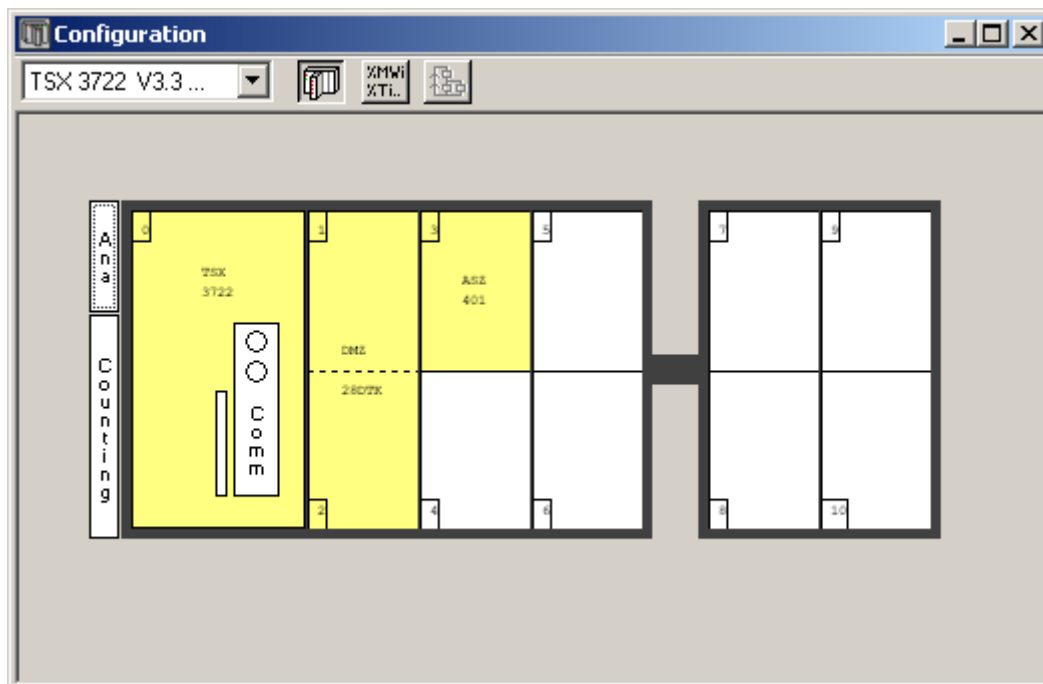


Рисунок 3.10 - Конфігурація контролера в PL7

- аналоговий модуль TSX ASZ 401 має 4 аналогові виходи із загальною точкою, кожен вихід у діапазоні $\pm 10V$, без потреби у зовнішньому джерелі живлення з навантаженням до 2кОм. Конфігурація контролера в PL7 на рис. 3.10.

3.5 Реалізація алгоритмів системи автоматичного керування

Для реалізації програми спочатку використовуємо мову Сходової Логіки, яка складається з послідовності щаблів, що виконуються ПЛК послідовно.

Ступінь складається з набору графічних елементів, обмежених ліворуч і праворуч шинами живлення.

Набір графічних елементів включає:

- Входи/виходи ПЛК (кнопки, датчики, реле, індикаторні лампи тощо).
- Стандартні керуючі системні функції (таймери, лічильники тощо).
- Арифметичні, логічні та спеціальні операції.
- Внутрішні змінні ПЛК.

Графічні елементи з'єднуються вертикальними та горизонтальними зв'язками. Кожен ступінь складається з 7 рядків та 11 колонок, які розділені на 2 зони:

- зону умов, що містить умови, необхідні для виконання дій.
- зону дій, що містить оператори, які мають бути виконані за результатами, отриманими у зоні умов.

Основні елементи. Кожен базовий елемент займає один осередок (один рядок по висоті та одну колонку по ширині).

В результаті згідно з розробленими алгоритмами у п. 3.2 виконано їх опис з використанням мови сходової логіки. Для представлення алгоритмів адаптивного управління на основі логічних елементів необхідно вихідні алгоритми подати у вигляді логічних виразів, на основі яких відбувається їх подальша реалізація. При цьому реалізація алгоритмів, що розгалужуються, виконується з точки зору виконання кінцевої дії як по гілці коли результатом операції є "істина", так і по гілці алгоритму де результатом операції є "брехня". Складемо список змінних, які будуть використовуватись у програмі в місце контрольованих величин та величин якими здійснюється безпосереднє управління:

MW1 – $S_{\text{пот}}$ поточного натягу стрічки конвеєра;

MW2 – S_{min} – мінімальний натяг ленто;

MW3 – $q_{\text{вант}}$ - погонна маса матеріалу;

MW4 – $S_{\text{завд.}}$ – заданий натяг стрічки;

MW5 - $\Delta\tau$ - швидкість зростання температури при нагріванні футерування приводного барабана;

MW6 - $\Delta\tau_{\text{зад}}$ зад – задана величина швидкості зростання температури;

MW7 - $\tau_{\text{завд}}$ – величина завдання температури;

MW8 - $\tau(n)$ – контрольована величина температури;

MW9 - вибір режиму роботи конвеєра;

MW10 - v – контрольована швидкість руху стрічки;

MW11 – $v_{\text{стр}}$ – швидкість руху стрічки;

MW12 - ΔS – крок зміни натягу стрічки;

MW13 – аварійна зупинка;

MW14 – S_{max} – максимальний натяг стрічки;

M2 – проміжна змінна;

M3 – проміжна змінна;

M4 – зупинка приводу натяжної станції;

M5 - включення приводної станції;

M6 – включення приводу натяжної станції;

M7 - збільшення швидкості приводу конвеєра;

M8 – зменшення швидкості приводу конвеєра;

M9 - зупинка приводної станції;

M10 - включення гальма;

M11 – зменшення натягу стрічки 1;

M12 - кінець програми "пуск конвеєра"

M13 – збільшення натягу стрічки 1;

M14 – збільшення натягу стрічки на ΔS ;

M15 – допоміжна змінна.

Таким чином, раніше виконані алгоритми перетворимо на зручну форму для пояснення реалізації мовою LD.

Спочатку розглядаємо програму режиму запуску конвеєра. Для керування у цьому режимі присвоюємо змінної $MW9=0$.

Отримуємо такі вирази:

$$M4 := (MW1 = MW2) \wedge (MW3 \neq 0) \wedge (MW1 = MW4) \vee (MW1 = MW2);$$

$$M6 := (MW1 \neq MW2) \vee (MW1 = MW2) \wedge (MW3 \neq 0) \wedge (MW1 \neq MW4);$$

$$M5 := (MW1 = MW2) \wedge (MW3 = 0) \vee (MW1 = MW2) \wedge (MW3 \neq 0) \wedge (MW1 = MW4);$$

$$M7 := (M5="1") \wedge (MW5 < MW6) \wedge (MW10 \neq MW11);$$

$$M8 := (M5="1") \wedge (MW5 > MW6) \wedge (MW8 \neq MW7).$$

Значення змінної $M4$ відображає дію зупинити привід натяжної станції і формується результатом виконання програми в блоках 2 і 8 алгоритму (див. рис.3.5) при цьому розглядаються дві гілки алгоритму, за якими виконується програма. Перша гілка – виконання умов у блоках 1,4,6. Друга гілка містить лише блок 1.

Змінна $M6$ відображає дію включити привід натяжної станції і формується результатом виконання програми в блоках 3 і 7. Тут також є дві гілки виконання програми. Перша гілка містить тільки блок 1, а друга включає блоки 1,4,6 (див. рис.3.5).

Змінна $M5$ відображає дію включити приводну станцію, яка відповідає блоку 5. Для виконання цієї операції передують умови в блоках 1 і 4 по одній галузі алгоритму або виконання умов в блоках 1,4,6 по другій галузі.

Змінна $M7$ містить значення, яке виконує збільшення швидкості приводної станції, що відображається в блоці 13. Для виконання цієї дії необхідно, щоб $M5$ було встановлено в 1 і виконання умов у блоках 9 і 12 згідно з розглядом їх у поданому виразі.

Змінна $M8$ містить значення, яке зменшує швидкість приводної станції, що відповідає блоку 11 вихідного алгоритму. При виконанні цієї операції необхідно

щоб їй передували такі операції як M5 встановити 1 і виконання умови в блоці 9 і 10.

Таким чином, згідно з отриманими виразами будується схема сходової логіки для виконання пуску конвеєра, яка представлена на рис. 3.11 та рис. 3.12.

Аналогічно розглядаємо алгоритм управління режимом роботи конвеєра, який представлений на рис. 3.6.

Управління в режимі роботи конвеєра здійснюється при значенні змінної MW9=1. Проводимо перетворення алгоритму на рис. 3.6 і записуємо його у вигляді наступних виразів:

$$M11 := (MW3=0) \wedge (MW1 \neq MW2) \vee (MW3 \neq 0) \wedge (MW1 \neq MW4) \wedge (MW1 \geq MW14) \vee (MW3 \neq 0) \wedge (MW1 \neq MW4) \wedge (MW1 < MW14) \wedge (MW1 > MW4);$$

$$M13 := (MW3 \neq 0) \wedge (MW1 \neq MW4) \wedge (MW1 < MW14) \wedge (MW1 < MW4);$$

$$M14 := (MW3=0) \wedge (MW1 = MW2) \wedge (MW5 > MW6) \vee (MW3 \neq 0) \wedge (MW1 = MW4) \wedge (MW5 > MW6).$$

Змінна M11 відображає дію зменшити натяг стрічки, що виконується блоками 3 та 6 (див. рис. 3.6). Ця дія виконується у разі виконання умов у блоках 1 і 2 або з іншої гілки в блоках 1, 4, 5, а також по гілці містить блоки 1, 4, 5 і 7.

Змінна M13 містить інформацію про дію збільшити натяг стрічки, яке виконуються в блоці 9. Для виконання цієї умови необхідно виконання умов у блоках 1, 4, 5, 7 та 8 згідно з описаними у виразі.

Змінна M14 відображає дію збільшити натяг на ΔS при виконанні умов у блоках 1, 2, 10 по одній галузі алгоритму або виконання умов у блоках 1, 4 і 10 по іншій галузі відповідно до тих умов, які записані у виразі.

На наступному етапі розробки програми виконується переклад отриманих виразів елементи сходової логіки LD. Схема LD представлена на рис. 3.11 та рис. 3.12.

Розглянемо реалізацію алгоритму регулятора адаптивного управління під час виконання режиму зупинки конвеєра як запланованого, і у випадки аварії. Графічний алгоритм подано на рис. 3.6 у п. 3.2. Для виконання програми у цьому

режимі задаємо значення змінної $MW9=2$. Вище названий алгоритм перетворюємо на логічні висловлювання для її подальшої реалізації за допомогою програмної мови LD. В результаті отримуємо такі вирази:

$$M9 := (MW3 = 0) \vee (MW3 \neq 0) \wedge (MW13 = "1");$$

$$M10 := (M9 = "1");$$

$$M11 = (MW3 = 0) \wedge (MW1 \neq MW2);$$

$$M12 = (MW13 = "1") \vee (MW1 = MW2) \wedge (MW9=2) \text{ умовна сигналізація.}$$

Змінна M9 відповідає за відключення приводу конвеєра, яке виконується у блоках 2 та 7 графічного алгоритму (див. рис. 3.6). Для виконання цієї дії необхідно виконати умови, які містить блок 1 або по другій гілці, не виконання умови в блоці 1 і в блоці 6 ($MW13="1"$).

Змінна M10 відповідає за увімкнення гальма при зупинці конвеєра, яке виконується в блоках 3 і 8. Дія виконується, якщо змінна M9 встановлена в "1".

Змінна M12 призначена для включення аварійної сигналізації у випадку незапланованого зупинення конвеєра. Ця дія здійснюється, якщо умова у блоці 6 не виконується ($MW13="1"$) або виконується умова у блоці 5 при $MW9=2$.

Таким чином, всі три режими контролюються, і виконується керування через контрольовані величини та сигнали завдання. Перехід з одного режиму в інший виконується послідовно в автоматичному режимі, змінюючи значення змінної MW9, а також це можна виконувати в ручному режимі, змінюючи значення змінної MW9 вибірково. В результаті формується основна програма (рис. 3.3) та підпрограми кожного окремо розглянутого режиму роботи конвеєра. Лістинг розробленої програми з використанням мови сходової логіки представлений у рис. 3.11 та рис. 3.12.

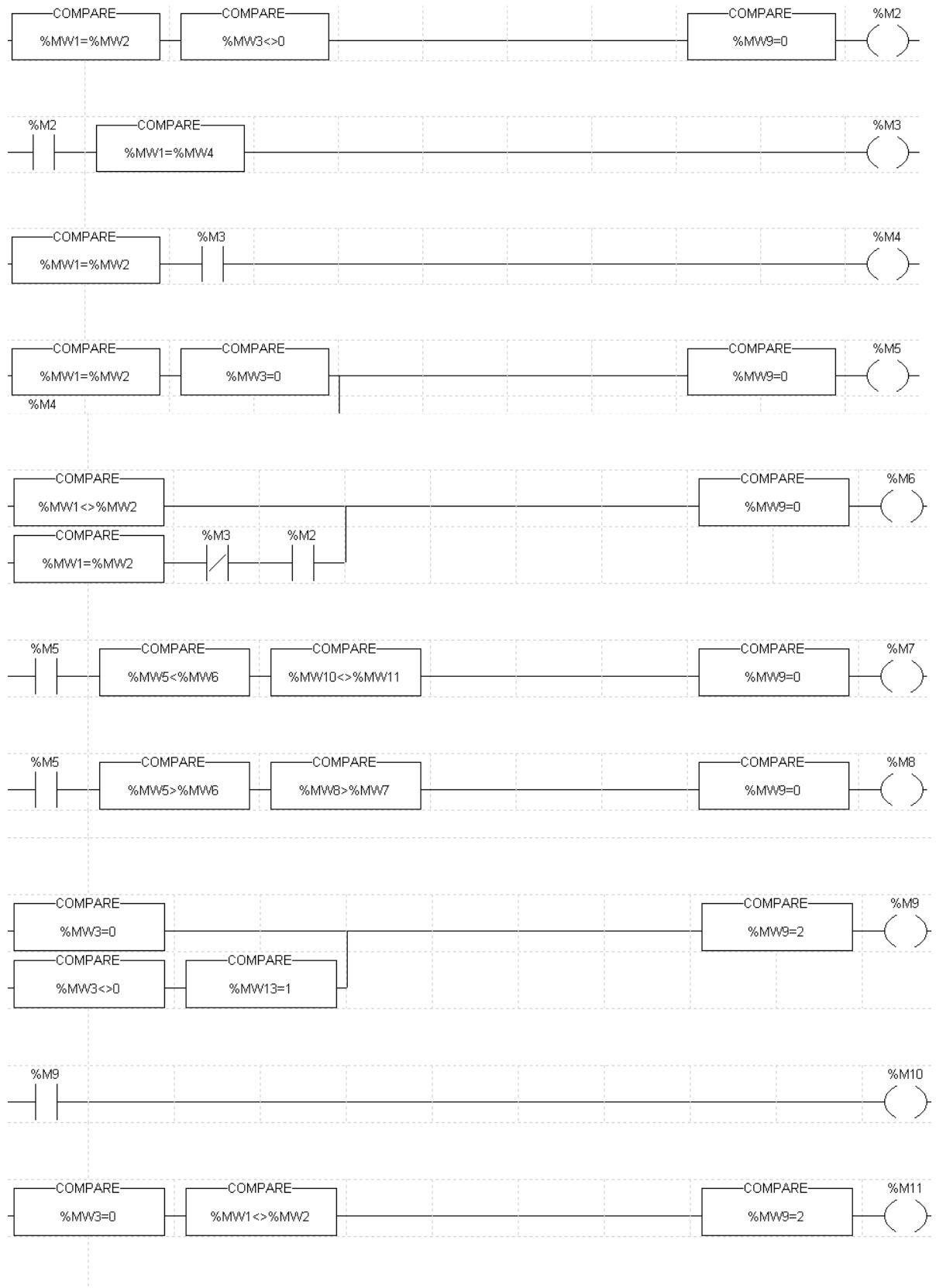


Рисунок 3.11 - Лістинг програми виконаної мовою Сходової логіки

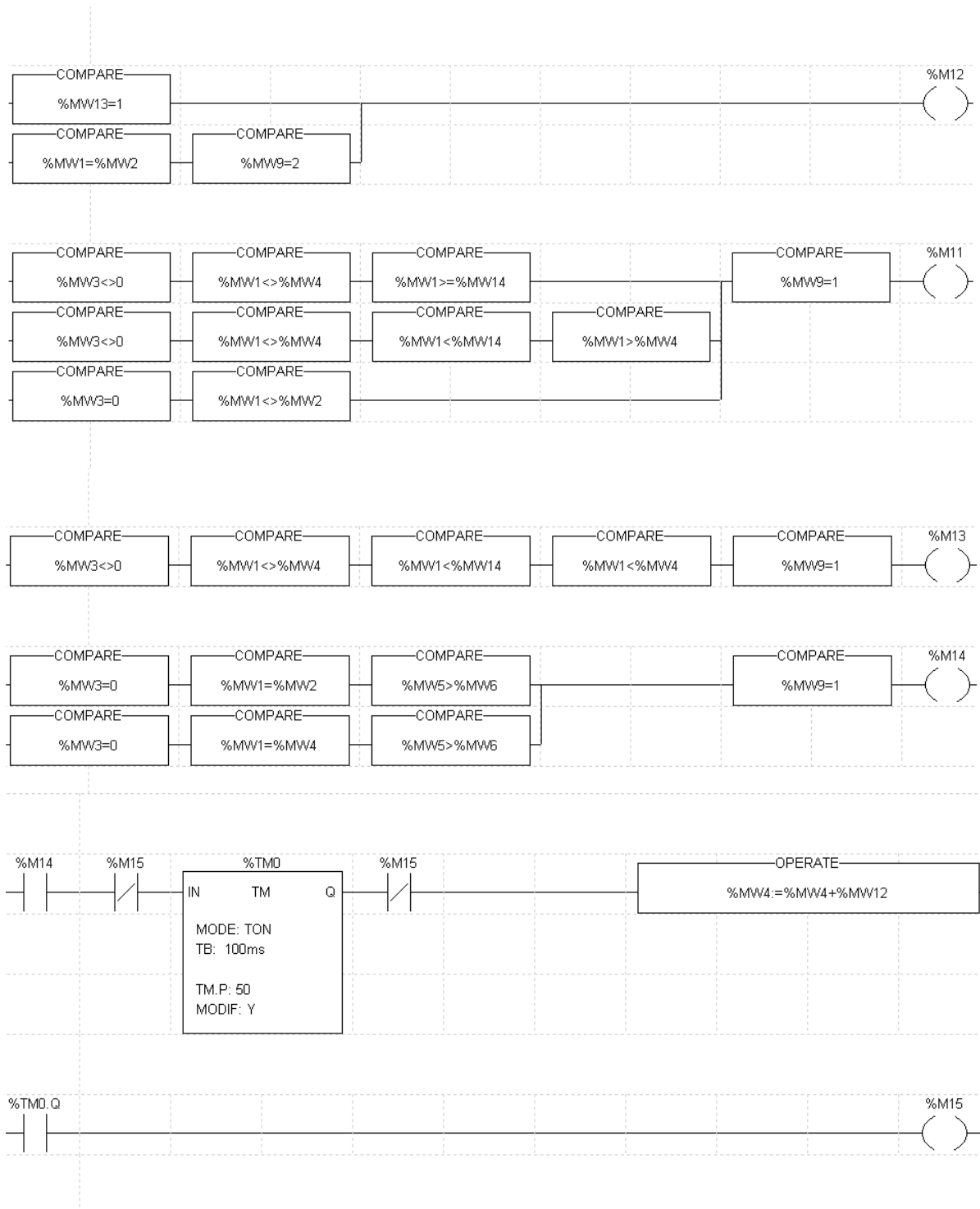


Рисунок 3.12 - Продовження лістингу програми виконаної мовою Сходової логіки

3.6 Практична апробація адаптивної системи автоматичного керування стрічковим конвеєром

Для підвищення зручності налаштування та експлуатації адаптивної САУ крім реалізації програмної частини розроблено оболонку візуалізації технологічного процесу роботи конвеєрного тракту (рис. 3.17) та його моніторингу (рис. 3.18), де всю робочу область можна умовно розділити на дві зони.

Верхня зона є область диспетчера, де виводиться інформація про поточний режим роботи конвеєра, є панелі для формування величин завдання, а також область для виведення поточних значень величин, що безперервно змінюються в часі і представлених у вигляді осцилограм. Нижня зона демонструє роботу конвеєрного тракту в цілому окремо розглянутого конвеєра, де вказані датчики, місця їх встановлення та поточні значення вимірюваних величин.

У зв'язку з тим, що в умовах лабораторії необхідно виконати моделювання технологічного процесу та реалізацію алгоритмів, адаптивного управління було представлено опитування первинних датчиків у вигляді імітації та подальша робота конвеєра у технологічному процесі відповідно до розроблених алгоритмів.

Таким чином, за виконаним результатом проведено випробування в умовах лабораторії та отримано наведені нижче результати.

У процесі випробувань відпрацьовувалося управління підтримки оптимального значення режимів роботи конвеєрів, незалежно від зміни статичних і динамічних характеристик об'єкта управління.

Під час проведення випробувань визначалося виконання таких задач:

1. Збір та обробка інформації про технологічний процес та стан обладнання (вага вантажу на стрічці конвеєра, швидкість руху стрічки, натяг стрічки, температура в зоні фрикційної взаємодії стрічки та приводного барабана конвеєра).

2. Аналіз стану технологічного процесу та обладнання (режими роботи конвеєра та конвеєрного тракту (пуск, режим, зупинка)).

3. Вибір раціональних режимів ведення технологічного процесу для реалізації на основі алгоритмів адаптації системи автоматичного управління зі структурою, що змінюється.

4. Вироблення технологічних керуючих впливів, що формуються на основі еталонних моделей (сигнали завдання) та реалізуються за допомогою управління натягом стрічки та швидкості її руху.

5. Передача управляючих впливів виконання, їх реалізація і контроль.

6. Формування даних системи диспетчеризації фабрики.

7. Оперативне відображення стану технологічного процесу та обладнання на рівні диспетчера для обробки сигналів: вага вантажу на стрічці конвеєра, швидкість руху стрічки, натяг стрічки, температура в зоні фрикційної взаємодії стрічки та приводного барабана конвеєра.

В результаті випробувань в лабораторних умовах встановлено, що в процесі моделювання система автоматичного керування виконує опитування первинних датчиків (задається елементами візуалізації представлених на панелі управління). За отриманими результатами виконується обробка інформації про технологічний процес згідно з програмою, яка знаходиться в пам'яті контролера. Відповідно до технічних характеристик апаратної конфігурації час опитування дискретних сигналів становить від 0,1 до 7,5 мс на канал. Для аналогових вхідних сигналів час опитування становить 32 мс, а вихідних сигналів в інтегрованих модулях 50 мкс і 400 мкс для додаткових модулів. Після опитування датчиків програма обробляє сигнали і порівнює із сигналами завдання, в результаті визначається стан обладнання (робоче чи ні), його режим роботи (пуск, режим, що встановився і зупинка конвеєра) і можливість переходу на наступний режим процесу експлуатації.

Система автоматичного управління складається з кількох контурів зворотного зв'язку. Після того, як система визначила поточний стан обладнання в даному режимі роботи, відбувається вибір та підключення контуру керування. В

результаті відпрацьовується адаптивне управління, яке в даному випадку розглядається як адаптивне управління з структурою, що змінюється.

Вікно роботи програми має наступний вигляд:

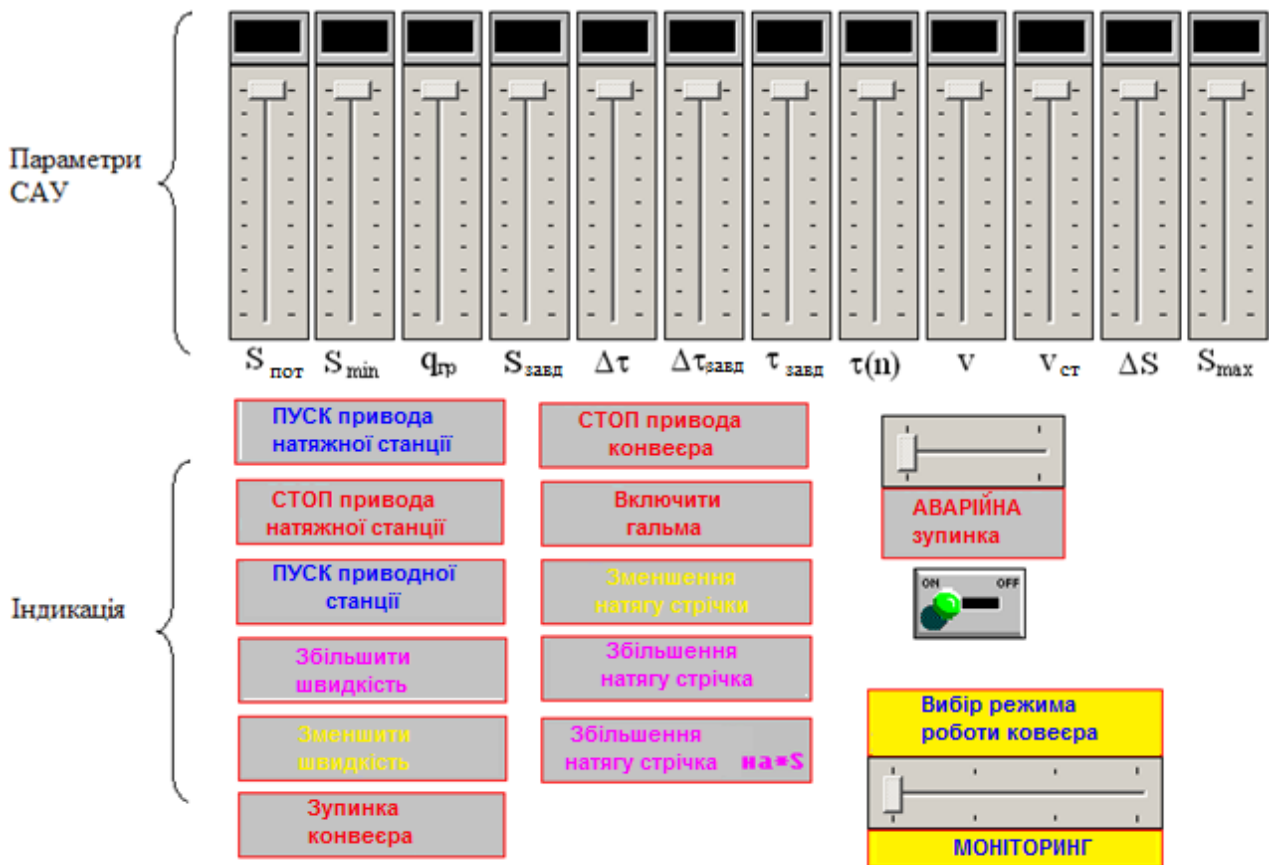


Рисунок 3.13 - Вікно роботи програми САУ

Параметри які задаються САУ є ті, що виділені на рис. 3.13 як „Параметри САУ”. Із зміною значень цих параметрів і буде відбуватись зміна управляючих сигналів, які відображаються на блоці індикації (Рис 3.13. „Індикація”).

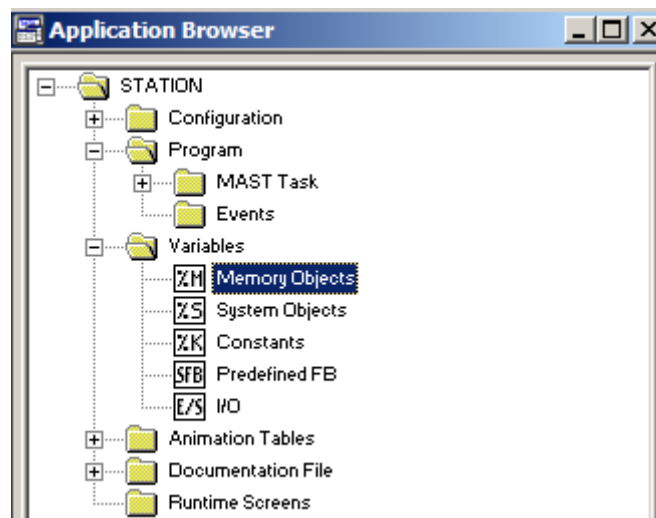
Параметри $S_{\text{пот}}$, $q_{\text{вант}}$, $\Delta\tau$, v знімаються з датчиків, але при моделюванні роботи САУ на контролері ми самі вказуємо їх значення через відсутність можливості підключення до датчиків (в даному випадку від 1 до 10, але цей діапазон можна змінювати). Всі інші параметри задаються оператором в залежності від показників, які він прагне отримати при роботі САУ.

До параметрів САУ відносяться наступні:

Таблиця 3.1-Параметри

Позначення параметра	Що означає
$S_{\text{пот}}$	Поточне значення натягу стрічки
S_{min}	Мінімальне значення натягу стрічки
S_{max}	Максимальне значення натягу стрічки
ΔS	Значення мінімальної зміни натягу стрічки
$S_{\text{завд}}$	Задане значення натягу стрічки
$q_{\text{вант}}$	Маса вантажу на стрічці
$\Delta \tau$	Значення зростання температури при нагріві футеровки приводного барабану
$\Delta \tau_{\text{завд}}$	Допустиме (задане) значення зросту температури при нагріві футеровки приводного барабану
$\tau_{\text{завд}}$	Допустиме (задане) значення температури при нагріві футеровки приводного барабану
$\tau(n)$	Поточне значення температури при нагріві футеровки приводного барабану
v	Швидкість руху стрічки, поточна
$v_{\text{ст}}$	Швидкість руху стрічки, завдання

Перелік змінних, що використовуються в програмі зручно представити у вікні Application Browser/Variables/Memory Objects:

Рисунок 3.14 - Вікно *Memory Objects*

Таблиця 3.2 - Блок індикації управляючих сигналів

Сигнал індикації	Що означає	Куди подається управляючий сигнал
ПУСК приводної станції	Пуск конвеєра	На двигун привода конвеєра
СТОП привода конвеєра	Зупинка конвеєра	На двигун привода конвеєра
ПУСК привода натяжної станції	Пуск натяжної станції	На двигун натяжної станції
СТОП привода натяжної станції	Зупинка натяжної станції	На двигун натяжної станції
Зупинка конвеєра	Зупинка конвеєра	На двигун привода конвеєра
Включити гальма	Вмикаються гальма конвеєра (в разі аварійної ситуації)	На двигун привода конвеєра
АВАРІЙНА зупинка	Аварійна зупинка конвеєра	На двигун привода конвеєра
Збільшити швидкість	Збільшити швидкість конвеєра	На двигун привода конвеєра
Зменшити швидкість	Зменшити швидкість конвеєра	На двигун привода конвеєра
Збільшення натягу стрічки Увеличение натяж.ленты на*S	Збільшити натяг стрічки на певне значення	На двигун натяжної станції
Зменшення натягу стрічки	Зменшити натяг стрічки на певне значення	На двигун натяжної станції
Вибір режима роботи конвеєра	Вибір одного з чотирьох режимів роботи АСУ: ПУСК ЗУПИНКА Сталий режим МОНІТОРИНГ	Перемикач, що визначає режим роботи конвеєра

Variables				
<input checked="" type="checkbox"/> Parameters	MEMORY	EBOOL	<input type="checkbox"/> Entry field	
Address	Type	Symbol	Comment	
%M0	EBOOL			
%M1	EBOOL			
%M2	EBOOL		проміжна змінна	
%M3	EBOOL		проміжна змінна	
%M4	EBOOL		зупинка привода натяжної станції	
%M5	EBOOL		включення привідної станції	
%M6	EBOOL		включення привода натяжної станції	
%M7	EBOOL		збільшення швидкості привода конвеєра	
%M8	EBOOL		зменшення швидкості привода конвеєра	
%M9	EBOOL		зупинка привідної станції	
%M10	EBOOL		включення гальма	
%M11	EBOOL		зменшення натягу стрічки	
%M12	EBOOL		кінець програми (поки не застосовується)	
%M13	EBOOL		збільшення натягу стрічки	
%M14	EBOOL		збільшення натягу стрічки на *S	
%M15	EBOOL		допоміжна змінна	

Рисунок 3.15- Використані змінні в роботі програми

Візуально робота конвеєра (рух стрічки конвеєра) була змодельована допомогою стандартної бази елементів Runtime screen пакету PL7-Pro (Рис. 3.16).

Рух конвеєра управляється перемикачем Stop/Run (відповідно, Stop-зупинка конвеєра/Run-пуск конвеєра). Регулятором корегується швидкість руху конвеєра.

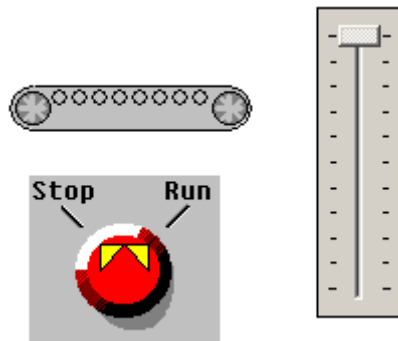


Рисунок 3.16 - Робота конвеєра

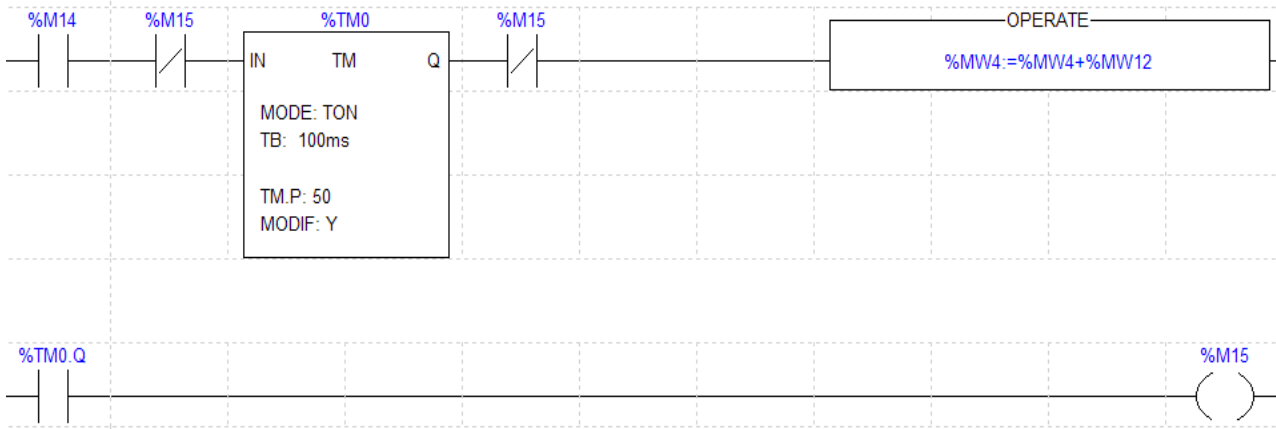


Рисунок 3.17 - Схема включення таймера

Оскільки конвеєр досить інертний елемент, тому всі процеси відбуваються не миттєво. Для більш правдоподібної реалізації роботи алгоритму доцільно використовувати таймери.

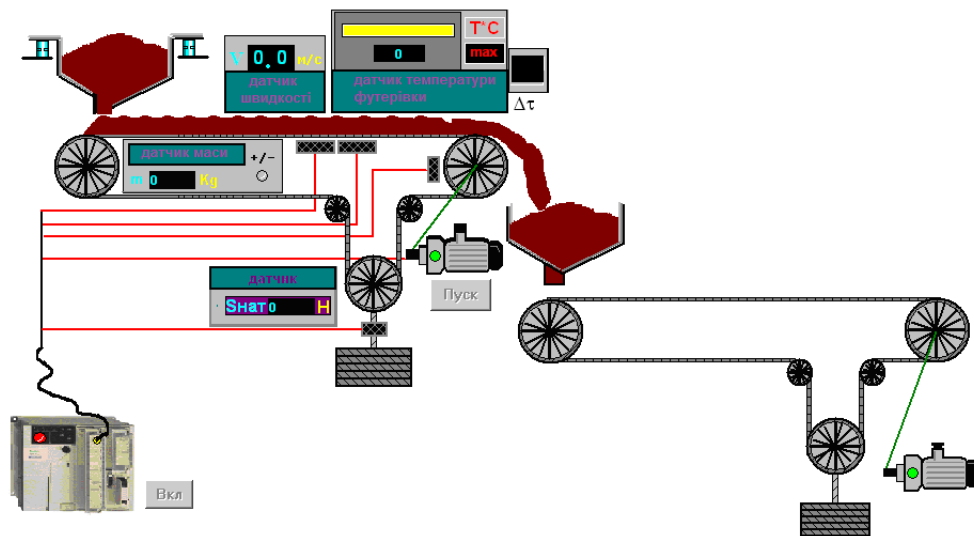


Рисунок 3.18 - Візуалізація роботи конвеєрного тракту

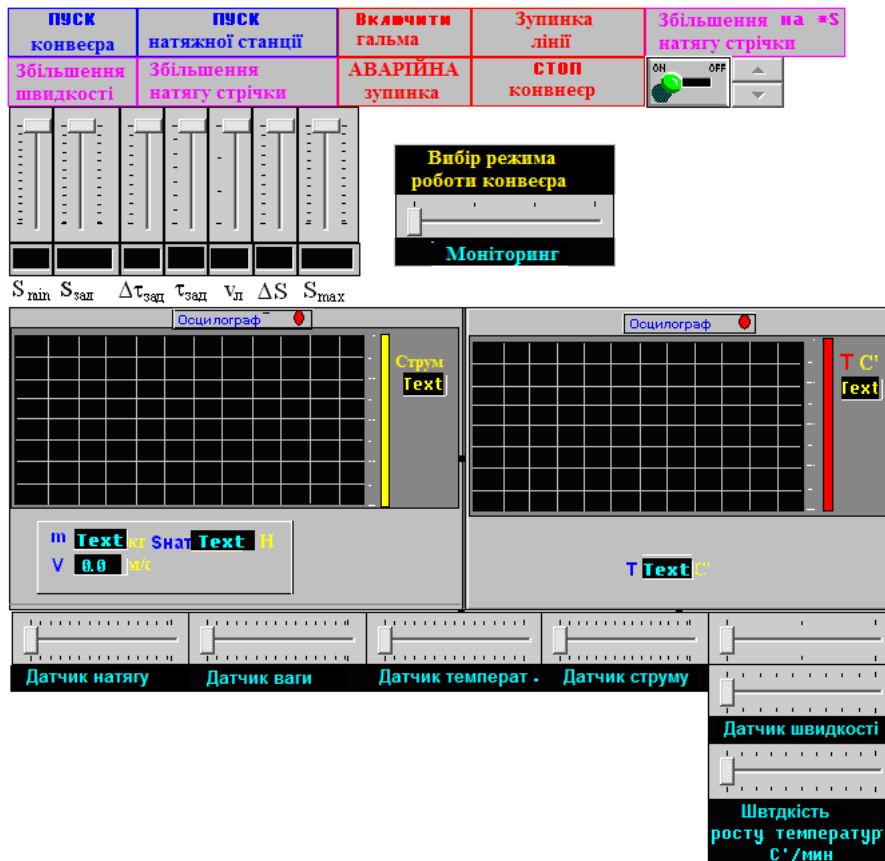


Рисунок 3.19 - Візуалізація моніторингу процесу транспортування руди

Розроблене програмне забезпечення оперативно відображає стан технологічного процесу з сигналізацією про порушення. При цьому виконується управління технологічним процесом, яке здійснюється на основі логічних виразів, реалізованих в алгоритмах і у вигляді програми графічною мовою ступінчастої логіки Ladder (LD).

ВИСНОВКИ

1. Розроблена структурна схема адаптивної системи автоматичного управління процесом транспортування рудної маси, яка побудована на принципах безошуккових систем адаптивного управління і включає в себе еталонну модель, що формує сигнали завдання, для вироблення керуючих впливів.

2. Розроблено алгоритм програмного регулятора для керування натяжною станцією. За допомогою його компенсується натяг стрічки при завантаженні або розвантаженні конвеєра, задається раціональний режим експлуатації приводного барабана. При використанні еталонної моделі виконується облік факторів, що впливають на термін служби стрічки конвеєра, і в результаті знижується величина питомих витрат на транспортування рудної маси.

3. Апаратна конфігурації системи використовує модульний контролер ПЛК TSX 37-22, який має вбудовані аналогові входи-виходи та рахункові канали, а також дискретний модуль TSX DMZ 28 DTK та аналоговий модуль TSX ASZ 401.

4. Отримано логічні вирази керуючих впливів, які дозволяють реалізувати алгоритми системи автоматичного управління зі змінною структурою мовою сходової логіки для промислового контролера ПЛК TSX 37-22.

5. Візуалізація технологічного процесу, отримана в лабораторних умовах, повністю відображає виконання алгоритмів адаптивного управління з сигналізацією про аварійні ситуації і є наочною демонстрацією для використання в навчальному процесі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Alan Exton Understanding T2 Tensioning Requirements and The Philosophies Pertaining thereto / Alan Exton; Nepean Conveyors (Pty) Ltd.- South Africa.- 2003.- BELTCON: 12 <http://www.saimh.co.za/beltcon.htm>

2. Apparatus and method for monitoring conveyor systems : patent JP7384807B2 Japan : JP7384807B2. Published on 21.11.2023. URL: [https://patents.google.com/patent/JP7384807B2/en?q=\(Automatic+conveyor+belt+tensioning+system\)&oeq=Automatic+conveyor+belt+tensioning+system](https://patents.google.com/patent/JP7384807B2/en?q=(Automatic+conveyor+belt+tensioning+system)&oeq=Automatic+conveyor+belt+tensioning+system) (date of access: 09.02.2024).

3. Application of Self-Adaptive Neural Fuzzy Network in Early Detection of Conveyor Belt Fire/ [Guo Jian, Zhu Jie, Zhao Mingru, Sun Yuan] // Information Engineering and Computer Science, 2009: ICIECS 2009. International Conference on.- 2009.- Page(s) 1 – 5

4. Athol Surtees Conveyors system design auditing, dynamic testing and condition monitoring of steel cord belts / Athol Surtees.- South Africa.-2007.- BELTCON 14: <http://conveyorwatch.co.za/wp-content/uploads/2017/10/b1411.pdf>

5. Automatic conveyor belt tensioning system : patent PL193590B1 Poland : PL193590B1. Published on 28.02.2007. URL: <https://patents.google.com/patent/PL193590B1/en> (date of access: 09.02.2024).

6. B. T. Boulter, Tripper Assisted Belt Conveyor Tension Regulation / B. T. Boulter // Proceedings of the 12th. Annual A-B Automation Fair, Nashville, Tennessee.- November .-1997.- Paper [645 Kb]

7. B. T. Boulter, Tripper Assisted Belt Conveyor Tension Regulation / B. T. Boulter // Proceedings of the 12th. Annual A-B Automation Fair, Nashville, Tennessee.- November .-1997.- Paper [645 Kb]

8. Conveyor tensioning systems and methods in mining system : patent RU2728919C2 Росія. No. RU2728919C2 ; published on 03.08.2020. URL: [https://patents.google.com/patent/RU2728919C2/en?q=\(conveyor+belt+tens](https://patents.google.com/patent/RU2728919C2/en?q=(conveyor+belt+tens)

ioning+systems)&aq=conveyor+belt+tensioning+systems&page=21 (date of access: 09.02.2024).

9. Dynamics of Multiple Drive Belt Conveyor Systems / [Ashley J. G. Nuttall, Gabriël Lodewijks].- 20 NOV.- 2007.- Pages 365–369

10. Gabriel Lodewijks Application of fuzzy logic in belt conveyor monitoring and control / Prof. dr Jr. Gabriel Lodewijks, Dr.ir. Jaap A.; Ottjes2 Delft University of Technology.- the Netherlands: South Africa.-2005.- BELTCON 13: <http://www.saimh.co.za/beltcon.htm>

11. Gabriel Lodewijks Strategies for Automated Maintenance of Belt Conveyor Systems / Gabriel Lodewijks; Delft University of Technology.- The Netherlands: South Africa.-2003.- BELTCON 12: <http://www.saimh.co.za/beltcon.htm>

12. In-pit crushing considerations for conveying & materials handling systems / Morteza Osanloo, Morteza ParichehG.H. Spriggs: International Journal of Mining, Reclamation and Environment Volume 34, 2020: <https://doi.org/10.1080/17480930.2019.1565054>

13. Jisheng Li Fuzzy and Frequency Control System Study on Belt Conveyor / [Jisheng Li, Guodong You, Shuying Lei] // Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE), 2010: 4th International Conference on.- 2010. - Page(s) 1–4

14. Kruse, D. J. Data Acquisition Techniques and Measurement Equipment for Belt Conveyors / D. J. Kruse.- South Africa.- 2005.- BELTCON 13: <http://www.saimh.co.za/beltcon.htm>

15. Leehter Yao Fuzzy control of belt conveyor in the manufacturing process / Leehter Yao // Industrial Automation and Control: Emerging Technologies, 1995: International IEEE/IAS Conference on.- 1995.- Page(s) 748 – 754

16. Method and apparatus for monitoring conveyor belts : patent US7494004B2 United States : US7494004B2. Published on 24.02.2009. URL: [https://patents.google.com/patent/US7494004B2/en?q=\(conveyor+belt+tensioning+systems\)&aq=conveyor+belt+tensioning+systems&page=9](https://patents.google.com/patent/US7494004B2/en?q=(conveyor+belt+tensioning+systems)&aq=conveyor+belt+tensioning+systems&page=9) (date of access: 08.02.2024).

17. System and methods for belt conveyor weighing based on virtual weigh span : patent US9074923B2 United States : US9074923B2. Published on 07.07.2015.

URL: [https://patents.google.com/patent/US9074923B2/en?q=\(conveyor+belt+tensioning+systems\)&oq=conveyor+belt+tensioning+systems&page=11](https://patents.google.com/patent/US9074923B2/en?q=(conveyor+belt+tensioning+systems)&oq=conveyor+belt+tensioning+systems&page=11) (date of access: 08.02.2024).

18. Wu Li The design and research of belt transport system based on PLC / [Wu Li, Yang Zheng, Dong Xinfu] // Advances in Energy Engineering (ICAEE), 2010: International Conference on. - 2010.-Page(s) 120 – 124

19. Xian-Min Ma Genetic Taboo Hybrid Strategy for PID Regulator Parameter Adaptation in Belt Conveyor / Xian-Min Ma // Machine Learning and Cybernetics: 2006 International Conference on .- 2006.- Page(s) 607 – 612

20. Yusong Pang Simulation-based Knowledge Acquisition for Intelligent Belt Conveyor Monitoring / Yusong Pang, Gabriel Lodewijks.- 20 NOV.-2007.- Pages 360–364.

21. Автоматический контроль и регулирование технологических процессов на железорудных обогатительных фабриках/ [Ю.Г. Гончаров, А.С. Давидкович, Б.Е. Гейзенблазен, Г.В. Гуленко] ; под ред. В.М. Фотиева. - М.: Недра, 1968. - 227 с.

22. Андреев А.В., Головань В.П. Исследование прочности и долговечности конвейерных лент при изгибе. Транспорт горных предприятий. Сборник научных трудов Московского горного института. 1968. С. 123-130.

23. Берг А.И., Трапезников В.А. Автоматизация производства и промышленная электроника: Советская энциклопедия Т.2. Москва, 1965. 600.с

24. Биличенко Н.Я., Попов С.И. Работа автоматических натяжных станций ленточных конвейеров. Днепропетровский горный институт. Материалы научно-технической конференции по вопросам разработки месторождений полезных ископаемых. 1969. Т.56. С. 54-61.

25. Биличенко Н.Я., Высочин Е.М., Завгородний Е.Х. Эксплуатационные режимы ленточных конвейеров. Гостехиздат УССР, 1964. 98 с.

26. Влияние параметров натяжной станции на эксплуатационную надежность мощного ленточного конвейера / Щука Ю.В., Колодько В.Ф., Тесленко В.Ф., Салкуцан И.С. Металлургическая и горнорудная промышленность. 1977. - №2(104). – С. 54-56.

27. Волотковский С.А., Фурсов В.Д. Автоматизация управление линиями ленточных конвейеров на рудных шахтах и карьерах. Изв. вузов. Горный журнал. -1960. -№12. -С. 117-128.

28. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с.(Інформація та документація).

29. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с.(Інформація та документація).

30. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с.(Інформація та документація).

31. ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення Київ, Держстандарт України, 1998. 27 с. (Інформація та документація).

32. Кобылин А.М Автоматизация типовых технологических процессов и промышленных установок. Москва: Энергоатомиздат, 1988.- 284 с.

33. Конвейерные ленты / Ф.А. Махлис, И.И. Леонов, О.Г. Карбасов, В.В. Никитин. Москва: Химия. 1991. 184 с.

34. Кулиш В.А., Гавриленко Б.В. Разработка устройства комплексного теплового контроля приводных барабанов магистральных ленточных конвейеров. Сборник трудов IV Международной научно-технической конференции аспирантов и студентов "Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых". Донецк: ДонНТУ, 2004 . С. 54-56.

35. Курганов И. Д. Режимы работы приводного барабана ленточного конвейера. Республиканский межведомственный научно-технический сборник “Разработка рудных месторождений”. 2001. №77. С. 106-109.

36. Малютин М.А. О толщине изношенного слоя обкладок лент и футеровок барабанов ленточных конвейеров при их взаимодействии. Изв. Вузов. Горный журнал. 1971. №8. С. 116-121.

37. Марюта А.Н., Качан Ю.Г., Бунько В.А. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик: Учебник для студ. вузов Москва: Недра, 1983. 277 с.

38. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. Санкт-Петербург: Наука, 2000. 382 с.

39. Морев В.И., Завгородний Е.Х. Долговечность конвейерных лент при усталостном расслоении. Изв. Вузов. Горный журнал. 1978. №12. С. 65-66.

40. Назаренко В.М. Критерий оптимальной работы конвейера в условиях гибкого автоматизированного производства рудоподготовки. Изв. вузов. Горный журнал. 1992. №2. С. 90-94.

41. Назаренко В.М. Эксплуатационные режимы шкивов трения в регулируемом приводе ленточных конвейеров. Изв. вузов. Горный журнал. 1986. №10. С. 95-99.

42. Назаренко В.М., Иончиков А.Н. Оптимальные системы управления ленточными конвейерами. Электротехника. 1975. №8. С. 3-6.

43. Новиков Е.Е., Смирнов В.К. Теория ленточных конвейеров для крупнокусковых горных пород. Киев: Наукова думка 1983. 184с.

44. Нохрин А. Г. Простои оборудования непрерывного действия циклично-поточной технологии на железорудных предприятиях. Ин-т горного дела. М-во черной металлургии СССР. Труды. Свердловск. 1987. Вип.79, - С. 88-92.

45. Общие принципы построения автоматизированной подсистемы управления конвейерным транспортом / Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г., Рощеня В.П., Лобачева А.К. Изв. вузов. Горный журнал 1975. №3. С. 134-138.

46. Орховский И.И., Вычигин А.И. Целесообразность регулирования скорости ленточного конвейера. Уголь Украины. 1972. №5. С. 55-58.

47. Основные факторы оценки режимов работы конвейерного транспорта / Савицкий А.И., Алистратенко Ю.В., Чубаров В.А., Курганов И.Д. Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины. 1998. №4. С. 106-110.

48. Попов С.И. Исследование параметров и режимов работы автоматических натяжных станций мощных ленточных конвейеров: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук: К 048740. Днепропетровск. 1970. 292с.

49. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування – Київ: ЛИБІДЬ. 1997. 535с.

50. Романенко В.Д., Игнатенко Б.В. Адаптивное управление технологическими процессами на базе МикроЭВМ: Учеб. пособие. – Київ: Вища школа. 1990. 334 с.

51. Сигалов Л.Н., Припотень В.К. Аппаратура управления натяжной лебедкой бремсбергового ленточного конвейера. Уголь Украины.-1981. №3. С. 20-25.

52. Сигалов Л.Н., Припотень В.К. Технические требования к автоматической натяжной станции бремсбергового ленточного конвейера. Конвейерный транспорт. Киев. 1976. С. 77-80.

53. Ткач В.М. Оптимизация процесса бункерно-конвейерного транспортирования на основе адаптивного управления. Проблемы горно-добывающей промышленности металлургического комплекса Украины. Кривой Рог. 1997. С. 135-141.

54. Ткач В.М. Опыт разработки и внедрения систем автоматического управления конвейерными линиями. Горный журнал. 1994. №5. С. 47-51.

55. Тиханский М.П. Основні методи оптимального управління конвеєрним транспортом. Академический вестник. 2003. №13. С. 91-93.

56. Тронь В. В., Маринич І. А. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для студентів спеціальності 174 - Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка". Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2022. 50 с.

57. Фрадков А.Л. Адаптивное управление в сложных системах. Беспойсковые методы. Москва: Наука, 1990. 296 с.

58. Хобин В.И., Левинский В.М. Адаптивное управление технологическими процессами при ограничении типа «Аварийная ситуация». Адаптивные системы автоматического управления. 1985. №14. С. 84-90.

59. Савицкий А.И. Формирование показателя критерия качества функционирования конвейера. Разработка рудных месторождений. Кривой Рог. 2001. Вип.74. С. 91-93