

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти – магістр

за освітньо-професійною програмою

«Киберфізичні системи в промисловості, бізнесі та транспорті»

зі спеціальності

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

тема роботи:

***«Автоматизація процесу завантаження бункерів дробильної
фабрики рудою з розробкою підсистеми візуалізації»***

Виконав студентка гр. АКІТР-23-1м _____ Черепенко В. В.

Керівник _____ Рубан С. А.

Нормоконтроль _____ Маринич І. А.

Завідувач кафедри _____ Рубан С. А.

Кривий Ріг – 2024

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

студенту групи АКІТР-23-1м Черепенку Владиславу Вячеславовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизація процесу завантаження
бункерів дробильної фабрики рудою з розробкою підсистеми візуалізації»

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 77 с.,
додатки, презентація у Microsoft PowerPoint (12 слайдів) в електронному та
друкованому вигляді

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-3

доц. Рубан С.А.

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>15.08.24</i>
4	<i>Розділ 3</i>	<i>15.09.24</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: 28.06.2024 р.

Керівник _____ /Рубан С. А./

7. Запевнення: Я, Черепенко Владислав Вячеславович, 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.

Студент _____ / Черепенко В. В./

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	5
ANNOTATION.....	6
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗАВАНТАЖЕННЯ БУНКЕРІВ АВТОСТЕЛОЮ	12
1.1 Загальна характеристика процесу завантаження бункерів складу подрібненої руди як об'єкта автоматизації	12
1.2 Основні характеристики автостели складу подрібненої руди як об'єкта автоматизації	14
1.3 Призначення та цілі розробки системи керування завантаженням бункерів.....	17
1.4 Аналіз відомих методів і систем керування завантаженням бункерів	19
Висновки до розділу.....	29
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗАВАНТАЖЕННЯМ БУНКЕРІВ ЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ	31
2.1 Характеристика основних проектних рішень системи автоматизації процесу завантаження бункерів збагачувальної фабрики рудою	31
2.2 Математичне забезпечення системи.....	35
2.2.1 Математична модель для розрахунку оптимальної послідовності переміщень автостели між секціями	35
2.2.2 Математична модель для визначення прогнозного рівня руди в бункері	38
2.3 Інформаційне забезпечення	42

2.4 Апаратне забезпечення системи автоматизації процесу завантаження бункерів збагачувальної фабрики рудою	45
2.4.1 Вибір промислового комп'ютера для розгортання автоматизованого робочого місця оператора автостели	45
2.4.2 Обґрунтування та вибір перетворювачів частоти	48
Висновки до розділу	50
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗАВАНТАЖЕННЯ БУНКЕРІВ АВТОСТЕЛОЮ	52
3.1 Розробка програмного забезпечення системи керування процесом	52
3.1.1 Структура проекту.....	52
3.1.2 Узагальнений алгоритм роботи системи	55
3.1.3 Алгоритм позиціонування автостели в дистанційному режимі	56
3.1.4 Алгоритм розрахунку рівня в бункері	61
3.2 Розробка та практична апробація програмного забезпечення системи візуалізації технологічного процесу	67
Висновки до розділу.....	75
ВИСНОВКИ	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78

РЕФЕРАТ

Черепенко В. В. Автоматизація процесу завантаження бункерів дробильної фабрики рудою з розробкою підсистеми візуалізації.

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.

Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, переліку використаної літератури з 28 позицій. Загальний обсяг роботи становить 77 сторінок, з яких основний зміст роботи викладено на 70 сторінках, включає 1 таблицю і 26 рисунків.

Об'єкт дослідження: процес завантаження бункерів збагачувальної фабрики.

У першому розділі наведено характеристику процесу завантаження бункерів збагачувальної фабрики, розглянуто основні механізми, що забезпечують транспортування та розподіл руди. Особливу увагу приділено аналізу існуючих методів керування цим процесом, що дозволило виявити їхні слабкі сторони, зокрема низьку точність позиціонування. На основі аналізу сформульовано вимоги до системи автоматизації, яка вирішить виявлені проблеми, забезпечивши високу продуктивність і точність.

Другий розділ присвячено розробці рішення для автоматизації процесу завантаження руди в бункери. Визначено склад інформаційного забезпечення системи. Запропоновано математичну модель для визначення прогнозного значення рівня руди в бункерах.

У третьому розділі детально описано прикладне програмне забезпечення, розроблене для системи, а саме SCADA-систему. Пояснено принципи її роботи, інтерфейс користувача та можливості моніторингу й управління процесом завантаження. Проєкт розробленого програмного забезпечення забезпечує точний контроль і своєчасне реагування на зміни в процесі завантаження.

Ключові слова:

АВТОМАТИЗАЦІЯ, АВТОСТЕЛЛА, ЗАВАНТАЖЕННЯ РУДИ, SCADA-СИСТЕМА, ПЛК.

ANNOTATION

Cherepenko V. V. Automation of the process of loading bunkers of a crushing plant with ore with the development of a visualization subsystem.

Graduation master`s work for obtaining an educational degree «Master» for 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 work consists of an introduction, three sections, conclusions, a list of used literature from 30 items. The total volume of the work is 76 pages, of which the main content of the work is set out on 70 pages, includes 1 table and 26 figures.

Object of research: the process of loading bunkers of a concentration plant.

The first section provides a description of the process of loading bunkers of a beneficiation plant. The main mechanisms that ensure the transportation and distribution of ore, their design features, advantages and disadvantages are considered. Particular attention is paid to the analysis of existing methods of controlling this process, which made it possible to identify their weaknesses, such as low positioning accuracy or insufficient response speed. Based on the analysis, it is proposed to formulate requirements for an automation system that will solve the identified problems, ensuring high productivity and accuracy.

The second section is devoted to the development of a solution for automating the process of loading ore into bunkers. A mathematical model is proposed for determining the current level of ore in bunkers, which takes into account instantaneous measurements of level sensors and the performance of feeders.

The third section describes in detail the application software developed for the system, namely the SCADA system. The principles of its operation, user interface and capabilities for monitoring and controlling the loading process are explained. Special attention is paid to the integration of the SCADA system with technical components, which ensures accurate control and timely response to changes in the loading process.

Keywords:

AUTOMATION, AUTOSTELL, ORE LOADING, SCADA SYSTEM, PLC.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АРМ – автоматизоване робоче місце

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом

КТЗ – комплекс технічних засобів

ЛМІ – людино-машинний інтерфейс

ПТК – програмно-технічний комплекс

ПЛК – програмований логічний контролер

ПЧ – перетворювач частоти

TIA – Totally Integrated Automation

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition

ВСТУП

Сучасна гірничо-металургійна промисловість спрямована на впровадження інноваційних рішень, що забезпечують ефективність технологічних процесів, підвищення якості продукції та зниження енерговитрат. Одним із ключових етапів роботи дробильної фабрики є завантаження бункерів рудою, що безпосередньо впливає на ритмічність роботи всього виробничого циклу, включаючи наступні ланки технологічного процесу збагачення.

Завдання автоматизації цього процесу є надзвичайно важливим, оскільки традиційні методи управління часто характеризуються низькою ефективністю через залежність від людського фактора, недостатню точність вимірювань і обмежені можливості контролю. Застосування автоматизованих систем керування із візуалізацією дозволяє забезпечити високий рівень точності, оперативності та надійності в управлінні процесами завантаження бункерів, що сприяє оптимізації використання ресурсів і покращенню кінцевих показників.

Впровадження підсистеми візуалізації в SCADA-систему дистанційного моніторингу та управління процесами дає змогу контролювати рівень і обсяг руди в бункерах у режимі реального часу, забезпечуючи своєчасне реагування на зміну умов роботи. Такий підхід дозволяє оптимізувати завантаження руди, уникати перевантажень і простоїв, а також підвищувати продуктивність та енергоефективність дробильної фабрики.

Тема дипломної роботи спрямована на вирішення важливих практичних завдань, пов'язаних із підвищенням точності контролю, ефективності управління завантаженням бункерів та зниженням витрат енергоресурсів.

Мета роботи полягає у розробці автоматизованої системи керування процесом завантаження бункерів дробильної фабрики з використанням SCADA-системи, яка містить підсистему візуалізації для забезпечення дистанційного контролю та управління процесами.

У рамках дослідження передбачено аналіз існуючих методів управління, розробку математичних моделей для моніторингу рівня та обсягу руди в

бункерах, створення алгоритмів автоматизації процесу завантаження та проектування функціональної підсистеми візуалізації. Результати роботи спрямовані на підвищення ефективності та стабільності роботи дробильної фабрики, що має важливе значення для розвитку гірничо-металургійного комплексу.

Для досягнення поставленої мети в дипломній роботі вирішуються такі завдання:

- проведення аналізу існуючих методів управління завантаженням руди у бункери для виявлення їхніх переваг і недоліків;
- розробка структури системи автоматизації та створення схем керування процесом завантаження руди в бункери;
- побудова математичної моделі для непрямого визначення рівня руди в бункері з використанням даних про продуктивність живильників та миттєвих показників радарного датчика рівня;
- створення алгоритмів для визначення рівня руди в бункері та точного позиціонування автостели;
- розробка програмного забезпечення, яке реалізує функції дистанційного позиціонування автостели;
- моделювання роботи системи для оцінки її ефективності та функціональності.

У роботі детально розглянуто аспекти керування процесом завантаження руди у бункери з метою забезпечення його оптимізації та автоматизації.

Предмет дослідження – моделі, принципи та структури, необхідні для створення системи автоматизованого керування процесом завантаження руди у бункери. Особлива увага приділяється забезпеченню стабільної роботи технологічного процесу, підвищенню ефективності управління та досягненню найкращої якості вихідного продукту. Дослідження спрямоване на оптимізацію процесу завантаження через розробку алгоритмів і використання сучасних технологій автоматизації, що дозволяють мінімізувати енергетичні витрати та знизити вплив людського фактора.

Методи досліджень включають:

- аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду у сфері автоматизації процесів завантаження руди у бункери;

- систематизацію існуючих підходів і методів керування технологічним процесом для обґрунтування актуальності, визначення мети і формулювання завдань дослідження;

- методи комп'ютерного моделювання для розробки математичних моделей, що забезпечують точність визначення рівня руди в бункері та позиціонування автостели;

- використання сучасних інформаційних і програмних технологій для реалізації алгоритмів управління у вигляді прикладного програмного забезпечення.

Окрему увагу приділено інтеграції SCADA-системи для моніторингу та управління процесом у реальному часі. Це дозволяє візуалізувати результати моделювання, аналізувати динаміку процесів та оперативно вносити корективи. Запропоновані методи поєднують теоретичні розробки з практичною реалізацією алгоритмів для створення ефективною та стабільною системою керування завантаженням руди у бункери.

Практична цінність отриманих результатів полягає в розробці інноваційних підходів до управління процесом завантаження руди в бункери дробильної фабрики, які забезпечують підвищення ефективності, точності та якості виробничих процесів. Створено комплекс програмних засобів управління, що, на відміну від існуючих рішень, забезпечує безперервне опосередковане визначення рівня руди в бункерах. Це досягається шляхом використання продуктивності живильників під бункерами в поєднанні з миттєвими даними радарного датчика рівня. Такий підхід дозволяє не лише оцінювати реальний рівень руди з високою точністю, а й забезпечувати стабільний контроль процесу завантаження. У результаті покращується якість кінцевої продукції та оптимізується робота виробничої системи. Розроблено математичні моделі й алгоритми, що дають змогу розраховувати актуальний рівень руди в бункерах у

режимі реального часу. Крім того, ці моделі дозволяють ефективно позиціонувати автостеллу залежно від отриманих даних, що забезпечує рівномірний розподіл руди та мінімізує витрати.

Отримані результати мають практичну цінність для промислових підприємств, зокрема для дробильно-збагачувальних фабрик, де необхідно підвищувати ефективність управління технологічними процесами.

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків і списку джерел, який містить 28 позиції. Загальний обсяг роботи становить 77 сторінок, з яких основний зміст викладено на 707 сторінках. У роботі представлено 1 таблиця і 26 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗАВАНТАЖЕННЯ БУНКЕРІВ АВТОСТЕЛОЮ

1.1 Загальна характеристика процесу завантаження бункерів складу подрібненої руди як об'єкта автоматизації

Об'єктом дослідження є збагачувальна фабрика, побудована за проектом інституту «Механобрчермет» та введена в експлуатацію у 1961 році. Вона функціонує в циклі збагачення магнетитових кварцитів і призначена для дроблення руди до класу крупності $-20,0$ мм із якістю 12,5%. Технологічний процес фабрики включає кілька стадій дроблення, подрібнення та магнітної сепарації, що дозволяє забезпечити ефективне вилучення корисного компонента. Впровадження сучасних методів автоматизації та контролю за технологічними параметрами підвищує продуктивність і якість кінцевого продукту. Особлива увага приділяється енергоефективності процесів та мінімізації впливу на довкілля. Дана фабрика має тривалий досвід роботи, що дозволяє детально вивчити технологічні процеси та впровадити сучасні методи автоматизації для їх оптимізації.

Об'єктом застосування є критий склад подрібненої руди, що є сполучною ланкою між дробильною та збагачувальною фабриками. На позначці $+12,050$ м розташовані бункери для зберігання дробленої руди. Бункери мають складну геометрію: ширина у верхній частині становить $22,25$ м, у нижній частині – $12,25$ м, а висота від випускного отвору до перекриття сягає 10 м.

У поздовжньому напрямку склад поділений на шість секцій, кожна з яких має довжину 18 м. Загальна довжина складу становить 108 м. Таке конструктивне рішення дозволяє забезпечити рівномірний розподіл руди та створює можливості для реалізації ефективних методів управління завантаженням.

Фабрика є важливим елементом технологічного ланцюга гірничо-збагачувального виробництва, що забезпечує високоякісну підготовку сировини для наступних етапів переробки. Дослідження в межах даного об'єкта спрямовані на впровадження автоматизованих систем управління для підвищення ефективності роботи бункерів, поліпшення якості продукту та оптимізації використання енергетичних ресурсів.

Завантаження матеріалу в бункери вихідної шихти здійснюється за допомогою чотирьох стрічкових конвеєрів: О-9, О-10, О-11 та О-12. Ці конвеєри забезпечують транспортування руди до місця її накопичення, гарантуючи стабільність та ритмічність подачі матеріалу [1, 2].

Для скидання руди зі стрічок конвеєрів використовуються автоматичні саморозвантажувальні візки, відомі як автостелли. Вони виконують ключову роль у процесі рівномірного розподілу руди по бункерах. Розвантаження матеріалу відбувається через направляючі жолоби автостелл, розташовані з обох боків осі конвеєра.

Автостелли переміщуються вздовж складу руди по рейкових шляхах, які співпадають з осями відповідних конвеєрів (О-9, О-10, О-11, О-12). Такий конструктивний підхід дозволяє забезпечити точність і рівномірність завантаження бункерів. Швидкість руху автостелл становить 0,2–0,25 м/с, що оптимально для забезпечення безперервності процесу та уникнення перевантаження.

Управління рухом автостелл здійснюється за допомогою асинхронних електродвигунів, встановлених на конвеєрах. Ці електродвигуни забезпечують плавне переміщення візків уздовж складу, дозволяючи оперативно адаптувати швидкість і напрямок руху відповідно до потреб технологічного процесу:

- О-9-7,5 кВт, 1000 об / хв -2 шт .;
- О-10-11 кВт, 1000 об / хв -2 шт .;
- О-11-5,5 кВт, 1500 об / хв-3 шт .;
- О-12-5,5 кВт, 1500 об / хв-2 шт.

Використання автостелл разом із стрічковими конвеєрами забезпечує гнучкість, надійність та високу точність завантаження, що є важливим етапом у забезпеченні ефективної роботи збагачувальної фабрики. Оптимізація управління автостеллами має потенціал значно підвищити продуктивність процесу завантаження та покращити якість підготовленої шихти для подальшої переробки.

Станини конвеєрів, рейкові шляхи для переміщення автостелл, а також пішохідні доріжки, розташовані між конвеєрами та з обох боків складу, підтримуються на поперечних балках. У центральній частині складу, між пішохідними доріжками та конвеєрами, відсутнє покриття бункера, що утворює чотири завантажувальні отвори. Ширина кожного отвору становить 1000 мм, а їх розташування забезпечує рівномірне завантаження руди по всій довжині складу.

Це конструктивне рішення сприяє ефективній роботі автостелл, забезпечуючи можливість безперешкодного скидання матеріалу в бункери та створюючи умови для зручного доступу обслуговуючого персоналу. Завантажувальні отвори, рівномірно розташовані вздовж складу, дозволяють уникнути перевантаження окремих ділянок і забезпечують стабільність технологічного процесу.

1.2 Основні характеристики автостели складу подрібненої руди як об'єкта автоматизації

Автостелла є ключовим елементом у системі завантаження бункерів, що забезпечує рівномірний розподіл руди по складу. Її конструкція включає такі основні елементи:

1. Рама: основний несучий елемент автостелли, виготовлений зі сталевих профілів. Рама забезпечує жорсткість конструкції та служить основою для кріплення інших компонентів.

2. Ходовий механізм: складається з колісних пар, встановлених на рейкових шляхах, які дозволяють автостеллі переміщуватися вздовж складу руди. Колеса можуть бути оснащені приводними механізмами, що керуються асинхронними електродвигунами.

3 Жолоби розвантаження: розташовані по обидва боки рами автостелли, жолоби направляють матеріал у завантажувальні отвори бункерів. Вони мають оптимальну геометрію для уникнення зависання руди під час розвантаження.

4. Привід переміщення: асинхронний електродвигун забезпечує плавний і стабільний рух автостелли уздовж рейкових шляхів. Швидкість переміщення, яка становить 0,2–0,25 м/с, регулюється за допомогою частотного перетворювача, що дозволяє адаптувати рух до змін у технологічному процесі.

5. Система управління: забезпечує контроль переміщення автостелли вздовж складу та активацію розвантажувальних жолобів. Може включати датчики позиціонування та системи автоматичного керування на базі ПЛК, інтегрованого з SCADA-системою [2].

6. Захисні елементи: включають огорожі та обмежувачі, які запобігають випадковому виходу автостелли за межі рейкових шляхів або зіткненню з іншими компонентами обладнання.

7. Електроживлення: реалізується через кабельний барабан або струмознімальний механізм, що забезпечує безперервну подачу енергії для роботи електродвигунів і систем управління.

Барабанний перевантажувач, також відомий як розвантажувальна візок типу "Автостелла", призначений для приймання та розвантаження сипучих матеріалів зі стрічкового конвеєра. Його основною функцією є рівномірний розподіл транспортуваного продукту по довжині складу або цеху та завантаження в конкретний бункер. Розвантаження здійснюється за допомогою петлеподібної установки барабанів у поєднанні з навантажувальним пристроєм, що забезпечує точність і ефективність процесу.

Барабанні перевантажувачі можуть мати різні модифікації залежно від вимог виробничого процесу та умов експлуатації:

1. Повнопривідні моделі, які оснащені чотирма двигунами-редукторами, встановленими зовні, по одному на кожне колесо.

2. Моделі з приводною парою коліс, де використовуються два мотор-редуктори для забезпечення руху.

3. Розвантажувальні воронки, що можуть бути одно-, дво- або трьохрукавними, а також виконаними з футеровкою для захисту від абразивного зносу або без неї.

4. Різне розташування розвантажувальних воронок: як у передній частині перевантажувача, так і в його центральній зоні.

5. Електроживлення, яке здійснюється через кабельний барабан або за допомогою тролейного підключення.

6. Управління візком, яке може бути як місцевим, так і дистанційним, що підвищує зручність експлуатації.

7. Функції плавного розгону та гальмування, які стабілізують швидкість перевантажувача при його русі відповідно до роботи стрічки конвеєра, що забезпечує точність і безпеку роботи.

8. Застосування частотних перетворювачів, які дозволяють економити електроенергію та забезпечують гнучке регулювання швидкості руху.

Такі варіації конструкцій барабанних перевантажувачів дозволяють адаптувати обладнання до різних умов роботи, забезпечуючи його ефективність, довговічність і відповідність конкретним потребам виробництва.

Автостелла призначена для роботи в умовах підвищеного пилового навантаження, тому її конструкція є міцною, надійною та стійкою до абразивного впливу руди. Завдяки рейковим шляхам, що співпадають з осями конвеєрів, автостелла забезпечує точність розвантаження та рівномірний розподіл матеріалу по бункерах. Конструкція жолобів та приводів дозволяє уникати затримки матеріалу, зменшувати втрати та забезпечувати стабільний потік руди.

Автостелла є важливим компонентом технологічного процесу, що сприяє підвищенню ефективності завантаження бункерів та забезпечує точний контроль над розподілом руди.

На рисунку 1.1 наведено будову автостелли у розрізі, що використовується на збагачувальній фабриці ПАТ ЦГОК [2].

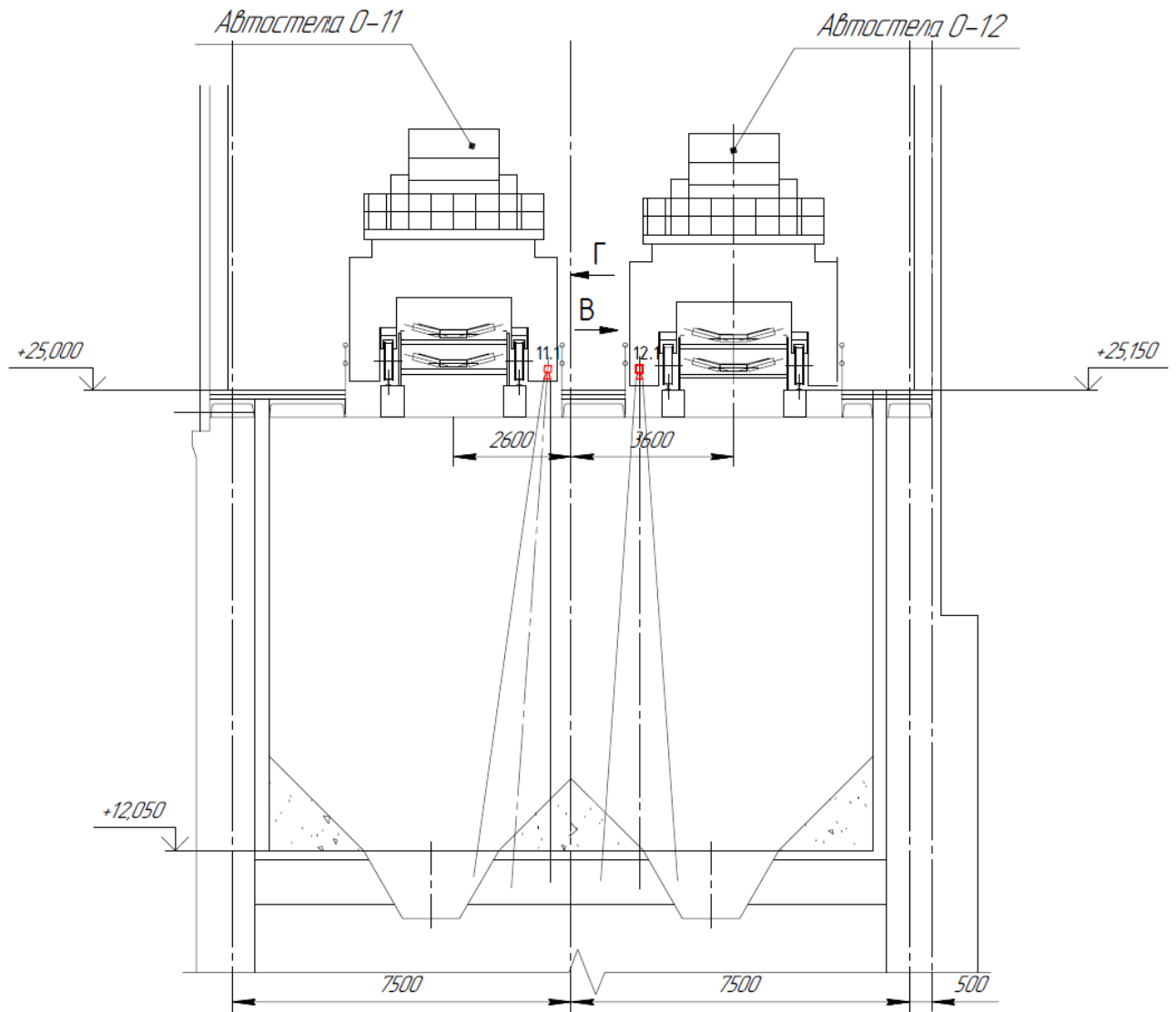


Рисунок 1.1 – Конструкція автостелли та бункеру у розрізі

1.3 Призначення та цілі розробки системи керування завантаженням бункерів

Розроблена система призначена для автоматизованого управління процесом завантаження бункерів збагачувальної фабрики (конвеєри О-9, О-10,

O-11, O-12) роздробленою рудою. Основна мета системи – забезпечення ефективного заповнення бункерів з автоматичним визначенням рівня матеріалу в кожному бункері та точним позиціонуванням автостелли над місцем завантаження [1, 2].

Система повинна забезпечувати цілодобовий моніторинг стану бункерів у режимі реального часу (On-line 24/7), а також інтелектуальне управління автостеллами для оптимального розподілу руди. Вона має виявляти перевищення заданих параметрів рівня заповнення, видавати попереджувальні сигнали, зберігати дані для подальшого аналізу та надавати можливість перегляду стану обладнання за минулий період.

Завдання системи:

1. Контроль рівня завантаження бункерів: система має постійно контролювати рівень заповнення бункерів роздробленою рудою для уникнення перевантаження або нерівномірного розподілу матеріалу.

2. Автоматичне позиціонування автостелли: визначення місцеположення автостелли над відповідним бункером і керування її переміщенням для точного завантаження руди в необхідний бункер.

3. Автоматичне та дистанційне завантаження: система повинна забезпечувати можливість автоматизованого та дистанційного управління завантаженням бункерів залежно від рівня руди, з урахуванням завантажувальних параметрів.

4. Візуалізація рівня заповнення: відображення поточного стану бункерів, рівня їх завантаження та технічного стану на екрані відеотерміналу машиніста автостелли або іншого оператора.

5. Поліпшення умов праці: забезпечення дистанційного керування автостеллами з операторського пункту, що мінімізує фізичне навантаження на персонал та підвищує загальну безпеку роботи.

6. Діагностика обладнання: система повинна виконувати постійну діагностику технічного стану обладнання автостелли, що дозволяє своєчасно виявляти несправності та збільшувати міжремонтний період.

7. Застосування енергоефективних технологій: використання частотних перетворювачів для управління електродвигунами автостелли, що забезпечує плавність запуску, гальмування та економію електроенергії.

Розроблена система сприятиме оптимізації процесу завантаження бункерів, зменшенню енерговитрат, покращенню якості управління та підвищенню продуктивності роботи збагачувальної фабрики. Впровадження цієї системи дозволить забезпечити стабільність технологічного процесу, зменшити кількість простоїв і підвищити надійність обладнання.

1.4 Аналіз відомих методів і систем керування завантаженням бункерів

Аналіз літературних джерел показав значну кількість досліджень у напрямку автоматизації процесу завантаження бункерів сипучими матеріалами за допомогою розвантажувальних пристроїв типу автостелла.

Одним із прикладів успішної реалізації є система контролю рівня руди в параболічних бункерах ОПУ-2 Полтавського ГЗК, розроблена компанією «КСКА» [1]. Завантаження бункерів у цій системі здійснюється шляхом переміщення автостелли між секціями складу.

Особливістю підсистеми автоматичного позиціонування автостелли є застосування індуктивних датчиків положення виробництва компанії TURCK. Датчики розташовані таким чином, щоб забезпечувати зупинку автостелли у визначених зонах міжосьових прольотів. Для автостелли №6 таких зон передбачено 16, а для автостелли №7 – 9 зон. Визначення необхідної зони для зупинки здійснюється за допомогою системи моніторингу рівня в параболічних бункерах.

Призначення системи: забезпечення візуалізації та контролю рівня руди в параболічних бункерах ОПУ-2, а також дистанційне керування автостеллами №6 і №7 з автоматичним позиціонуванням. Основною метою є рівномірне завантаження бункерів і передача інформації про стан руди старшому мельнику ОПУ-2.

Система демонструє ефективне використання сучасних технологій автоматизації для підвищення точності управління процесами завантаження та забезпечення рівномірного розподілу матеріалів у бункерах, що є важливим для стабільності технологічного циклу.

Основні функції системи [1]:

– Моніторинг та візуалізація рівнів руди в параболічних бункерах, пов'язаних із конвеєрами №6 і №7, у режимі реального часу.

– Дистанційне керування автостеллами №6 та №7, включаючи автоматичне позиціонування відповідно до запрограмованих алгоритмів роботи та налаштувань. Це дозволяє забезпечити рівномірне завантаження бункерів.

– Ручне управління переміщенням автостелли: оператор може задавати необхідну позицію автостелли, вказуючи її на відеокадрі операторської панелі в дистанційному режимі ручного управління.

– Місцевий режим управління: переміщення автостелли може здійснюватися з кнопок місцевих постів управління, без урахування захисних і блокувальних залежностей, у разі потреби обходу автоматичних систем.

– Світлозвукова сигналізація: система забезпечує оповіщення про переповнення бункерів конвеєрів №6 і №7 за допомогою світлових і звукових сигналів.

– Збір та надання інформації: всі поточні параметри процесу накопичуються і надаються оператору в зручному та інформативному вигляді для моніторингу та аналізу.

– Попереджувальна і аварійна сигналізація: система відображає попереджувальні сигнали та аварійні сповіщення при перевищенні допустимих рівнів у бункерах.

– Відстеження та обробка аварійних ситуацій: система фіксує та аналізує аварійні події, надаючи оператору необхідну інформацію для їх швидкого вирішення.

– Контроль дій персоналу: система здійснює моніторинг дій технологічного персоналу, що дозволяє забезпечити дотримання алгоритмів роботи та безпеки.

Ці функції спрямовані на забезпечення надійного та ефективного управління процесом завантаження, мінімізацію аварійних ситуацій і підвищення продуктивності виробничого процесу

На рис. 1.2 представлено головний екран SCADA-системи, що використовується для управління та моніторингу технологічних процесів на збагачувальній фабриці. Система поєднує сучасні апаратні компоненти та програмне забезпечення, що забезпечує високу точність, надійність та ефективність роботи.

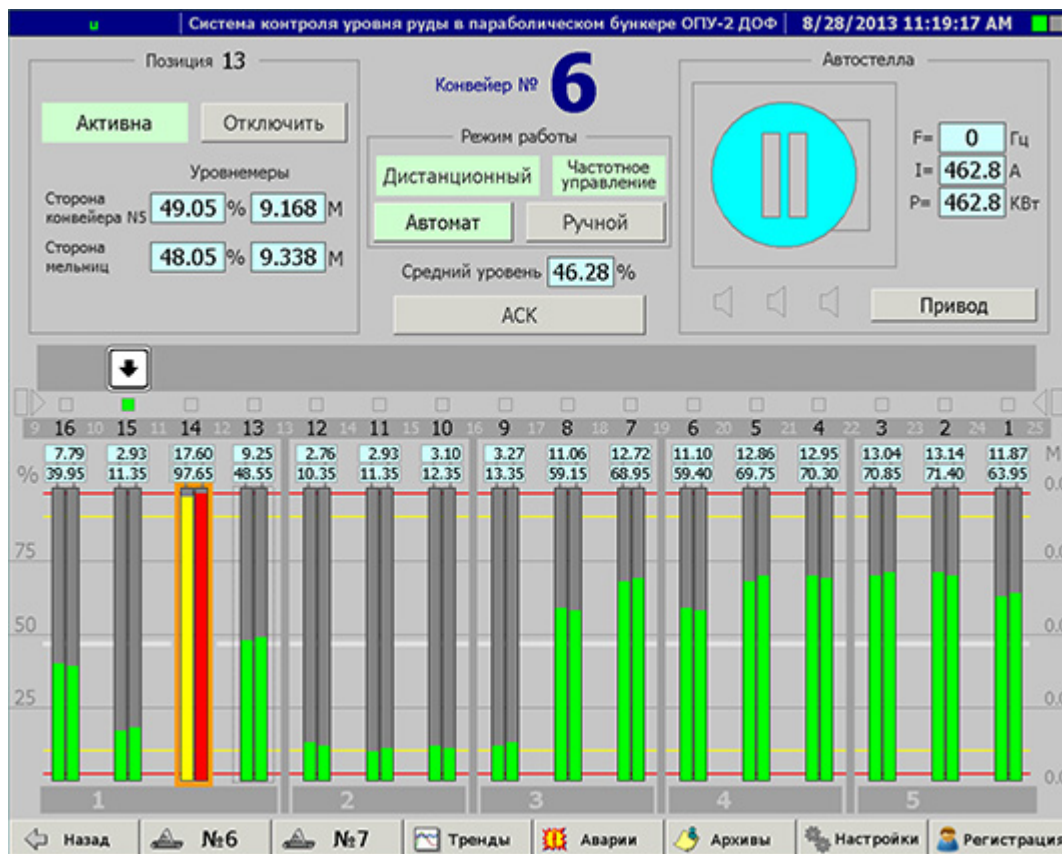


Рисунок 1.2 – Головний екран SCADA-системи моніторингу руди у параболічних бункерах ОПУ-2 Полтавського ГЗК

Технічна основа програмно-апаратної частини системи включає такі компоненти:

1. Ультразвукові датчики рівня Echomax XPS від SIEMENS – забезпечують високу точність вимірювання рівня матеріалу в бункерах, що є критичним для контролю рівномірного завантаження обладнання.

2. Десятиканальні вимірювальні перетворювачі SITRANS LU10 компанії SIEMENS – обробляють отримані дані від ультразвукових датчиків та передають їх на центральну систему моніторингу для подальшого аналізу та управління.

3. Перетворювачі частоти SINAMICS G120 від SIEMENS – забезпечують плавне та енергоефективне регулювання швидкості роботи механізмів автостелажів, що дозволяє зменшити зношування обладнання та оптимізувати витрати енергії.

4. Резервованій програмований логічний контролер (ПЛК) Siemens S7-400H – гарантує безперебійну роботу системи завдяки функції резервування, що дозволяє підтримувати працездатність навіть у разі відмови одного з компонентів.

5. Резервовані пристрої віддаленого вводу/виводу *ET200M* – забезпечують інтеграцію різних датчиків та виконавчих механізмів у систему.

6. Панелі оператора *SIEMENS MP377* – дозволяють операторам здійснювати моніторинг та управління системою в реальному часі.

7. Система візуалізації *WinCC Flexible* – забезпечує графічне представлення процесів, стану обладнання та контроль за технологічними параметрами.

Особливості системи:

– Контроль некерованого переміщення автостелли. У разі неконтрольованого зсуву автостелли (наприклад, при поганому стані гальм), система автоматично повертає її на необхідну позицію.

– Оперативне заповнення бункерів. На початкових етапах роботи система прискорює заповнення за рахунок частішої зміни позицій автостелли, що забезпечує рівномірний розподіл руди по всій довжині бункера.

– Захист від переповнення. У разі досягнення аварійного верхнього рівня заповнення система автоматично переміщує автостеллу до бункера з мінімальним рівнем.

Ефективність впровадження

1. Підвищення ефективності завантаження бункерів. Використання сучасних технологій мінімізує вплив людського фактора на точність і якість управління процесом.

2. Покращення якості управління. Сучасне технічне оснащення дозволяє підвищити оперативність, точність і достовірність інформації про стан технологічного процесу, що суттєво покращує контроль.

3. Покращення умов праці персоналу. Централізація функцій контролю, управління та діагностики знижує фізичне навантаження та підвищує безпеку праці обслуговуючого персоналу.

4. Забезпечення доступу до виробничої інформації Система інтегрується з інформаційною системою управління виробництвом, що дозволяє керівникам і спеціалістам оперативно отримувати необхідні дані для аналізу та прийняття рішень [1].

Впровадження цієї системи сприяє оптимізації технологічного процесу, підвищенню продуктивності та надійності роботи обладнання, а також створює умови для ефективного управління всіма етапами завантаження.

ТОВ «НПК «СЦМА» представила власну інноваційну розробку – систему збору інформації для управління завантаженням бункерів [2]. Вона базується на використанні мобільного радарного рівнеміра та системи вимірювання лінійних відстаней, які дозволяють точно визначати місцезнаходження автостелли. Ці компоненти встановлюються безпосередньо на рухомій автостеллі, забезпечуючи високу точність збору даних.

Отримана інформація перетворюється в спеціалізованому контролері та передається на радіомодем, який забезпечує подальшу передачу даних. У проекті передбачається встановлення п'яти таких систем збору інформації – відповідно до кількості автостел. Завдяки радіосигналу дані передаються на стаціонарний

приймальний блок, де вони обробляються та відображаються на АРМ оператора, а також на відеотерміналах. Це дозволяє машиністу стелли в реальному часі контролювати рівень завантаження.

Для обробки інформації та збору даних використовується спеціалізований комплекс апаратних засобів та оптимізовані алгоритми, що забезпечують високу ефективність і точність системи. Такий підхід сприяє автоматизації процесів і підвищує продуктивність управління завантаженням бункерів.

Виконуються такі ключові завдання:

- Визначення рівня завантаження бункерів дробленою рудою під час повного переміщення автостелли уздовж конвеєра між крайніми положеннями.
- Оновлення інформації про рівень матеріалу в бункерах під час переміщення автостелли з однієї точки розвантаження до іншої.
- Постійний моніторинг заповнення бункера, коли автостелла перебуває у фіксованому положенні.
- Автоматичне позиціонування автостелли над заданим місцем заповнення бункера.
- Завантаження бункера дробленою рудою у відповідності до поточного рівня матеріалу.
- Коригування коефіцієнта переводу обертів колеса в лінійне переміщення для компенсації зносу колеса, що може впливати на його діаметр.
- Відображення рівня завантаження бункерів у вигляді мнемосхеми технологічного процесу на моніторі АРМ оператора РОФ.
- Візуалізація рівня заповнення бункерів на екрані відеотермінала машиніста автостелли безпосередньо на об'єкті.
- Постійне оновлення даних про завантаження бункерів.
- Запис і збереження всіх вимірюваних даних для подальшого аналізу.
- Активація звукової та світлової сигналізації у випадку втрати радіозв'язку чи переходу системи в ручний режим.
- Формування звітів щодо роботи системи із можливістю їх друку.
- Обмін інформацією з іншими системами за встановленими протоколами.

– Виведення на екран монітора сповіщень про збої та несправності в роботі системи.

Система передбачає оперативне виведення на монітор інформаційних повідомлень про виявлені несправності або відхилення в роботі обладнання, що дозволяє своєчасно реагувати на можливі збої та підтримувати стабільність процесу.

Під час проектування враховано, що робочий відвір завантажувальної частини бункера закритий металевими конструкціями, які виконують роль сита для відсіювання великих частинок матеріалу. Однак ця конструктивна особливість може створювати певні складнощі для безконтактних рівнів, оскільки наявність перешкод у завантажувальній зоні може впливати на точність вимірювання рівня матеріалу. Для вирішення цього завдання у створенні автоматизованої системи управління (АСУ) рівнем завантаження бункерів пропонується використання програмованих логічних контролерів серії «I-7000» від провідного міжнародного виробника засобів промислової автоматизації – компанії ICP DAS (Тайвань). Ці контролери мають високий рівень надійності, широкий діапазон функціональних можливостей і забезпечують стабільну роботу навіть у складних умовах експлуатації.

Розроблена структурна схема технічних засобів автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) контролю рівня руди в бункерах наведена на рисунку 1.3.

У системі передбачено інтеграцію сучасних датчиків і програмного забезпечення, що дозволяє не тільки вимірювати рівень завантаження, але й оптимізувати технологічні процеси за рахунок точного аналізу даних і швидкого реагування на зміни.

Такий підхід гарантує підвищення ефективності роботи обладнання, мінімізує ризики помилок і сприяє оптимізації витрат на обслуговування системи.

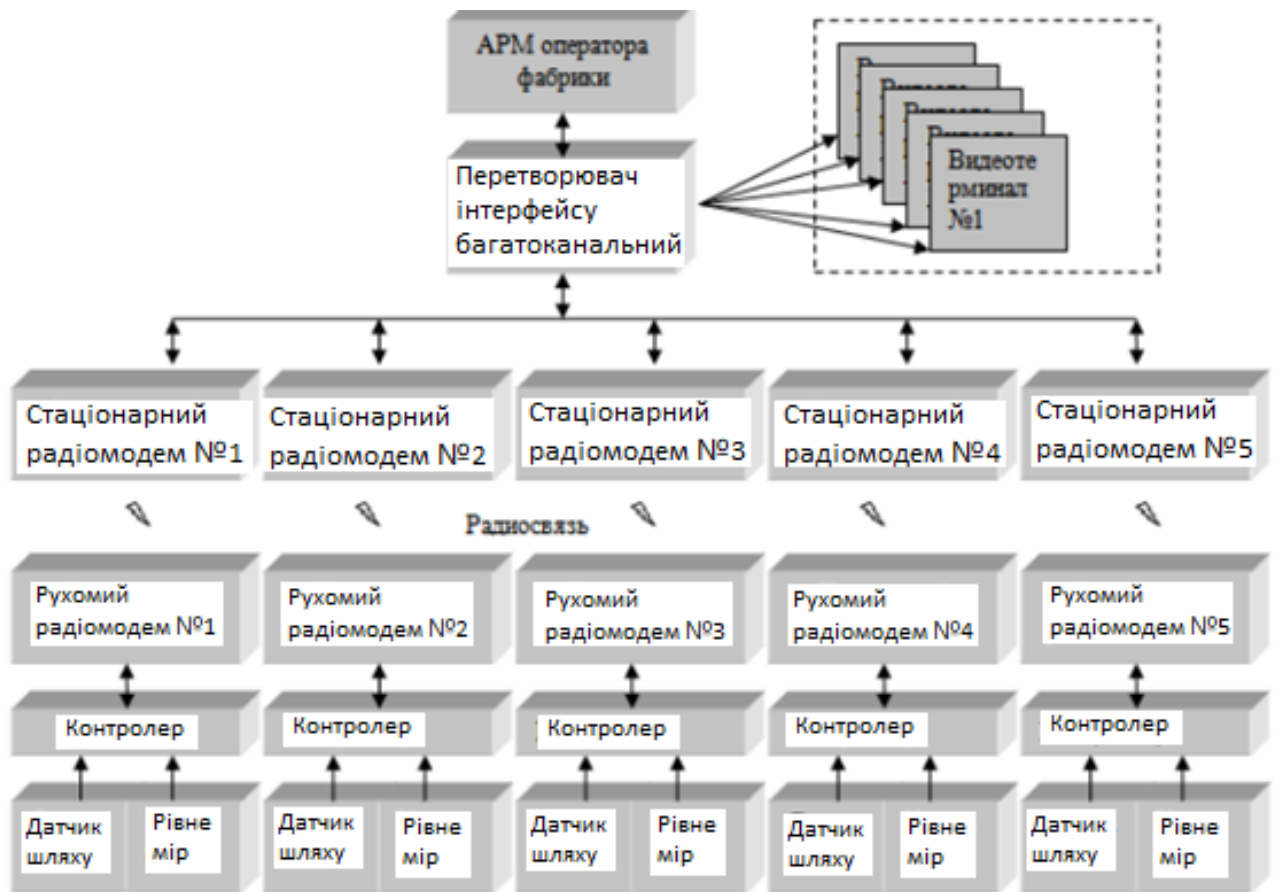


Рисунок 1.3 – Структурна схема обладнання автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) контролю рівня руди в бункерах.

Функція «Перегляд заповнення бункерів» реалізується через інтерактивний діалоговий режим «Оператор–Система» за допомогою панелі машиніста, оснащеної кольоровим графічним терміналом. Такий підхід забезпечує зручний доступ до інформації та можливість оперативного управління процесом.

Робоче місце оператора (АРМ) виконує низку важливих функцій: дистанційний контроль за роботою системи, збір, обробку та збереження даних, а також дистанційну калібровку вимірювальних каналів. Це дозволяє зменшити витрати часу на обслуговування та підвищити загальну ефективність роботи системи.

Система здатна функціонувати у двох основних режимах: ручному та автоматичному. Перехід між режимами здійснюється за командою оператора

дистанційно або шляхом використання спеціального ключа на автостеллі. Така гнучкість у керуванні дозволяє адаптувати роботу системи до різних виробничих умов і забезпечує надійність управління навіть у випадку позаштатних ситуацій.

Цей підхід сприяє оптимізації роботи, підвищенню точності моніторингу та забезпечує високий рівень автоматизації технологічного процесу (рис. 1.4).

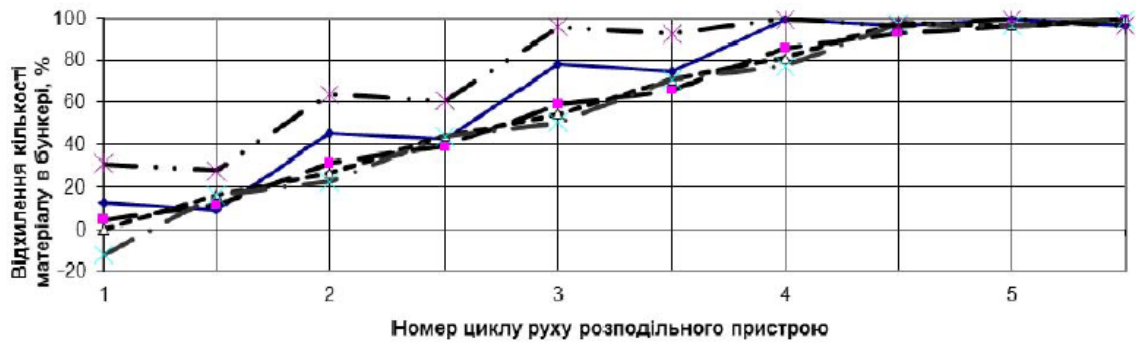
Аналіз літературних джерел [3-12] показує, що на підприємствах, де функціонує п'ять або шість споживачів сипкого матеріалу, а завантаження приймальних бункерів здійснюється автостеллюю в циклічному режимі, спостерігаються значні коливання рівня матеріалу в бункерах (рис. 1.4). У таких умовах вже з четвертого циклу роботи розподільчого пристрою починаються переривання подачі матеріалу, що негативно впливає на стабільність виробничого процесу.

При збільшенні кількості працюючих живильників автостелла здатна підтримувати рівень запасу матеріалу в бункерах на позначці понад 80% від їх загального об'єму. Однак це можливо лише на початкових етапах роботи, після чого ефективність знижується, і рівень матеріалу в деяких бункерах починає зменшуватися, що підтверджується від'ємними значеннями рівня в окремих випадках [5].

Такі результати свідчать про необхідність вдосконалення системи управління завантаженням бункерів. Використання інтелектуальних алгоритмів оптимізації розподілу матеріалу, а також підвищення швидкодії автостелли може значно зменшити коливання рівня сипкого матеріалу та забезпечити більш стабільну подачу. Впровадження автоматизованих систем контролю в реальному часі дозволить оперативно реагувати на зміни у виробничих умовах, підтримуючи необхідний рівень матеріалу у бункерах і запобігаючи перериванням подачі.



a)



б)

—◆— Бункер 1 —■— Бункер 2 - -△- - Бункер 3 —×— Бункер 4 —*— Бункер 5 —●— Бункер 6

Рисунок 1.4 – Коливання кількості шихти у приймальних бункерах спікального відділення при різній кількості споживачів

Також, наявна технічна документація та досвід експлуатації існуючої системи показав, що потрібно додатково врахувати ряд вимог, зокрема, щодо недопущення можливості зупинки автостели та вивантаження руди у місцях дотику бункерів (тобто, на швелер). Це потребує урахування конструктивних особливостей конструкції складу руди, який завантажується автостелами дробильної фабрики, а саме:

- послідовності чергування та довжин секцій складу;
- місць розташування балок (швелерів);
- наявності та місцезнаходження так званих. переїздів (місць, над якими не повинна зупинятися автостела).

На рис. 1.5 наведено схема конструктивних особливостей складу руди, що завантажується автостелами О-11, О-12 Центрального ГЗК.

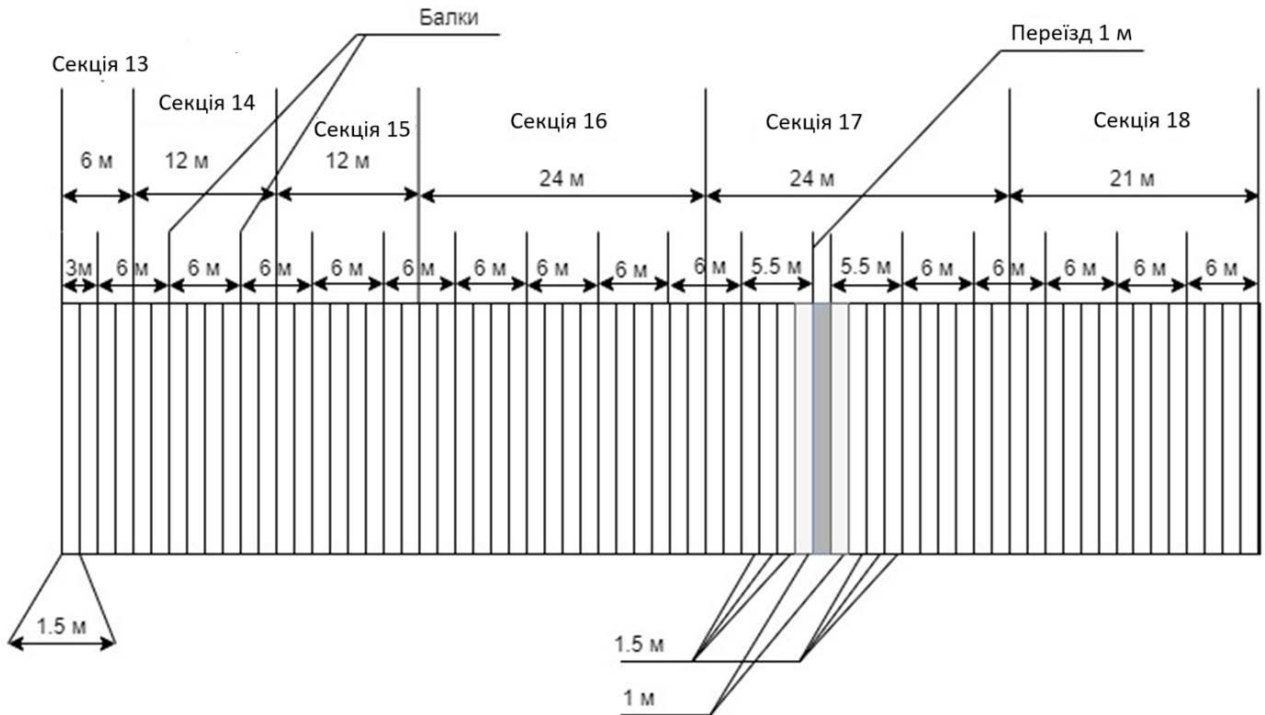


Рисунок 1.5 – Схема розміщення секцій та балок між ними для складу руди дробильної фабрики, що завантажується автостелами О-11, О-12

Висновки до розділу

Виконано детальну характеристику об'єкта автоматизації, яким є процес завантаження руди у бункері. Запропонована система автоматизації призначена для керування завантаженням бункерів збагачувальної фабрики за допомогою конвеєрів О-9, О-10, О-11, О-12, що транспортують подрібнену руду. Система забезпечує автоматичне визначення рівня заповнення бункера та точне позиціонування автостелі над місцем завантаження матеріалу.

Система функціонує у режимі цілодобового моніторингу (On-line 24/7) заповнення рудою бункерів відповідних конвеєрів. Вона включає інтелектуальні алгоритми керування автостелами для оптимального розподілу руди, а також подає попереджувальні сигнали при досягненні заданих параметрів заповнення. Окрім цього, реалізована функція збереження та перегляду історії стану обладнання за минулі періоди, що дозволяє здійснювати аналіз роботи системи та виявляти можливі проблеми.

Проведено аналіз існуючих методів управління процесом завантаження сипких матеріалів у бункері. Розглянуто сучасні рішення, запропоновані НВК «Союзколірметавтоматика», які використовують методи опосередкованого розрахунку рівня руди та контактні технології для визначення положення автостелі. Також досліджено моделі формування алгоритмів переміщення автостелі над бункерами, розроблені провідними вітчизняними та закордонними фахівцями.

На основі проведеного аналізу сформульовано ключові вимоги до системи автоматизації, що розробляється, серед яких: висока точність визначення рівня заповнення бункерів, надійність роботи обладнання, мінімізація енергетичних витрат та можливість інтеграції із сучасними SCADA-системами для забезпечення повноцінного моніторингу та керування процесом.

РОЗДІЛ 2

ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗАВАНТАЖЕННЯ БУНКЕРІВ ЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ

2.1 Характеристика основних проектних рішень системи автоматизації процесу завантаження бункерів збагачувальної фабрики рудою

Автоматизована система керування завантаженням бункерів збагачувальної фабрики виконує широкий спектр завдань, що підвищують ефективність та безпеку виробничого процесу.

Визначення рівня завантаження бункерів роздробленою рудою під час повного переміщення автостелли вздовж конвеєра від одного кінцевого положення до іншого. Оновлення даних про рівень матеріалу в бункерах при зміні позиції автостелли з однієї точки розвантаження в іншу. Безперервний контроль заповнення поточного місця бункера під час нерухомого положення автостелли. Автоматичне коректування позиції автостелли для оптимізації процесу завантаження.

Відображення рівня завантаження бункерів на мнемосхемі технологічного процесу, що виводиться на екран монітора автоматизованого робочого місця (АРМ) машиніста автостелли. Відеомоніторинг навколишнього середовища, що забезпечує підвищену видимість та безпеку навколо автостелли у реальному часі. Сигналізація початку руху автостелли за допомогою звукових та світлових оповіщень.

Відображення рівня руди в бункері в реальному часі шляхом розрахункового алгоритму, що базується на даних з секційних ваговимірювальних конвеєрних систем. Запис та зберігання даних у форматі MS SQL Server, що дозволяє їх надійне архівування і подальший аналіз. Формування та друк звітів про роботу системи, що включають як оперативну інформацію, так і статистичні показники.

Сигналізація про несправності на екрані монітора для оперативного реагування на збої в роботі системи. Функціонування у трьох режимах: ручному, дистанційному та автоматичному, що забезпечує гнучкість та адаптацію до різних умов роботи. Аналіз роботи обладнання за заданий проміжок часу, що дозволяє виявляти вузькі місця та підвищувати ефективність процесу. Аварійна зупинка обладнання у випадку надзвичайних ситуацій для забезпечення безпеки персоналу та обладнання.

Система не тільки забезпечує ефективний контроль і управління процесом завантаження, а й сприяє мінімізації людського фактора. Завдяки автоматичному моніторингу та сигналізації система підвищує точність виконання операцій і знижує ризик простоїв виробництва.

Таким чином, автоматизована система керування бункерами дозволяє підвищити продуктивність, оптимізувати використання ресурсів та забезпечити безпеку на всіх етапах роботи обладнання.

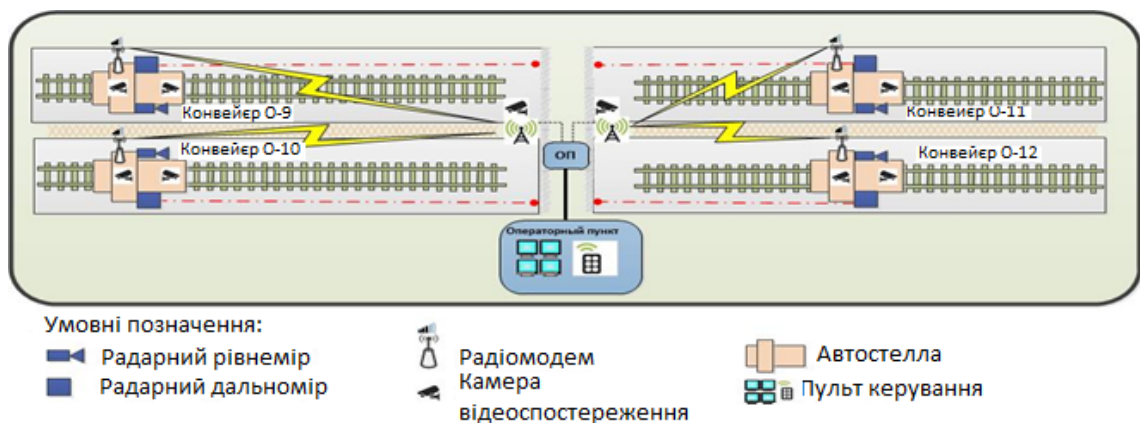


Рисунок 2.1 – Схема, що ілюструє рішення для автоматизації процесів.

Для реалізації вищезазначених функцій проектом передбачено використання сучасних технічних засобів, які забезпечують надійність, точність та ефективність автоматизації. Основою системи є контролер Siemens S7-1200 із центральним процесором CPU 1215C [20], який відповідає за обробку даних та координацію роботи всіх компонентів. Для збору інформації від датчиків використовуються модулі введення дискретних сигналів SM 1221, що забезпечують точний збір і передачу сигналів від обладнання.

Контролери розміщуються в окремих шафах на кожній автостеллі, що забезпечує їх захист від зовнішніх впливів та зручний доступ для обслуговування. Інформаційний обмін між контролерами та автоматизованим робочим місцем (АРМ) оператора здійснюється через бездротову мережу, що дозволяє мінімізувати використання кабельних ліній та підвищує мобільність системи. Крім того, дані передаються до мережі комбінату через волоконно-оптичну лінію зв'язку (ВОЛЗ), що забезпечує швидку та безперебійну передачу інформації на верхні рівні управління.

В якості вимірювального обладнання:

– Vegapuls SR 68 використовується як радарний рівнемір (по 1 шт. на кожну з 4-х автостелл), що забезпечує точний контроль рівня завантаження бункерів.

– Sumeo LPR®-1D24 застосовується як радарний далекомір (по 1 комплекту на кожну з 4-х автостелл). Конструктивно одна частина далекоміра встановлюється на рухомій автостеллі, а відповідна частина – стаціонарно в цеху. Це дозволяє з високою точністю визначати відстань між елементами системи та здійснювати коректування її положення.

Для відеомоніторингу системи передбачені IP-відеокамери Wisenet XNO-6080RP (по 2 шт. на кожну з 4-х автостелл плюс 2 шт. стаціонарно в цеху). Відеокамери забезпечують детальну візуалізацію процесу завантаження, контролю оточення та підвищення рівня безпеки при виконанні операцій.

Бездротовий зв'язок між контролерами та АРМ оператора здійснюється за допомогою Wi-Fi точок доступу Ubiquiti NanoStation Loco M5 (по 1 шт. на кожну з 4-х автостелл плюс 2 шт. стаціонарно в цеху). Ці пристрої забезпечують стабільне з'єднання, високу пропускну здатність і широкий радіус дії, що дозволяє передавати великі обсяги даних у режимі реального часу.

Для забезпечення контролю за обстановкою в цеху та навколо автостелл проектом передбачено встановлення IP-відеокамер. Відеоінформація з камер передається на монітори, розташовані на робочому місці оператора, що дозволяє здійснювати оперативний нагляд за процесами та навколишнім середовищем.

У телекомунікаційному шафі оператора встановлюються два відеореєстратори DHI-NVR2208-S2 для обробки та запису даних. Підключення відеокамер розподіляється наступним чином:

- До першого відеореєстратора підключаються камери, розташовані на автостеллах О-9, О-10, а також на стіні цеху, де розміщені ці автостелли.
- До другого відеореєстратора підключаються п'ять інших камер, що забезпечують контроль за автостеллами О-11 та О-12.

Відеосигнал з обох відеореєстраторів виводиться на два монітори, встановлені у приміщенні оператора. Монітори фіксуються на стіні за допомогою кронштейнів, що забезпечує зручне розташування та огляд інформації для оператора.

Для зберігання відеозаписів у відеореєстратори встановлюються жорсткі диски, що дозволяють вести тривалий запис і архівацію даних. Це рішення забезпечує надійний моніторинг і можливість перегляду подій у разі необхідності.

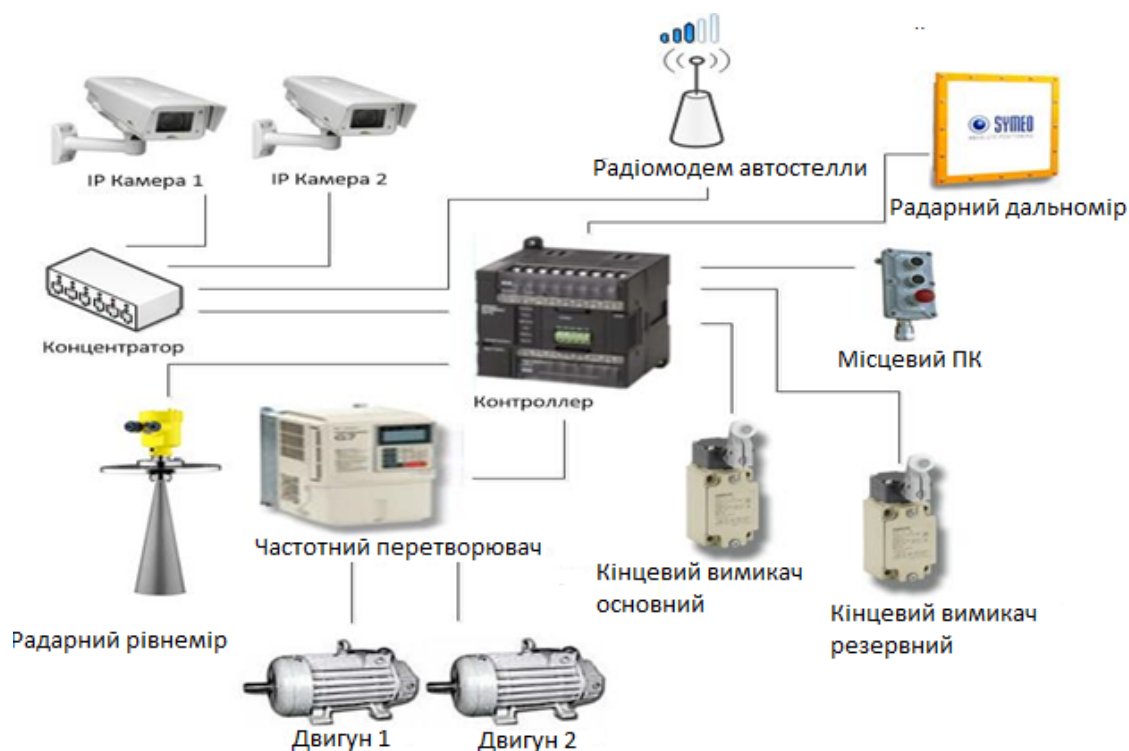


Рисунок 2.2 – Структурна схема

У рамках проєкту передбачено організацію системи гучного зв'язку, призначеної для оперативної передачі голосових повідомлень із приміщення оператора до виробничих ділянок цеху.

У приміщенні оператора встановлюється мікрофонний пульт ПГС-5-6а, який забезпечує передачу мовних сигналів. Для підсилення звуку до пульта підключаються два трансляційних підсилювачі АС-100, що гарантують якісне покриття звуковим сигналом на всій території цеху.

На кожній ділянці цеху монтується по 10 рупорних гучномовців IPS-H10P, які кріпляться на стінах. Завдяки рупорному виконанню гучномовці забезпечують чітке та рівномірне поширення звуку навіть у великих та шумних приміщеннях.

Система гучного зв'язку дозволяє оператору своєчасно передавати важливі повідомлення, інструкції або аварійні сповіщення до персоналу, що працює на виробничих ділянках. Впровадження цієї системи значно підвищує рівень оперативної взаємодії та безпеки працівників, особливо у випадках екстрених ситуацій.

Таким чином, організована система гучного зв'язку є важливим елементом комунікаційної інфраструктури цеху, сприяючи ефективній координації робочих процесів та забезпечуючи швидке реагування на будь-які виробничі події.

2.2 Математичне забезпечення системи

2.2.1 Математична модель для розрахунку оптимальної послідовності переміщень автостели між секціями

Для автоматичного керування рухом автостели використовується наступне математичне формулювання задачі позиціонування [13].

Рішення визначається наборами дискретних відліків часу T та набором секцій бункера P . Початковий рівень кожної секції бункера визначається вектором L_1 . Рівень обмежений знизу та зверху значеннями l_{min} і l_{max} . Початкове

положення автостели параметром p . Швидкість вивільнення секції бункеру визначається параметром K . Цей параметр визначає кількість руди, яку кожен із бункерів здатний зберігати відповідно до матеріального рівняння процесу.

Для збереження значень рівнів бункерів P на різних кроках ітерацій T використовується матриця L . Матриці A і B представляють змінні провисання для рівнів бункерів. Набір даних Z представляє допоміжні змінні для розрахунку цільової функції.

Рівняння матеріального балансу, яке визначає рівень бункера i в часі, має наступний вигляд [14]:

$$L_i = K_i \int (Q_t - Q_i) dt, \quad (2.1)$$

де L_i – рівень у конкретному бункері; K_i – об'ємний коефіцієнт бункера; Q_t – масова витрата автостели; Q_i – масова витрата окремого живильника під бункером.

На кожному кроці секція бункера, розташована під поточним положенням автостели, збільшується на значення масової витрати q . Початковий рівень визначається рівнянням (2.8). Це обмеження представляє початкову масу руди в бункері в перший період часу.

$$Z_i \leq L_{i,j}, \forall j \in T, i \in P, \quad (2.2)$$

$$\sum_{i \in P} I_{i,j} = 1, \forall i \in T, \quad (2.3)$$

$$I_{i,j} \leq I_{i-1,j-1} + I_{i,i-1} + I_{i+1,j-1}, \forall i \in [2, n-1], j \in [2, t], \quad (2.4)$$

$$I_{1,j} \leq I_{1,j-1} + I_{n-1,j-1}, \forall j \in [2, t], \quad (2.5)$$

$$I_{n,j} \leq I_{n,j-1} + I_{2,j-1}, \forall j \in [2, t], \quad (2.6)$$

$$I_{p,1} = p, \quad (2.7)$$

$$L_{i,1} = L_1, \forall i \in T. \quad (2.8)$$

$$A_{i,j} = \Delta A_{1,j} + A_{i-1,j}, \forall i \in P, j \in T, \quad (2.9)$$

$$\Delta A_{i,1} = 0, \forall i \in V, \quad (2.10)$$

$$B_{i,j} = \Delta B_{i,j} + B_{i-1,j}, \forall i \in P, j \in T, \quad (2.11)$$

$$\Delta B_{i,1} = 0, \forall i \in V, \quad (2.12)$$

$$L_{i,j+1} = L_{i,j} + K_i(q \cdot I_{i,j} - Q_i) + \Delta A_{i,j+1} - \Delta B_{i,j+1}, \quad (2.13)$$

$$\forall i \in P, j \in [1, t - 1],$$

$$L_{i,j} \leq l_{max}, \forall i \in P, j \in T, \quad (2.14)$$

$$L_{i,j} \geq l_{min}, \forall i \in P, j \in T. \quad (2.15)$$

Якщо рівняння (2.1) не збалансоване, наприклад, вхідний потік відрізняється від вихідної продуктивності, бункер може час від часу спорожнюватися або повністю заповнюватися на будь-якому з етапів функціонування. Два набори змінних A і B були додані, щоб гарантувати, що проблема стає вирішуваною при будь-якій конфігурації задачі. Рівень першого маніпулятора нижче l_{min} , як визначено в рівняннях (2.11 – 2.12), і рівень другого маніпулятора вище l_{max} , як показано в рівняннях (2.9 -2.10).

Початкова позиція автостели визначається параметром p у рівнянні (2.7). Рівняння (2.3) визначає, що візок автостели може перебувати лише над однією секцією бункера на кожній ітерації. Правила переміщення вздовж періодів часу визначаються нерівністю (2.4). Вона визначає, що положення візка в даній ітерації є здійсненним, лише якщо автостела залишається в тому самому місці або переміщується в позицію, що знаходиться безпосередньо поруч. Нерівності (2.5 – 2.6) визначають правила переміщення, якщо автостела знаходиться в першому або останньому положенні над складом.

Цільова функція базується на мінімаксомому принципі [14, 15]. Його мета полягає в тому, щоб максимізувати значення найнижчого рівня з урахуванням усіх секцій бункера у кожному періоді, не дозволяючи їх залишатися без руди у будь-який час. Множина Z , як показано у рівнянні (2.2), визначається як найнижче значення рівнів бункера, досягнутих на кожному кроці. Рішення задачі може бути знайдено шляхом максимізації результату підсумовування множини Z . Математичний запис функції витрат для даної задачі виглядатиме наступним чином:

$$\sum_{j \in T} Z_j - \sum_{i \in P, j \in T} A_{ij} - \sum_{i \in P, j \in T} B_{ij} \rightarrow \max \quad (2.12)$$

$$Z_j < L_{i,j}, \forall j \in T, i \in P.$$

Для розв'язання даної задачі оптимізації застосовуються методи динамічного програмування, у відповідності до яких пошук рішення складної проблеми здійснюється шляхом розв'язання її менших підпроблем. Кожна підпроблема вирішується лише один раз, і результат зберігається в таблиці для подальшого використання. Підзадачі задачі позиціонування визначаються як рішення цієї задачі на кожному з проміжних кроків. Ця процедура починається з першої ітерації та виконується поступово до останнього періоду. Алгоритм передбачає введення двох додаткових таблиць для зберігання часткового результату рішення підпроблем: перша обробляє значення вартості, а друга обробляє історію позицій [15-19].

Першим кроком алгоритму є оновлення рівнів L секцій бункера відповідно до динамічної моделі процесу (блоки 2 і 3). На наступному кроці значення функції витрат c оновлюється значенням найнижчого рівня в поточній ітерації (блок 4). Змінна $Table$ оновлюється, якщо в таблиці немає значення вартості, пов'язаного з поточним кроком, або якщо поточна вартість більша або дорівнює вже збереженому значенню, тоді рекурсія продовжується (рядок 6). В іншому випадку, якщо поточна вартість менша за зареєстровану у таблиці вартість, відбувається вихід і повернення результату з функції. Найкраще можливе рішення зберігається в глобальній змінній $Best$ на останньому кроці процедури позиціонування автостели (рядки 12 і 14).

2.2.2 Математична модель для визначення прогнозного рівня руди в бункері

Оскільки прямий контроль рівня матеріалу у конкретній секції бункера можливий лише тоді, коли автостела з радарним вимірювачем рівня знаходиться безпосередньо над секцією. У іншому випадку, для прийняття рішення стосовно наступного місця розвантаження автостели у дистанційному режимі керування

оператору потрібна інформація про поточні рівні матеріалу у кожній секції. З цією метою необхідно розробити та реалізувати алгоритм визначення прогнозного рівня руди в бункері.

Вхідною інформацією для даного алгоритму є останнє фактичне (вимірне радарним вимірювачем рівня Vegapuls SR 68) значення рівня, конструктивні параметри бункера, а також вимірне значення витрати з під всіх тічок бункера, що живлять пов'язану секцію збагачення.

Розрахунок прогнозного рівня базується на рівнянні матеріального балансу з урахуванням маси наявного в бункері матеріалу та поточної витрати з бункера. Для розрахунку маси руди в бункері можна використати формулу

$$m = \rho \cdot V, \quad (2.13)$$

ρ – щільність матеріалу; V – об'єм секції.

З урахуванням геометричних параметрів секції, об'єм матеріалу можна описати як

$$V = a \cdot b \cdot h, \quad (2.14)$$

де a , b , h – відповідно довжина, ширина та висота бункера.

З урахуванням (2.14) масу матеріалу в секції можна представити формулою

$$m = \rho \cdot a \cdot b \cdot h. \quad (2.15)$$

Продуктивність конвеєра, що знаходиться під тічками бункера і живить секцію збагачення, визначається формулою

$$Q = m_t / \Delta t. \quad (2.15)$$

де m_t – маса матеріалу, транспортованого за проміжок часу Δt .

На основі (2.15) для обчислення маси матеріалу, що вивантажується з бункера, використовувати миттєві значення продуктивності Q_i , що фіксуються конвеєрними терезами у дискретні моменти часу t_i , можна застосувати формулу

$$m_t = \sum_{i=0}^{n-1} Q_i \cdot t_i. \quad (2.16)$$

Зміну маси матеріалу в секції можна виразити як $m - m_t$. З урахуванням формул (2.13) та (2.15), даний вираз набуває наступного вигляду:

$$m - m_t = \rho \cdot a \cdot b \cdot h - \sum_{i=0}^{n-1} Q_i \cdot t_i. \quad (2.17)$$

У даному виразі висота h , фактично, є шуканим прогнозованим рівнем, відповідно, справедливою є заміна $h = L_{calc}$.

Оскільки існує можливість контролювати миттєву продуктивність конвеєра лише для конкретної секції бункера в цілому, а інформація про вимірний рівень зберігається для декількох точок уздовж секції, для забезпечення більшої об'єктивності інформації про поточний рівень відбувається усереднення вимірних значень рівня перед виведенням актуального рівня на екран оператора.

На початку роботи алгоритму прогнозне значення рівня подрібненої руди приймається рівним усередненому значенню всіх вимірних радарним датчиком рівнів у точках контролю, що належить даній секції.

Після того, як автостела покидає межі конкретної секції, активується підпрограма розрахунку прогнозного значення рівня. Як було сказано вище, розрахунок базується на інформації про миттєву витрати матеріалу з усіх тічок даної секції [4, 12]. Виразивши масу матеріалу в бункері через рівень матеріалу

$$m(L_{calc.cur}) = \rho \cdot a \cdot b \cdot L_{calc.cur}, \quad (2.18)$$

можна записати рівняння матеріального балансу при відомій витраті Q_i з бункера (отримується за вимірним конвеєрними терезами секції збагачення значенням):

$$m(L_{calc.cur}) = m(L_{calc.prev}) - Q_i \Delta t, \quad (2.19)$$

де $L_{calc.cur}$ – поточне розрахункове значення рівня, а $L_{calc.prev}$ – попереднє розраховане значення рівня.

Підставивши (2.18) у (2.19) і виконавши відповідні перетворення, отримуємо результуючий вираз для розрахунку рівня матеріалу в конкретній секції

$$L_{calc.cur} = L_{calc.prev} - \frac{(Q_i \cdot \Delta t)}{\rho * a * b} \quad (2.20)$$

З урахуванням зазначеного у першому розділі, а саме що бункери мають конусність: ширина у верхній частині становить 22,25 м, у нижній частині – 12,25 м, а висота від випускного отвору до перекриття сягає 10 м, ширину a і довжину b у формулі (2.20) слід представляти, як функції від $L_{calc.prev}$.

До початку звуження бункера h_1 його ширина є сталою і дорівнює a . Після зони звуження ширина бункера змінюється прямо пропорційно рівню, розрахованому на попередній ітерації.

Використовуючи одне з властивостей прямокутного трикутника $tg(x) = \frac{a}{b}$, (рис. 2.8), і, прийнявши a як рівень $L_{calc.prev}$, а b як різницю ширин бункера da , ширина бункера в місці звуження буде розраховуватися за формулою

$$a(L_{calcPrev}) = \frac{L_{calc.prev}}{tg(x)} \quad (2.21)$$

Для використання формули 8 необхідно одноразово, на початку циклу розрахунку ширини бункера в зоні конусності, розрахувати $tg(x)$, який в подальшому залишається незмінним.

Таким чином, з урахуванням виразу (7) і (8), розрахункове значення рівня для зони конусності розраховується як

$$L_{calc.cur} = \begin{cases} L_{calc.prev} - \frac{(Q_i \cdot \Delta t)}{\rho * a * b}, & L_{calc.prev} \geq h_1 \\ L_{calc.prev} - \frac{(Q_i \cdot \Delta t) \cdot tg(x)}{\rho * a * b}, & L_{calc.prev} < h_1 \end{cases} \quad (2.22)$$

Отже, з урахуванням технічної можливості реалізації вимірювання рівня лише в момент знаходження автостели над конкретною секцією бункера, на основі рівнянь матеріального балансу запропоновано спосіб рекурсивного визначення прогнозного рівня матеріалу, що базується на значенні поточних витрат з бункера та його геометричних характеристиках.

2.3 Інформаційне забезпечення

Інформаційне забезпечення системи, що розробляється, складається з наступних частин:

- внутрішня інформаційна база;
- зовнішня інформаційна база.

Внутрішня база даних включає:

- внутрішньомашинну базу даних програмованого логічного контролера (ПЛК);
- внутрішньомашинні бази даних автоматизованих робочих місць (АРМ) та суміжних підсистем.

Внутримашинна база даних ПЛК призначена для організації збору інформації про контрольовані параметри технологічного процесу, їх зберігання, обробки та передачі в АРМ оператора, зберігання нормативно-довідкової інформації, необхідної для налаштування апаратного та програмного забезпечення, формування та видачі керуючих впливів на виконавчі механізми, видачі та зберігання аварійних та діагностичних повідомлень про роботу датчиків та контролера, формування пакетів даних передачі і прийому з АРМ оператора.

Внутрішньомашинна база даних АРМ оператора реалізована на персональному комп'ютері (ПК) і призначена для ведення обліку даних, введення завдань та запитів оператора, введення нормативно-довідкової інформації, організації передачі та прийому повідомлень та даних з ПЛК.

Зовнішня база даних АСУ включає в себе:

- позамашинну базу даних ПЛК;
- позамашинну базу даних АРМ оператора.

Позамашинна база даних ПЛК призначена для організації введення значень параметрів технологічного процесу в контролер, введення та зберігання даних, необхідних для налаштування апаратного та програмного забезпечення ПЛК,

передачі керуючих впливів на виконавчі механізми, організації передачі даних між ПЛК та АРМ оператора.

Позамашинна база даних АРМ оператора призначена для забезпечення інформацією щодо введення даних до АСУ (запитів користувачів, завдань для систем автоматичного регулювання, для забезпечення користувачів вихідною інформацією системи (звіти, мнемосхеми, графіки) та технічною документацією.

Інформація, що циркулює в системі, включає до свого складу:

- вхідну інформацію;
- вихідну інформацію;
- внутрішньомашинну інформацію;
- міжсистемні повідомлення.

Вхідна інформація включає:

- вхідні сигнали;
- вхідні дані (дані ручного введення).

Вхідні сигнали поділяються на аналогові та дискретні. Джерелом аналогових сигналів є рівень завантаження бункера від радарних рівнемірів Vegapuls SR 68. Джерелом дискретних сигналів є вихідні сигнали контактів струмового захисту приладів, тепловий захист контролю напруги, контакти мережі електроживлення електроприводів механізмів.

Вхідні аналогові сигнали є сигналами, що надходять від первинних перетворювачів (датчиків) технологічних параметрів на вхід АЦП вхідних аналогових модулів ПЛК у формі безперервного електричного сигналу. АЦП модуля перетворює амплітуду електричного сигналу на оцифроване значення відповідно до шкали АЦП, прийнятої при конфігурації вимірювального каналу.

Безпосередньо оцифроване значення вимірюваного сигналу надалі використовується у програмі контролера при виконанні математичних перетворень та обчислень.

Джерелом вхідних дискретних сигналів є модулі введення/виведення контролера, що додатково виконують перевірку цілісності каналів зв'язку.

Вхідні дані системи поділяються на оперативні та нормативно-довідкові.

До оперативних вхідних даних належить така інформація:

- дані вимірювань контрольованих параметрів;
- дані ручного введення режиму функціонування та констант, необхідних для функціонування ПЗ системи;

До нормативно-довідкової інформації належать такі завдання:

- технічна документація системи;
- експлуатаційна документація;
- діапазони значень змін контрольованих параметрів;
- значення допустимих похибок виміру контрольованих параметрів;
- дані, необхідні для конфігурування ПЗ «0-го рівня» та АРМ операторів (перелік і найменування сигналів і механізмів).

Вихідна інформація АСУ включає наступні елементи:

- вихідні сигнали;
- вихідні документи;
- технічна документація з апаратного та програмного забезпечення ПЛК та АРМ оператора.

Вихідні сигнали системи включають:

- вихідні дискретні сигнали (керуючі впливи) (на вкл./викл. електроприводів механізмів та виконавчих механізмів);
- вихідні дискретні сигнали на увімкнення/вимкнення звукової та світлової сигналізації.

Вихідні документи системи включають:

- відеокадри (мнемосхеми, тренди);
- звіти;
- протокол роботи оператора;
- аварійна сигналізація (виведення на екран моніторів АРМ оператора аварійних повідомлень та увімкнення світлозвукової сигналізації).

Внутрішньомашинна інформація включає елементи внутрішньомашинних баз даних ПЛК і АРМ оператора:

- масиви з оперативною та нормативно-довідковою інформацією;

– службову інформацію операційних систем;

Міжсистемні повідомлення включають масив даних.

Для забезпечення інформаційної сумісності вихідного сигналу датчиків та модулів введення сигналів ПЛК прийнято, що рівень аналогових сигналів вибирається з уніфікованого ряду 4-20 мА, рівень дискретних сигналів – 24 В, 0,5 мА.

Забезпечення інформаційної сумісності між ПЛК та АРМ полягає у узгодженні протоколу міжсистемного обміну даними. Використовувана транспортна мережа Industrial Ethernet і протокол TCP/IP – сучасна класична модель комунікацій, підтримувана технічними пристроями всіх виробників засобів обчислювальної техніки.

Сумісність інформації обміну між ПЛК та АРМ, сполучення використовуваних класифікаторів об'єктів даних, забезпечується наскрізною однотипною системою символного кодування даних (тегів), тобто символне ім'я змінної, одного разу оголошене і використовуване в ПЛК, успадковується і зберігається при подальшому використанні цієї змінної для вирішення завдань на АРМ.

2.4 Апаратне забезпечення системи автоматизації процесу завантаження бункерів збагачувальної фабрики рудою

2.4.1 Вибір промислового комп'ютера для розгортання автоматизованого робочого місця оператора автостели

З урахуванням обраних у даному розділі проектних рішень щодо реалізації системи автоматизації процесу завантаження бункерів збагачувальної фабрики рудою, для реалізації функцій автоматизованого робочого місця оператора автостели доцільно використати промисловий комп'ютер SIMATIC IPC547G виробництва компанії Siemens [21]. SIMATIC IPC547G – це високопродуктивний промисловий комп'ютер, призначений для виконання складних задач

автоматизації та візуалізації. Він має стійку конструкцію, що відповідає 19-дюймовому формату (4U, для монтажу у стійку), і може працювати в безперервному режимі 24/7 у середовищах із температурою від 0 до 40 °С. Цей пристрій оптимізований для використання в промислових умовах, включаючи високу вібрацію, пил і перепади напруги (табл. 2.1).

Ключові характеристики:

- Процесор: можливо обрати варіанти Intel Core i5-6500, i7-6700 або Xeon E3-1275 v5 (6-го покоління).
- Оперативна пам'ять: Підтримка до 64 ГБ DDR4 з технологією двоканальної роботи.
- Сховища даних: Жорсткі диски до 2 ТБ або SSD до 480 ГБ. Підтримка RAID 1/5 для забезпечення високої надійності даних.
- Інтерфейси: 2 порти Gigabit Ethernet, до 8 портів USB (USB 2.0 і 3.0), 2 DisplayPort, 1 DVI-D, аудіо, PS/2.
- Розширення: 7 слотів (5 PCI Express, 2 PCI).
- Система охолодження: Інтелектуальна вентиляція з контролем температури і пиловим фільтром.

Таблиця 2.1 – Основні переваги та недоліки промислового комп'ютера SIMATIC IPC547G:

Переваги	Недоліки
Висока продуктивність: сучасні процесори Intel 6-го покоління (Core i5, i7, Xeon E3) з Turbo Boost 2.0 та Hyper-Threading забезпечують швидкодію навіть у складних задачах автоматизації.	Знятий з виробництва: модель більше не випускається з 2024 року, що може ускладнити заміну або ремонт.
Надійність: підтримка безперервної роботи 24/7, стійкість до вібрацій, пилу, температур до 40 °С, а також функції самодіагностики.	Обмеження модернізації: старший чипсет (Intel C236/H110) може не підтримувати новітні технології.

Гнучкість конфігурації: до 7 слотів розширення (5 PCIe, 2 PCI), RAID 1/5, підтримка до 5 моніторів із додатковою графічною картою.	Висока вартість: через спеціалізовані компоненти та функціонал ціна може бути значною навіть для вторинного ринку.
Зручність обслуговування: функція гарячої заміни жорстких дисків та блоків живлення мінімізує час простою.	Застаріле ПЗ: попередньо встановлена ОС Windows 7 Ultimate може бути несумісною з сучасними системами.
Підтримка діагностики: програми SIMATIC IPC DiagMonitor для моніторингу стану системи.	Велика вага: вага пристрою сягає до 17 кг, що може бути незручним для транспортування.
Широкий набір інтерфейсів: USB 2.0/3.0, Ethernet, DVI-D, DisplayPort, COM, PS/2, аудіо.	Енерговитрати: потужність до 230 Вт може бути відносно високою для тривалого використання.

Особливості:

– Можливість встановлення в горизонтальному або вертикальному положенні, а також інтеграції у телескопічні рейки.

– Підтримка гарячої заміни жорстких дисків та блоків живлення для мінімізації часу простою.

– Сумісність із багатомоніторними системами (до 5 дисплеїв із додатковою відеокартою PCIe).

– Програмне забезпечення для діагностики (SIMATIC IPC DiagMonitor) для моніторингу температури, вентиляторів та системи в цілому.

Використовується для управління виробничими процесами, візуалізації даних у реальному часі, серверних задач та інших функцій у промислових середовищах, включаючи металургію, хімічну промисловість і збагачувальні фабрики.

2.4.2. Обґрунтування та вибір перетворювачів частоти

Перетворювач частоти OMRON MX2 – це компактний пристрій, який забезпечує надійне управління двигунами завдяки сучасним технологіям і багатофункціональному дизайну. Його основне призначення – автоматизований контроль швидкості і моменту обертання в асинхронних та синхронних двигунах, що використовується у промислових застосуваннях. Нижче наведено детальніший опис характеристик, функцій і можливостей цього пристрою [22].

Основні характеристики OMRON MX2:

1. Потужність:

- Підтримує діапазон потужностей від 0,1 кВт до 15 кВт, залежно від моделі.
- Моделі доступні для однофазних і трифазних систем живлення на 200 В і 400 В (50/60 Гц).

2. Частотний діапазон:

- Робочий діапазон частот: від 0,1 Гц до 400 Гц (до 590 Гц у високочастотному режимі).
- Висока точність частоти: $\pm 0,01\%$ для цифрових команд і $\pm 0,2\%$ для аналогових команд.

3. Методи управління:

- Векторне управління без датчиків (Sensorless Vector Control).
- V/f-управління для постійного або зниженого моменту.
- PID-регулювання для складних систем автоматизації.

4. Пусковий момент:

- Забезпечує 200% момент при частоті 0,5 Гц, що дозволяє використовувати MX2 у задачах із високим початковим навантаженням, таких як конвеєри або преси

5. Вбудовані інтерфейси:

- RS-485 із підтримкою Modbus-RTU.
- Опції підключення через EtherCAT, PROFIBUS DP, Ethernet/IP, DeviceNet, MECHATROLINK II тощо.

6. Охолодження:

– Залежно від моделі, пристрої мають самостійне (IP20) або примусове охолодження (IP54).

Функціональні можливості:

1. Гнучке налаштування частоти:

- Цифрове налаштування із роздільною здатністю 0,01 Гц.
- Аналогове налаштування із точністю до 1/1000 максимальної частоти.

2. Захисні функції:

– Захист від перенапруги, перевантаження, перегріву, короткого замикання, заземлення.

- Вбудована функція аварійної зупинки (Emergency Stop).

3. Енергозбереження:

– Інтелектуальні алгоритми дозволяють знизити енергоспоживання завдяки оптимізації швидкості двигуна відповідно до навантаження.

4. Багатозадачність:

- До 8 швидкісних профілів для різних робочих режимів.
- PID-регулятор для автоматичного контролю швидкості та моменту.

5. Інтеграція в системи автоматизації:

– Легко інтегрується в складні промислові системи через різноманітні комунікаційні протоколи.

OMRON MX2 використовується в наступних галузях:

– Конвеєрні системи: плавне керування швидкістю стрічкових конвеєрів.
– Насосні станції: точний контроль швидкості обертання для оптимізації подачі рідини.

- Системи вентиляції: регулювання швидкості для економії енергії.

– Текстильна та харчова промисловість: високоточне управління технологічними процесами.

- Обробка металу: приводи пресів і ліній різання.

Переваги:

1. Універсальність: Підтримує як асинхронні, так і синхронні двигуни.

2. Компактність: Компактний корпус спрощує монтаж в умовах обмеженого простору.

3. Гнучке налаштування: Широкий набір налаштувань для адаптації до специфічних потреб.

4. Безпека: Вбудовані функції аварійної зупинки та діагностики для надійної роботи.

5. Енергоефективність: Інтелектуальне управління швидкістю допомагає зменшити енергоспоживання.

Недоліки:

1. Потребує кваліфікованого персоналу для налаштування та обслуговування.

2. Обмежений діапазон потужності для великих додатків (до 15 кВт).

3. Висока ціна для невеликих проєктів.

Висновки до розділу.

У даному розділі було розроблено рішення для автоматизації процесу завантаження руди у бункери. Запропоноване рішення передбачає опосередковане визначення рівня руди на основі вимірюного рівня, отриманого датчиком рівня, та продуктивності живильників, що працюють на приймальних конвеєрах.

На основі розрахованого рівня руди реалізовано позиціонування автостелли над бункерами. Для точного корегування її положення використано підсистему позиціонування, що базується на радарних дальномірах.

Розроблено математичну модель, яка забезпечує обчислення розрахункового рівня руди у бункері, враховуючи дані від радарного рівнеміра та показники продуктивності живильника. Додатково створено модель циклічного позиціонування автостелли, що базується на отриманому значенні рівня руди.

Окрім цього, визначено інформаційне забезпечення системи, яке включає вхідні та вихідні аналогові і дискретні сигнали, а також користувацькі типи даних та блоки даних.

Таким чином, запропоноване рішення забезпечує автоматизацію та підвищення ефективності процесу завантаження руди у бункери, забезпечуючи надійний контроль рівня руди та точне позиціонування обладнання.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗАВАНТАЖЕННЯ БУНКЕРІВ АВТОСТЕЛОЮ

3.1 Розробка програмного забезпечення системи керування процесом

3.1.1 Структура проєкту

До складу проєкту входять 4 ПЛК серії Simatic S7 1215, далекомірів Sumeo LPR-1D24, доданих з використанням GSD-профілю, що наданив розробником апаратного забезпечення, робочої станції IPC547G для розгортання системи візуалізації. Структура проєкту з відображенням основних блоків (функціональних та даних) для одного ПЛК зображена рис. 3.1.

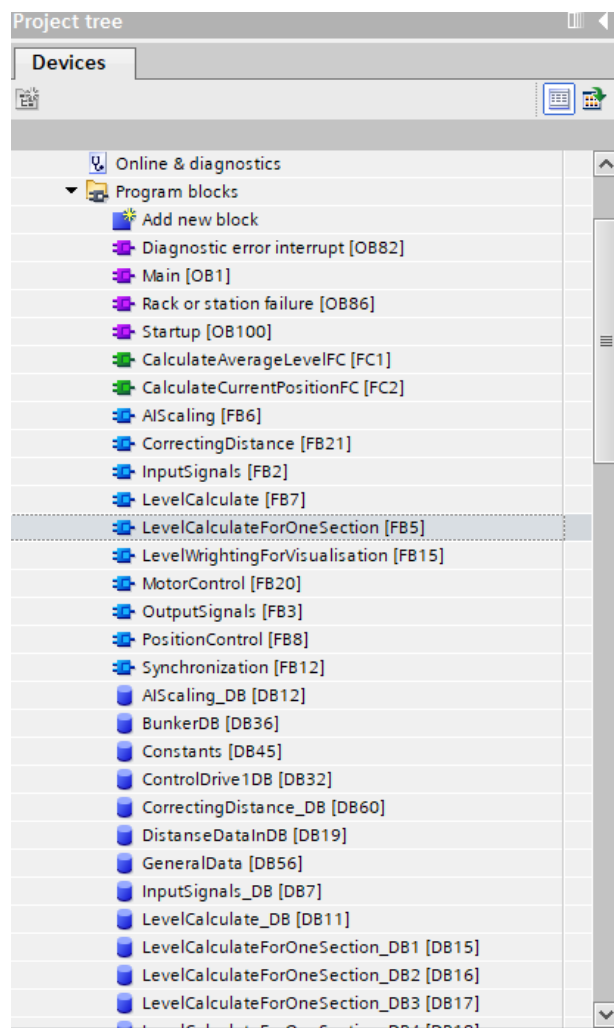


Рисунок 3.1 – Структура проєкту для одного ПЛК

У проєкті програмного забезпечення системи автоматизації процесу завантаження бункерів дробильної фабрики рудою використовуються блоки даних, а також користувацькі типи даних. Назви користувацьких типів у відповідності до «угорської нотації» починаються з великої літери «Т» та в цілому відображають специфіку інформації, що зберігається.

Основними блоками даних, що описують стан об'єкту керування, розроблено та реалізовано наступні користувацькі типи даних.

TBar – тип даних для зберігання інформації про один бар (бар – смужка, з яких складається секція, довжина 1,5 м) секції, містить наступну інформацію:

- рівень руди у бункері у відсотках (%);
- координати початку та кінця бару.

На рис. 3.2 зображено склад типу даних TBar.

TBar								
	Name	e	Default value	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Start		0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Начало бара
2	End		0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Конец бара
3	FactStart		0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Начало бара с учетом корректировок
4	FactEnd		0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Конец бара с учетом корректировок
5	Centr	<input type="checkbox"/>	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Центра бара
6	MomentLevel		0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Мгновенное значение уровня для текущего бара

Рисунок 3.2 – Тип даних TBar

TSection – тип даних для зберігання інформації про секцію. На рис. 3.3 зображено склад типу даних TSection.

TSection								
	Name	Data type	Default value	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	NumberOfSection	Int	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Номер секции
2	Productivity	Real	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Мгновенная продуктивность конвейера п...
3	TimeStamp	DTL	DTL# 1970-01-01 00:00:00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Время последнего измерения продуктивн...
4	dt	Time	T#0ms	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Временной интервал между измерениями ...
5	CurrentLevel	Int	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Расчетный уровень в %
6	FrontForLevel	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Бит для инициализации пересчета уровня
7	LastAverageLevel	Int	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Последнее измеренное значение уровня
8	StartBarNumber	Int	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Первый доступный бар в секции
9	EndBarNumber	Int	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Последний доступный бар в секции

Рисунок 3.3 – Тип даних TSection

Окремо варто зупинитися на наступних полях у типі TSection:

– Productivity – вимірне конвеєрними вагами значення миттєвої продуктивності під відповідною секцією (використовується для обчислення прогнозного рівня руди в бункері);

– TimeStamp – Позначка часу (або дата та час) останнього вимірювання продуктивності конвеєра під секцією;

– dt – проміжок часу між вимірюваннями продуктивності збірного конвеєра під секцією (заповнюється скриптом SCADA-системи, що запитує дані з таблиці БД SQL-серверу, яка заповнюється суміжною системою автоматизації збагачувальної фабрики).

TBunkerSizes – тип даних для зберігання інформації про розміри бункера. На рис. 3.4 зображено контент типу даних TBunkerSizes. Одиниці вимірювання величин, що характеризують параметри бункеру – м.

TBunkerSizes								
	Name	Data ty...	Default value	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	▼ BunkerSizes	Struct		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	■ Length	Real	6.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Длина секции
3	■ Width	Real	7.5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ширина секции
4	■ Height	Real	10.2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Высота бункера
5	■ HeightConstriction	Real	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Высота зоны сужения бункера в пределах секции

Рисунок 3.4 – Тип даних TBunkerSizes

Для зберігання інформації у даному проєкті використано блоки даних (БД), які забезпечують структуроване збереження та доступ до необхідних даних. Було застосовано два типи блоків даних:

1. Призначені для користувача блоки даних – вони створені для зберігання специфічної інформації, необхідної для реалізації функціональних завдань системи. Наприклад, блок LevelCalculateForOneSection використовується для обчислення рівня руди на певній ділянці.

2. Згенеровані середовищем блоки даних – вони служать для зберігання тимчасової інформації про екземпляр функціонального блоку під час його виконання. Такі блоки позначаються з приставкою «_DB» (наприклад, LevelCalculateForOneSection_DB1).

Заповнення блоків даних відбувається динамічно під час виконання відповідних дій і команд системи. Це включає аналіз поточних станів, їх порівняння із встановленими значеннями та подальше оновлення даних відповідно до отриманих результатів.

Користувацькі блоки даних забезпечують гнучкість і адаптивність системи, оскільки дозволяють ефективно зберігати і обробляти дані для різних функціональних завдань. Згенеровані блоки, у свою чергу, забезпечують ефективну роботу алгоритмів завдяки тимчасовому зберіганню проміжних результатів, що дозволяє оптимізувати обчислювальні процеси.

Таким чином, використання блоків даних у системі сприяє надійному управлінню інформацією, підвищенню продуктивності та точності обробки даних у процесі автоматизації.

3.1.2 Узагальнений алгоритм роботи системи

Робота системи керування процесом завантаження бункерів рудою починається з вибору режиму роботи, який здійснює оператор. У системі передбачено три режими роботи:

1. Ручний режим – керування завантаженням здійснюється з пульта місцевого управління, що надає можливість безпосереднього контролю обладнання.

2. Дистанційний режим – управління здійснюється з операторської станції на базі ПК, де оператор має доступ до всіх необхідних параметрів і інтерфейсів системи.

3. Автоматичний режим – передбачає мінімальне втручання оператора в процес керування, оскільки система самостійно виконує необхідні операції на основі запрограмованих алгоритмів.

Після вибору відповідного режиму роботи оператору необхідно запустити автостеллу через екран діагностики та стану обладнання SCADA-системи (у дистанційному режимі).

Перед безпосереднім запуском обладнання активується передпускова світлова та звукова сигналізація, яка попереджає персонал про початок роботи. Сигналізація включає три звукові сигнали тривалістю по 30 секунд з проміжками по 10 секунд.

Додатково у дистанційному та автоматичному режимах система надає оператору візуалізовану інформацію про поточний стан обладнання, рівень завантаження бункерів та можливі відхилення від нормальних параметрів роботи. Це дозволяє своєчасно приймати рішення у разі виникнення нестандартних ситуацій.

Таким чином, система забезпечує гнучке та ефективне керування процесом завантаження руди, дозволяючи оператору вибрати оптимальний режим роботи залежно від умов виробництва та наявності персоналу.

При застосуванні автоматичного режиму програмне забезпечення розраховує необхідну програму переміщень та зупинок для реалізації алгоритму, наведеного у формулах (2.1) – (2.12).

При застосуванні дистанційного режиму оператор на основі спостереження за вимірним рівнем та результатами прогнозування зменшення рівня у кожній секції бункерів складу приймає рішення стосовно потрібної точки розвантаження, обирає потрібну позицію для переміщення і підтверджує свої дії. Таким чином, подальше управління завантаженням руди в бункери представляє циклічний процес, що складається з вибору позиції для переміщення автостелли і роботи алгоритмів позиціонування і розрахунку рівня. Програма виконується до завершення роботи автостелли і відповідного конвеєра.

3.1.3 Алгоритм позиціонування автостелли в дистанційному режимі

На рис. 3.5 і 3.6 зображена блок-схема алгоритму позиціонування автостелли в дистанційному режимі.

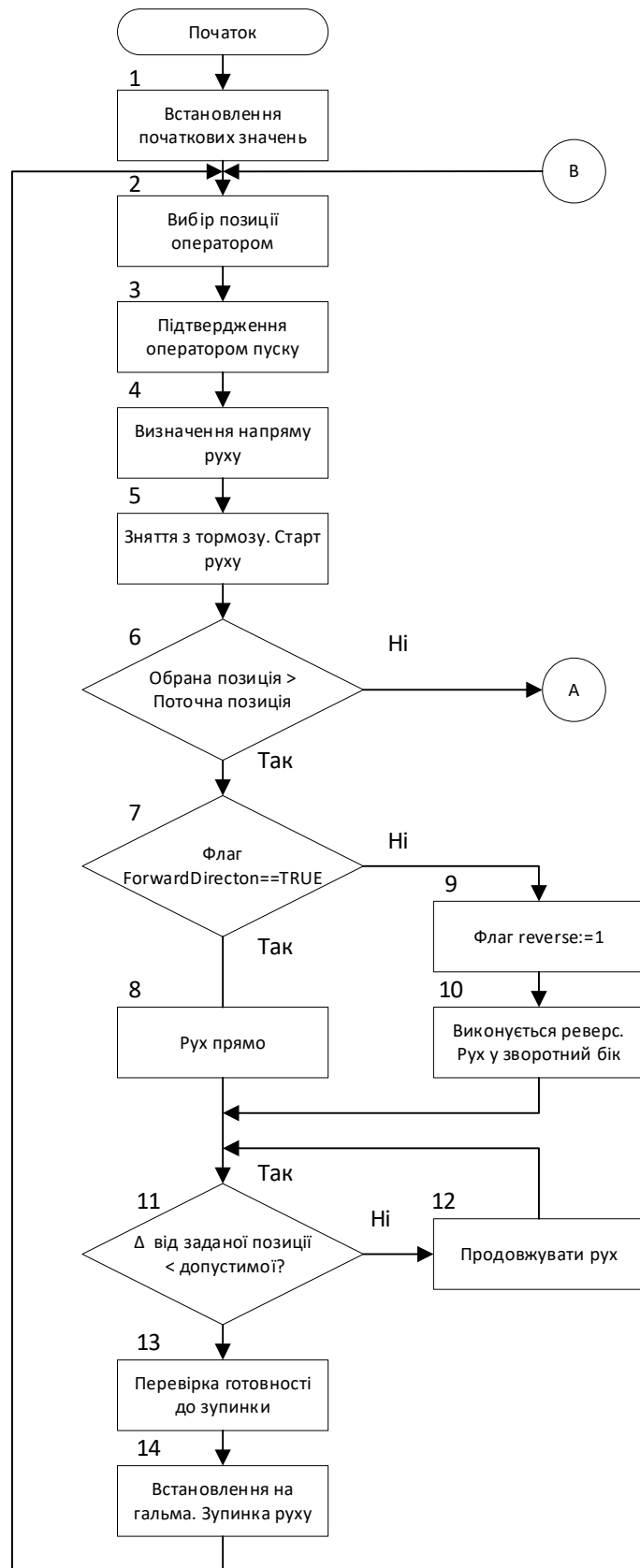


Рисунок 3.5 – Блок-схема позиціонування автостелли зі SCADA-системи

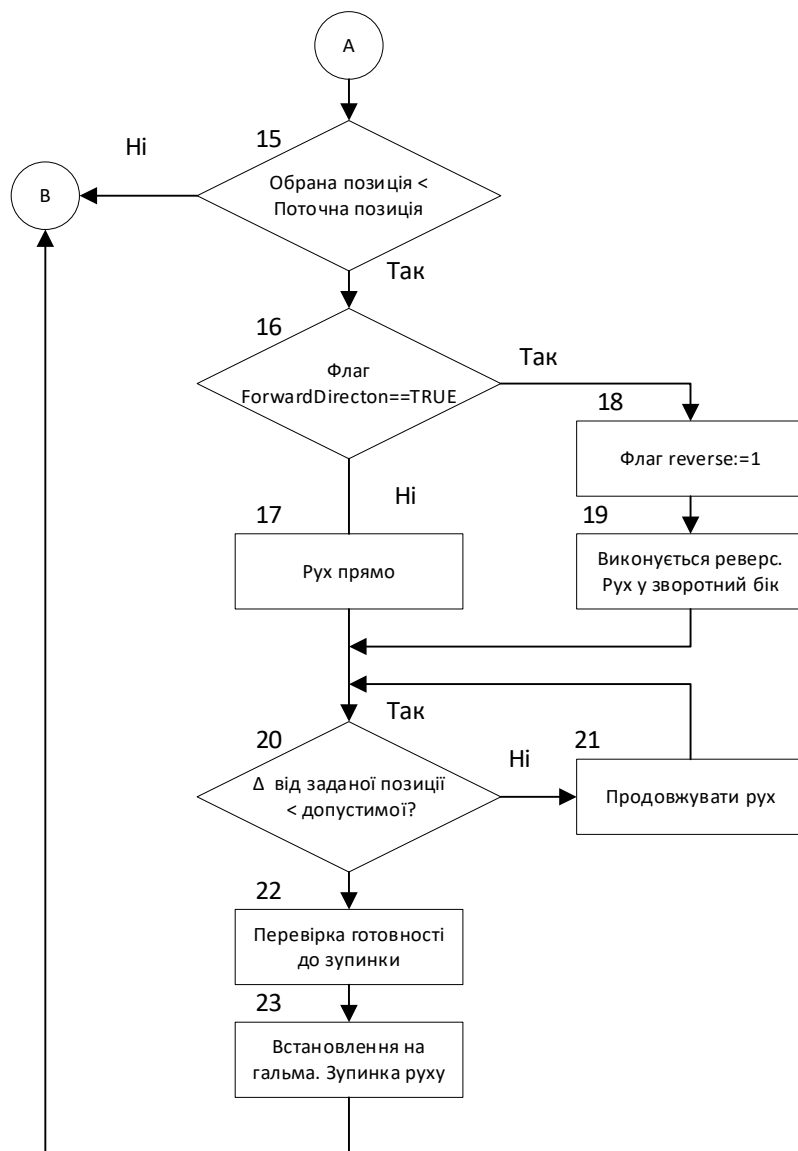


Рисунок 3.6 – Блок-схема позиціонування автостелли зі SCADA-системи
(продовження)

Робота алгоритму починається з вибору цільової точки завантаження (позиції автостелли) оператором і підтвердження переміщення на обрану позицію (блоки 2 і 3).

Далі виконується перевірка готовності пуску ПЧ (блок 4). Після підтвердження готовності до пуску та відпрацювання передпускової сигналізації, відбувається зняття приводу з гальма і пуск автостелли (блок 5).

У блоці 6 відбувається перевірка напрямку руху шляхом порівняння обраного цільового положення і поточного положення.

Далі, в залежності від обраного напрямку руху, визначається необхідність реверсу (блоки 7-9 і 16-18). Логічна змінна ForwardDirection використовується як прапорець-ознака рухатися у прямому напрямку. При значенні false сигналізує необхідність виконати реверс. Далі відбувається переміщення автостелли до тих пір, поки не виконається умова зупинки різниця між поточним положенням та заданим не стане меншим прийнятого допуску (блоки 10, 19) . Умовою зупинки є переміщення автостелли на обрану позицію з певним допуском по відстані, що відповідає виразу abs (Обрана позиція – Поточна позиція) <Заданий допуск.

При досягненні заданої точки розвантаження, відбувається перевірка готовності до зупинки (блоки 13, 22), стоп і встановлення на електричне гальмо (блоки 14, 23).

На рис. 3.7 та 3.8 наведено скріни реалізації блоків MotorControl та PositionControl, які реалізують наведений вище алгоритм позиціонування автостелли в дистанційному режимі.

The screenshot shows the MotorControl block configuration in SIMATIC Manager. The top part displays the block's properties, including input and output variables. The bottom part shows the ladder logic code for the block.

Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint
Input							
distanceControlEnable	Bool	false	Retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
enable	Bool	false	Retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
forwardDirection	Bool	false	Retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
forwardLimitSwitchN...	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
reverseLimitSwitchNo...	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Output							
buzzerWork	Bool	false	Retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
runEnabled	Bool	false	Retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
forwardMovement	Bool	false	Retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
reverseMovement	Bool	false	Retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

```

1  //forwardLimitSwitchNotClosed - логічна 1 (TRUE) відповідає кінцевому вимикачу,
2  // що не спрацював. Коли переходить в 0, автостела дійшла до KB Вперед
3  //reverseLimitSwitchNotClosed - логічна 1 (TRUE) відповідає кінцевому вимикачу,
4  //що не спрацював. Коли переходить в 0, автостела дійшла до KB Назад
5  "R_TRIG_DB"(CLK:=#forwardDirection, Q=>#directionPositiveEdge);
6
7  "F_TRIG_DB"(CLK:=#forwardDirection,
8  [
9  Q=>#directionNegativeEdge);
9  //Тестовая версия по останову от конечных
10  ////
11  "F_TRIG_DB_1"(CLK:=#forwardLimitSwitchNotClosed,
12  [
13  Q=>#forwardLimitReached);
13  "F_TRIG_DB_2"(CLK:=#reverseLimitSwitchNotClosed,
14  [
15  Q=>#reverseLimitReached);
15  //усунення дребезку контактів після спрацювання кінцевих вимикачів
16  //на 0.8 с #limitContactBounce устанавливается в TRUE
17  "IEC_Timer_0_DB_2".TP(IN:=#forwardLimitReached OR #reverseLimitReached,
18  [
19  PT:=T#0.8s,Q=>#limitContactBounce);

```

Рисунок 3.7 – Фрагмент коду функціонального блоку MotorControl для керування приводами автостелли

Як видно з інтерфейсу блоку та наведеного коду на мові SCL (рис. 3.7), у блоці MotorControl відбувається перевірка досягнення кінцевих вимикачів, усунення брязкоту контактів кінцевих вимикачів, перевірка стану команд від оператора, і, як результат роботи – формування сигналу для світлової та звукової передпускової сигналізації, видача дозволу на запуск та команди стосовно напрямку руху. Даний блок викликається у головному організаційному блоці програми OB1.

На рис. 3.8 наведено фрагмент реалізації блоку PositionControl, в якому відбувається перевірка досягнення асистелю заданої позиції та формування команд для визначення напрямку руху (блоки 11, 20 на рис 3.5, 3.6). Входами для даного блоку є флаг підтвердження запуску автостели оператором, задана позиція та поточне положення автостели. Виходами блоку є фінальне підтвердження дозволу на старт руху та визначений напрямок руху (даний блок також викликається у головному організаційному блоці програми OB1).

Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Input							
2	SelectedDistance	DInt	0	Non-ret...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	CurrentDistance	DInt	0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	ConfirmFromHMI	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	PositionDeadZone	DInt	0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	Output							
7	ForwardDirection	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	FinalConfirm	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	InOut							
10	<Add new>							
11	Static							

```

1 IF #ConfirmFromHMI AND ABS(#SelectedDistance - #CurrentDistance) > #PositionDeadZone THEN
2   IF (#SelectedDistance - #CurrentDistance) > 0 THEN
3     // Statement section IF
4
5     #ForwardDirection := TRUE;
6   ELSE
7     #ForwardDirection := FALSE;
8   END_IF;
9
10  #FinalConfirm := TRUE;
11 ELSE
12  #FinalConfirm := FALSE;
13 END_IF;

```

Рисунок 3.8 – Фрагмент коду функціонального блоку MotorControl для керування приводами автостели

3.1.4 Алгоритм розрахунку рівня в бункері

На основі показань далекоміра Symeo LPR-1D24 визначається поточне положення автостелли у бункері. Для відображення інформації на екрані оператора проводиться усереднення вимірних значень рівня матеріалу над окремою секцією, що відбувається у блоці 2. Поки автостелла перебуває над секцією, розрахункове значення рівня присвоюється вимірному значенню, яке надходить з датчика рівня (блоки 1–5). Це дозволяє оперативно відобразити точну інформацію про рівень завантаження на дисплеї оператора.

Коли автостелла переміщується до наступної секції, для попередньої секції розрахункове значення рівня визначається за алгоритмом, що детально описаний у блоках 6–9. Цей підхід забезпечує точний розрахунок рівня навіть після завершення прямого вимірювання.

Перед початком розрахунку рівня формуються вихідні дані, необхідні для коректної роботи системи. Зокрема:

1. Запам'ятовується останнє вимірне середнє значення рівня (блок 6).
2. Фіксується тип і щільність руди, що обирається оператором перед переміщенням автостелли. У поточному проєкті для спрощення використано константні значення цих параметрів (блок 7).

Завдяки такій послідовності дій система забезпечує високу точність розрахунків та дозволяє оперативно адаптуватися до зміни умов роботи. Надалі, за впровадження динамічних значень щільності та типу руди, система зможе працювати ще точніше та ефективніше, оптимізуючи процес контролю завантаження. Далі, з певною періодичністю відбувається читання значення вимірної продуктивності збирального конвеєра з БД, що заповнюється АСУ ТП збагачувальної фабрики (блок 8). На основі цього значення і початкових даних відбувається перерахунок актуального рівня руди в бункері.

Оскільки бункер має складну форму і звужується на конус у нижній частині, то формули для розрахунку прогнозного значення відрізняються до звуження і після. Як видно з формули (2.22), після звуження площа поперечного перетину бункера зменшується, і це необхідно врахувати при реалізації

програми розрахунку. Відповідно, до досягнення конусної частини бункера розрахунок відбувається за формулою (2.22 -а) (блок 10), а в конусній частини бункера – за формулою (2.22 -б) (блок 11).

Блок-схема розрахунку рівня руди в бункері зображена на рис. 3.9.

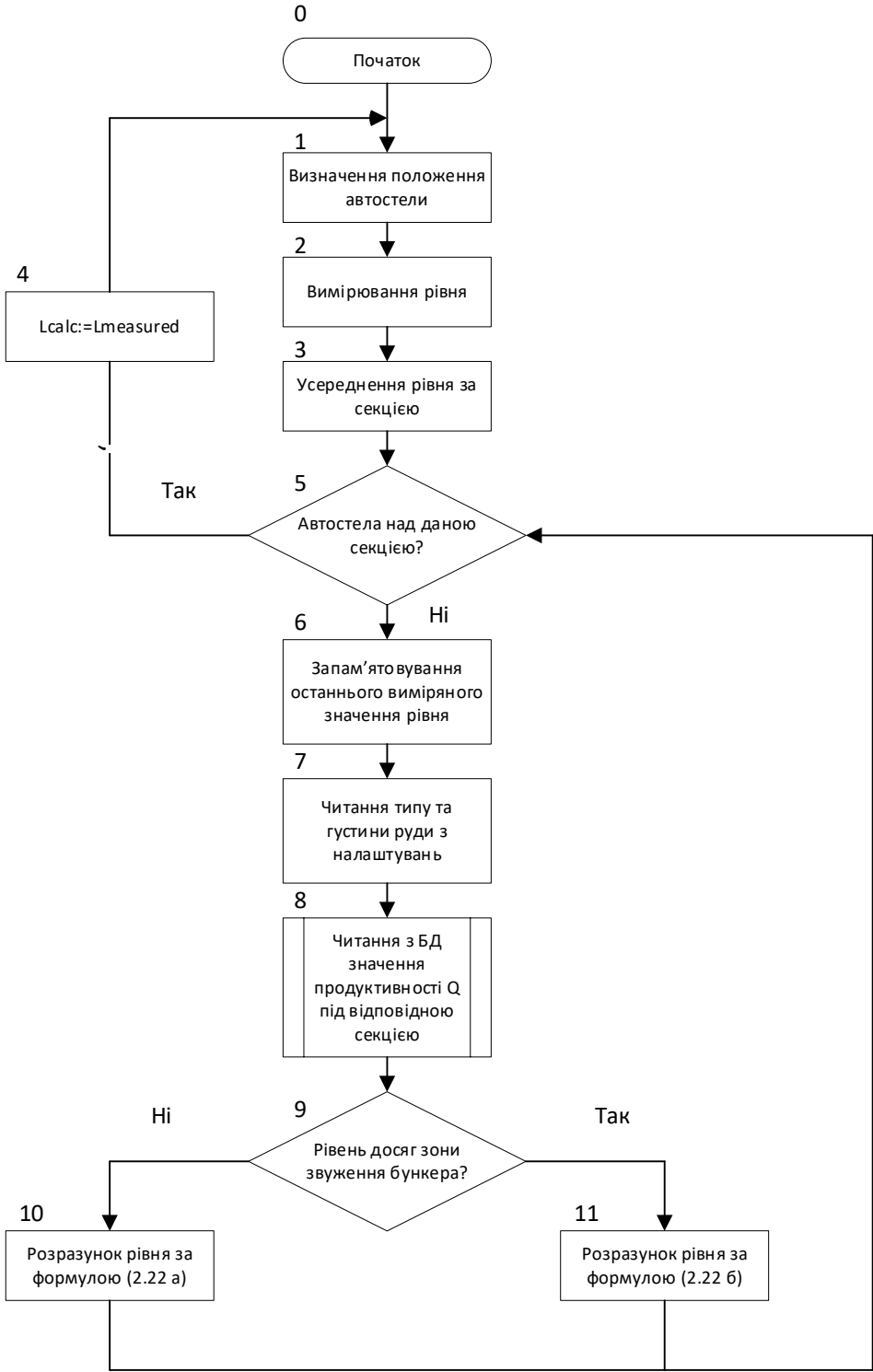


Рисунок 3.9 - Блок-схема розрахунку рівня руди у бункері

Розрахунок поточної позиції виконується у функції CalculateCurrentPositionFC (FC2). Для цього використовуються функції для забезпечення мережевого обміну з дальноміром Symeo LPR-1D24 на базі TCP-сокетів та бібліотеки LCom, що надаються виробником дальноміру.

У алгоритмі на рис. 3.9 варто звернути увагу на блок 8, у якому відбувається читання даних про поточне значення продуктивності збірних конвеєрів під секціями бункерів з бази даних суміжної системи АСУТП збагачувальної фабрики.

Оскільки на поточний момент можливості обміну між ПЛК Simatic S7-1200 з серверами баз даних MS SQL Server з використанням нової бібліотеки LSQL, що реалізує протокол Tabular Data Stream все ще достатньо обмежені, було вирішено реалізувати читання даних з БД комбінату з використанням скриптів на VBS у WinCC. Алгоритм реалізації читання наведено на рис. 3.10.

На початку роботи алгоритму створюються об'єкти підключення та набору даних (блоки 1, 2). На наступному кроці з використанням визначеного рядка підключення до сервера відбувається спроба здійснити підключення. Якщо на даному етапі відбуваються помилки, відбувається очищення ресурсів та запис повідомлення в журнал помилок системи візуалізації. Якщо підключення вдале, виконується запит, і в разі успішного виконання запиту відбувається ітерація по рядкам отриманої в результаті запиту таблиці із занесенням отриманої інформації про значення поточної продуктивності конвеєрів у блоки даних для розрахунку прогнозного значення рівня.

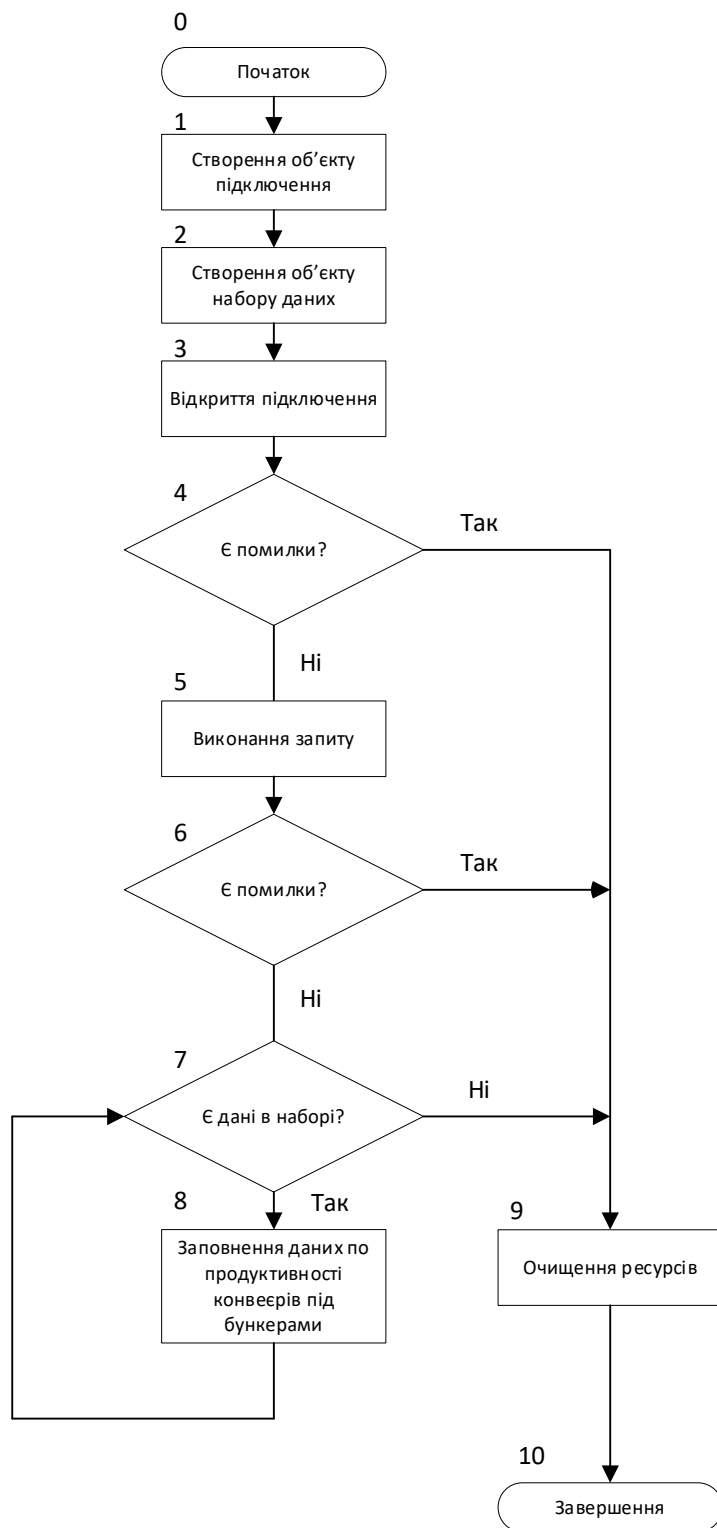


Рисунок 3.10 – Блок-схема читання даних продуктивності з БД

На рис. 3.11 – 3.12 наведено фрагмент скрипту читання даних з БД.

```

2
3 Sub O_9_ProductivityDBReading()
4
5 Dim conn, rst, SQL_Table, i, j
6
7 On Error Resume Next
8
9
10 'DiagnosticDB_Conveyor_fault - якщо тег дорівнює 0, конвеєр працює
11 If True Then
12     Set conn = CreateObject("ADODB.Connection")
13     Set rst = CreateObject("ADODB.Recordset")
14
15     'Open data source - Відкриття джерела даних
16     'conn.Open "Provider=MSDASQL;Initial Catalog=10.167.79.32;DSN=plc_server;User Id=db_
17     conn.Open "Provider=SQLOLEDB.1;Persist Security=False;User ID=db_user;Pwd=Rx67H98nP;
18     'conn.Open "Provider=MSDASQL;Initial Catalog=" & SmartTags("szDatabase") & ";DSN="&D
19     'Error routine - Обробка можливих помилок
20     If Err.Number <> 0 Then
21         'відображення аларму
22         'ShowSystemAlarm "Error #" & Err.Number & " " & Err.Description
23         Err.Clear
24         Set conn = Nothing
25         Exit Sub
26     End If
27
28
29     'Select all entries of a table - Виборка усіх записів в таблиці
30     'У майбутньому рядок запиту буде замінено на збережену процедуру
31     SQL_Table = "prGetCurrentWeights"
32     'SQL_Table = "SELECT * FROM SectionProductivities"
33
34
35     'Execute - Виконання запиту
36     Set rst = conn.Execute(SQL_Table)
37
38
39     'Error routine - Обробка виключень
40     If Err.Number <> 0 Then
41         'ShowSystemAlarm "Error #" & Err.Number & " " & Err.Description
42         Err.Clear
43         'Close data source - Закриття джерела даних
44         conn.close
45         Set conn = Nothing
46         Set rst = Nothing
47         Exit Sub
48     End If
49
50

```

Рисунок 3.11 – Скрипт читання даних продуктивності збиральних конвеєрів з БД АСУТП фабрики збагачення

```

'-----
If Not (rst.EOF And rst.BOF) Then
'Compare if "End of File" or "Begin of File" exists, if not the pointer will be reset to

rst.MoveFirst 'reset to 1st entry - Перехід до першого запису

'Definition of local tags - Визначення локальних змінних циклу
j=0

'Amount of the entries in the table - Кількість записів в таблиці
Do
j=j+1
rst.MoveNext
Loop Until rst.EOF

rst.MoveFirst 'reset to 1st entry - Перехід до першого запису

For i=1 To j
'Entries of the table - Einträge in die Tabelle
If rst.EOF Then

'SmartTags("Value_" & i & "_3") = 0
Else
Select Case rst.Fields(0).Value

Case 6020
If SmartTags("ProdTimeStamp_Section_8_0_9")<>rst.Fields(2).Value Then
rst.MoveNext
If rst.Fields(0).Value=6021 Then
SmartTags("Productivity_Section_8_0_9")=rst.Fields(1).Value
SmartTags("Productivity_Section_8_0_10")=rst.Fields(1).Value
SmartTags("ProdTimeStamp_Section_8_0_9")=rst.Fields(2).Value
SmartTags("ProdTimeStamp_Section_8_0_10")=rst.Fields(2).Value
'HMIruntime.Screens.Item("ReadDataFromDb").ScreenItems("Productiv
End If
End If

Case 6040
If SmartTags("ProdTimeStamp_Section_9_0_9")<>rst.Fields(2).Value Then
rst.MoveNext
If rst.Fields(0).Value=6041 Then
SmartTags("Productivity_Section_9_0_9")=rst.Fields(1).Value
SmartTags("Productivity_Section_9_0_10")=rst.Fields(1).Value
SmartTags("ProdTimeStamp_Section_9_0_9")=rst.Fields(2).Value
SmartTags("ProdTimeStamp_Section_9_0_10")=rst.Fields(2).Value
End If
End If

```

Рисунок 3.12 – Скрипт читання даних продуктивності збиральних конвеєрів з БД АСУТП фабрики збагачення (продовження)

Таким чином, для реалізації програмного забезпечення контролерного рівня системи керування завантаженням бункерів рудою розроблено необхідні алгоритми та виконана їх реалізація з використанням інструментального середовища TIA Portal 16. Для отримання даних про поточну продуктивність вивантаження матеріалу з секцій бункерів складу подрібненої руди, що записується у таблиці СУБД MS SQL Server АСУТП наступного технологічного переділу – збагачувальної фабрики, використані скрипти на VBS, реалізовані у WinCC (TIA Portal).

3.2 Розробка та практична апробація програмного забезпечення системи візуалізації технологічного процесу

Для відображення рівня матеріалу в бункерах дробильної фабрики використовуються два екрани, які відображається на окремих моніторах автоматизованого робочого місця оператора:

1. Конвеєри О-9, О-10.
2. Конвеєри О-11, О-12.

Для цього в проекті виконана прив'язка вказаних екранів до налаштованих моніторів (рис. 3.13).

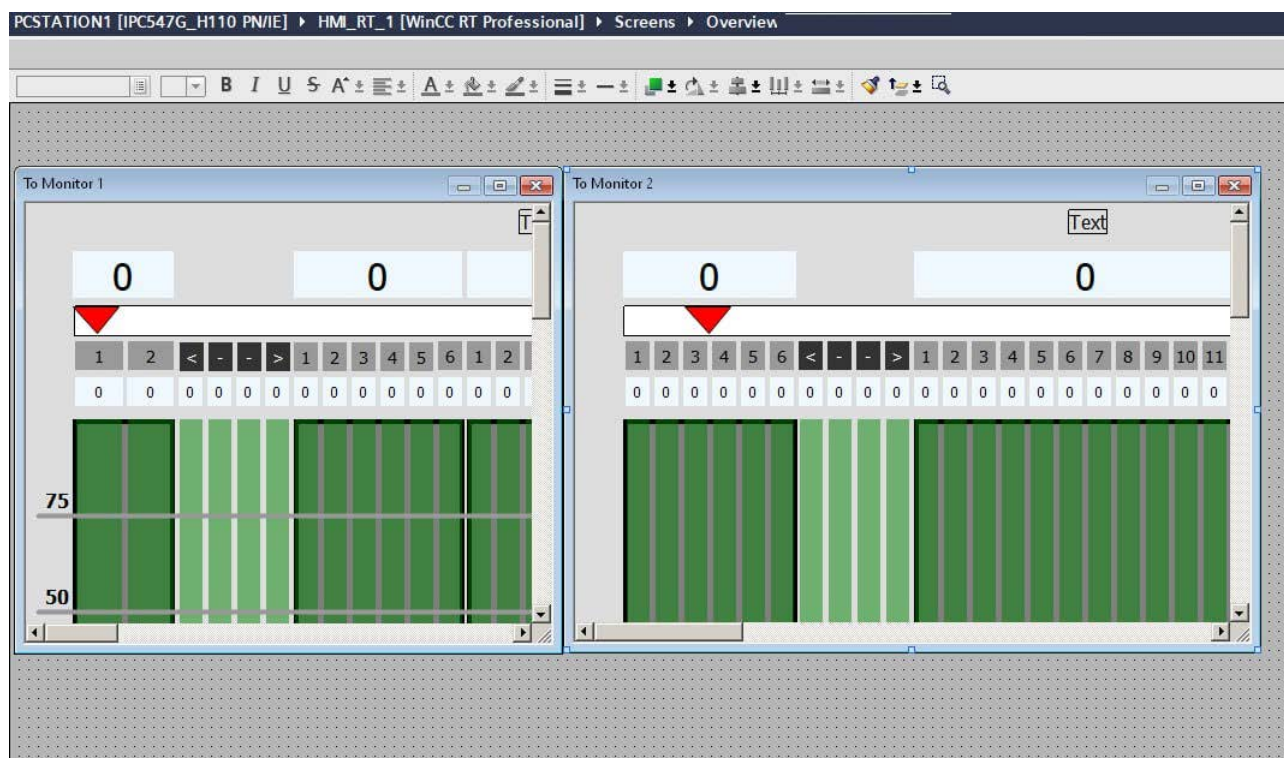


Рисунок 3.13 – Вікно налаштування прив'язки екрану SCADA до конкретного монітора

Зовнішній вигляд панелі для відображення інформації про рівень завантаження бункера подрібненою рудою на прикладі автостел, що обслуговують конвеєри О-9, О-10, наведено на рис. 3.14.

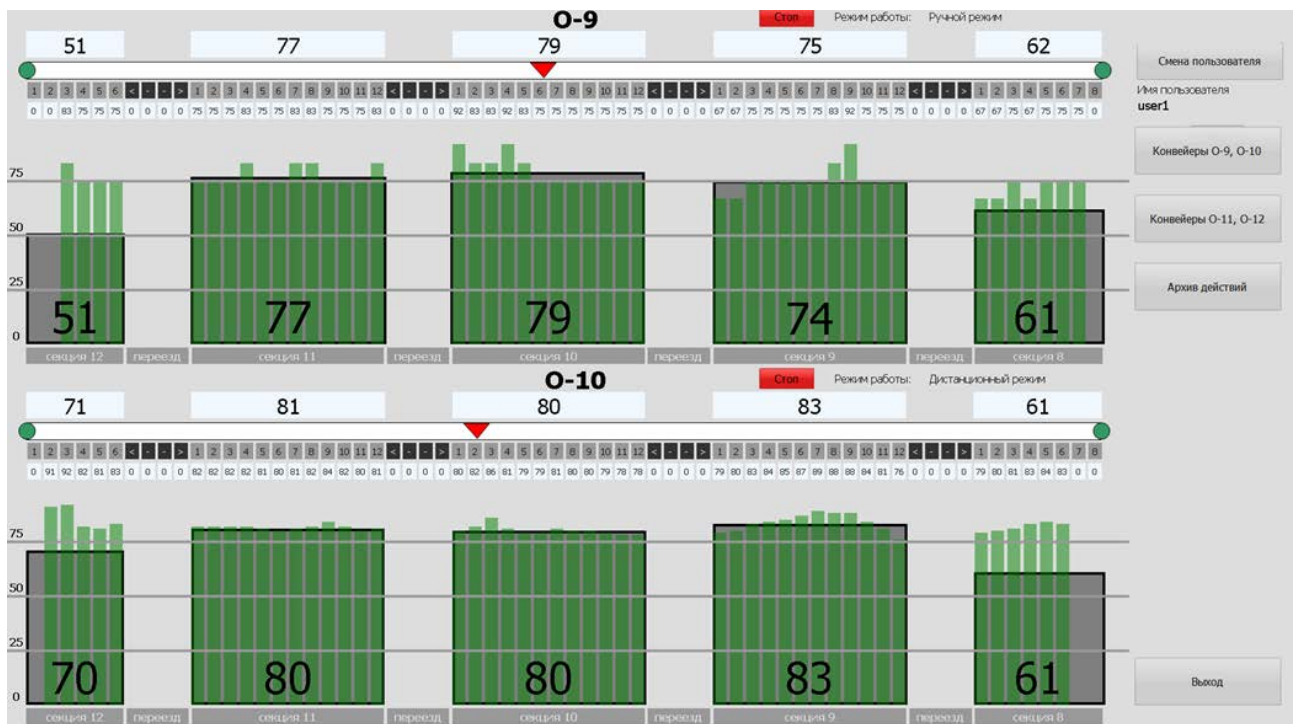


Рисунок 3.14 – Экран візуалізації рівня заповнення бункерів під конвеєрами O-9, O-10

Ці панелі забезпечують операторів візуальною інформацією про поточний стан завантаження, що дозволяє уникати перевантажень або простоїв. Інформація оновлюється в реальному часі, що гарантує точність контролю та підвищує ефективність виробничого процесу. Система проста у використанні та інтегрується з іншими модулями автоматизації підприємства.

На головному екрані передбачено:

- вибір режиму роботи: ручний або дистанційний;
- керування положенням автосистеми (запуск/зупинка);
- перегляд архіву виконаних дій;
- зміна користувача;
- навігація між різними секціями;
- контроль поточного рівня руди в бункері та прогнозування його змін.

Панель розроблена для зручності користувачів, забезпечуючи інтуїтивний інтерфейс та доступ до ключових функцій управління автостелою. Інтеграція функції прогнозування дозволяє планувати процеси та мінімізувати ризики

простоїв або перевантаження. Це сприяє підвищенню продуктивності та ефективності роботи виробництва.

На екрані для кожної секції бункера (рис. 3.2) відображається така інформація: 1 – номер секції; 2 – номер точки розвантаження автсистеми (до 9 точок на секцію); 3а, 3б – середній відсоток заповнення бункера за довжиною секції, виміряний за допомогою рівнеміра; 4а, 4б – відсоток заповнення бункера у конкретній точці, визначений рівнеміром; 5а, 5б – поточний відсоток заповнення секції, розрахований програмним забезпеченням автосистеми. Такий рівень деталізації дозволяє операторам отримувати максимально точну інформацію про стан кожної секції в реальному часі, що сприяє оптимальному розподілу матеріалу, зменшенню простоїв і підвищенню ефективності процесів. Система розроблена з акцентом на зручність, точність і можливість інтеграції з іншими модулями управління підприємством.

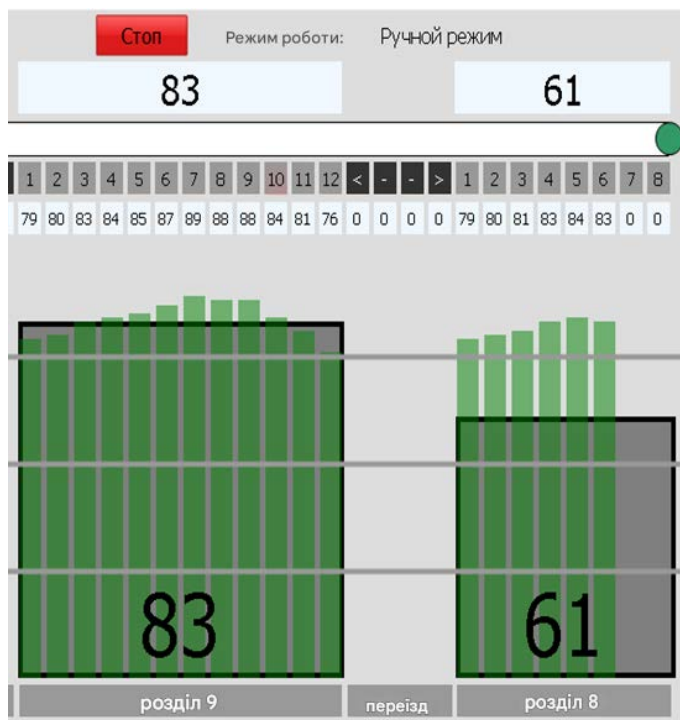


Рисунок 3.15 – Вигляд панелі для відображення рівня заповнення бункерів під автостелою О-9

Панель забезпечує оператора не лише точними даними про стан заповнення бункера, а й дозволяє оперативно керувати процесом розвантаження, оптимізуючи роботу обладнання. Інтеграція елементів візуалізації та управління

підвищує гнучкість і швидкість прийняття рішень. Завдяки цьому система мінімізує ризик перевантажень і простоїв, що позитивно впливає на ефективність виробництва.

1. Елементи для візуалізації:

- відсоток заповнення бункера у конкретній точці, виміряний рівнеміром (до 9 точок на секцію);
- середній відсоток заповнення бункера по довжині секції, визначений рівнеміром (одне значення на секцію);
- поточний відсоток заповнення секції, розрахований програмним забезпеченням автосистеми;
- поточне положення автосистеми (автостелли) на конвеєрі.

2. Елементи управління автосистемою (у дистанційному режимі):

- вибір точки для розвантаження автосистеми.

Для забезпечення зручності роботи щодо проектування та налаштування графічних елементів вони були розділені на шари (рис. 3.16).

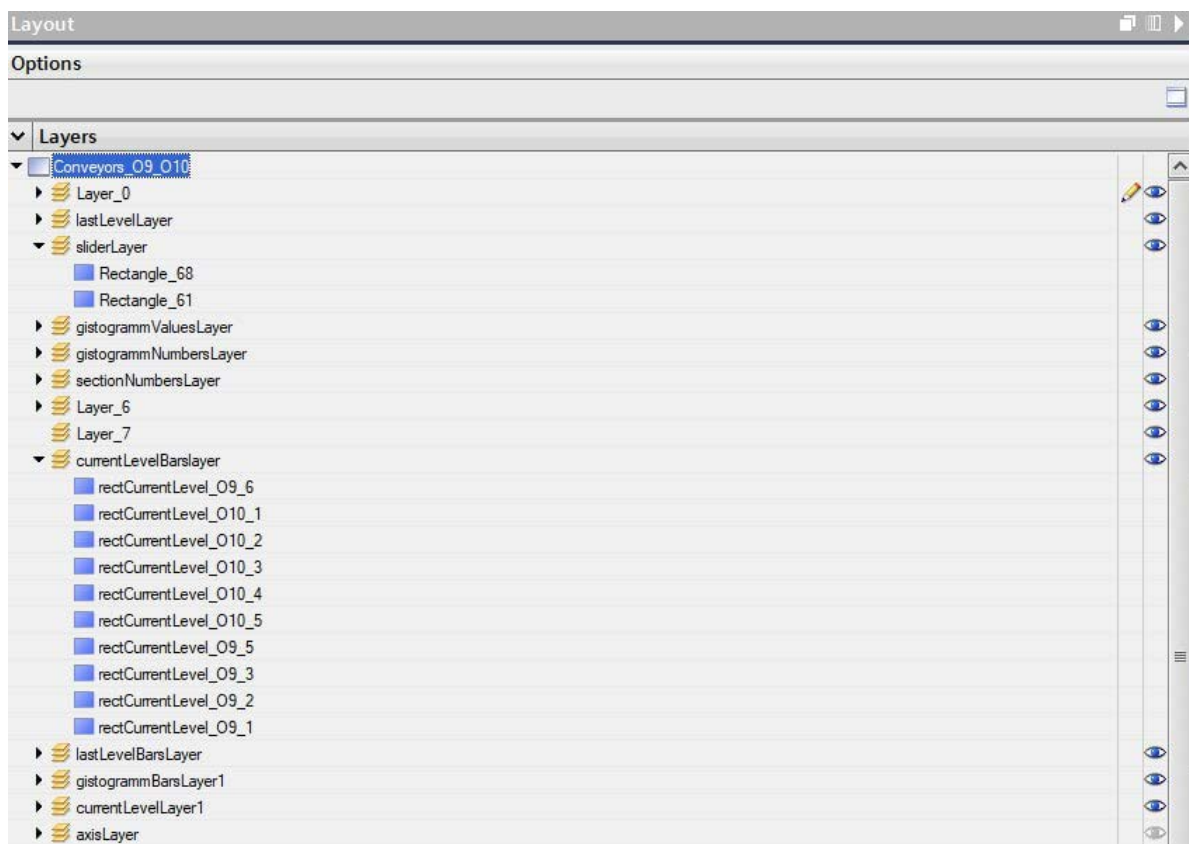


Рисунок 3.16 – Шари графічних елементів на екрані візуалізації рівня заповнення бункерів

Вимірне рівнеміром значення рівня заповнення, переведене у відсотки, відображається для певної кількості точок розвантаження в межах кожної секції. На рис. 3.17 наведено код скрипту для динамічного перерахунку поточного вимірного значення рівня у висоту графічного елемента (бара) на екрані системи візуалізації.

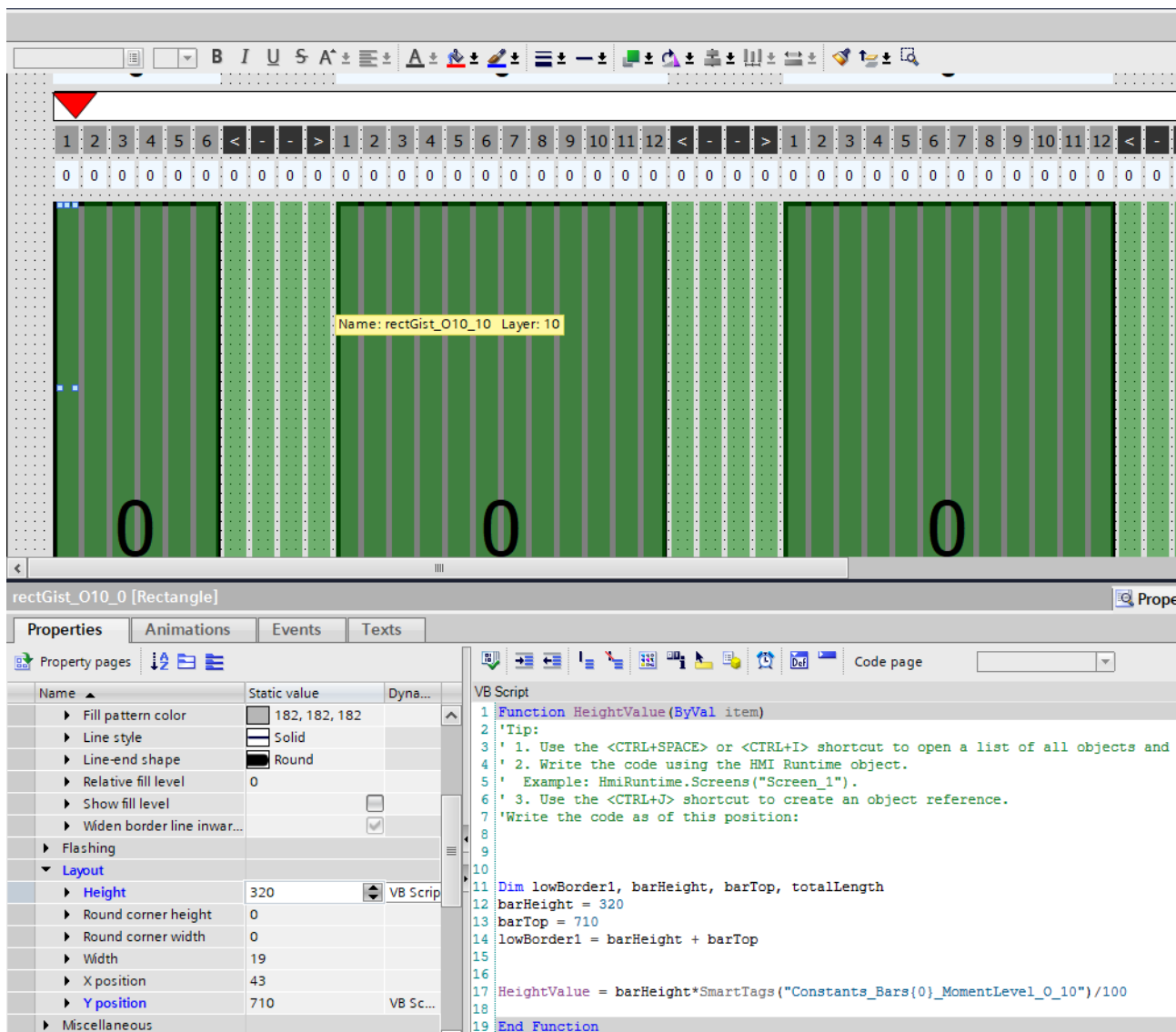


Рисунок 3.17 – Код скрипта для динамічного відображення рівня у одній точці відображення

Поки автостелла перебуває над секцією, отримані значення рівнеміра усереднюються, і це середнє значення відображається як останнє вимірне значення, усереднене по довжині секції.

Також для відображення останнього вимірюного значення, усередненого по довжині секції, призначене поле (статичний текст), у якого у властивостях динамізації тексту вказана прив'язка до відповідного значення блоку даних (рис. 3.18).

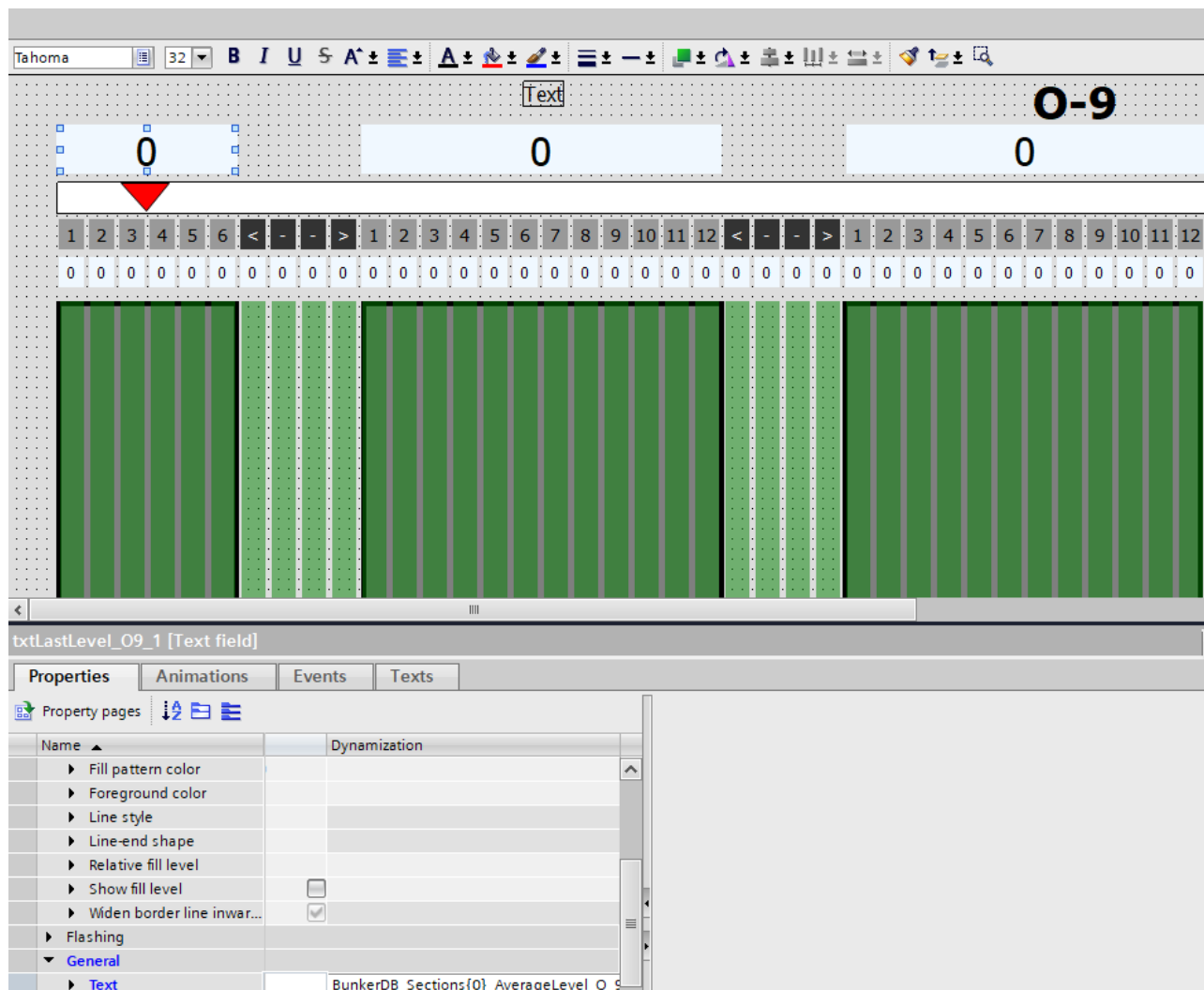


Рисунок 3.18 – Код скрипта для динамічного відображення останнього вимірюного значення рівня, усередненого по секції

Детальний алгоритм візуалізації рівня показаний на рис. 3.19.

Кількість точок розвантаження для кожної секції варіюється і залежить від її довжини. Кожна точка розвантаження має довжину 1,5 м. Наприклад, для секції 11, довжиною 18 м, передбачено 12 точок розвантаження, а для секції 8, довжиною 12 м, – 8 точок.

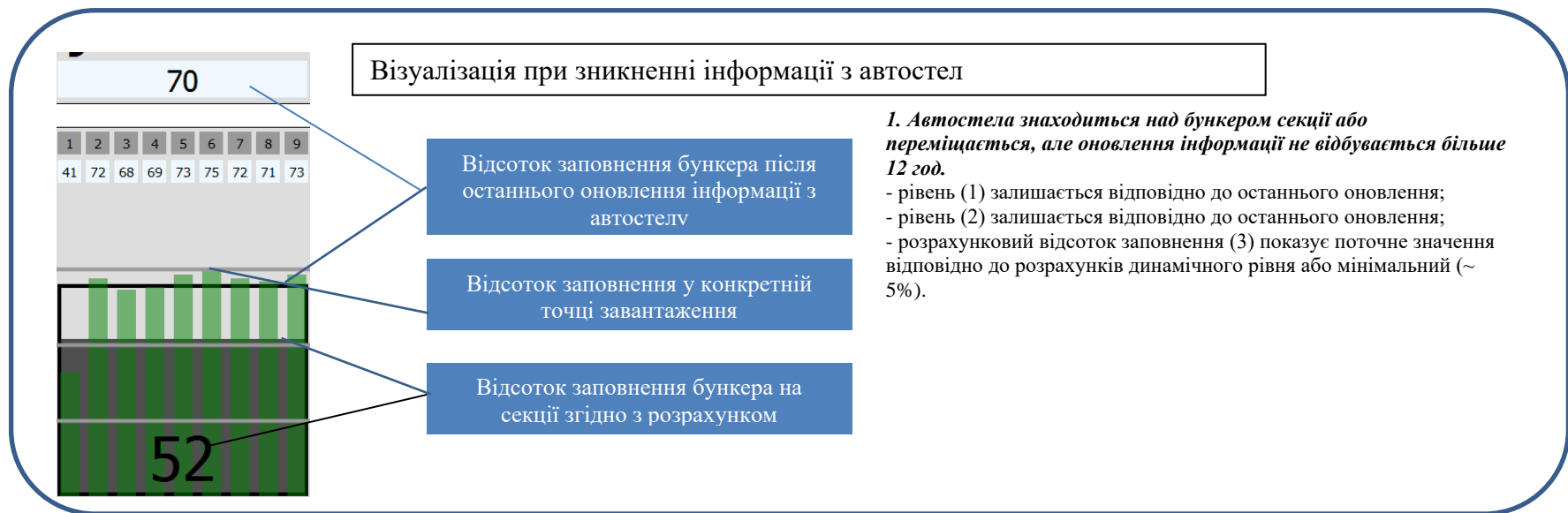
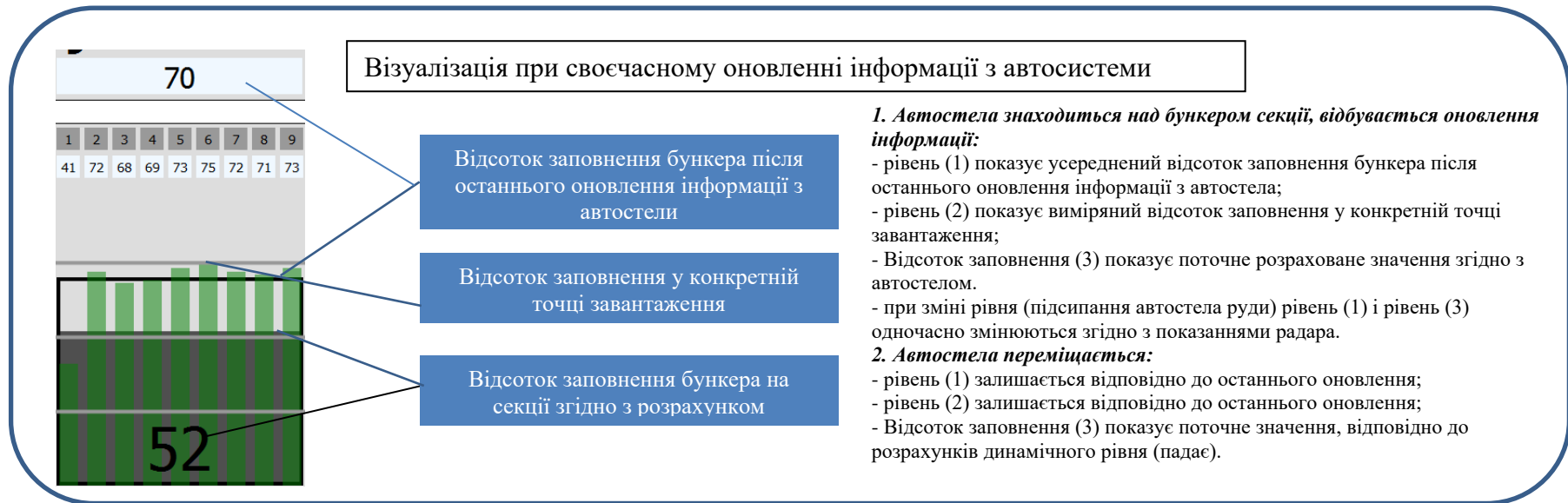


Рисунок 3.19 – Алгоритм візуалізації рівня заповнення бункерів (динамічний рівень)

Такий підхід дозволяє адаптувати систему під конкретні параметри секцій, забезпечуючи точність вимірювань і надійний контроль за заповненням бункерів. Завдяки цьому оператори отримують максимально точні дані, що сприяє оптимальному управлінню матеріальними потоками і підвищенню продуктивності виробництва.

Система візуалізації забезпечує своєчасне оновлення даних, отриманих з автосистеми (автостелли), що дозволяє операторам ефективно контролювати рівень заповнення бункерів у реальному часі. Оновлення інформації виконується автоматично, з урахуванням положення автостелли над секцією, що гарантує точність вимірювань і відповідність актуальному стану матеріальних потоків.

Така функція є важливою для уникнення перевантажень, простоїв і оптимізації виробничих процесів, сприяючи підвищенню загальної ефективності роботи обладнання. Інтеграція цієї системи з іншими модулями дозволяє створити єдиний інформаційний простір для управління підприємством.

Поки автостела перебуває над секцією, поточний розрахунковий рівень (5а, 5б) приймається рівним останньому вимірюваному значенню, усередненому по довжині секції (3а, 3б). Це дозволяє забезпечити точність контролю рівня матеріалу під час безпосереднього процесу вимірювання. Після того, як автостела виїжджає за межі секції, розрахунок поточного рівня виконується автоматизованим програмним забезпеченням автостели.

Цей розрахунок базується на кількох ключових параметрах: останньому вимірюваному рівні, геометричних характеристиках та розмірах бункера, а також даних про поточну вагову витрату матеріалу. Останні значення вагової витрати отримуються за показами ваг конвеєрів Н-8 – Н-18. Поєднання цих даних дозволяє максимально точно визначити рівень матеріалу навіть після завершення безпосереднього вимірювання, забезпечуючи ефективний контроль і управління процесом завантаження та розподілу матеріалу.

Висновки до розділу

Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для реалізації основних функцій керування автостелою, зокрема узагальнений алгоритм роботи системи управління завантаженням руди в бункери, а також алгоритми позиціонування автостелли зі SCADA-системи та розрахунку прогнозного рівня руди у бункері. Відповідні алгоритми реалізовано засобами мов програмування LAD та SCL у середовищі конфігурування та програмування ПЛК TIA Portal v16. Для отримання даних про поточну продуктивність конвеєрів під бункерами складу подрібненої руди розроблено алгоритм опитування БД та реалізовано його у вигляді скрипта на мові Visual Basic Scripts. З використанням інструментального засобу розробки систем людино-машинного інтерфейсу WinCC Professional реалізовано SCADA-систему для диспетчерського контролю та керування процесом завантаження бункерів автостелою. Виконано опис розробленої системи та її апробація, яка підтвердила ефективність запропонованих у роботі проектних та програмних рішень.

ВИСНОВКИ

Виконана магістерська робота є завершеною науково-практичною розробкою, у якій розв'язано актуальну задачу автоматизації процесу завантаження руди у бункери за допомогою розвантажувального пристрою типу автостелла. Реалізована система дозволяє підвищити енергоефективність керування процесом завантаження руди та оптимізувати роботу збагачувальної фабрики в цілому.

Основні результати роботи можна узагальнити наступними висновками:

1. Виконано детальну характеристику об'єкта автоматизації – процесу завантаження руди в бункери. Запропонована система призначена для автоматизованого керування завантаженням бункерів на конвеєрах О-9 ÷ О-12 із моніторингом рівня заповнення та позиціонуванням автостелли над бункерами. Система працює у режимі On-line 24/7, забезпечує попереджувальні сигнали про досягнення заданого рівня руди та надає можливість перегляду стану обладнання за минулі періоди.

2. Виконано аналіз існуючих методів керування процесами завантаження сипких матеріалів у бункери. Розглянуто системи НПК «Союзцветметавтоматика», що застосовують опосередковані методи визначення рівня руди та контактні технології позиціонування автостелли. Проведено огляд сучасних алгоритмів переміщення автостелли провідних вітчизняних та закордонних дослідників.

3. Розроблено рішення для автоматизації завантаження руди, яке базується на опосередкованому визначенні рівня руди в бункерах. Система використовує датчики рівня та продуктивність живильників на конвеєрах для обчислення розрахункового рівня. Для точного позиціонування автостелли використовується підсистема на основі радарних дальномірів.

4. Розроблено математичну модель, яка визначає розрахунковий рівень руди у бункері на основі вимірювань радарного рівнеміра та продуктивності живильників.

5. Розроблено узагальнений алгоритм роботи системи керування завантаженням бункерів та алгоритми позиціонування автостелли зі SCADA-системи, а також розрахунку рівня руди у бункерах.

6. Створено схеми автоматизації процесу завантаження руди, у яких показано розташування первинних перетворювачів на автостеллі. Схеми надані у кількох проекціях: збоку та зверху.

7. Розроблено програмне забезпечення, що включає: візуалізацію рівня матеріалу у бункерах, візуалізацію положення автостелли, дистанційне керування автостеллою, діагностику обладнання, логування дій оператора, резервування та відновлення системи. Програмне забезпечення створено у середовищі TIA Portal V16.0.

8. Визначено комплекс технічного забезпечення системи, який включає підсистему позиціонування автостелли, реалізовану на основі SYMEO LPR – безконтактної системи для визначення відстані та положення у реальному часі, а також частотний перетворювач OMRON MX2 для керування її переміщенням. Для визначення рівня руди використано датчик VEGAPULS SR 68. Загальне управління системою здійснюється за допомогою ПЛК S7-1200 з модулями SIMATIC CPU 1215C, SM 1221, SM 1222, SM 1231, CM 1241 та PM 1207.

Наукова новизна роботи полягає у розробці унікального алгоритму позиціонування автостелли та математичної моделі, що забезпечують інтелектуальне керування процесом завантаження руди з урахуванням продуктивності живильників та поточного рівня матеріалу у бункерах.

Практична значущість роботи полягає у можливості реального впровадження системи на збагачувальних фабриках для підвищення ефективності завантаження руди, мінімізації енергоспоживання та оптимізації роботи обладнання. Таким чином, у магістерській роботі успішно розроблено автоматизовану систему керування завантаженням руди у бункери, що відповідає сучасним вимогам до енергоефективності, надійності та гнучкості керування виробничими процесами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. КСКА - Система контролю руди у параболічних бункерах ОПУ-2. КСКА - *Комплексні системи та компоненти автоматики АСУТП, САУ, АСОДУ*. URL: <http://www.kcka.com.ua/ru/proekty-asu/gornoe-delo-i-metallurgija-asu/sistema-kontrolja-rudy-v-parabolicheskikh-bunkerah-opu2.html> (дата звернення: 13.12.2024).

2. Автоматизована система визначення рівня завантаження бункерів дробленою рудою на рудозбагачувальних фабриках – ТОВ "НВК "СОЮЗЦВЕТМЕТАВТОМАТИКА". ТОВ "НВК "СОЮЗЦВЕТМЕТАВТОМАТИКА" – *Автомобільні ваги, автоваги, ваги вагонні, ваги конвеєрні, ваги бункерні ваги, платформні ваги*. URL: <http://scma.com.ua/product/avtomatizirovannaya-sistema-opredeleniya-urovnya-zagruzki-bunkerov-droblyonoj-rudoj-na-rudoobogatitel-ny-h-fabrikah/> (дата звернення: 02.09.2024).

3. Пазюк М., Міняйло Н., Завальна Ю. Моделювання роботи бункерів при їх завантаженні розподільним пристроєм у циклічному режимі. *Металургія*. 2017. № 2 (38). С. 100–106. URL: <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/476> (дата звернення: 04.09.2024).

4. Хорольський В., Хорольський Д., Бабец Е. Типовые автоматизированные системы управления загрузкой бункеров обогатительной фабрики. *Геотехнічна механіка*. 2006. № 64. С. 84–90. URL: <http://geotm.dp.ua/index.php/en/collection/488-geo-technical-mechanics-2006/geo-technical-mechanics-2006-64/7149-2024-05-07-13-36-02> (дата звернення: 07.09.2024).

5. Finch J., Wills B. A. *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. Elsevier Science & Technology Books, 2015. 512 p.

6. Kiriia R., Dziuba S., Mostovyi B. Оптимальный объем аккумулирующих бункеров, работающих в системе конвейерного транспорта угольных шахт.

System technologies. 2020. Т. 1, № 126. С. 161–170. URL: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-1-126-2020-17> (дата звернення: 07.09.2024).

7. Кірія Р., Монастирський В., Міщенко Т. Имитационные модели функционирования усредняющих и аккумулирующих бункеров конвейерных линий угольных шахт. *Геотехнічна механіка*. 2016. № 131. С. 183–201. URL: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/138770/19-Kiriia.pdf> (дата звернення: 07.09.2024).

8. Тронь В. Обґрунтування методу адаптивного керування бункерним живленням комплексу паралельних технологічних ліній рудозбагачувальної фабрики. *Національний гірничий університет. Збірник наукових праць*. 2011. № 36. Т. 1. С. 135-141. URL: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/152671> (дата звернення: 07.09.2024).

9. Пивень В., Шиповский Г., Дядечкин Н. Экономическая эффективность повышения качества горно-металлургического сырья. *Горный журнал*. 2003. № 9. С. 57-58.

10. Тронь В. Енергоефективне автоматизоване керування процесом збагачення руди з термографічним розпізнаванням її технологічних різновидів : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.07. Кривий Ріг, 2012. 24 с.

11. Исследование влияния колеблемости качественных параметров рудопотоков карьера на эффективность обогащения железных руд / В. Пивень та ін. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2007. № 2 (241). С. 67–71.

12. Марюта А. Н., Качан Ю. Г., Бунько В. А. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик. Москва : Недра, 1983. 277 с.

13. Averaging level control of bulk solid material using a tripper car / К. Albuquerque та ін. *IFAC-PapersOnLine*. 2019. Т. 52, № 14. С. 147–152. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.09.179> (дата звернення: 08.09.2024).

14. Pal B., Sana S. S., Chaudhuri K. A multi-echelon production–inventory system with supply disruption. *Journal of manufacturing systems*. 2014. Т. 33, № 2.

C. 262–276. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2013.12.010> (дата звернення: 13.12.2024).

15. Dynamic programming for constrained optimal control of discrete-time linear hybrid systems / F. Borrelli et al. *Automatica*. 2005. Vol. 41, no. 10. P. 1709–1721. URL: <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2005.04.017> (date of access: 21.10.2024).

16. Yaqot M., Menezes B. C., Kelly J. D. Real-Time coordination of multiple shuttle-conveyor-belts for inventory control of multi-quality stockpiles. *Computers & chemical engineering*. 2023. С. 108388. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2023.108388> (дата звернення: 13.10.2024).

17. Chanda E. K. C., Dagdelen K. Optimal blending of mine production using goal programming and interactive graphics systems. *International journal of surface mining, reclamation and environment*. 1995. Т. 9, № 4. С. 203–208. URL: <https://doi.org/10.1080/09208119508964748> (дата звернення: 13.12.2024).

18. Montiel L., Dimitrakopoulos R. Optimizing mining complexes with multiple processing and transportation alternatives: an uncertainty-based approach. *European journal of operational research*. 2015. Т. 247, № 1. С. 166–178. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.002> (дата звернення: 13.12.2024).

19. Cyber-Physical system demonstration of an automated shuttle-conveyor-belt operation for inventory control of multiple stockpiles: a proof of concept / M. Yaqot та ін. *IEEE access*. 2022. С. 1. URL: <https://doi.org/10.1109/access.2022.3226942> (дата звернення: 10.10.2024).

20. Siemens SIMATIC S7-1200, CPU 1215 FC, Компактні постачальники та агенти процесора - тип, ціна, низька вартість, оригінал. URL: <https://ua.xk-transmitter.com/dcs-plc-module/siemens-dcs-plc-module/siemens-simatic-s7-1200-cpu-1215-fc-compact.html> (дата звернення: 11.10.2024).

21. Siemens - SIMATIC IPC547G HG-B.2.1 Core i5-6500. Home - *Automation-Berlin Kunz GmbH*. URL: <https://www.automation-berlin.com/ru/siemens-6BK1800-5AA01-0XX1.html> (дата звернення: 13.10.2024)

22. Перетворювачі частоти (інвертори) серії MX2. URL: <https://www.omron.com.ua/ru/catalog/sistemy-upravleniya-dvizheniem/kompaktnoe-reshenie/peretvoryuvachi-chastoti-invertori-seriyi-mx2> (дата звернення: 13.10.2024).

23. LPR-1D24 - высокоточный радарный датчик для измерения расстояния. *Symeo GmbH*. URL: <http://symeo.com.ua/lpr-1d24/> (дата звернення: 13.10.2024).

24. Моркун Н. В., Маринич І. А. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів спеціальності 122 - "Комп'ютерні науки". Кривий Ріг, Видавничий центр ДВНЗ «КНУ». 2017.

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

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

27. 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).

28. 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).