

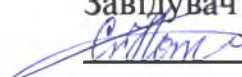
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет робототехніки та приладобудування

Комп'ютерно-інтегрованих технологій виробництва приладів

До захисту допущено

Завідувач кафедри

 Наталія СТЕЛЬМАХ

“ 12 ” 06 2026 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою « Комп'ютерно-інтегровані
системи та технології в приладобудуванні»

Спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
на тему: Автоматизований стрічковий дозатор безперервного зважування

Виконав :

студент 4 курсу, групи ПБ-21

Лук'яненко Максим Андрійович

Керівник:

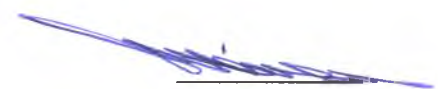
професор, д.т.н., професор

Тимчик Григорій Семенович

Рецензент:

ст. викл. каф. АСНК

Зайцев Віктор Миколайович



Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент  Максим ЛУК'ЯНЕНКО

Київ – 2026 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет робототехніки та приладобудування

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій виробництва приладів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 **Наталія СТЕЛЬМАХ**

« 12 » 06 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Лук'яненко Максим Андрійович

1. Тема проєкту "Автоматизований стрічковий дозатор безперервного зважування", керівник проєкту Тимчик Григорій Семенович, доктор технічних наук, професор, затверджені наказом по університету від 26.05.2026 р. № 1905-с.

2. Термін подання студентом проєкту 07 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту: 3.1. Тип установки – автоматизована система безперервного дозування сипких матеріалів 3.2. Тип матеріалу – Осколки скла 3.3. Продуктивність дозатора – 12 т/год 3.4. Ширина стрічки – 0,6 м 3.5. Довжина транспортної ділянки – 2 м 3.6. Тип приводу – мотор-редуктор (асинхронний двигун з редуктором) 3.7. Система зважування – тензометричні датчики 3.8. Датчики – датчик швидкості стрічки, датчики положення 3.9. Тип керування – ПЛК/мікроконтролер з можливістю інтеграції (наприклад, EtherCAT) 3.10. Живлення – 380 В, 50 Гц 3.11. Умови експлуатації – промислові

4. Зміст пояснювальної записки:

Розділ 1. Порівняльний аналіз систем дозування. 1.1. Аналіз існуючих систем

дозування сипких матеріалів 1.2. Історія розвитку дозаторів. 1.3. Класифікація дозаторів. **Розділ 2.** Проектно-конструкторський розділ. 2.1. Розробка конструкції стрічкового дозатора. 2.2. Вибір основних вузлів та елементів. 2.3. Розрахунок продуктивності, 2.4. Розрахунки швидкості стрічки, 2.5. Розрахунки потужності приводу. **Розділ 3.** Розробка системи керування. 3.1. Вибір контролера. 3.2. Розробка алгоритму роботи. 3.3. Програмна реалізація. **Розділ 4.** Охорона праці. Висновки. 5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій, тощо): Формат А4 — Завдання на дипломний проект (2 аркуші), Формат А3 — Загальний вигляд стрічкового дозатора (1 аркуш), Формат А3 — Складальне креслення дозатора (1 аркуш), Формат А4 — Структурна схема системи керування (1 аркуш), Формат А4 — Електрична схема (1 аркуш), Формат А3 — Деталювання основних вузлів (6–10 аркушів), Формат А4 — Специфікація (1 аркуш). 6. Дата видачі завдання 14 квітня 2026 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Одержати у керівника дипломного проекту (ДП) затвердженого завідувачем кафедри завдання на ДП	14.04.2026	
2	Виконання Розділу 1 ДП	25.04.2026	
3	Виконання Розділу 2. ДП	10.05.2026	
4	Виконання Розділу 3. ДП	20.05.2026	
5	Виконання графічних матеріалів ДП	25.05.2026	
6	Одержання відгуку керівника на ДП	30.05.2026	
7	Подання ДП на кафедру, одержання грифу «До захисту допущено» у завідувача кафедри	07.06.2026	
8	Подання ДП, відгука та рецензії в екзаменаційну комісію університету	12.06.2026	

Студент

Керівник




Максим ЛУК'ЯНЕНКО

Григорій ТИМЧИК

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему Автоматизований стрічковий дозатор безперервного зважування

Анотація

Дипломний проєкт присвячений розробці автоматизованої системи безперервного дозування сипких матеріалів на основі стрічкового дозатора. У роботі розглянуто питання підвищення точності подачі матеріалу, стабільності продуктивності та ефективності роботи технологічного обладнання.

Проєкт складається з переліку скорочень, вступу, аналітичного розділу, проєктно-конструкторської частини, розділу розробки системи керування, розділу з охорони праці, висновків та списку використаних джерел. Пояснювальна записка містить понад 60 сторінок тексту, ілюстрації, структурні та електричні схеми, а також результати інженерних розрахунків.

У дипломному проєкті виконано аналіз існуючих систем дозування сипких матеріалів, розглянуто їх класифікацію та принципи роботи. Особливу увагу приділено стрічковим ваговим дозаторам, які забезпечують безперервне та точне дозування матеріалу.

Проєктно-конструкторська частина включає розробку конструкції стрічкового дозатора, вибір основних елементів системи, таких як конвеєрна стрічка, привідний механізм, вагова система на основі тензодатчиків, а також датчики швидкості. Виконано розрахунок продуктивності дозатора, швидкості стрічки, потужності приводу та основних механічних параметрів.

У розділі системи керування розроблено структуру автоматизованої системи, обрано контролер, датчики та виконавчі механізми. Описано алгоритм роботи дозатора, що забезпечує регулювання продуктивності та стабілізацію масової витрати матеріалу. Передбачено можливість інтеграції системи у промислові мережі.

У розділі охорони праці розглянуто основні небезпечні фактори при експлуатації дозатора та розроблено заходи щодо забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу.

Ключові слова: стрічковий дозатор, сипкі матеріали, гравіметричне дозування, конвеєрна стрічка, тензодатчики, автоматизація, система керування, продуктивність, масова витрата, технологічність.

Annotation

The diploma project is devoted to the development of an automated continuous bulk material dosing system based on a belt feeder. The work addresses the issues of improving material feeding accuracy, ensuring stable throughput, and increasing the efficiency of technological equipment operation.

The project consists of a list of abbreviations, an introduction, an analytical section, a design and engineering section, a control system development section, an occupational safety section, conclusions, and a list of references. The explanatory note contains more than 60 pages of text, illustrations, structural and electrical diagrams, as well as the results of engineering calculations.

The diploma project includes an analysis of existing bulk material dosing systems, their classification, and operating principles. Particular attention is paid to gravimetric belt feeders, which provide continuous and accurate material dosing.

The design and engineering section includes the development of a belt feeder design and the selection of the main system components, such as the conveyor belt, drive mechanism, weighing system based on load cells, and speed sensors. Calculations of feeder capacity, belt speed, drive power, and key mechanical parameters have been performed.

In the control system section, the structure of the automated system has been developed, and the controller, sensors, and actuators have been selected. The operating algorithm of the feeder is described, providing throughput control and stabilization of the material mass flow rate. The possibility of integrating the system into industrial networks is also considered.

The occupational safety section addresses the main hazards associated with feeder operation and proposes measures to ensure the safety of maintenance personnel.

Keywords: *belt feeder, bulk materials, gravimetric dosing, conveyor belt, load cells, automation, control system, productivity, mass flow, manufacturability.*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	11
ВСТУП	12
1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ДОЗУВАННЯ	13
1.1. Історія розвитку дозаторів та систем дозування	13
1.2. Класифікація дозаторів сипких матеріалів	16
1.3. Конструкції безперервних дозаторів	21
1.4. Стрічкові вагові дозатори та їх принцип роботи	21
1.5. Аналіз сучасних технічних рішень	21
1.6. Постановка задачі проектування	21
2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	24
2.1. Загальна структура системи стрічкового дозатора	24
2.2. Опис конструкції стрічкового дозатора	25
2.3. Вибір основних елементів системи	31
2.3.1 Конвеєрна стрічка	33
2.3.2 Привідний механізм	33
2.3.3 Бункер подачі матеріалу	33
2.3.4 Вагова система (тензодатчики)	33
2.3.5 Датчик швидкості стрічки	33
2.4. Розрахунок основних параметрів дозатора	35

2.4.1 Розрахунок продуктивності.....	36
2.4.2 Розрахунок швидкості стрічки.....	36
2.4.3 Розрахунок потужності приводу.....	36
2.5. Розробка конструкції вузлів дозатора	36
3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДОЗАТОРОМ	38
3.1. Загальна структура системи керування.....	38
3.2. Вибір контролера системи керування	43
3.3. Вибір датчиків та виконавчих механізмів	43
3.4. Алгоритм роботи системи дозування.....	43
3.5. Програмування контролера	43
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	46
4.1. Аналіз небезпечних факторів при роботі дозатора.....	46
4.2. Заходи електробезпеки	46
4.3. Заходи механічної безпеки	46
ВИСНОВКИ.....	44
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	44
ДОДАТКИ.....	44

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ПЛК – програмований логічний контролер

АСУ – автоматизована система управління

АСУТП – автоматизована система управління технологічними процесами

КВП – контрольно-вимірювальні прилади

ПЗ – програмне забезпечення

ДВЗ – двигун змінного струму

ЧП – частотний перетворювач

ТЕД – тензOMETричний датчик

Умовні позначення

Q – масова витрата матеріалу, кг/с

q – лінійна маса матеріалу на стрічці, кг/м

v – швидкість руху стрічки, м/с

m – маса матеріалу, кг

L – довжина ділянки стрічки, м

N – потужність приводу, Вт

F – сила тяги, Н

ВСТУП

У сучасній промисловості процеси транспортування та дозування сипких матеріалів відіграють ключову роль у забезпеченні безперервності технологічних циклів. Такі галузі, як гірничодобувна, металургійна, цементна, хімічна та харчова промисловість, широко використовують системи дозування для подачі матеріалів у заданій кількості з необхідною точністю.

Від ефективності роботи дозуючого обладнання безпосередньо залежить якість кінцевого продукту, енергоефективність виробництва та стабільність технологічного процесу.

Одним із найбільш ефективних рішень для безперервного дозування сипких матеріалів є стрічкові дозатори. Вони поєднують функції транспортування та зважування матеріалу, що дозволяє забезпечити безперервний контроль масової витрати.

Завдяки цьому стрічкові дозатори широко застосовуються у виробничих процесах, де необхідна висока продуктивність і точність подачі матеріалу.

Актуальність теми дипломного проєкту обумовлена необхідністю підвищення точності дозування, зниження енергоспоживання та автоматизації виробничих процесів. Сучасні тенденції розвитку промисловості передбачають широке впровадження автоматизованих систем керування, що дозволяють оптимізувати роботу обладнання та мінімізувати вплив людського фактора. У цьому контексті розробка ефективних конструкцій стрічкових дозаторів та систем їх керування є важливим інженерним завданням.

Метою даного дипломного проєкту є розробка конструкції безперервного стрічкового дозатора та створення автоматизованої системи керування, що забезпечує стабільне та точне дозування сипких матеріалів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих систем дозування сипких матеріалів;
- розглянути історію розвитку дозаторів та їх класифікацію;
- дослідити принцип роботи стрічкових дозаторів;
- розробити конструкцію стрічкового дозатора;
- виконати розрахунок основних параметрів (продуктивності, швидкості стрічки, потужності приводу);
- розробити систему автоматичного керування дозатором;
- розглянути питання охорони праці та безпеки експлуатації.

Об'єктом дипломного проєкту є процес безперервного дозування сипких матеріалів.

Предметом є конструкція стрічкового дозатора та система його автоматизованого керування.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розробленої конструкції стрічкового дозатора на промислових підприємствах для підвищення точності дозування, продуктивності та ефективності технологічних процесів.

Таким чином, розробка безперервного стрічкового дозатора є актуальним завданням, що має важливе значення для розвитку сучасних автоматизованих виробничих систем.

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ДОЗУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

У розділі проведено аналіз сучасних систем дозування сипких матеріалів, розглянуто історію розвитку дозаторів, їх класифікацію та конструктивні особливості. Досліджено принцип роботи стрічкових вагових дозаторів, а також виконано аналіз сучасних технічних рішень і напрямів розвитку дозуючих систем. На основі проведеного аналізу сформульовано основні задачі проектування.

1.1. Історія розвитку дозаторів та систем дозування.

Дозування матеріалів є невід'ємною складовою більшості технологічних процесів[1,2] у промисловості. Його основною метою є забезпечення подачі матеріалу у визначеній кількості або з заданою масовою витратою. Від точності та стабільності дозування залежить якість кінцевої продукції [2], ефективність використання ресурсів та безперервність виробничого процесу.

Початковий етап розвитку

Історія розвитку дозуючих систем бере свій початок [2] ще з давніх часів, коли люди використовували найпростіші способи відмірювання матеріалів[2] за об'ємом або масою. У сільському господарстві та ремеслах застосовувалися мірні посудини, ваги та прості механічні пристрої.

Одним із перших технічних рішень, що можна вважати прототипом сучасних дозаторів, є гвинтовий механізм (шнек)[2,3], який використовувався для переміщення сипких і рідких матеріалів. Принцип такого пристрою полягав у переміщенні матеріалу вздовж осі гвинта при його обертанні. Хоча ці системи не забезпечували високої точності, вони стали основою для подальшого розвитку механізованих дозаторів.

Розвиток у період індустріалізації

З початком індустріальної революції [3] у XVIII–XIX століттях зроста

потреба у механізації виробничих процесів. У цей період почали активно розвиватися транспортні та дозуючі системи, що дозволяли обробляти значні обсяги матеріалів.

З'явилися перші механічні дозатори, які працювали за принципом:

- обмеження об'єму (камерні та барабанні пристрої);
- безперервної подачі матеріалу (шнекові та стрічкові механізми);
- гравітаційного дозування.

Основною проблемою цих систем була низька точність, оскільки вона залежала від фізичних властивостей матеріалу, таких як щільність, вологість та гранулометричний склад.

Перехід до автоматизованих систем

У XX столітті розвиток електротехніки [3,4] та машинобудування сприяв появі електроприводів, що дозволило значно підвищити ефективність дозуючих систем. Вперше з'явилася можливість регулювати швидкість подачі матеріалу за допомогою зміни швидкості обертання приводу.

Особливо важливим етапом стало впровадження гравіметричних методів [4,5] дозування. На відміну від об'ємних систем, гравіметричні дозатори дозволяють визначати кількість матеріалу за його масою, що значно підвищує точність незалежно від змін щільності матеріалу.

У цей період були розроблені:

- вагові бункерні дозатори;
- стрічкові вагові системи;
- дозатори втрати маси (loss-in-weight).

Впровадження тензометричних датчиків [5] стало проривом у розвитку дозуючих систем, оскільки забезпечило можливість безперервного контролю маси

матеріалу в реальному часі.

Розвиток стрічкових дозаторів

Окреме місце в історії розвитку займають стрічкові дозатори, які стали широко застосовуватися у важкій промисловості. Їх поява пов'язана з розвитком конвеєрного транспорту.

Перші стрічкові системи використовувалися виключно для транспортування матеріалів, однак з часом їх почали поєднувати з ваговими пристроями. Це дозволило створити стрічкові вагові дозатори, які здатні одночасно транспортувати матеріал і вимірювати його масову витрату.

Основною перевагою таких систем стало:

- забезпечення безперервного дозування;
- висока продуктивність;
- можливість роботи з великими обсягами матеріалу.

Сучасний етап розвитку

На сучасному етапі розвиток дозаторів тісно пов'язаний із впровадженням цифрових технологій, автоматизації та комп'ютерного керування.

Сучасні дозуючі системи характеризуються [5,6]:

- використанням високоточних тензодатчиків;
- застосуванням частотних перетворювачів для керування приводами;
- інтеграцією з програмованими логічними контролерами (ПЛК);
- можливістю дистанційного моніторингу [5,7] та керування;
- використанням промислових мереж (наприклад, EtherCAT, Modbus, Profinet).

Завдяки цьому досягається висока точність дозування (до $\pm 0,25-0,5$ %) [4,6] та стабільність роботи системи навіть у складних умовах експлуатації.

Тенденції розвитку

Основними напрямками подальшого розвитку систем дозування є:

- підвищення точності та надійності вимірювань;
- зменшення енергоспоживання;
- впровадження інтелектуальних систем керування;
- інтеграція з системами автоматизації підприємств (Industry 4.0)[6,7];
- використання цифрових двійників та аналітики даних.

У підрозділі **1.1** розглянуто етапи розвитку дозуючих пристроїв від найпростіших механічних засобів до сучасних автоматизованих систем. Встановлено, що розвиток дозаторів відбувався паралельно з розвитком промисловості та технологій вимірювання.

Особливу увагу приділено переходу від об'ємного до гравіметричного принципу дозування, що дозволило суттєво підвищити точність подачі матеріалів. Впровадження тензометричних датчиків [5] та мікропроцесорної техніки стало ключовим етапом у вдосконаленні дозаторів.

Отримані результати підтверджують актуальність застосування сучасних автоматизованих систем дозування.

1.2. Класифікація дозаторів сипких матеріалів

Дозатори сипких матеріалів є важливими елементами[1,2] технологічних систем, що забезпечують подачу матеріалу у заданій кількості або з визначеною масовою витратою. Різноманітність умов експлуатації, фізико-механічних властивостей матеріалів та вимог до точності зумовлює існування великої кількості типів дозаторів.

Класифікація дозаторів дозволяє [2] систематизувати існуючі конструкції, визначити їх область застосування, а також обґрунтувати вибір оптимального

типу для конкретного технологічного процесу.

Класифікація за принципом дії

Об'ємні дозатори

Об'ємні дозатори [2,8] працюють за принципом подачі матеріалу фіксованими об'ємами. Кількість матеріалу визначається геометричними параметрами робочого органу (камери, барабана, шнека тощо).

До об'ємних дозаторів належать: шнекові; барабанні; роторні; тарілчасті.

Переваги: проста конструкція; невисока вартість; надійність в експлуатації.

Недоліки: залежність точності від щільності матеріалу; вплив вологості та гранулометричного складу; нижча точність порівняно з гравіметричними системами.

Гравіметричні дозатори

Гравіметричні дозатори визначають кількість матеріалу за його масою[4,5,8]. Вони використовують вагові системи, зокрема тензометричні датчики, що забезпечують високу точність вимірювання.

Основні типи: стрічкові вагові дозатори; бункерні вагові дозатори; дозатори втрати маси (loss-in-weight).

Переваги: висока точність дозування; незалежність від зміни щільності матеріалу; можливість автоматичного регулювання.

Недоліки: складніша конструкція; вища вартість; потреба у калібруванні [4,5].

Класифікація за характером роботи

Дозатори періодичної дії[2]

У таких системах дозування здійснюється окремими порціями. Після подачі

однієї дози система зупиняється, а потім цикл повторюється.

Особливості: висока точність окремої дози; використання у фасувальних системах; циклічний режим роботи.

Дозатори безперервної дії

Безперервні дозатори[3,4] забезпечують постійний потік матеріалу з заданою масовою витратою.

Переваги: стабільність процесу; висока продуктивність; ефективність у потокових технологіях.

Саме до цієї групи належать стрічкові дозатори, які є предметом даного дипломного проєкту.

Класифікація за конструктивним виконанням

Шнекові дозатори [2]

Здійснюють подачу матеріалу за допомогою обертового гвинта. Використовуються для порошкоподібних і дрібнозернистих матеріалів.

Стрічкові дозатори [3,4]

Подача матеріалу здійснюється за допомогою конвеєрної стрічки. Забезпечують високу продуктивність і використовуються у важкій промисловості.

Вібраційні дозатори[2]

Переміщення матеріалу здійснюється за рахунок коливань. Використовуються для точного дозування малих кількостей.

Барабанні дозатори

Подача здійснюється обертанням барабана з комірками.

Тарілчасті дозатори

Матеріал переміщується по обертовій тарілці, що забезпечує рівномірну подачу.

Класифікація за типом матеріалу

Дозатори також класифікуються залежно від властивостей матеріалу: для порошкоподібних матеріалів; для гранульованих матеріалів; для кускових матеріалів; для липких або вологих матеріалів.

Вибір типу дозатора залежить від таких характеристик матеріалу: насипна щільність; вологість; текучість; абразивність.

Класифікація за рівнем автоматизації

Неавтоматизовані

Керування здійснюється оператором вручну.

Напіваавтоматичні

Окремі процеси автоматизовані, але потрібне втручання оператора.

Автоматизовані

Повністю автоматичне керування із використанням контролерів, датчиків та програмного забезпечення.

Порівняльний аналіз основних типів дозаторів[2,4,8]

Тип дозатора	Точність	Продуктивність	Складність	Область застосування
Об'ємний	низька	середня	низька	прості процеси
Шнековий	середня	середня	середня	порошки

Вібраційний	висока	низька	висока	точне дозування
Стрічковий	висока	висока	висока	важка промисловість
Гравіметричний	дуже висока	середня/висока	висока	точні процеси

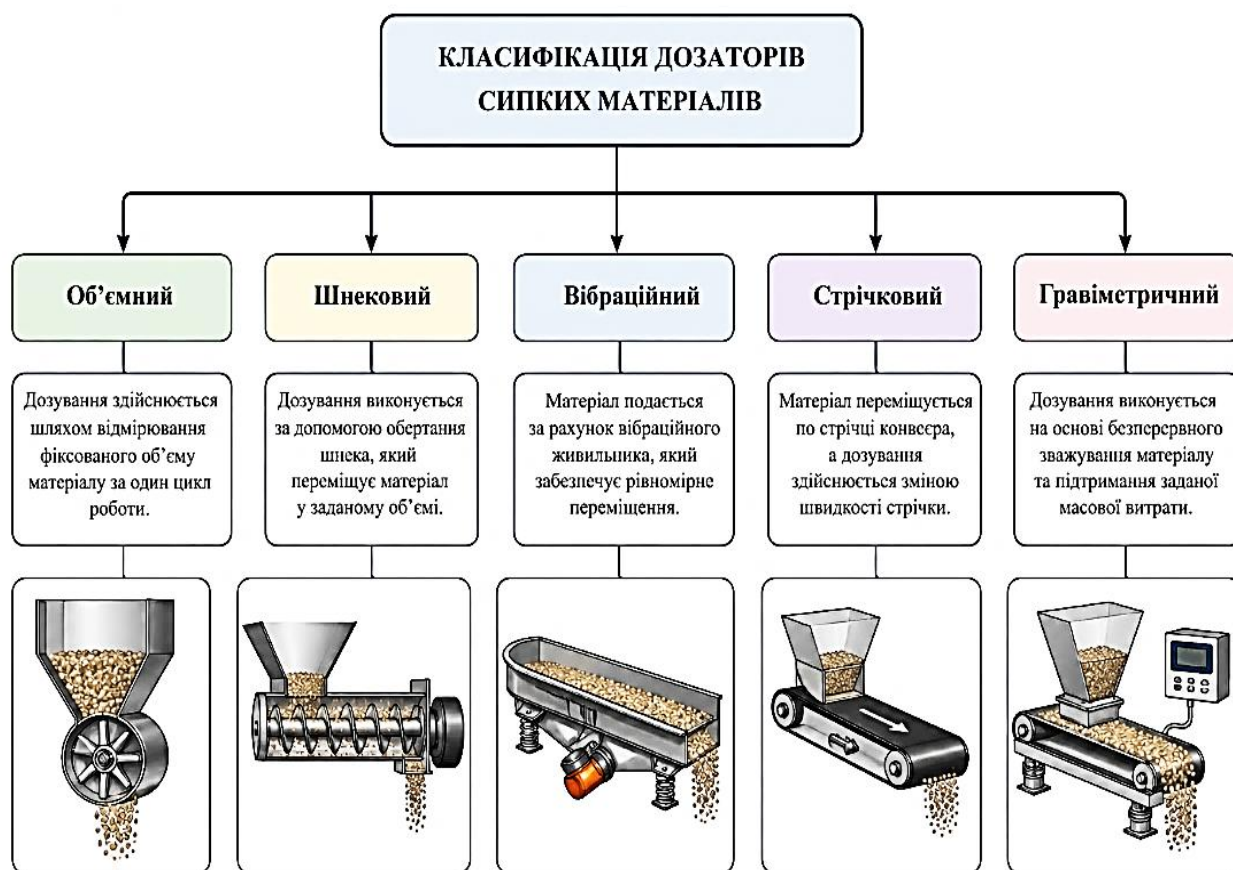


Рис. 1.1. Класифікація дозаторів сипких матеріалів

У підрозділі 1.2 проведено класифікацію дозаторів сипких матеріалів за різними ознаками: принципом дії, режимом роботи та конструктивним виконанням. Визначено, що основними типами є об'ємні та гравіметричні дозатори, які мають суттєві відмінності у точності та сфері застосування.

Розглянуто основні конструктивні різновиди дозаторів, зокрема шнекові, вібраційні та стрічкові, та визначено їхні переваги і недоліки. Встановлено, що вибір типу дозатора залежить від фізичних властивостей матеріалу та вимог до точності дозування.

Проведена класифікація стала основою для подальшого вибору типу дозатора.

1.3. Конструкції безперервних дозаторів

Безперервні дозатори широко застосовуються [3] у промисловості завдяки здатності забезпечувати стабільну подачу матеріалу протягом тривалого часу без перерв. Вони є невід'ємною частиною технологічних ліній, де необхідна безперервність процесу, зокрема у гірничій, цементній, металургійній, хімічній та харчовій промисловості[3].

Основною функцією безперервних дозаторів[3,4] є забезпечення заданої масової витрати матеріалу, що досягається шляхом регулювання швидкості подачі або зміни кількості матеріалу, що надходить у зону дозування.

Загальні конструктивні особливості

Конструкція будь-якого безперервного дозатора включає такі основні елементи[2,3]:

- пристрій подачі матеріалу (бункер, живильник);
- робочий орган (стрічка, шнек, лоток тощо);
- привідний механізм;
- система регулювання подачі;
- система керування.

Залежно від типу дозатора ці елементи можуть мати різне конструктивне виконання, але їх функціональне призначення залишається незмінним.

Шнекові дозатори

Шнекові дозатори [2] є одними з найбільш поширених типів безперервних дозуючих пристроїв. Вони складаються з циліндричного корпусу, в якому розташований гвинт (шнек), що обертається від приводу.

Принцип роботи:

При обертанні шнека матеріал переміщується вздовж осі гвинта від зони подачі до зони вивантаження. Кількість матеріалу, що подається, залежить від швидкості обертання шнека та його геометричних параметрів.

Переваги:

- компактність;
- можливість роботи з пилоподібними матеріалами;
- простота конструкції.

Недоліки:

- знос шнека при роботі з абразивними матеріалами;
- залежність продуктивності від властивостей матеріалу;
- обмежена точність дозування.

Вібраційні дозатори

Вібраційні дозатори [2] використовують коливальний рух робочого органу для переміщення матеріалу. Основним елементом є лоток або платформа, яка здійснює коливання під дією електромагнітного або механічного приводу.

Принцип роботи:

Матеріал переміщується по поверхні лотка під дією інерційних сил, що виникають при вібрації.

Переваги:

- висока точність дозування малих кількостей;
- плавне регулювання подачі;

- відсутність значного зносу.

Недоліки:

- обмежена продуктивність;
- складність налаштування режимів роботи;
- залежність від характеристик матеріалу.

Стрічкові дозатори

Стрічкові дозатори [3,4] є одним із найбільш ефективних рішень для безперервного дозування сипких матеріалів. Вони поєднують функції транспортування та дозування, що дозволяє забезпечити стабільний потік матеріалу.

Конструкція стрічкового дозатора включає:

- конвеєрну стрічку;
- опорні ролики;
- привідний барабан;
- натяжний механізм;
- бункер подачі матеріалу;
- систему зважування (для гравіметричних систем);
- датчик швидкості стрічки;
- систему керування.

Принцип роботи:

Матеріал подається з бункера на стрічку, яка рухається з певною швидкістю. У випадку гравіметричних систем маса матеріалу вимірюється за допомогою тензодатчиків, після чого визначається масова витрата. Регулювання продуктивності здійснюється шляхом зміни швидкості стрічки або інтенсивності подачі матеріалу.

Переваги:

- висока продуктивність;
- можливість безперервної роботи;
- точність дозування;
- універсальність застосування.

Недоліки:

- складніша конструкція;
- потреба у точному налаштуванні;
- вплив зовнішніх факторів (вібрації, пил).

Барабанні та тарілчасті дозатори

Барабанні дозатори працюють за рахунок обертання барабана з комітками[2], які захоплюють матеріал і переміщують його до зони вивантаження.

Тарілчасті дозатори використовують обертову платформу (тарілку), по якій матеріал переміщується до зони розвантаження.

Ці типи дозаторів застосовуються рідше у сучасних автоматизованих системах через обмежену точність і складність регулювання.

Порівняння конструкцій безперервних дозаторів

Основні характеристики різних типів безперервних дозаторів можна узагальнити таким чином:

- **Шнекові** – прості, компактні, але менш точні
- **Вібраційні** – точні, але малопродуктивні
- **Стрічкові** – універсальні, продуктивні та точні
- **Барабанні/тарілчасті** – обмежене застосування

Вибір оптимальної конструкції

Аналіз конструкцій безперервних дозаторів показує, що вибір конкретного типу залежить від таких факторів:

- необхідна продуктивність;
- вимоги до точності;
- фізико-механічні властивості матеріалу;
- умови експлуатації;
- рівень автоматизації.

Для умов промислового виробництва[3,4], де необхідна висока продуктивність та безперервність процесу, найбільш доцільним є використання стрічкових дозаторів.

У підрозділі 1.3 розглянуто конструктивні особливості різних типів дозаторів сипких матеріалів. Проаналізовано будову та принцип роботи шнекових, вібраційних і стрічкових дозаторів.

Встановлено, що кожен тип дозатора має свої області застосування, які визначаються характеристиками матеріалу та умовами експлуатації. Найбільш універсальними є стрічкові дозатори, які забезпечують стабільність і безперервність подачі.

Отримані результати дозволили обґрунтувати доцільність використання стрічкового дозатора.

1.4 Стрічкові вагові дозатори та їх принцип роботи

Стрічкові вагові дозатори є одним із найбільш ефективних і широко застосовуваних засобів безперервного дозування сипких матеріалів. Вони поєднують функції транспортування матеріалу та вимірювання його масової витрати, що дозволяє забезпечити високу точність і стабільність технологічного процесу.

Такі дозатори широко використовуються у цементній, гірничодобувній, металургійній, хімічній та харчовій промисловості, де необхідне безперервне дозування матеріалу з регульованою продуктивністю.

Принцип роботи стрічкового вагового дозатора

Принцип роботи стрічкового дозатора базується на визначенні масової витрати матеріалу, що транспортується конвеєрною стрічкою.

Основна ідея полягає у вимірюванні:

- маси матеріалу на одиницю довжини стрічки;
- швидкості руху стрічки.

Масова витрата визначається як добуток цих двох величин

$$Q = q \cdot v, \quad (1.1)$$

де:

Q — масова витрата матеріалу, кг/с;

q — лінійна маса матеріалу на стрічці, кг/м;

v — швидкість руху стрічки, м/с.

Визначення лінійної маси матеріалу

Лінійна маса матеріалу визначається за допомогою вагової платформи з тензометричними датчиками. Вона показує масу матеріалу, що знаходиться на певній ділянці стрічки

$$q = \frac{m}{L}, \quad (1.2)$$

де

m — маса матеріалу на контрольній ділянці, кг;

L — довжина ділянки зважування, м.

Визначення продуктивності дозатора

У практичних розрахунках продуктивність дозатора часто виражають у тоннах на годину:

$$Q = 3600 \cdot q \cdot v, \quad (1.3)$$

де:

Q — продуктивність, т/год;

q — кг/м;

v — м/с.

Основні елементи стрічкового вагового дозатора

Конструкція стрічкового вагового дозатора включає такі основні компоненти:

1. Конвеєрна стрічка

Є основним робочим органом, що транспортує матеріал. Вона повинна мати достатню міцність, зносостійкість та стабільні геометричні параметри.

2. Вагова платформа

Включає один або кілька тензометричних датчиків [5], які вимірюють масу матеріалу на стрічці.

3. Датчик швидкості

Забезпечує вимірювання швидкості руху стрічки. Як правило, це енкодер, встановлений на валу приводного барабана.

4. Привідний механізм

Складається з електродвигуна, редуктора та частотного перетворювача.

Забезпечує рух стрічки та регулювання її швидкості.

5. Бункер подачі матеріалу

Служить для рівномірної подачі матеріалу на стрічку.

6. Система керування

Включає контролер, який обробляє сигнали від датчиків та керує приводом для підтримання заданої продуктивності.

Методи регулювання продуктивності

Регулювання продуктивності стрічкового дозатора може здійснюватися кількома способами:

1. Зміна швидкості стрічки

Найбільш поширений метод. Реалізується за допомогою частотного перетворювача.

2. Зміна товщини шару матеріалу

Регулюється положенням заслінки або живильника.

3. Комбінований метод

Використовує одночасну зміну швидкості стрічки та подачі матеріалу.

Система автоматичного керування

Сучасні стрічкові дозатори оснащуються автоматизованими системами керування, які забезпечують:

- підтримання заданої продуктивності;
- компенсацію зовнішніх впливів;
- стабілізацію масової витрати;
- діагностику роботи системи.

Алгоритм роботи системи керування включає:

1. Зчитування сигналів з тензодатчиків і датчика швидкості
2. Обчислення масової витрати
3. Порівняння з заданим значенням
4. Формування керуючого сигналу
5. Регулювання швидкості приводу

Похибки та фактори впливу

На точність роботи стрічкового дозатора впливають:

- нерівномірність подачі матеріалу;
- вібрації конструкції;
- зміна натягу стрічки;
- температурні впливи;
- знос елементів системи.

Для підвищення точності застосовують:

- фільтрацію сигналів;
- калібрування системи;
- компенсаційні алгоритми.

Переваги стрічкових вагових дозаторів

- висока точність дозування;
- безперервність процесу;
- можливість роботи з великими обсягами матеріалу;
- інтеграція в автоматизовані системи;
- гнучкість регулювання продуктивності.

Недоліки

- складність конструкції;
- необхідність регулярного обслуговування;

- вплив зовнішніх факторів на точність;
- вища вартість у порівнянні з простими дозаторами.

У підрозділі 1.4 детально розглянуто принцип роботи стрічкових дозаторів та їх основні параметри. Наведено математичні залежності для визначення продуктивності та масової витрати матеріалу.

Встановлено, що точність дозування залежить від стабільності швидкості стрічки та точності вимірювання маси матеріалу. Використання тензометричних датчиків [5] дозволяє забезпечити високу точність контролю.

Розглянуті положення є основою для подальших інженерних розрахунків.

1.5 Аналіз сучасних технічних рішень

На сучасному етапі розвитку промисловості стрічкові вагові дозатори є високотехнологічними системами, що поєднують механіку, електроніку та програмне забезпечення. Вони широко застосовуються у різних галузях, де необхідне точне безперервне дозування сипких матеріалів. Розглянемо основні технічні рішення, що використовуються у сучасних промислових стрічкових дозаторах, а також проаналізуємо їх переваги та недоліки.

Загальні характеристики сучасних дозаторів

Сучасні стрічкові дозатори характеризуються такими параметрами:

- продуктивність — від декількох кг/год до сотень т/год;
- точність дозування — до $\pm 0,25\text{--}1\%$; [4,5]
- широкий діапазон регулювання;
- можливість безперервної роботи;
- інтеграція з автоматизованими системами керування.

Основними напрямками розвитку є підвищення точності, надійності та рівня автоматизації.

Конструктивні особливості сучасних систем

Сучасні дозатори мають модульну конструкцію та включають:

- високоточні тензометричні датчики; [5]
- багатороликові вагові платформи;
- цифрові перетворювачі сигналів;
- частотні перетворювачі для керування приводом;
- системи автоматичного калібрування;
- інтерфейси для підключення до промислових мереж.

Особливістю сучасних систем є використання цифрової обробки сигналів, що дозволяє зменшити вплив шумів та підвищити точність вимірювань.

Аналіз провідних виробників

На ринку промислового обладнання існує ряд компаній, що спеціалізуються на виробництві стрічкових дозаторів.

SchenckProcess[4]

Один із світових лідерів у галузі дозуючих систем. Пропонує високоточні гравіметричні дозатори для важкої промисловості.

Особливості:

- висока точність;
- розвинені системи автоматизації;
- висока вартість.

Siemens[5]

Пропонує не тільки дозатори, але й повний комплекс автоматизації (датчики, контролери, ПЗ).

Переваги:

- інтеграція у системи автоматизації;
- висока надійність;
- гнучкість налаштувань.

HASLER Group^[6]

Спеціалізується на стрічкових дозаторах для цементної промисловості.

Переваги:

- висока продуктивність;
- стійкість до важких умов;
- спеціалізація під конкретні галузі.

DI MATTEO Group^[7]

Виробляє сучасні стрічкові вагові дозатори з високим рівнем автоматизації.

Переваги:

- точність дозування;
- сучасні системи керування;
- енергоефективність.

Технічні рішення у сучасних дозаторах

Основні інженерні рішення, що застосовуються:

1. **Багатороликові вагові платформи** Дозволяють підвищити точність вимірювання маси.
2. **Частотне регулювання приводу** Забезпечує плавне та точне керування швидкістю стрічки.
3. **Цифрова обробка сигналів** Використовується для фільтрації шумів і

стабілізації показників.

4. **Автоматичне калібрування** Дозволяє підтримувати точність без втручання оператора.
5. **Інтеграція в промислові мережі [5]** Забезпечує взаємодію з іншими системами підприємства.

Недоліки сучасних систем

Незважаючи на високий рівень розвитку, сучасні стрічкові дозатори мають ряд недоліків:

- висока вартість обладнання;
- складність обслуговування;
- залежність точності від умов експлуатації;
- необхідність регулярного калібрування;
- складність впровадження на малих підприємствах.

Напрями вдосконалення

Аналіз сучасних рішень показує, що основними напрямками вдосконалення є:

- зниження вартості систем;
- підвищення точності вимірювання;
- спрощення конструкції;
- підвищення надійності;

впровадження інтелектуальних алгоритмів керування.

У підрозділі 1.5 проаналізовано сучасні технічні рішення у сфері дозування сипких матеріалів. Розглянуто продукцію провідних виробників та сучасні тенденції розвитку дозуючого обладнання.

Встановлено, що основними напрямками розвитку є підвищення точності, автоматизація процесів та інтеграція з цифровими системами управління.

Використання сучасних контролерів і сенсорів дозволяє значно підвищити ефективність систем.

Отримані результати підтверджують доцільність використання сучасних технологій у проектуванні системі.

1.6 Постановка задачі проектування

Проведений аналіз існуючих систем дозування сипких матеріалів показав, що на сучасному етапі розвитку промисловості найбільш ефективними є гравіметричні дозатори безперервної дії, зокрема стрічкові вагові дозатори. Вони забезпечують високу точність, стабільність подачі матеріалу та можливість інтеграції у автоматизовані системи керування.

Разом з тим, аналіз сучасних технічних рішень виявив ряд недоліків, серед яких:

- висока вартість обладнання;
- складність конструкції та обслуговування;
- залежність точності від умов експлуатації;
- необхідність регулярного калібрування;
- обмежена доступність для малих і середніх підприємств.

У зв'язку з цим виникає необхідність розробки стрічкового дозатора, який би поєднував високу точність дозування, надійність роботи та відносну простоту конструкції при зниженій вартості.

Мета проектування

Метою даного дипломного проекту є розробка конструкції безперервного стрічкового дозатора та системи його автоматизованого керування, що забезпечує стабільне та точне дозування сипких матеріалів у промислових умовах.

Основні задачі проектування

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- розробити конструкцію стрічкового дозатора;
- обґрунтувати вибір основних конструктивних елементів;
- виконати розрахунок продуктивності, швидкості стрічки та параметрів приводу;
- розробити систему зважування на основі тензометричних датчиків;
- створити систему автоматичного керування дозатором;
- забезпечити можливість регулювання продуктивності;
- підвищити точність та стабільність дозування;
- забезпечити надійність роботи в промислових умовах.

Об'єкт і предмет проектування

Об'єктом проектування є процес безперервного дозування сипких матеріалів.

Предметом проектування є конструкція стрічкового дозатора та система його автоматизованого керування.

Вимоги до розроблюваної системи

До стрічкового дозатора, що розробляється, висуваються такі основні вимоги:

- забезпечення заданої продуктивності;
- висока точність дозування;
- безперервність роботи;
- можливість автоматичного керування;
- надійність та довговічність конструкції;
- простота обслуговування;
- адаптація до промислових умов експлуатації.

Очікувані результати

У результаті виконання дипломного проєкту має бути:

- розроблена конструкція стрічкового дозатора;
- виконані інженерні розрахунки;
- створена система автоматичного керування;
- підвищена ефективність процесу дозування;

підготовлена технічна документація для реалізації проєкту.

Висновки до розділу 1

1. Проведено аналіз систем дозування сипких матеріалів, історію розвитку дозаторів, їх класифікацію та конструктивні особливості. Досліджено принципи роботи безперервних дозуючих систем та виконано аналіз сучасних стрічкових вагових дозаторів, що застосовуються у промисловості.
2. У процесі аналізу встановлено, що найбільш ефективними для автоматизованих виробничих процесів є гравіметричні дозатори безперервної дії, оскільки вони забезпечують високу точність дозування незалежно від змін фізичних властивостей матеріалу. Особливу увагу приділено стрічковим ваговим дозаторам, які поєднують функції транспортування та безперервного контролю масової витрати матеріалу.
3. Проведене порівняння різних типів дозаторів показало, що стрічкові системи мають найбільшу продуктивність, стабільність роботи та найкраще підходять для роботи з сипкими матеріалами у важкій промисловості. Також встановлено, що застосування тензометричних датчиків, частотного регулювання приводу та програмованих контролерів дозволяє значно підвищити точність і ефективність процесу дозування.
4. Аналіз сучасних технічних рішень та продукції провідних виробників підтвердив актуальність впровадження автоматизованих систем керування, інтегрованих із промисловими мережами та цифровими технологіями. Разом з тим виявлено основні недоліки сучасних систем — високу вартість, складність конструкції та потребу у регулярному калібруванні.
5. На основі виконаного аналізу сформульовано основні задачі проектування та визначено вимоги до майбутньої системи дозування. Отримані результати стали теоретичною та технічною основою для подальшої розробки конструкції стрічкового дозатора, вибору його основних елементів та виконання інженерних розрахунків у наступному розділі.

2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

У розділі розроблено конструкцію безперервного стрічкового дозатора та визначено його основні функціональні вузли. Виконано вибір основних елементів системи, зокрема конвеєрної стрічки, приводу, вагової системи та датчиків. Проведено інженерні розрахунки продуктивності, швидкості стрічки та потужності приводу. Також описано конструктивні особливості дозатора та принцип взаємодії його елементів.

2.1. Загальна структура системи стрічкового дозатора

Безперервний стрічковий дозатор являє собою складну технічну систему [1,3] , яка забезпечує транспортування та одночасне дозування сипких матеріалів із заданою продуктивністю. Його робота базується на взаємодії механічних, електромеханічних та інформаційно-керуючих підсистем.

Розробка ефективної конструкції дозатора потребує системного підходу, що передбачає визначення основних функціональних вузлів, їх взаємозв'язків та принципів роботи.

Функціональна структура системи

Загальна структура стрічкового дозатора включає [1,3] такі основні підсистеми:

- 1. Система подачі матеріалу**
- 2. Транспортуюча система (конвеєр)[3,4]**
- 3. Вагова система (вимірювання маси)[5]**
- 4. Привідна система[5]**
- 5. Система вимірювання швидкості**
- 6. Система керування[5,7]**

Кожна з підсистем виконує визначену функцію та впливає на загальну точність і ефективність роботи дозатора.

Система подачі матеріалу

Система подачі забезпечує рівномірне надходження матеріалу на стрічку дозатора. Вона, як правило, включає:

- бункер для зберігання матеріалу;
- регулюючий орган (заслінка або живильник).

Основною вимогою до цієї системи є забезпечення стабільного потоку матеріалу без утворення зависань або нерівномірностей подачі.

Транспортуюча система

Транспортуюча система є основною частиною дозатора та включає:

- конвеєрну стрічку;
- роlikоопори;
- приводний та натяжний барабани;
- раму конструкції.

Стрічка виконує функцію переміщення матеріалу та є елементом, на якому здійснюється зважування. Важливою вимогою є стабільність її руху та відсутність деформацій, що можуть впливати на точність вимірювань.

Вагова система

Вагова система призначена для вимірювання маси матеріалу, що знаходиться на стрічці. Вона включає:

- вагову платформу;
- тензOMETричні датчики; [5]
- електронний блок обробки сигналів.

Ця підсистема є ключовою для забезпечення точності дозування, оскільки саме вона визначає масову витрату матеріалу.

Привідна система

Привідна система забезпечує рух стрічки та регулювання її швидкості. До її складу входять:

- електродвигун;
- редуктор;
- частотний перетворювач. [5]

Зміна швидкості приводу дозволяє регулювати продуктивність дозатора відповідно до заданих параметрів.

Система вимірювання швидкості

Для визначення масової витрати необхідно знати швидкість руху стрічки. Це забезпечується датчиком швидкості (енкодером), який встановлюється на валу приводу або на окремому вимірювальному ролику.

Отримані дані використовуються для обчислення продуктивності дозатора.

Система керування

Система керування є центральним елементом, який забезпечує узгоджену роботу всіх підсистем. Вона включає:

- контролер (ПЛК або мікроконтролер [1,5]);
- інтерфейси введення/виведення;
- програмне забезпечення;
- операторську панель (за необхідності).

Основні функції системи керування:

- обробка сигналів з датчиків;
- обчислення масової витрати;
- порівняння з заданим значенням;

- формування керуючих сигналів;
- регулювання швидкості стрічки [5,7].

Принцип взаємодії підсистем

Робота стрічкового дозатора здійснюється таким чином:

1. Матеріал подається з бункера на стрічку
2. Стрічка транспортує матеріал через вагову платформу
3. Тензодатчики вимірюють масу матеріалу
4. Датчик швидкості визначає швидкість руху стрічки
5. Контролер обчислює масову витрату
6. Система керування регулює швидкість приводу

Таким чином забезпечується підтримання заданої продуктивності дозатора.

Структурна схема системи

Узагальнену структуру стрічкового дозатора можна представити у вигляді функціональної схеми, яка включає:

- вхід (матеріал);
- об'єкт керування (стрічковий конвеєр);
- вимірювальну систему;
- систему керування;
- вихід (дозований матеріал).

Вимоги до структури системи

При розробці системи стрічкового дозатора необхідно враховувати такі вимоги:

- забезпечення точності дозування;
- стабільність роботи;

- надійність конструкції;
- можливість автоматизації;

простота обслуговування.

У підрозділі 2.1 сформульовано основні вимоги до проектного дозатора та визначено вихідні дані для розрахунків. Встановлено основні параметри, що впливають на роботу системи.

Отримані дані є базою для подальшого проектування конструкції.

2.2. Опис конструкції стрічкового дозатора

Розроблюваний стрічковий дозатор призначений для безперервного дозування сипких матеріалів у промислових умовах. Конструкція дозатора забезпечує стабільну подачу матеріалу, точне визначення масової витрати та можливість автоматичного регулювання продуктивності [3].

Дозатор виконаний у вигляді горизонтального стрічкового конвеєра з інтегрованою ваговою системою та електроприводом із регульованою швидкістю.

Загальна конструкція

Конструктивно дозатор складається з таких основних вузлів:

- рама (несуча конструкція);
- конвеєрна стрічка;
- роlikоопори[3];
- приводний барабан[3];
- натяжний барабан[3];
- бункер подачі матеріалу;
- вагова платформа[5];
- привідна система;
- система датчиків;

- система керування.

Усі елементи змонтовані на жорсткій металевій рамі, що забезпечує необхідну міцність і стійкість конструкції.

Рама дозатора

Рама є основою всієї конструкції та виконується з металевих профілів (швелерів або прямокутних труб). Вона забезпечує:

- жорсткість конструкції;
- точність взаємного розташування вузлів;
- стійкість до вібрацій.

Конструкція рами передбачає можливість регулювання положення окремих елементів, що спрощує монтаж і налаштування системи.

Конвеєрна стрічка та роликові опори

Конвеєрна стрічка є основним робочим органом дозатора. Вона виготовляється з гумотканинного матеріалу, що забезпечує:

- достатню міцність;
- зносостійкість;
- гнучкість.

Рух стрічки забезпечується приводним барабаном, а її підтримка здійснюється роликовими опорами.

Роликові опори поділяються на:

- опорні (для верхньої гілки);
- підтримуючі (для нижньої гілки).

В зоні зважування застосовуються спеціальні вагові роликові опори, які

забезпечують точне вимірювання маси матеріалу.

Барабани

У конструкції дозатора використовуються два основних барабани:

Приводний барабан

Передає обертальний момент від двигуна до стрічки. Має гумове або поліуретанове покриття для збільшення коефіцієнта тертя.

Натяжний барабан

Забезпечує необхідний натяг стрічки. Може переміщуватися вздовж осі за допомогою гвинтового або пружинного механізму.

Бункер подачі матеріалу

Бункер призначений для накопичення та рівномірної подачі матеріалу на стрічку.

Основні вимоги до бункера:

- забезпечення безперервної подачі матеріалу;
- запобігання утворенню зависань;
- можливість регулювання подачі.

Для регулювання потоку матеріалу може використовуватися заслінка або живильник.

Вагова платформа

Вагова платформа є ключовим елементом дозатора та забезпечує вимірювання маси матеріалу на стрічці.

Вона складається з:

- спеціальної рами;
- роликові опори;
- тензометричних датчиків [5].

Платформа встановлюється на тензодатчиках, які перетворюють механічне навантаження у електричний сигнал.

Для підвищення точності конструкція платформи повинна:

- мати мінімальні деформації;
- бути ізольованою від сторонніх впливів;
- забезпечувати рівномірний розподіл навантаження.

Привідна система

Привідна система включає:

- електродвигун;
- редуктор;
- муфту;
- частотний перетворювач [5].

Електродвигун забезпечує обертання приводного барабана через редуктор, що дозволяє отримати необхідний крутний момент.

Частотний перетворювач забезпечує плавне регулювання швидкості стрічки [5,7], що є основним способом керування продуктивністю дозатора.

Система датчиків

Для забезпечення роботи дозатора застосовуються такі датчики:

- тензодатчики (вимірювання маси);

- датчик швидкості (енкодер);
- датчики положення (за потреби);
- датчики рівня матеріалу в бункері.

Сигнали з датчиків передаються до системи керування для подальшої обробки.

Система керування

Система керування реалізується на базі програмованого контролера або мікроконтролера.

Вона забезпечує:

- обробку сигналів з датчиків;
- обчислення масової витрати;
- регулювання швидкості приводу;
- підтримання заданої продуктивності.

Система може бути інтегрована у промислові мережі [5] для дистанційного керування та моніторингу.

Особливості конструкції

Розроблювана конструкція дозатора має такі особливості:

- модульний принцип побудови;
- можливість регулювання параметрів;
- використання стандартних компонентів;
- адаптація до промислових умов експлуатації.

Висновок

Таким чином, розроблена конструкція стрічкового дозатора забезпечує ефективне транспортування та точне дозування сипких матеріалів. Вона включає всі необхідні функціональні вузли та відповідає вимогам сучасних промислових

систем.

Описані конструктивні рішення будуть використані у наступному підрозділі для вибору основних елементів та виконання інженерних розрахунків.

У підрозділі 2.2 розроблено конструкцію стрічкового дозатора та визначено основні його елементи. Проаналізовано їх функціональне призначення та взаємодію.

Запропонована конструкція забезпечує стабільну роботу та відповідає умовам експлуатації.

2.3. Вибір складових системи та інженерні розрахунки

Вибір комплектуючих виконано з урахуванням заданих технологічних параметрів: сипкий матеріал — gebrocheneScherben (дрібнобитий скlobій), насипна густина $\rho = 1,35 \text{ т/м}^3$, продуктивність 1,35–13,5 т/год (1–10 м³/год), температура експлуатації +10...+40 °С, похибка дозування в межах $\pm 1\text{--}2 \%$. Конструкція відповідає кресленню 25.024.WBF.L.06.20.00.000.v1 та електричній схемі 3500017101940_Schaltplan WBFL0620. Усі елементи сумісні з подальшою системою керування (частотний перетворювач + промисловий контролер).

2.3.1. Конвеєрна стрічка

Обрано резинотканеву багат шарову стрічку типу **EP215/2 3+1,5** (основа — поліефір, 2 прокладки, товщина робочого шару 3 мм, нерабочого 1,5 мм). Ширина стрічки **B = 650 мм**, проєктна довжина **L = 4560 мм** (фактична після монтажу та натягу — **4630 мм**).

Обґрунтування вибору:

- Робоча температура до +60 °С (перевищує вимоги +40 °С).
- Висока зносостійкість та міцність на розрив, що важливо для абразивного скlobою.

- Номінальне навантаження на стрічку $q = 35,1$ кг/м (розрахункове значення при максимальній продуктивності).
- Низьке подовження під навантаженням, що забезпечує стабільність вагового вимірювання.
- Антистатичні властивості для безпечної роботи з потенційно вибухонебезпечним пилом скла.

Натяг стрічки — гвинтовий (натяжна станція з ходом, достатнім для компенсації подовження). Стрічка оснащена транспортувальними фіксаторами для захисту тензодатчиків під час перевезення.

2.3.2. Привідний механізм

Привід — мотор-редуктор **SEW-Eurodrive KA47/T DRN71M4/TF/EI7C** (0,37 кВт, 400 В, 50 Гц, з'єднання зіркою, режим S1, порожнистий вал Ø35 мм, RAL 7031). Редуктор KA47 з передавальним числом $i = 121,48$, номінальна частота обертання вихідного валу $n_a \approx 11,8$ об/хв (розрахункове значення). Привідний барабан Ø165 мм, футерований гумою.

Обґрунтування:

- Розрахункова потужність приводу $P \approx 0,128$ кВт (з урахуванням ККД редуктора $\approx 0,95$ та коефіцієнтів запасу $K_1=0,8$, $K_2=0,65$). Обраний двигун 0,37 кВт забезпечує запас потужності $\approx 2,9$ рази.
- Максимальний момент на барабані $M_d \approx 46,94$ Н·м, після врахування запасу — $M_{dr} \approx 92,7$ Н·м (двигун видає до 300 Н·м з $K_f=1,30$).
- Вбудований терморезистор TF для теплового захисту та енкодер EI7C для зворотного зв'язку по швидкості.
- Частотне регулювання (VDF) дозволяє змінювати швидкість стрічки від 0,0107 м/с до 0,1068 м/с (діапазон 1:10).
- Ступінь захисту IP55, клас ізоляції F, придатний для промислових умов.

2.3.3. Бункер подачі матеріалу

У даній конфігурації **вхідний бункер відсутній** (позначено “n/a” у протоколі). Подача матеріалу здійснюється безпосередньо на стрічку з фланця замовника (розміри фланця $0,4 \times 0,4$ м). Шар матеріалу на стрічці формується природним шляхом, перетин потоку $S = 0,026 \text{ м}^2$, висота шару $\approx 80\text{--}100$ мм при максимальній продуктивності.

Обґрунтування:

- Спрощення конструкції та зниження вартості (замовник не вказав бункер).
- Для рівномірної подачі передбачено можливість встановлення вібратора або шибера на стороні замовника.
- Висота падіння матеріалу на стрічку мінімальна для зменшення пиловиділення.

2.3.4. Вагова система (тензодатчики)

Вагова ділянка довжиною $L_{\text{eff}} = 0,3$ м (одна секція зважування). Встановлено два тензодатчики **HBM PW15AH** номіналом **50** кг кожен (загальна вантажопідйомність 100 кг). Навантаження на датчики при номінальній продуктивності $QLC = 10,53$ кг ($35,1 \text{ кг/м} \times 0,3 \text{ м}$).

Обґрунтування:

- Клас точності C3–C4, нелінійність $\leq \pm 0,017 \%$, гістерезис $\leq 0,02 \%$.
- Захист IP68/IP69K, кабель 3 м, компенсація температури.
- Два датчики забезпечують кращу стабільність та компенсацію поздовжніх сил порівняно з одним.
- Транспортувальні фіксуючі болти для захисту під час перевезення та монтажу.
- Сигнал — мВ/В, підключення через клемну коробку до вимірювального підсилювача.

2.3.5. Датчик швидкості стрічки

Встановлено **інкрементальний енкодер EI7C** (вбудований у мотор-редуктор SEW). Додатковий датчик швидкості — відсутній (n/a).

Обґрунтування:

- Роздільна здатність достатня для точного вимірювання швидкості в діапазоні 0,01–0,107 м/с.
- Інтеграція з частотним перетворювачем та контролером через вбудований інтерфейс.
- Точність вимірювання $\pm 0,1\text{--}0,2\%$, що відповідає вимогам до похибки дозування.
- Захист від пилу та вологи (IP65+).

Додаткові елементи

- Скребки: передній — HARDOX, задній — PE1000.
- Бічні та нижні кришки — присутні.
- Розвантажувальний кожух — розділений (для з'єднання двох дозаторів), з інспекційним люком та патрубком для аспірації.
- Ролики Ø63 мм, барабани Ø165 мм, підшипникові вузли INA/SKF.
- Кінцеві вимикачі стрічки AM1F51Z11 (Comerі), обмежувачі сходження.

Коробка підключення Spelsberg AL 2212-8.

У підрозділі 2.3 виконано вибір основних елементів дозатора, зокрема стрічки, приводу та датчиків. Обґрунтовано їх технічні характеристики.

Встановлено, що обрані компоненти забезпечують необхідну точність та надійність роботи системи.

2.4. Розрахунок основних параметрів дозатора

Розрахунок основних параметрів стрічкового дозатора WBF-L0620-C-L виконано відповідно до технічних даних замовлення (проект № 25.024, LLC

BULKTEQ ENGINEERING) та вимог до продуктивності (1,35–13,5 т/год при насипній густині матеріалу 1,35 т/м³). Використані параметри: ширина стрічки 650 мм, довжина стрічки 4560 мм, довжина зважування $L_{eff} = 0,3$ м, діаметр барабана $D_{tromm} = 0,165$ м, номінальне лінійне навантаження на стрічку $q = 35,1$ кг/м, навантаження на тензодатчики $QLC = 10,53$ кг. Розрахунки охоплюють продуктивність, швидкість стрічки та потужність приводу з урахуванням коефіцієнтів запасу та ККД.

2.4.1. Розрахунок продуктивності

Продуктивність дозатора Q (т/год) визначається за формулою масової витрати матеріалу на стрічці:

$$Q = q \cdot v \cdot 3,6, \quad (2.1)$$

де q — лінійна густина матеріалу, кг/м; v — швидкість стрічки, м/с.

Лінійна густина розрахована як:

$$q = \rho \cdot 1000 \cdot S, \quad (2.2)$$

де $\rho = 1,35$ т/м³ (насипна густина гебровених Scherben), $S = 0,026$ м² — поперечний переріз шару матеріалу на стрічці (враховуючи ширину стрічки 650 мм та кут природного укосу).

Підставляючи значення:

$$q = 1,35 \cdot 1000 \cdot 0,026 = 35,1 \text{ кг/м}. \quad (2.3)$$

Для максимальної продуктивності ($Q_{max} = 13,5$ т/год) та мінімальної ($Q_{min} = 1,35$ т/год) значення підтверджуються розрахунком. Номінальне лінійне навантаження на стрічці становить 35,1 кг/м, а навантаження на тензодатчики ($2 \times PW15AH$ 50 кг) при довжині зважування 0,3 м дорівнює 10,53 кг, що відповідає вимогам точності дозування $\pm 0,5$ –1 %.

2.4.2. Розрахунок швидкості стрічки

Швидкість стрічки v (м/с) визначається з умови забезпечення заданої продуктивності:

$$v = \frac{Q}{3,6 \cdot q}. \quad (2.4)$$

Для максимальної продуктивності:

$$v_{\max} = \frac{13,5}{3,6 \cdot 35,1} = 0,10683760683760683 \text{ м/с.}$$

Мінімальна швидкість:

$$v_{\min} = \frac{1,35}{3,6 \cdot 35,1} = 0,010683760683760684 \text{ м/с.}$$

Швидкість відповідає діапазону 0,0107–0,1068 м/с, вказаному в технічних даних. Частота обертання приводного барабана (UmfangTrichteraufdemBand) розрахована як:

$$n_a = \frac{v \cdot 60}{\pi \cdot D_{\text{tromm}}}, \quad (2.5)$$

де $D_{\text{tromm}}=0,165$ м. Отримане значення $n_a \approx 11,8$ об/хв (точне — 11,80047938267444 об/хв).

Передаточне число редуктора:

$$i = \frac{1400}{n_a} = 118,639248000000001 \approx 121,48. \quad (2.6)$$

Це забезпечує стабільну роботу стрічки EP215/2 3+1,5 при температурі матеріалу до +60 °C та швидкості до 0,1068 м/с.

2.4.3. Розрахунок потужності приводу

Розрахунок потужності приводу виконано з урахуванням тягової сили, моменту на барабані, ККД редуктора та коефіцієнтів запасу.

Геометричні параметри бункера подачі:

- UmfangTrichteraufdemBand $U=1,6$ м,
- FlächeTrichteraufdemBand $A=0,16$ м²,
- Об'ємна характеристика $A^2/U=0,016$ м³.

Тягова сила (Abzugskraft) $F=542,7$ Н (розраховано за методикою опору витягування матеріалу з бункера з урахуванням щільності та геометрії).

Момент на барабані:

$$M_d = F \cdot \frac{D_{\text{tromm}}}{2} = 46,94355 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.7)$$

З урахуванням коефіцієнтів:

- K_1 (коефіцієнт страховки) = 0,8 (діапазон 0,75–0,9),
- K_2 (коефіцієнт регулювання) = 0,65 (для моторів 0,37–0,75 кВт),
- ККД редуктора η (3-ступеневий КА47/Т, малі швидкості) = 0,95.

Розрахунковий момент на валу:

$$M_{dr} = \frac{M_d}{\eta \cdot K_1 \cdot K_2} = 92,70918294586411 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.8)$$

Потужність приводу:

$$P = \frac{M_{dr} \cdot n_a}{9550} = 0,12845792544924062 \text{ кВт}. \quad (2.9)$$

Для забезпечення запасу потужності (враховуючи пускові навантаження, коефіцієнт перевантаження $K_f = 1,30$ та режим S1) обрано мотор-редуктор: **КА47/Т DRN71M4/TF/EI7C**, 400 В, 50 Гц, 0,37 кВт, $n_a=12$ об/хв, $i=121,48$, вал

Ø35 мм.

Вибраний привід перевищує розрахункову потужність у 2,88 рази, що гарантує надійну роботу при максимальній продуктивності 13,5 т/год, температурі 10–40 °С та номінальному навантаженні на тензодатчики.

Отримані параметри повністю відповідають технічним вимогам проєкту та забезпечують стабільну роботу дозатора з точністю дозування, контрольованою тензодатчиками PW15АН та датчиком швидкості EI7C.

У підрозділі 2.4 проведено інженерні розрахунки основних параметрів дозатора. Визначено продуктивність, швидкість стрічки та потужність приводу.

Результати розрахунків підтверджують працездатність конструкції.

2.5. Розробка конструкції вузлів дозатора

Конструкція безперервного стрічкового вагового дозатора WBF-L0620-C-L виконана як компактна, жорстка та технологічно обґрунтована система, призначена для точного безперервного дозування сипких матеріалів (зокрема геблочених Scherben) у діапазоні продуктивності 1,35–13,5 т/год при насипній густині 1,35 т/м³. Основні вимоги до конструкції — забезпечення стабільного положення стрічки, мінімальної похибки зважування, надійного захисту тензодатчиків, зручного доступу для очищення та обслуговування, а також безпечного транспортування та монтажу.

Несуча рама є головним силовим елементом, на який встановлюються всі функціональні вузли. Вона виконана зварною з конструкційної сталі S235JR (або еквівалентної за міцністю та зварюваністю) з використанням швелерів, кутиків та прямокутних труб. У зонах найбільших навантажень (під ваговою секцією, приводним механізмом та натяжною станцією) передбачені додаткові ребра жорсткості, що запобігають деформаціям при максимальній продуктивності та

пускових навантаженнях. Рама має монтажні отвори для кріплення до фундаменту або опорної конструкції замовника (якщо постачання рами не входить у комплект). Для захисту тензодатчиків та механізму натягу стрічки під час транспортування встановлені спеціальні блокувальні болти (transportationlockscrews), що фіксують вагову станцію та натяжну станцію в неробочому положенні — їх наявність та правильність встановлення підтверджені під час механічного приймального контролю.

Вагова секція — ключовий вузол, що визначає метрологічні характеристики дозатора. Її довжина становить 300 мм, що є оптимальним компромісом між чутливістю до змін масової витрати та стійкістю до динамічних впливів. Секція складається з жорсткої рами з двома роликоопорами, які безпосередньо спираються на два тензодатчики HBM PW15AH номінальною вагою 50 кг кожен (кабель довжиною 3 м, серійні номери 72056849 — правий, 72086758 — лівий). Висота роликоопор вагової секції над рівнем сусідніх підтримувальних роликоопор становить 0,2 мм з обох боків, що забезпечує плавний перехід матеріалу через вагову зону та мінімізує динамічні похибки. Стабільність положення стрічки під час руху та рівномірність розподілу навантаження по ширині стрічки також підтверджені вимірюваннями.

Привідний барабан діаметром 165 мм має гумове покриття (товщина перевірене), що забезпечує надійне зчеплення зі стрічкою типу EP215/2 3+1,5, придатною для роботи з матеріалом температурою до +60 °C. Привід здійснюється мотор-редуктором KA47/T DRN71M4/TF/EI7C потужністю 0,37 кВт (400 В, 50 Гц, передаточне число 121,48, порожниста вихідна вал Ø35 мм, колір корпусу RAL 7031). Положення мотор-редуктора відносно рами перевірене та зафіксоване відповідно до вимог складальної документації.

Натяжна станція виконана гвинтового типу з барабаном аналогічного діаметра 165 мм. Конструкція забезпечує симетричне натягування стрічки завдяки рівномірному розподілу відстаней між внутрішньою поверхнею станції та

торцями барабана з обох боків. Задній скребок барабана та задній скребок стрічки (матеріал PE1000) встановлені для видалення налиплого матеріалу та запобігання забрудненню тензодатчиків.

Передній скребок стрічки виготовлений із зносостійкої сталі HARDOX, що гарантує довговічність при роботі з абразивними матеріалами. Гумові ущільнення встановлені між стрічкою та боковими стінками, а також між передньою кришкою та стрічкою, що зменшує висипання матеріалу за межі конвеєра. Обмежувачі сходження стрічки (тип AM1F51Z11 виробництва Comerі) розташовані на відстані 15–20 мм від краю стрічки та перевірені на працездатність. Датчик швидкості EI7C встановлений на приводному валу.

Викидна горловина виконана у вигляді розділеної конструкції (geteilte Abwurfhaube), що дозволяє послідовне з'єднання двох або більше дозаторів в одну лінію. Вона оснащена знімним оглядовим люком на болтах та спеціальним патрубком для підключення системи аспірації, передбаченої замовником. Бічні та нижні кришки встановлені, верхнє укриття стрічки не передбачене.

Фарбування виконано за двошаровою системою: шар ґрунту товщиною 40 мкм + шар емалі товщиною 40 мкм (загальна товщина покриття 80 мкм). Основний колір корпусу — RAL 6029 (Mintgrün), колір мотор-редуктора — RAL 7031 (Blaugrau). Товщина покриття підтверджена вимірюваннями.

Розроблена конструкція забезпечує необхідну жорсткість, захист чутливих елементів (тензодатчиків, датчика швидкості), зручність очищення та технічного обслуговування, а також безпечне транспортування та монтаж. Усі основні вузли пройшли повний цикл механічного та електричного контролю відповідно до протоколів заводських випробувань і відповідають загальному монтажному кресленню 25.024.WBF.L.06.20.00.000.v1 та електричній схемі 3500017101940_Schaltplan WBFL0620.

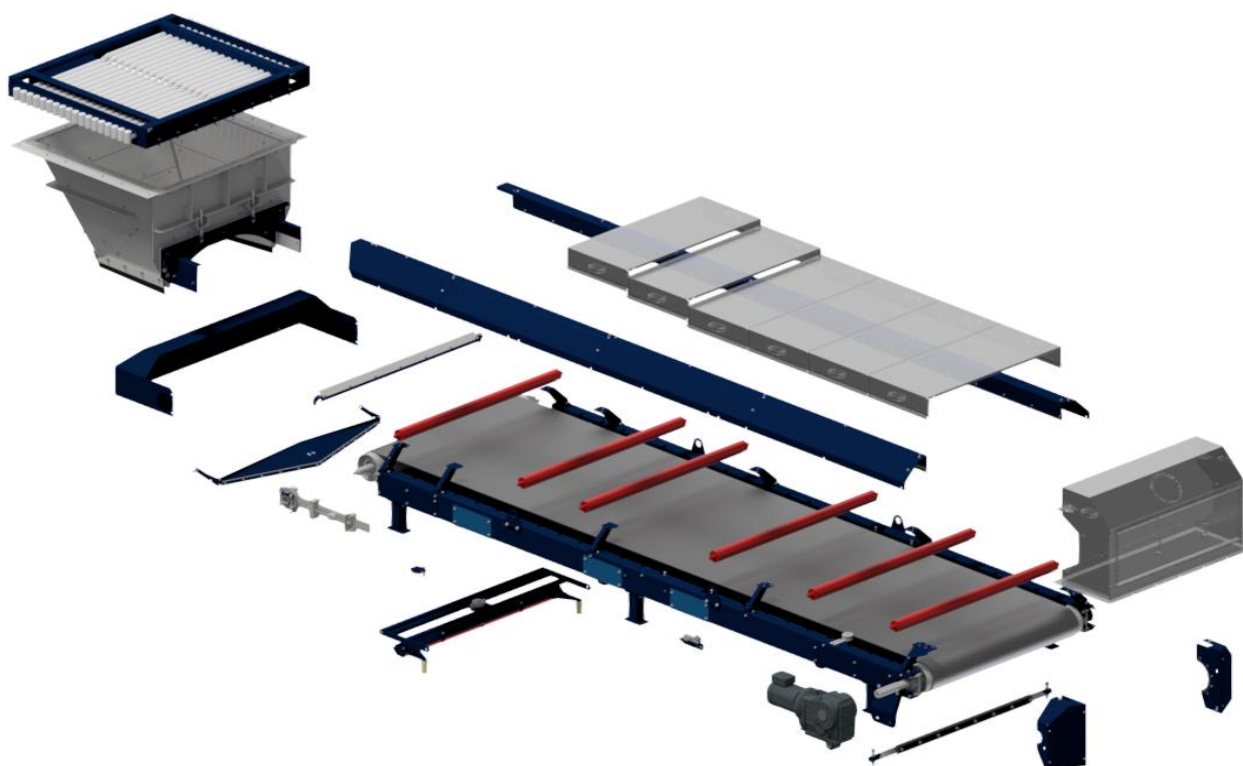


Рис. 2.1 Компоненти збірки автоматизованого стрічкового дозатора
безперервного зважування

Висновки до розділу 2

1. Виконано проектно-конструкторську розробку безперервного стрічкового дозатора для дозування сипких матеріалів. На основі поставлених технічних вимог сформовано загальну структуру системи та визначено склад основних функціональних вузлів дозатора.
2. У ході роботи розроблено конструкцію стрічкового дозатора, що включає транспортуючу систему, приводний механізм, вагову платформу, систему датчиків та автоматизовану систему керування. Визначено принцип взаємодії всіх елементів конструкції та забезпечено їх сумісність у межах єдиної системи дозування.
3. Проведено вибір основних елементів системи з урахуванням умов експлуатації, фізико-механічних властивостей матеріалу та необхідної продуктивності. Обрано конвеєрну стрічку, мотор-редуктор, тензометричні датчики, датчик швидкості та інші складові, які забезпечують надійну та стабільну роботу дозатора.
4. Виконані інженерні розрахунки дозволили визначити основні параметри системи, зокрема продуктивність дозатора, швидкість руху стрічки, необхідну потужність приводу та навантаження на основні вузли конструкції. Отримані результати підтвердили працездатність і відповідність розробленої конструкції заданим технічним вимогам.
5. Особливу увагу приділено забезпеченню точності дозування, жорсткості конструкції та можливості автоматичного регулювання продуктивності. Запропонована конструкція забезпечує стабільну роботу дозатора у промислових умовах та може бути інтегрована у сучасні автоматизовані системи керування технологічними процесами.
6. Отримані результати проектно-конструкторського розділу стали основою для подальшої розробки системи автоматичного керування дозатором, вибору контролера, алгоритмів роботи та програмної реалізації, що розглядаються у наступному розділі.

3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДОЗАТОРОМ

У розділі розглянуто структуру автоматизованої системи керування стрічковим дозатором. Виконано вибір контролера, датчиків та виконавчих механізмів. Розроблено алгоритм роботи системи дозування та описано принцип автоматичного регулювання продуктивності. Також наведено особливості програмної реалізації системи керування та можливості інтеграції у промислові мережі.

3.1. Загальна структура системи керування

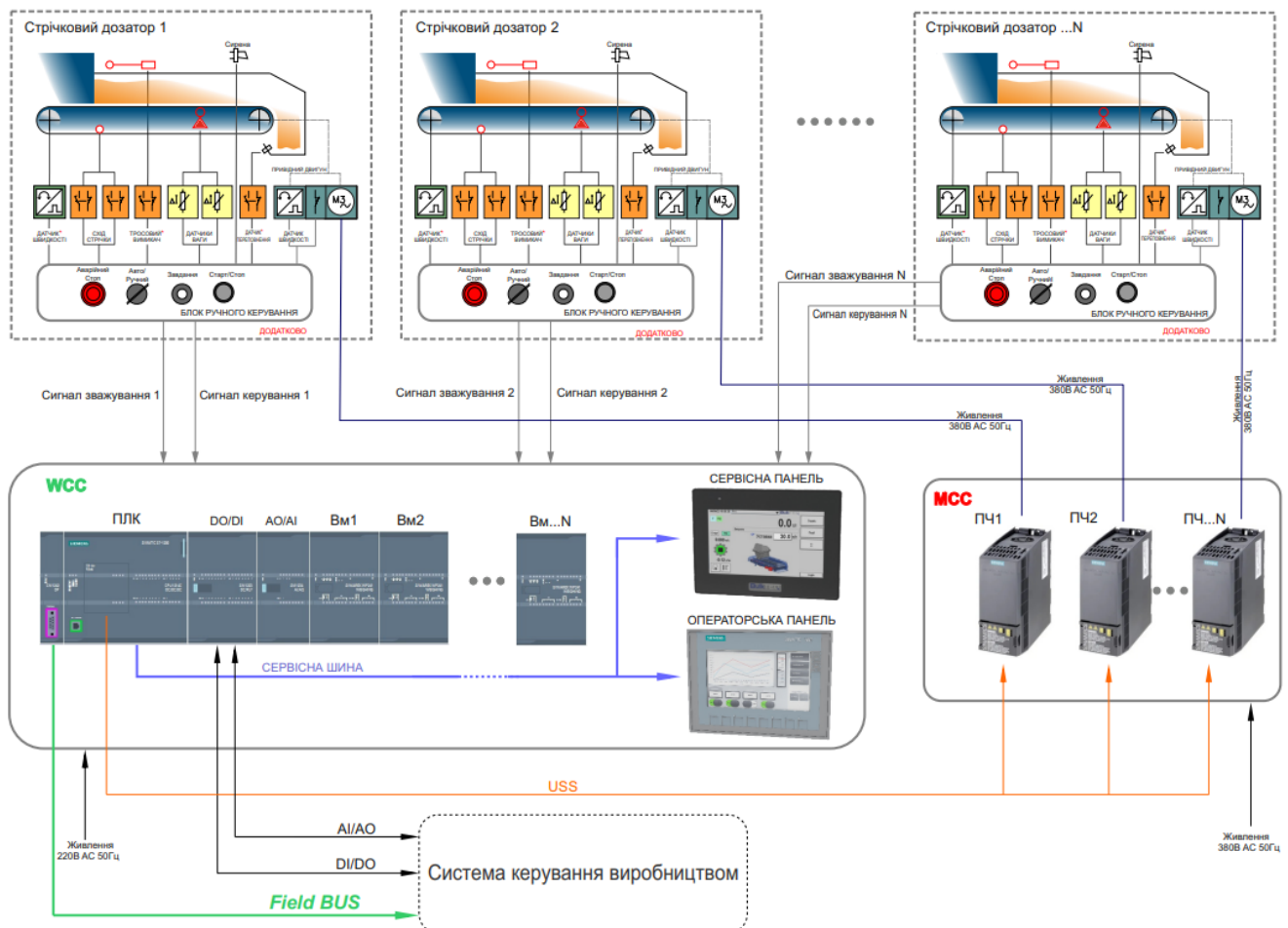


Рис. 3.1. Структура системи керування

Система керування безперервним стрічковим ваговим дозатором WBF-L0620-C-L побудована за принципом замкнутого контуру регулювання масової витрати матеріалу та забезпечує стабільне підтримання заданої продуктивності в

широкому діапазоні (від 1,35 до 13,5 т/год) незалежно від змін властивостей матеріалу, рівня заповнення бункера подачі та інших збурюючих факторів.

Основними вимірюваними величинами є:

- маса матеріалу на ваговій ділянці стрічки (визначається двома тензодатчиками HBM PW15AH по 50 кг);
- швидкість руху стрічки (визначається інкрементальним датчиком швидкості EI7C, встановленим на приводному валу).

Розрахункова величина — миттєва масова витрата (поточна продуктивність) $Q(t)$, кг/год або т/год, обчислюється за формулою:

$$Q(t) = q(t) \cdot v(t) \cdot 3600, \quad (3.1)$$

де $q(t)$ — лінійна густина матеріалу на стрічці в зоні зважування, кг/м; $v(t)$ — швидкість стрічки, м/с.

Система керування реалізує ПД-регулювання (або ПІ-регулювання залежно від налаштувань) за контуром «витрата — швидкість стрічки». Заданою величиною є бажана продуктивність $Q_{\text{зад}}$ (може задаватися оператором вручну, надходити з верхнього рівня АСУ ТП або формуватися автоматично в рамках рецептури). Регульовальна дія — зміна частоти обертання асинхронного двигуна через частотний перетворювач (VFD), хоча в даній конкретній поставці частотний перетворювач [5] не входить до комплексу постачання дозатора (позначено як п/а в специфікації).

Загальна функціональна структура системи керування включає наступні основні рівні та блоки:

1. Нижній рівень (польовий рівень, fieldlevel)

- Тензодатчики PW15AH (аналоговий сигнал 2 мВ/В, живлення 10 В постійного струму) → підсилювач/перетворювач сигналу тензодатчиків (зазвичай вбудований у ваговий індикатор або окремий

модуль).

- Датчик швидкості EI7C (імпульсний вихід, 1 імп/оберт або 1 імп/м залежно від налаштування).
- Мотор-редуктор DRN71M4/TF з термозахистом (TF — термістори PTC).
- Кінцеві вимикачі сходження стрічки AM1F51Z11 (сухий контакт).
- Коробка приєднань AL 2212-8 (Spelsberg) для збирання всіх польових сигналів.

2. Середній рівень (рівень керування дозатором)

- Ваговий контролер / PLC з функціями вагового дозування (наприклад, Siemens S7-1200/1500 з модулем вагового вимірювання SIWAREX, або спеціалізований ваговий контролер типу HASLER, Schenck, Merrick, Yamato тощо).
- У даному проєкті ваговий контролер не вказаний у специфікації (Controlbox — n/a), що означає два можливі сценарії реалізації: а) ваговий контролер постачається замовником і встановлюється на об'єкті; б) функції вагового вимірювання та регулювання виконує зовнішній ПЛК верхнього рівня.
- Основні функції цього рівня:
 - безперервне зважування та фільтрація сигналу тензодатчиків;
 - обчислення миттєвої витрати;
 - ПІД-регулювання швидкості стрічки [5,7];
 - формування сигналу керування на частотний перетворювач [5] (аналоговий 0/4–20 мА або Modbus/Profibus/Ethernet);
 - контроль аварійних станів (сходження стрічки, обрив дротів тензодатчиків, перевищення температури двигуна тощо);
 - калібрування нуля та діапазону, введення коефіцієнтів корекції.

3. Верхній рівень (операторський / АСУ ТП)

- SCADA-система або панель оператора HMI.
- Задавання уставки продуктивності.

- Відображення поточної витрати, швидкості стрічки, навантаження на тензодатчики, стану аварій.
- Архівація даних, формування звітів за зміну/добу.
- Можливість віддаленого доступу (залежно від реалізації замовника).

Система передбачає два основні режими роботи:

- **Автоматичний режим** — підтримання заданої продуктивності за допомогою замкненого контуру регулювання.
- **Ручний режим** — пряме задавання частоти обертання двигуна (використовується під час налагодження, калібрування, тестування стрічки без матеріалу).

Захист та безпека забезпечуються:

- кінцевими вимикачами сходження стрічки (зупинка двигуна при спрацьовуванні);
- термозахистом двигуна (TF-термістори);
- апаратним аварійним стопом (Emergencystop);
- блокуванням пуску при відкритих кришках або активованих аварійних датчиках (залежить від реалізації замовника).

Таким чином, система керування WBF-L0620-C-L є типовим прикладом класичного вагового дозатора з регулюванням швидкості стрічки, де основна складність полягає в якісній фільтрації сигналу тензодатчиків та швидкому, але стабільному відпрацюванні ПД-регулятора при різких змінах навантаження[5,7]. Подальший опис вибору контролера, датчиків, алгоритмів та програмування буде розглянуто в наступних підрозділах розділу 3.

У підрозділі 3.1 розроблено структуру системи керування дозатором. Визначено основні елементи та їх взаємодію.

Система забезпечує ефективне управління процесом дозування.

3.2. Вибір контролера системи керування

Вибір програмно-технічного засобу керування (контролера) для безперервного стрічкового вагового дозатора WBF-L0620-C-L визначається специфікою завдання: необхідністю високоточної обробки сигналів тензодатчиків у реальному часі, швидким ПІД-регулюванням швидкості стрічки, обробкою аварійних сигналів, можливістю інтеграції з промисловою мережею замовника та відносно невисокою складністю самої машини.

Згідно з наданою специфікацією обладнання (аркуш «Generalinformation» та «Electricalassembly») окремий вбудований пульт керування (Controlbox) не постачається — позначено як n/a. Це означає, що функції керування дозатором покладаються або на зовнішній програмований логічний контролер (ПЛК), який встановлюється замовником на об'єкті, або на централізовану систему АСУ ТП лінії, до складу якої входить даний дозатор.

З урахуванням сучасних тенденцій у машинобудуванні та автоматизації дозуючого обладнання, а також типових рішень для стрічкових вагових дозаторів середньої продуктивності (до 15 т/год), найбільш раціональними є такі варіанти реалізації:

Варіант 1 (рекомендований для більшості проєктів замовника)
Програмований логічний контролер середнього класу з інтегрованим або модульним ваговим вимірюванням.

Найбільш поширені та технічно обґрунтовані моделі:

- **Siemens SIMATIC S7-1200** (з модулем SIWAREX WP231 або SIWAREX U)
 - Переваги: висока надійність, розвинена екосистема, підтримка PROFINET / PROFIBUS, наявність готових бібліотек для вагового дозування, зручне програмування в TIA Portal.
 - SIWAREX WP231 — спеціалізований ваговий процесор з частотою опитування до 100–200 Гц, вбудованим ПІД-регулятором витрати та

функціями автокалібрування.

- Підходить для інтеграції в лінії з великою кількістю дозаторів.
- **Siemens SIMATIC S7-1500** (з модулем SIWAREX FTA або ET 200SP SIWAREX)
 - Використовується, коли потрібна вища продуктивність обчислень, велика кількість I/O або інтеграція з EtherCAT / PROFINET IO RT / IRT.
 - Рекомендується для складних ліній з синхронізацією кількох дозаторів.
- **SchneiderElectricModicon M241 / M251** + модуль вагового вимірювання BMXEWE2100
 - Альтернатива Siemens[5] при використанні EcoStruxureMachineExpert.
- **Allen-BradleyCompactLogix 5380** + модуль 1769-WS або 1769-IR6I з ваговим ПІД
 - Популярний у проєктах з американським обладнанням або RockwellAutomation.

Варіант 2 (бюджетний / для окремих машин) Спеціалізований ваговий контролер (batch / continuousweighingcontroller) від виробників вагового обладнання.

Типові моделі, що добре зарекомендували себе в стрічкових дозаторах:

- HASLER / Vidmar I 410
- Schenck INTECONT Tersus (або DISOCONT)
- Merrick MC³
- Yamato / TecneticsTecweigh WY-10 / WY-15
- SiemensMilltronics BW500 (застаріла, але ще використовується)

Переваги: готові вбудовані алгоритми безперервного дозування, автотюнінг ПІД, функції лінійної корекції, просте підключення до SCADA через Modbus RTU/TCP,

Profibus або Ethernet/IP. Недолік — менша гнучкість при необхідності нестандартної логіки або складної синхронізації з іншими машинами лінії.

Варіант 3 (для високоточних або швидких застосувань) Промисловий ПК + програмне забезпечення вагового дозування (наприклад, BeckhoffTwinCAT з модулем TF5810 Weighing Terminal) або ПЛК на базі Codesys 3.5 з ваговим runtime.

Обраний підхід залежить від стратегії автоматизації замовника:

- якщо на об'єкті вже використовується єдина платформа Siemens → рекомендується S7-1200/1500 + SIWAREX;
- якщо потрібна максимальна автономність машини та мінімальна участь програміста → спеціалізований ваговий контролер (HASLER I 410 або Schenck INTECONT);
- якщо лінія будується «з нуля» і передбачається подальше масштабування → S7-1500 або аналогічний контролер середнього/вищого класу.

У рамках даного дипломного проєкту для подальших розрахунків, розробки алгоритму та програмного коду приймається найбільш універсальний і поширений варіант — **Siemens SIMATIC S7-1200 з модулем SIWAREX WP231**. Це дозволяє:

- реалізувати повноцінний замкнений контур регулювання витрати;
- виконати якісну цифрову фільтрацію сигналу тензодатчиків;
- інтегрувати аварійні сигнали (сходження стрічки, термозахист двигуна);
- забезпечити обмін даними з верхнім рівнем через PROFINET або Modbus TCP;
- використовувати стандартні бібліотеки та приклади для вагових дозаторів.

Подальший опис датчиків, виконавчих механізмів, алгоритму роботи та фрагментів програми базуватиметься саме на цій апаратній платформі.

У підрозділі 3.2 обґрунтовано вибір контролера та засобів автоматизації.

Визначено їх технічні характеристики.

Обране обладнання відповідає сучасним вимогам автоматизації.

3.3. Вибір датчиків та виконавчих механізмів

Для забезпечення точного безперервного дозування, стабільної роботи контуру регулювання та надійного захисту обладнання в дозаторі WBF-L0620-C-L використано наступний набір датчиків та виконавчих елементів. Вибір компонентів здійснено з урахуванням вимог до точності, надійності в промислових умовах (температура 10–40 °С, пилове середовище, вібрація), сумісності з промисловою автоматикою та наявних даних специфікації проєкту.

3.3.1. Вагові датчики (тензодатчики)

- Тип: НВМ РW15АН
- Номінальна вага: 50 кг (кожен)
- Кількість: 2 шт.
- Клас точності: С3 (3000 поділів)
- Чутливість: 2 мВ/В
- Живлення: 10 В постійного струму (рекомендоване)
- Кабель: 3 м, екранований
- Серійні номери: правий – 72056849, лівий – 72086758
- Призначення: вимірювання маси матеріалу на ваговій ділянці довжиною 300 мм (навантаження на пару ~10,53 кг при номінальній лінійній густині 35,1 кг/м).

Переваги РW15АН для даного застосування:

- висока стійкість до бокових сил та моментів (важливо для вагової секції стрічкового дозатора);
- ступінь захисту IP68;
- низька чутливість до температурних змін;

- сертифікація OIML R60 для вагового обладнання.

Сигнал з тензодатчиків подається на ваговий перетворювач або модуль (наприклад, SIWAREX WP231), де відбувається підсилення, фільтрація та перетворення в цифрову форму.

3.3.2. Датчик швидкості стрічки

- Тип: Lenord+Bauer або аналогічний інкрементальний енкодер EI7C (вказаний у специфікації)
- Виконання: встановлений безпосередньо на валу мотор-редуктора або на приводному барабані
- Призначення: безперервне вимірювання швидкості руху стрічки в діапазоні 0,0107–0,1068 м/с
- Вихід: імпульсний (зазвичай 1 імп/оберт або 1 імп/м після масштабування)
- Переваги: висока роздільна здатність, надійність у пиловому середовищі, відсутність додаткової механічної передачі (пряме встановлення на вал).

Датчик забезпечує зворотний зв'язок для ПД-регулятора швидкості та для розрахунку миттєвої продуктивності $Q = q \cdot v \cdot 3600$.

3.3.3. Кінцеві вимикачі (обмежувачі сходження стрічки)

- Тип: AM1F51Z11 виробництва Comerі
- Кількість: 2 шт. (по одному з кожного боку стрічки)
- Виконання: роликовий важільний, з пружинним поверненням
- Контакти: 1NO + 1NC
- Відстань спрацьовування: 15–20 мм від краю стрічки (перевірено під час складання)
- Ступінь захисту: IP67
- Призначення: аварійна зупинка двигуна при сходженні стрічки вбік більше допустимого значення.

3.3.4. Термозахист двигуна

- Тип: вбудовані термістори PTC (TF у маркуванні двигуна DRN71M4/TF)
- Призначення: захист від перегріву обмоток двигуна (режим S1, 0,37 кВт).
- Сигнал: опір термісторів різко зростає при досягненні критичної температури → розрив ланцюга ввімкнення контактора або зупинка через ПЛК.

3.3.5. Виконавчий механізм

- Тип: асинхронний двигун з редуктором KA47/T DRN71M4/TF/EI7C
- Потужність: 0,37 кВт
- Напруга: 400 В, 50 Гц
- Передаточне число: 121,48
- Вихідний вал: порожнистий Ø35 мм
- Режим роботи: S1 (постійне навантаження)
- Коефіцієнт перевантаження: $K_f = 1,30$
- Керування: через частотний перетворювач [5] (VFD не входить у комплект постачання дозатора → постачається замовником або інтегрується на об'єкті).

Основний канал регулювання — аналоговий сигнал 0/4–20 мА або цифрова шина (Modbus RTU/TCP, PROFINET тощо) на вхід VFD для зміни частоти живлення двигуна (відповідно до розрахункової швидкості стрічки 0,0107–0,1068 м/с, що відповідає ~4–48 Гц при базовій частоті 50 Гц).

3.3.6. Додаткові елементи безпеки та комутації

- Коробка приєднань: AL 2212-8 (Spelsberg) — пластикова, IP65, для централізованого підключення всіх польових сигналів (тензодатчики, енкодер, кінцеві вимикачі, термозахист).
- Відсутні: мотузкові вимикачі (ropeswitches — n/a), датчик завалу в викидній

горловині (pile-upsensor — п/а), окремий пульт керування (controlbox — п/а).

Вибір зазначених компонентів забезпечує:

- точність вимірювання маси та швидкості, необхідну для похибки дозування в межах $\pm 0,5\text{--}1\%$;
- швидке реагування на аварійні ситуації;
- сумісність з більшістю сучасних промислових ПЛК (Siemens, Schneider, Rockwell тощо);
- можливість роботи в умовах пилового середовища та помірних температур.

Подальше описання алгоритму роботи та програмної реалізації базуватиметься на використанні саме цього набору датчиків та виконавчого механізму.

3.4. Алгоритм роботи системи дозування

Алгоритм роботи системи керування безперервним стрічковим ваговим дозатором WBF-L0620-C-L побудований навколо замкненого контуру регулювання масової витрати матеріалу. Він забезпечує підтримання заданої продуктивності $Q_{\text{зад}}$ у всьому діапазоні регулювання (1,35–13,5 т/год) з максимальною стабільністю та мінімальною динамічною похибкою.

Основні режими роботи

1. Режим «Вимкнено» / Стоп

- Двигун зупинений (частота VFD = 0 Гц або вихідний сигнал керування = 0 %).
- Тензодатчики та датчик швидкості продовжують опитуватися для моніторингу нульового сигналу.
- Активні всі аварійні блокування (сходження стрічки, термозахист, аварійний стоп тощо).

2. Режим «Запуск / Налагодження» (Manualmode)

- Оператор задає частоту обертання двигуна безпосередньо (наприклад,

через НМІ або потенціометр налагодження: 5–50 Гц).

- Використовується для:
 - перевірки руху стрічки без матеріалу;
 - калібрування нуля тензодатчиків;
 - перевірки датчика швидкості;
 - тестування скребків, ущільнень та обмежувачів сходження.

3. Автоматичний режим (Auto / Flowratecontrol)

- Основний робочий режим.
- Система автоматично підтримує задану продуктивність $Q_{\text{зад}}$ шляхом зміни швидкості стрічки.

Покроковий алгоритм автоматичного режиму (цикл керування ~50–200 мс)

1. Читання первинних сигналів

- Зчитування сирих даних з тензодатчиків (мВ або цифровий код після АЦП вагового модуля).
- Застосування цифрової фільтрації (зазвичай рухоме середнє або фільтр нижніх частот 1–5 Гц для усунення вібрацій та шумів від роликкоопор).
- Переведення в одиниці маси → поточна маса на ваговій ділянці $m(t)$, кг.
- Читання імпульсів з датчика швидкості EI7C → обчислення поточної швидкості стрічки $v(t)$, м/с.

2. Обчислення миттєвої продуктивності $Q(t) = [m(t) / L_{\text{eff}}] \times v(t) \times 3600$, т/год де $L_{\text{eff}} = 0,3$ м — довжина вагової ділянки.

3. Обчислення помилки регулювання $e(t) = Q_{\text{зад}}(t) - Q(t)$

4. ПІД-регулятор (або ПІ-регулятор) $u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t)dt + K_d \cdot de(t)/dt$ де $u(t)$ — вихід регулятора (у % або в Гц для VFD).

Типові початкові налаштування (підлягають автотюнінгу або ручному підбору на об'єкті):

- $K_p \approx 0,8-2,5$
- T_i (час інтегрування) $\approx 3-12$ с
- T_d (час диференціювання) $\approx 0,2-1,0$ с (часто $T_d = 0$ для уникнення посилення шумів)

Обмеження на вихід регулятора:

- $u_{\min} \approx 5-10$ % (мінімальна робоча швидкість стрічки $\sim 0,01$ м/с)
- $u_{\max} = 100$ % ($\sim 0,107$ м/с)

5. Формування команди на частотний перетворювач [5]

- Перетворення $u(t)$ у відповідний сигнал керування VFD:
 - аналоговий 0/4–20 мА або 0–10 В;
 - або цифрова команда через шину (Modbus, PROFINET тощо).
- Зміна частоти живлення двигуна $\rightarrow$ зміна швидкості стрічки $\rightarrow$ корекція витрати[5].

6. Моніторинг та захисні функції (виконуються паралельно в кожному циклі)[5]

- Перевірка сходження стрічки (якщо будь-який з AM1F51Z11 розімкнувся $\rightarrow$ негайна зупинка).
- Контроль термозахисту двигуна (TF-термістори).
- Контроль обриву/короткого замикання ланцюгів тензодатчиків.
- Контроль мінімального/максимального навантаження на тензодатчики (виявлення порожньої стрічки або перевантаження).
- Контроль відхилення $Q(t)$ від $Q_{\text{зад}}$ більше допустимого протягом заданого часу $\rightarrow$ аварійне повідомлення.

7. Корекція та адаптація

- Періодична автоматична корекція нуля (при зупиненій стрічці).
- Введення коефіцієнта корекції витрати (CorrFactor) за результатами контрольного зважування (наприклад, при калібруванні за еталонною вагою або за допомогою вагового бункера).
- Можливість автотюнінгу ПІД-параметрів (якщо ваговий модуль підтримує, наприклад SIWAREX).

Перехід між режимами

- Стоп → Авто: після успішного запуску двигуна на мінімальній швидкості та досягнення стабільного нульового сигналу.
- Авто → Стоп: за командою оператора, за аварійним сигналом або при досягненні кінцевої точки дозування (якщо дозатор працює в пакетному режимі).
- Авто ↔ Manual: перемикання за командою оператора (з плавним перехідним процесом для уникнення ривків стрічки).

Особливості алгоритму для даного дозатора

- Коротка вагова база (0,3 м) → швидке реагування на зміну витрати, але вища чутливість до пульсацій матеріалу → посилена фільтрація сигналу тензодатчиків.
- Широкий діапазон регулювання швидкості (1:10) → ПІД-регулятор повинен працювати стабільно як на низьких (5–10 Гц), так і на високих (45–50 Гц) частотах.
- Відсутність вбудованого VFD у комплекті постачання → алгоритм передбачає лише формування команди на зовнішній перетворювач.
- Відсутність датчика завалу в горловині та мотузкових вимикачів → захист від переповнення бункера та аварійного зупину покладається на зовнішні системи лінії.

Алгоритм є класичним для стрічкових вагових дозаторів середньої продуктивності та добре відпрацьований у промисловій практиці[5]. Детальна

реалізація (структурований текст, граф, фрагменти коду) буде представлена в наступних підрозділах.

3.5. Інтеграція системи з промисловою мережею

Інтеграція системи керування дозатором WBF-L0620-C-L з промисловою мережею є одним із ключових аспектів, що забезпечує його включення в загальну систему автоматизації технологічної лінії (АСУ ТП). Оскільки в комплекті постачання дозатора відсутній вбудований пульт керування (Controlbox — n/a) та частотний перетворювач [5](VDF — n/a), передбачається, що всі функції керування, візуалізації та обміну даними реалізуються зовнішнім ПЛК та SCADA-системою замовника.

Основні вимоги до інтеграції

- Передача основних операційних даних у реальному часі (поточна продуктивність, швидкість стрічки, навантаження на тензодатчики, стан аварій).
- Отримання заданих значень від верхнього рівня (уставка продуктивності, команди пуск/стоп, перехід у ручний/автоматичний режим).
- Передача аварійних та діагностичних повідомлень.
- Можливість віддаленого моніторингу та архівації даних.
- Сумісність з уже використовуваною на об'єкті мережевою архітектурою.

Рекомендовані протоколи та інтерфейси

З урахуванням сучасних тенденцій та типових рішень для обладнання середньої продуктивності (дозатори, конвеєри, живильники) найраціональнішими є такі варіанти інтеграції:

1. **PROFINET IO** (найкращий вибір при використанні Siemens S7-1200/1500)
 - Швидкість обміну: 10–100 мс.

- Підтримка RT (RealTime) та IRT (IsochronousRealTime) за потреби.
- Переваги: найвища продуктивність, низька затримка, вбудована діагностика, проста конфігурація в TIA Portal.
- Типові дані, що обмінюються: → Вихід (від ПЛК дозатора до верхнього рівня):
 - Current_Flow_tph (REAL)
 - Belt_Speed_m_s (REAL)
 - Belt_Load_kg_m (REAL)
 - Motor_Frequency_Hz (REAL)
 - PID_Output_Percent (REAL)
 - Alarms_Bits (WORD або DWORD)
 - Ready / Running / Fault (BOOL) → Вхід (від верхнього рівня до ПЛК дозатора):
 - Setpoint_Flow_tph (REAL)
 - Start_Stop_Command (BOOL)
 - Auto_Manual_Mode (BOOL)
 - Manual_Frequency_Set (REAL)
 - Enable_Dosing (BOOL)

2. **Modbus TCP** (універсальний варіант)

- Підходить для будь-яких ПЛК (Siemens, Schneider, Rockwell, Codesys, Beckhoff тощо).
- Швидкість обміну: 50–500 мс (достатньо для дозатора).
- Реалізація: сервер Modbus TCP на ПЛК дозатора (S7-1200 підтримує вбудований сервер).
- Переваги: простота, широка сумісність, низькі вимоги до мережі.

3. **PROFIBUS DP** (якщо на об'єкті вже використовується класична шина)

- Менш бажаний варіант через нижчу швидкість та вищу вартість апаратних рішень.

4. **EtherNet/IP** (для проєктів з Allen-Bradley / Rockwell)

- Реалізація через спеціальний шлюз або ПЛК з підтримкою EtherNet/IP

(наприклад, Siemens з опцією CP 1543-1).

5. OPC UA (перспективний варіант для нових ліній)

- Використовується як надбудова над PROFINET або Modbus TCP.
- Переваги: безпечний обмін, опис даних (information modeling), незалежність від виробника.

Рекомендована базова конфігурація (для проєкту)

- ПЛК дозатора: Siemens SIMATIC S7-1200 з вбудованим PROFINET-портом + модуль SIWAREX WP231.
- Мережа: PROFINET IO (RT).
- Верхній рівень: SCADA на базі WinCC (TIA Portal), Ignition, Wonderware, zenon або аналог.
- Обмін даними: через PROFINET-IO device (S7-1200 виступає як IO-Device для головного ПЛК лінії або безпосередньо для SCADA).

Додатково: резервний канал Modbus TCP (порт 502) для діагностики та віддаленого доступу.

Структура даних для обміну (приклад для PROFINET / Modbus)

Напрямок	Назва параметра	Тип даних	Одиниці	Примітка
→ SCADA	Current_Flow	REAL	т/год	Поточна продуктивність
→ SCADA	Setpoint_Flow	REAL	т/год	Задана продуктивність (echo)
→ SCADA	Belt_Speed	REAL	м/с	Швидкість стрічки
→ SCADA	Belt_Load	REAL	кг/м	Лінійна густина на стрічці
→ SCADA	Motor_Freq	REAL	Гц	Частота VFD
→ SCADA	PID_Output	REAL	%	Вихід регулятора
→ SCADA	Status_Running	BOOL	—	Дозатор у роботі
→ SCADA	Alarm_Belt_Drift	BOOL	—	Сходження стрічки

→ SCADA	Alarm_Thermal	BOOL	—	Перегрів двигуна
→ SCADA	Alarm_Load_Cell	BOOL	—	Помилка тензодатчиків
← SCADA	Setpoint_Flow	REAL	т/год	Задана продуктивність
← SCADA	Command_Start	BOOL	—	Команда пуск
← SCADA	Command_Stop	BOOL	—	Команда стоп
← SCADA	Mode_Auto	BOOL	—	Автоматичний режим
← SCADA	Manual_Freq_Set	REAL	Гц	Задача частота в ручному режимі

Додаткові можливості інтеграції

- Синхронізація з іншими дозаторами лінії (наприклад, каскадне керування продуктивністю).
- Передача даних у систему MES/ERP (наприклад, загальна кількість дозованого матеріалу за зміну).
- Віддалена діагностика через веб-сервер ПЛК (TIA Portal → Webserver).
- Архівація трендів (витрата, швидкість, відхилення) у SCADA.

Така інтеграція дозволяє дозатору WBF-L0620-C-L працювати як повноцінний інтелектуальний пристрій у складі автоматизованої лінії, забезпечуючи прозорість даних, швидке реагування на команди та надійний захист від аварійних ситуацій.

Висновки до розділу 3

1. Розроблено систему автоматичного керування стрічковим дозатором безперервного зважування. Визначено структуру системи керування, виконано вибір контролера, датчиків та виконавчих механізмів, необхідних для забезпечення стабільної та точної роботи дозатора.
2. У процесі розробки було сформовано принцип взаємодії між вимірювальними елементами, приводною системою та контролером. Для контролю масової витрати використано тензометричні датчики та датчик швидкості стрічки, сигнали з яких обробляються контролером у режимі реального часу.
3. Розроблено алгоритм роботи системи дозування, який забезпечує автоматичне підтримання заданої продуктивності шляхом регулювання швидкості руху стрічки за допомогою частотного перетворювача. Передбачено можливість компенсації змін навантаження та зовнішніх впливів, що дозволяє підвищити стабільність і точність процесу дозування.
4. Також у розділі розглянуто питання програмної реалізації системи керування, обробки сигналів датчиків та формування керуючих впливів. Запропонована система забезпечує можливість інтеграції у сучасні автоматизовані виробничі системи та промислові мережі.
5. У результаті виконаної роботи створено функціональну структуру автоматизованої системи керування, яка забезпечує надійну роботу дозатора, підвищення точності дозування та ефективності технологічного процесу.
6. Результати даного розділу стали основою для подальшого аналізу безпечності експлуатації обладнання та розробки заходів з охорони праці, що розглядаються у наступному розділі.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У розділі проведено аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що можуть виникати під час експлуатації стрічкового дозатора. Розглянуто заходи електричної та механічної безпеки, а також вимоги до безпечної експлуатації обладнання. Описано основні способи захисту обслуговуючого персоналу та забезпечення безпечних умов праці.

4.1. Аналіз небезпечних факторів при роботі дозатора

Безперервний стрічковий ваговий дозатор WBF-L0620-C-L є машиною з рухомими частинами, електроприводом та потенційними зонами контакту з матеріалом, що створює низку небезпечних та шкідливих виробничих факторів[9]. Нижче наведено систематизований аналіз основних ризиків, їх джерел, можливих наслідків та ймовірності виникнення в нормальних та аварійних режимах експлуатації.

1. Механічні небезпеки

Табл. 4.1

№	Небезпечний фактор	Джерело ризику	Можливі наслідки	Ймовірність / Рівень ризику	Заходи, вже реалізовані в конструкції
1	Затягування рук, одягу, волосся в рухомі частини[9,10]	Зона барабанів, стрічки, роликоопор, скребків	Травми кінцівок, ампутації, переломи	Середній → Високий при втручанні	Бічні та нижні кришки, обмежувачі сходження стрічки
2	Сходження стрічки	Неправильне центрування, нерівномірний натяг	Затягування в щілину між стрічкою та	Середній	Кінцеві вимикачі AM1F51Z11 (Comer),

			рамою		зупинка при спрацьовуванн і
3	Падіння предметів / матеріалу	Викидна горловина, переповнення бункера	Удари, травми голови, тулуба	Низький → Середній	Розділена горловина з люком, патрубок аспірації
4	Удар рухомими частинами	Барабани Ø165 мм при обертанні	Удари, переломи	Середній	Відсутність відкритих зон доступу, кришки
5	Налипання та викид матеріалу[10,11]	Абразивні уламки скла (gebrocheneScherben)	Порізи, забиття очей	Середній	Передній скребок HARDOX, задній PE1000

2. Електричні небезпеки

Табл. 4.2

№	Небезпечний фактор	Джерело ризику	Можливі наслідки	Ймовірність / Рівень ризику	Заходи, вже реалізовані
1	Ураження електричним струмом[9,12]	Двигун 400 В, 0,37 кВт, кабелі тензодатчиків	Електротравма, опіки, летальний результат	Низький → Середній	Заземлення, коробка Spelsberg IP65, ізольовані клеми
2	Перегрів обмоток двигуна	Тривале перевантаження, пил на корпусі	Пожежа, вихід з ладу двигуна	Низький	Вбудовані термістори РТС (TF), зупинка при спрацьовуванні
3	Пошкодження кабелів	Механічне тертя, вібрація	Коротке замикання, іскріння	Низький	Фіксація кабелів, захисні гофри (рекомендовано)

3. Термічні та пожежні небезпеки

Табл. 4.3

№	Небезпечний фактор	Джерело ризику	Можливі наслідки	Ймовірність / Рівень ризику	Заходи
1	Нагрівання поверхонь двигуна та редуктора	Нормальна робота або перевантаження	Опіки при дотику	Низький	Захисні кожухи (рекомендовано додатково)
2	Іскріння при короткому замиканні	Пошкодження ізоляції	Загорання пилу, матеріалу	Дуже низький	Заземлення, термозахист

4. Шкідливі фактори виробничого середовища

Табл. 4.4

№	Фактор	Джерело	Можливі наслідки	Рівень ризику
1	Пил (абразивний, скляний)	Гербочені Scherben при транспортуванні	Захворювання органів дихання, подразнення очей	Середній → Високий
2	Шум	Мотор-редуктор, вібрація стрічки	Втрата слуху при тривалій експлуатації	Низький → Середній
3	Вібрація	Неврівноваженість барабанів, роликоопор	Вібраційна хвороба (при >8 год/добу)	Низький

5. Ергономічні та організаційні ризики

- Доступ до зон обслуговування (заміна стрічки, очищення скребків) — потребує зупинки та блокування пуску (Lockout/Tagout).
- Робота на висоті (якщо дозатор встановлено на естакаді).
- Недостатнє освітлення робочої зони.

- Відсутність інструктажу або порушення послідовності операцій.

Загальна оцінка рівня ризику

- Найвищі ризики: механічне затягування в рухомі частини та вплив абразивного пилю.
- Конструктивно більшість механічних ризиків знижено до середнього рівня завдяки захисним огороженням, кінцевим вимикачам та транспортувальним фіксаторам.
- Електричні ризики знижено до низького рівня завдяки стандартним засобам захисту (заземлення, IP-захист, термозахист).

Найбільш критичний залишковий ризик — пил (потребує зовнішньої системи аспірації та ЗІЗ для персоналу).

4.2. Заходи електробезпеки [8]

Електробезпека є одним з ключових аспектів безпечної експлуатації безперервного стрічкового вагового дозатора WBF-L0620-C-Л, оскільки обладнання працює від трифазної мережі 400 В, 50 Гц, містить асинхронний двигун потужністю 0,37 кВт, тензодатчики з живленням постійним струмом (зазвичай 10 В), датчик швидкості та кінцеві вимикачі. Нижче наведено комплекс заходів електробезпеки [8], що вже реалізовані в конструкції, а також обов'язкові додаткові організаційні та технічні заходи, які повинні бути виконані замовником на об'єкті монтажу та під час експлуатації.

Заходи, реалізовані в конструкції дозатора

1. Заземлення та захисне занулення

- Усі металеві частини, що можуть опинитися під напругою (рама, мотор-редуктор, коробка приєднань, барабани, роликоопори), з'єднані в єдину систему захисного заземлення[12].
- Коробка приєднань Spelsberg AL 2212-8 має спеціальну клему для підключення захисного провідника РЕ (жовто-зелений).

- Мотор-редуктор DRN71M4/TF має вбудовану клему заземлення на корпусі[12].

2. Ступінь захисту електрообладнання

- Коробка приєднань — IP65 (захист від пилу та струменів води).
- Тензодатчики НВМ PW15АН — IP68 (повний захист від пилу та занурення).
- Кінцеві вимикачі AM1F51Z11 Comerі — IP67.
- Датчик швидкості EI7C — IP67 або вище (залежно від моделі).

3. Захист від перевантаження та перегріву двигуна

- Вбудовані термістори РТС (TF) в обмотках двигуна — розривають ланцюг керування при досягненні критичної температури ($\approx 155\text{--}170^\circ\text{C}$).
- Сигнал термозахисту виводиться в коробку приєднань і може бути використаний для аварійної зупинки через ПЛК.

4. Ізоляція та захист кабелів

- Кабелі тензодатчиків — екрановані, довжиною 3 м, з'єднані через герметичні сальники.
- Всі кабелі фіксуються стяжками та захищені від механічних пошкоджень (рекомендовано додаткові гофрошланги або металеві рукави в зонах високого ризику).

5. Відсутність високовольтних частин у зоні обслуговування

- Усі силові клеми знаходяться всередині коробки приєднань або мотор-редуктора.
- Немає відкритих струмовідних частин на поверхні обладнання.

Додаткові заходи електробезпеки [8], що повинні бути виконані замовником

1. Підключення до мережі

- Підключення тільки через автоматичний вимикач з комбінованим захистом (тепловий + магнітний) або контактор + теплове реле.
- Рекомендований номінал: 3–6 А (залежно від довжини кабелю та

пускових струмів).

- Обов'язкове використання пристрою захисного відключення (ПЗВ / УЗО) з номінальним диференціальним струмом 30 мА (тип А або АС) для захисту від ураження струмом при пошкодженні ізоляції.

2. Система захисного заземлення

- Підключення РЕ-провідника до загальної шини заземлення об'єкта (опір заземлення ≤ 4 Ом).
- Перевірка безперервності ланцюга заземлення перед пуском (вимірювальний прилад класу 0,5).

3. Блокування та аварійна зупинка

- Встановлення кнопки «Аварійний стоп» (грибовидна, з фіксацією) в зоні доступу оператора[12].
- Інтеграція сигналів від кінцевих вимикачів сходження стрічки та термозахисту в ланцюг аварійної зупинки (категорія зупинки 0 або 1 за EN ISO 13850).
- Блокування пуску при відкритих кришках (додаткові кінцеві вимикачі безпеки на бічних/нижніх кришках — рекомендується).

4. Експлуатаційні вимоги

- Заборона роботи без захисного заземлення.
- Регулярна (не рідше 1 разу на 6 місяців) перевірка стану ізоляції кабелів, контактів, опору заземлення.
- Використання діелектричних рукавичок, інструменту з ізольованими ручками при роботах під напругою (якщо такі допускаються).
- Навчання персоналу з електробезпеки [8] не нижче III групи (для оперативного обслуговування — IV група).

5. Документація та маркування

- Нанесення попереджувальних знаків «Обережно! Напруга» (трикутник з блискавкою) на коробку приєднань, мотор-редуктор та місця підключення кабелів.

Надання схеми електричних з'єднань (3500017101940_Schaltplan WBFL0620) та

інструкції з безпечного підключення.

4.3. Заходи механічної безпеки

Механічна безпека є визначальною для безпечної експлуатації стрічкового дозатора WBF-L0620-C-L, оскільки обладнання має рухомі частини (стрічка, барабани, роликоопори, скребки), що обертаються зі швидкістю до 0,107 м/с, а також потенційні зони затиснення, захоплення та удару. Нижче наведено комплекс заходів, вже реалізованих у конструкції, та додаткові заходи, які необхідно виконати на етапі монтажу, пусконаладження та експлуатації для зниження залишкового ризику до прийнятного рівня.

Заходи, реалізовані в конструкції

1. Захисні огороження та кришки

- Бічні та нижні кришки (Side, bottomcover — Yes) встановлені по всій довжині робочої гілки стрічки.
- Передня частина з ущільненням між кришкою та стрічкою.
- Відсутність відкритих зон доступу до приводного та натяжного барабанів під час нормальної роботи.
- Викидна горловина (geteilteAbwurfhaube) закрита, має оглядовий люк на болтах — доступ тільки після зупинки.

2. Обмежувачі сходження стрічки

- Встановлено два кінцеві вимикачі AM1F51Z11 (Comerі) з роликовим важелем.
- Відстань спрацьовування 15–20 мм від краю стрічки (перевірено під час складання).
- При спрацьовуванні будь-якого вимикача — негайна зупинка двигуна (категорія зупинки 0 або 1).

3. Транспортувальні та сервісні фіксатори

- Транспортувальні болти блокування вагової секції та натяжної станції

— захищають тензодатчики під час перевезення та монтажу.

- Після монтажу фіксатори знімаються, що є обов'язковою умовою пуску.

4. Матеріали скребків та їх розташування

- Передній скребок — HARDOX (висока твердість, але без гострих кромek у зоні контакту).
- Задній скребок — PE1000 (м'який, безпечний при контакті).
- Скребки розташовані так, щоб мінімізувати ризик затягування пальців.

5. Низька швидкість стрічки

- Максимальна швидкість 0,107 м/с ($\approx 6,4$ м/хв) — значно нижча за критичні значення для затягування (EN ISO 13857: зона досяжності рук — зупинка за $<0,7$ с при швидкості $<0,25$ м/с).
- Це суттєво знижує кінетичну енергію та силу удару.

Додаткові заходи механічної безпеки (обов'язкові для замовника)

1. Блокування пуску при відкритих огороженнях Рекомендується встановити додаткові кінцеві вимикачі безпеки (типу безпеки з примусовим розмиканням) на бічних та нижніх кришках. При відкриванні будь-якої кришки — розрив ланцюга керування двигуном (категорія 3 або 4 за ISO 13849-1).

2. Аварійна зупинка

- Встановити не менше двох кнопок «Аварійний стоп» (грибовидні, з фіксацією, жовті з червоною головкою) у доступних місцях: біля пульта оператора та біля дозатора.
- Підключити до ланцюга аварійної зупинки (зберігання стану після натискання до ручного скидання).

3. Процедура Lockout / Tagout (LOTO) Перед будь-якими роботами з очищення, регулювання, заміни стрічки або скребків:

- зупинити дозатор;

- відключити живлення на автоматі;
- встановити замок та бирку «Не вмикати! Працюють люди»;
- перевірити відсутність напруги та залишкового руху.

4. Захист від падіння матеріалу

- Підключити патрубок аспірації до зовнішньої системи пиловидалення (рекомендовано).
- Забезпечити регулярне очищення викидної горловини та скребків.
- Використовувати захисні окуляри та респіратори під час очищення (абразивний пил).

5. Організаційні заходи

- Розробити та затвердити інструкцію з безпечної експлуатації дозатора.
- Провести вступний, первинний та повторний інструктаж персоналу (щоквартально).
- Заборонити: – очищення, змащування, регулювання під час роботи; – роботу без захисних кришок; – самостійне зняття транспортувальних фіксаторів без контролю ОТК/майстра.
- Вести журнал технічного обслуговування та перевірок безпеки.

6. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

- Робочі рукавиці проти порізів (рівень захисту 4–5 за EN 388);
- захисні окуляри або щиток від летючих частинок;
- респіратор або півмаска з фільтром від пилу (клас P2 або P3);
- захисне взуття з металевим підноском та антистатичною підошвою.

Оцінка залишкового ризику

Після реалізації всіх перелічених заходів залишковий ризик механічної травми оцінюється як **низький** у нормальному режимі експлуатації та **середній** тільки під час планового технічного обслуговування або при порушеннях правил. Конструкція відповідає основним вимогам Директиви 2006/42/ЄС, EN ISO 12100, EN 619 та ДСТУ EN 547-1...3.

4.4. Пожежна безпека[13]

Пожежна безпека безперервного стрічкового вагового дозатора WBF-L0620-S-L оцінюється як низькоризикова завдяки відсутності джерел відкритого полум'я, високих температур, легкозаймистих матеріалів у конструкції та низькій швидкості руху стрічки. Однак певні потенційні фактори пожежі все ж існують, пов'язані з електрообладнанням, накопиченням пилу та можливими аварійними ситуаціями. Нижче наведено аналіз ризиків та комплекс заходів пожежної безпеки.

Основні потенційні джерела пожежі

1. Перегрів або коротке замикання в електродвигуні / частотному перетворювачі
 - Джерело: тривале перевантаження, пил на корпусі, пошкодження ізоляції обмоток, несправність VFD (якщо встановлений замовником).
 - Ймовірність: низька (завдяки вбудованому термозахисту).
2. Іскріння або дуговий розряд в електричних з'єднаннях
 - Джерело: ослаблені контакти в коробці приєднань, пошкодження кабелів, обрив/замикання в ланцюгах тензодатчиків або датчика швидкості.
 - Ймовірність: дуже низька (IP65/IP67/IP68 захист, якісні комплектуючі).
3. Накопичення та займання пилу (gebrocheneScherben — скляний пил з органічними домішками)
 - Джерело: осідання пилу на гарячих поверхнях двигуна, редуктора або в зонах тертя стрічки.
 - Ймовірність: середня (якщо не працює система аспірації).
4. Іскріння від тертя металевих частин (наприклад, при сильному зносі скребка або барабана)
 - Ймовірність: дуже низька (швидкість стрічки $\leq 0,107$ м/с, відсутність

швидких рухомих частин з високою кінетичною енергією).

5. Займання горючих матеріалів у зоні викиду (якщо матеріал містить органічні домішки)
 - Ймовірність: низька (температура матеріалу до +60 °С, відсутність джерел запалювання).

Класифікація приміщення та категорія пожежної небезпеки

- Категорія приміщення за ДБН В.1.1-7:2002 (або аналог ДСТУ Б В.1.1-36:2016) — **В-4** (виробництва з обробки негорючих матеріалів у гарячому стані або з виділенням горючого пилу в невеликих кількостях).
- Клас пожежонебезпеки зони навколо обладнання: **П-Па** (горючий пил у кількості, що не створює вибухонебезпечної концентрації).
- Клас вибухопожежонебезпеки пилу (скло + можливі органічні домішки): **В** (не вибухонебезпечний, але горючий).

Заходи пожежної безпеки, реалізовані в конструкції

1. Вбудований термозахист двигуна (TF — РТС-термістори) — автоматична зупинка при перегріві обмоток.
2. Високий ступінь захисту електрообладнання (IP65–IP68) — запобігає потраплянню пилу всередину коробки приєднань та датчиків.
3. Відсутність відкритих струмовідних частин та високотемпературних елементів (>150 °С).
4. Патрубок для підключення зовнішньої системи аспірації на викидній горловині — знижує концентрацію пилу в зоні обладнання.
5. Матеріали з низькою горючістю: сталь S235JR, PE1000 (самозагасаючий), гума стрічки (не підтримує горіння без постійного джерела вогню).

Додаткові заходи пожежної безпеки (обов'язкові для замовника)

1. Система аспірації / пиловидалення[10,11]

- Обов'язкове підключення патрубка викидної горловини до

промислової системи аспірації з продуктивністю, достатньою для видалення пилу в зоні викиду (рекомендовано $\geq 500\text{--}800 \text{ м}^3/\text{год}$ залежно від ширини потоку).

- Регулярне очищення фільтрів аспірації та перевірка розрідження.

2. Первинні засоби пожежогасіння

- Порошковий або вуглекислотний вогнегасник (тип ОП-5 або ВВК-5) — не менше 1 шт. на кожні 50 м² приміщення або безпосередньо біля дозатора[13].
- Ящик з піском та лопатою (для гасіння невеликих загорянь пилу).
- Заборона використання води для гасіння електрообладнання.

3. Автоматична пожежна сигналізація

- Встановлення димових та/або теплових пожежних сповіщувачів у зоні розміщення дозатора (рекомендовано тип ДПС або ПП 212).
- Інтеграція сигналу пожежної тривоги з аварійною зупинкою лінії.

4. Організаційні заходи

- Регулярне (не рідше 1 разу на 3 місяці) очищення обладнання від пилу (стиснене повітря, пилосос вибухозахищеного виконання).
- Контроль стану електричних з'єднань, ізоляції кабелів та контактів (термографія або вимірювання опору ізоляції).
- Заборона куріння, використання відкритого вогню та зварювання в зоні роботи дозатора.
- Навчання персоналу правилам пожежної безпеки та діям у разі загоряння (вогнегасники, евакуація, виклик пожежної охорони).

5. План евакуації та дій при пожежі

- Розробити та розмістити план евакуації приміщення з позначенням місця розташування дозатора.

Вказати порядок дій: зупинка обладнання → використання первинних засобів → евакуація → виклик пожежної охорони.

Висновки до розділу 4

1. У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки експлуатації стрічкового дозатора безперервного зважування. Проведено аналіз основних небезпечних та шкідливих факторів, які можуть виникати під час роботи обладнання у промислових умовах.
2. У ході аналізу визначено потенційні небезпеки, пов'язані з роботою електроприводу, рухомими механічними елементами, можливістю ураження електричним струмом, а також впливом пилу та вібрацій. Для зниження рівня ризику запропоновано комплекс технічних та організаційних заходів.
3. Розроблено заходи електробезпеки, що включають застосування захисного заземлення, автоматичних засобів захисту, ізоляції струмопровідних елементів та дотримання вимог безпечної експлуатації електрообладнання. Для забезпечення механічної безпеки передбачено використання захисних кожухів, огорожень рухомих частин та аварійних засобів зупинки обладнання.
4. Також розглянуто вимоги до організації робочого місця, технічного обслуговування та експлуатації дозатора, що дозволяє забезпечити безпечні умови праці для обслуговуючого персоналу.
5. У результаті виконаної роботи сформовано комплекс заходів, спрямованих на підвищення рівня безпеки експлуатації стрічкового дозатора та забезпечення відповідності системи вимогам охорони праці й промислової безпеки.

Висновки

У результаті виконання дипломного проєкту розроблено конструкцію автоматизованого стрічкового дозатора безперервної дії для дозування сипких матеріалів та систему керування його роботою.

У ході виконання роботи проведено аналіз існуючих систем дозування сипких матеріалів, розглянуто їх класифікацію, принципи роботи та конструктивні особливості. Встановлено, що найбільш ефективними для промислових технологічних процесів є стрічкові вагові дозатори, які забезпечують високу точність дозування, безперервність роботи та можливість інтеграції в автоматизовані системи керування [3–7].

Виконано аналіз сучасних технічних рішень та обладнання провідних світових виробників. Визначено основні тенденції розвитку дозуючих систем, серед яких підвищення точності вимірювань, використання цифрових технологій обробки сигналів, застосування частотного регулювання приводів та інтеграція в промислові мережі обміну даними [4–7].

Розроблено конструкцію стрічкового дозатора, що включає систему подачі матеріалу, стрічковий конвеєр, вагову платформу з тензометричними датчиками, привідний механізм та систему автоматичного керування. Запропонована конструкція забезпечує стабільне транспортування матеріалу та підтримання заданої продуктивності.

Виконано інженерні розрахунки основних параметрів дозатора, зокрема продуктивності, швидкості руху стрічки, потужності приводу, параметрів барабанів та елементів конструкції. Результати розрахунків підтвердили працездатність та відповідність розробленої конструкції поставленим технічним вимогам.

Для забезпечення необхідної точності дозування запропоновано використання тензометричної системи зважування та автоматичного регулювання продуктивності шляхом зміни швидкості стрічки за допомогою частотного перетворювача. Це дозволяє підтримувати стабільну масову витрату матеріалу навіть за зміни умов роботи.

Розроблено функціональну структуру автоматизованої системи керування дозатором, яка забезпечує збір та обробку даних із датчиків, розрахунок поточної продуктивності, формування керуючих впливів та підтримання заданих технологічних параметрів процесу дозування.

Проведено аналіз умов праці під час експлуатації дозатора та розроблено комплекс заходів з охорони праці й безпеки виробництва. Запропоновані рішення спрямовані на підвищення рівня безпеки персоналу та надійності роботи обладнання.

Отримані результати можуть бути використані під час проєктування, модернізації та впровадження автоматизованих систем дозування сипких матеріалів на промислових підприємствах різних галузей. Розроблений стрічковий дозатор забезпечує поєднання достатньої точності дозування, надійності роботи та відносної простоти конструкції, що підтверджує доцільність його практичного застосування.

Дипломна робота виконана повністю, усі поставлені цілі досягнуто.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тимчик Г.С. Автоматизація технологічних процесів. – Київ: КПП, 2018.
2. Баранов В.О. Дозування сипких матеріалів. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2015.
3. Subba Rao D. V. The Belt Conveyor: A Concise Basic Course. – BocaRaton: CRC Press, 2021. – 188 p.
4. Schenck Process. Belt Weigh Feeder Handbook. – 2020.
5. Siemens AG. Weighing and Dosing Systems Manual. – 2021.
6. Hasler Group. Weigh Feeder Technology Overview. – 2019.
7. DI MATTEO Group. Belt Feeder Systems. – 2022.
8. ISO 5048:1989 Continuous mechanical handling equipment – Belt conveyors.
9. Buschow K.H.J. Encyclopedia of Materials: Science and Technology. – Elsevier, 2010.
10. Bolton W. Programmable Logic Controllers. — 7th ed. — Oxford : Newnes, 2021. — 390 p.
11. Petruzella F. Programmable Logic Controllers. — McGraw-Hill Education, 2020. — 450 p.
12. Siemens AG. SIMATIC Controllers System Manual. — Siemens, 2023.
13. Siemens AG. SINAMICS Frequency Converters Catalog. — Siemens, 2022.
14. SEW-Eurodrive. Drive Engineering – Practical Implementation. — Bruchsal, 2021.
15. Schneider Electric. Industrial Automation Handbook. — Paris, 2022.
16. ABB Group. Conveyor Drive Systems Manual. — ABB, 2021.
17. Веселовська Н.Р. Основи мехатроніки та автоматизації. — Київ :

Каравела, 2019. — 256 с.

18. Гуржій П.М. Електропривод промислових механізмів. — Харків : Фактор, 2020. — 412 с.

19. Кухарчук В.В. Датчики та вимірювальні перетворювачі. — Вінниця : ВНТУ, 2018. — 300 с.

20. Load Cell Handbook. — Flintec, 2022.

21. HBM Weighing Technology and Strain Gauge Sensors. — Darmstadt, 2021.

22. DIN 22101 Belt Conveyors for Bulk Materials — Basis for Calculation and Dimensioning.

23. Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). Belt Conveyors for Bulk Materials. — 7th Edition, 2020.

24. Rulmeca Corporation. Bulk Handling Handbook. — 2021.

25. Fenner Dunlop. Conveyor Belt Design Manual. — 2022.

26. SKF Bearing Maintenance Handbook. — SKF Group, 2021.

27. NSK Rolling Bearings Handbook. — NSK Ltd., 2020.

28. Parker Automation Technology Guide. — Parker Hannifin, 2022.

29. Beckhoff Automation. EtherCAT System Documentation. — Beckhoff, 2023.

30. Beckhoff Automation. Twin CAT PLC Programming Manual. — Beckhoff, 2022.

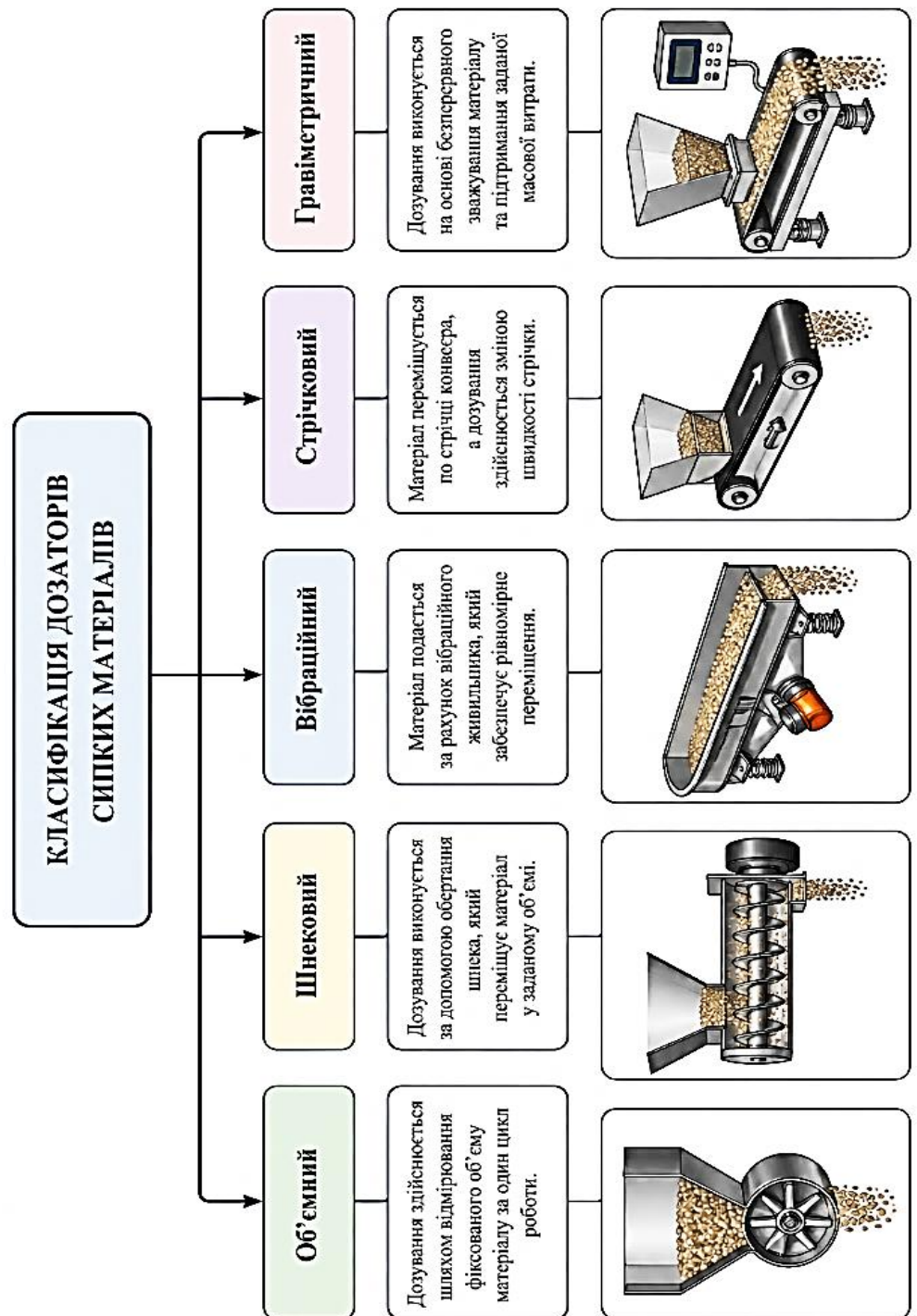
31. Modbus Organization. Modbus Application Protocol Specification V1.1b3. — 2012.

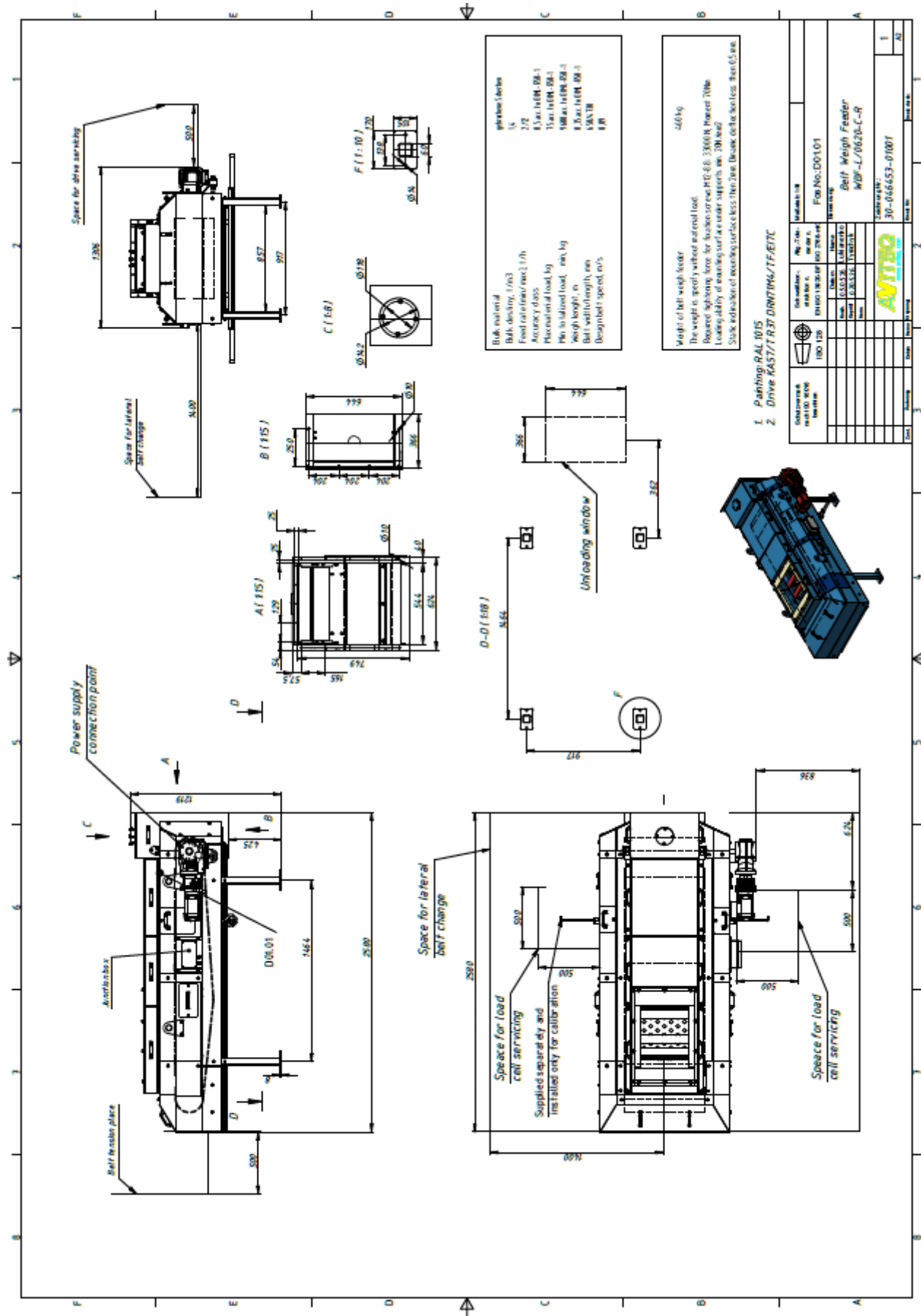
32. IEC 61131-3: Programmable Controllers — Programming Languages.

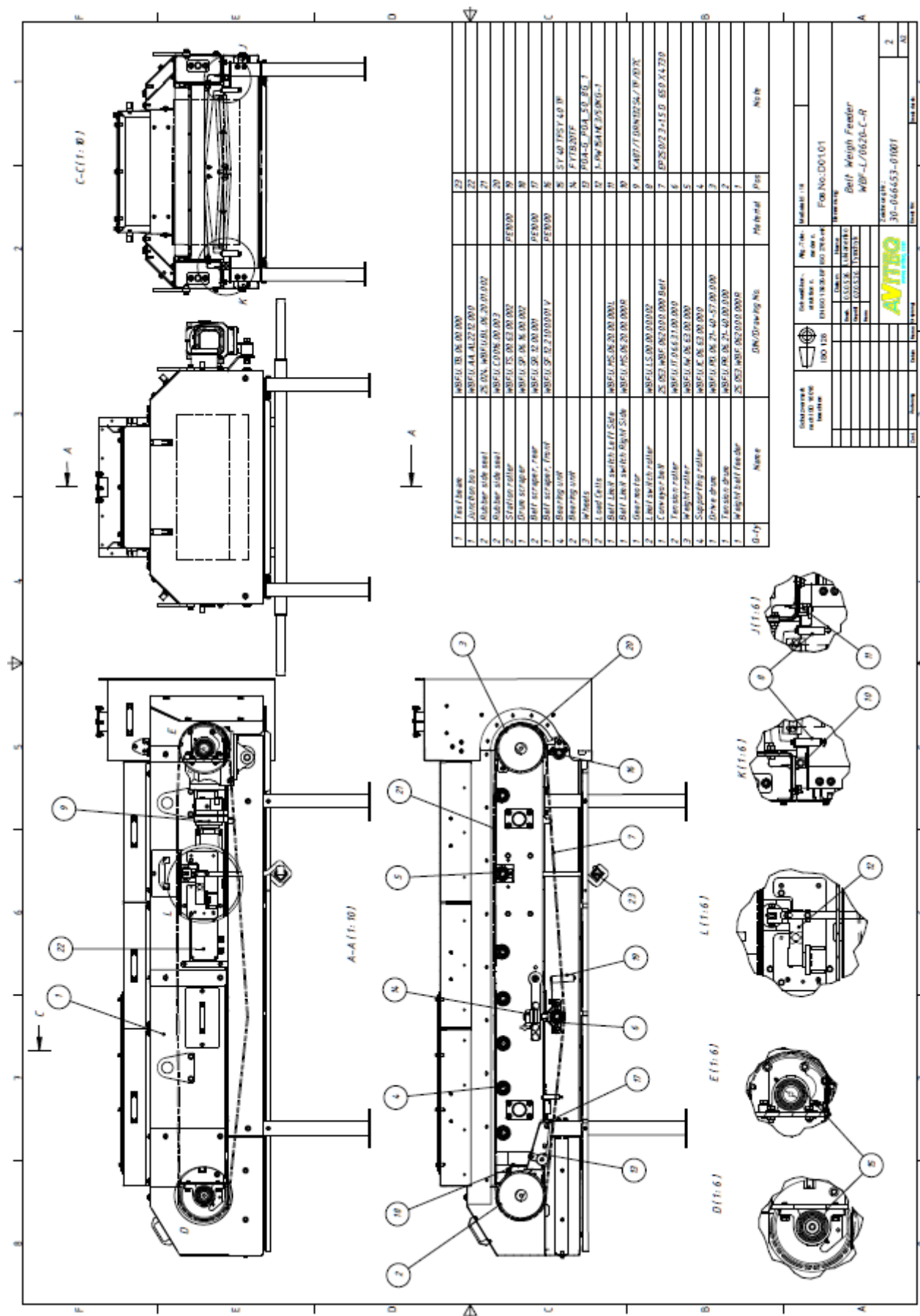
33. IEC 60204-1 Safety of Machinery — Electrical Equipment of Machines.

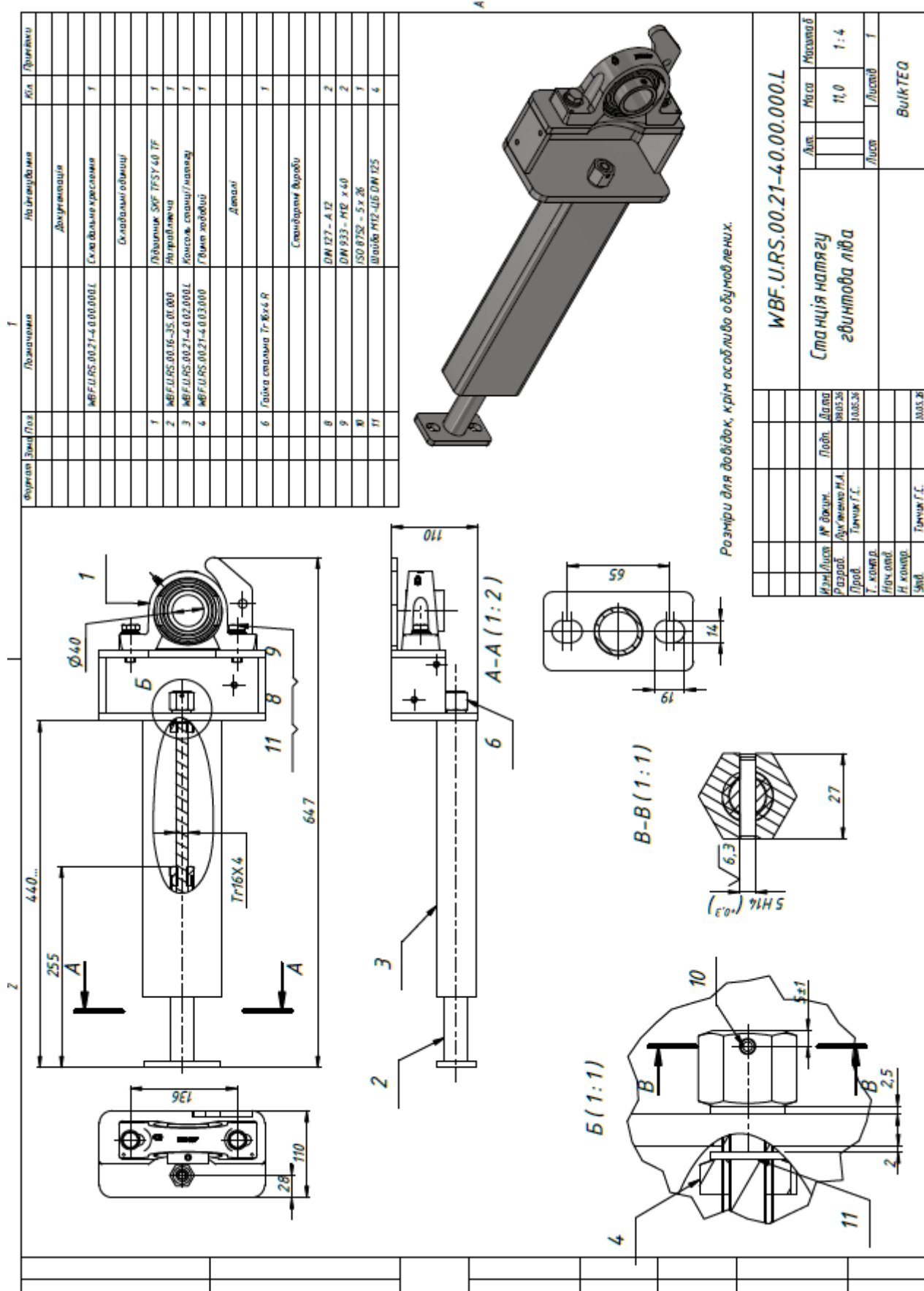
34. ДСТУ EN 620:2017 Машини та обладнання для безперервного транспортування.
35. ДСТУ ISO 12100:2014 Безпечність машин. Загальні принципи конструювання.
36. ДСТУ EN 61800-5-1:2015 Електроприводні системи з регульованою швидкістю.

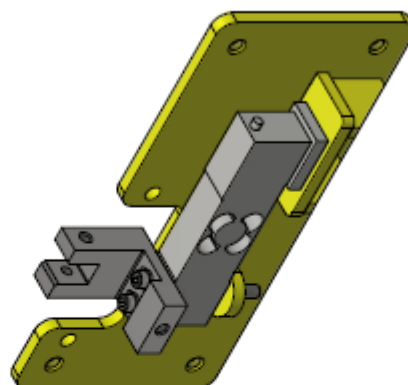
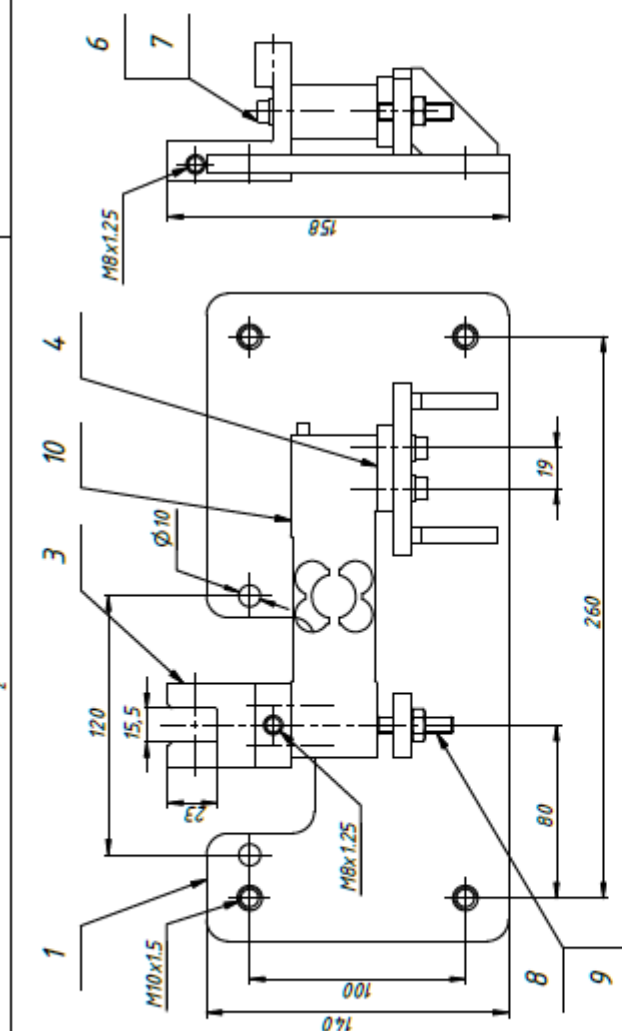
ДОДАТКИ





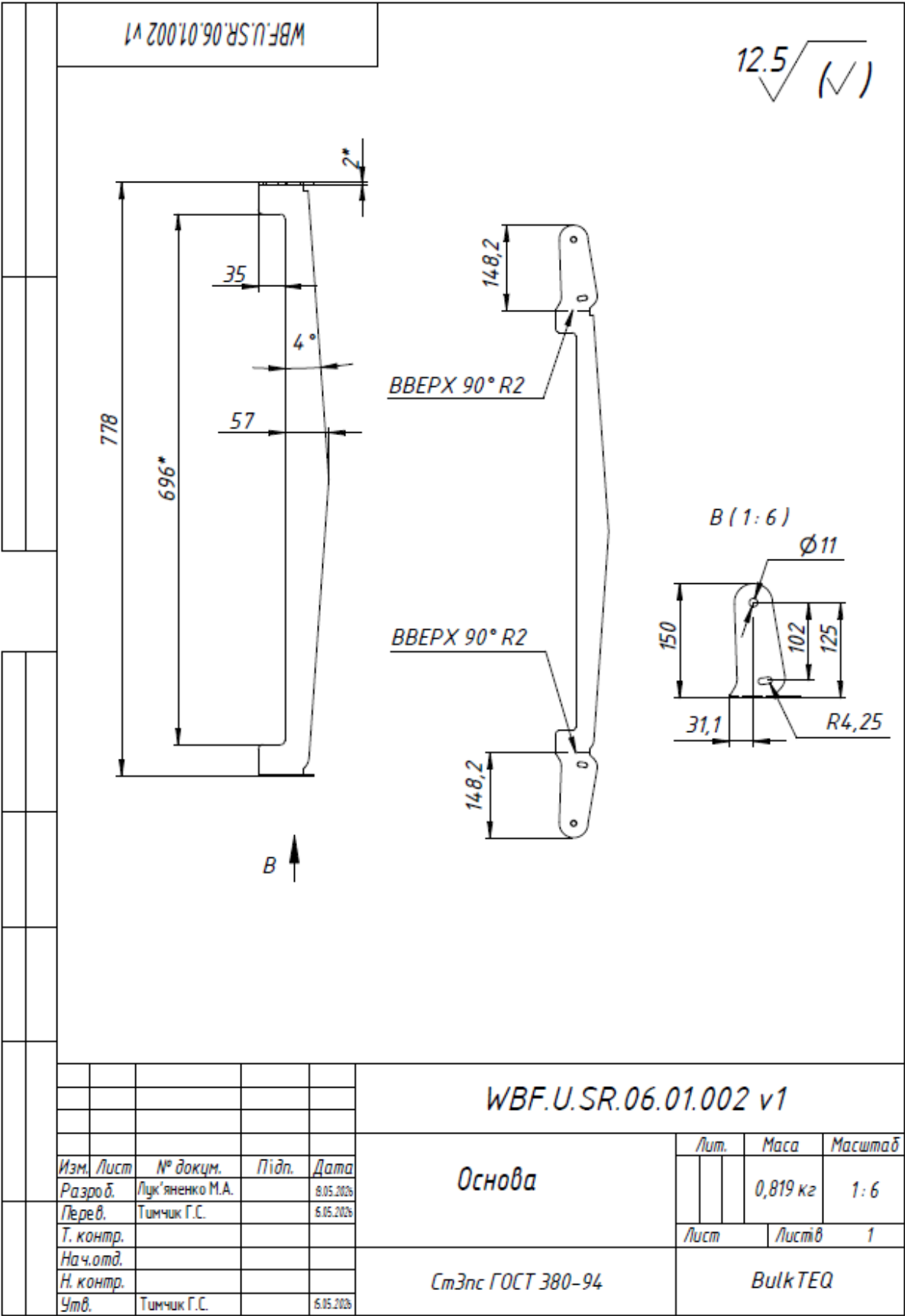


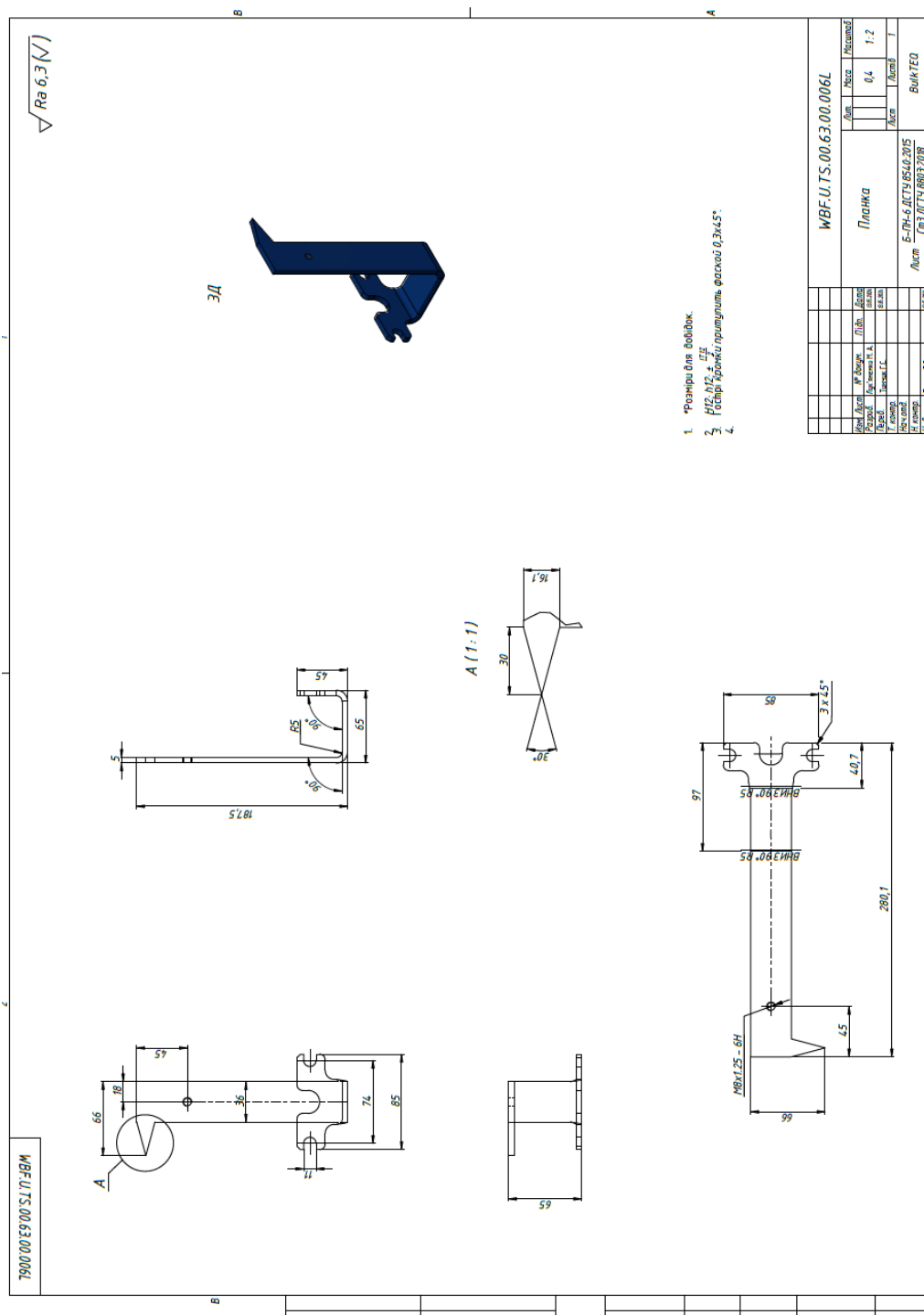


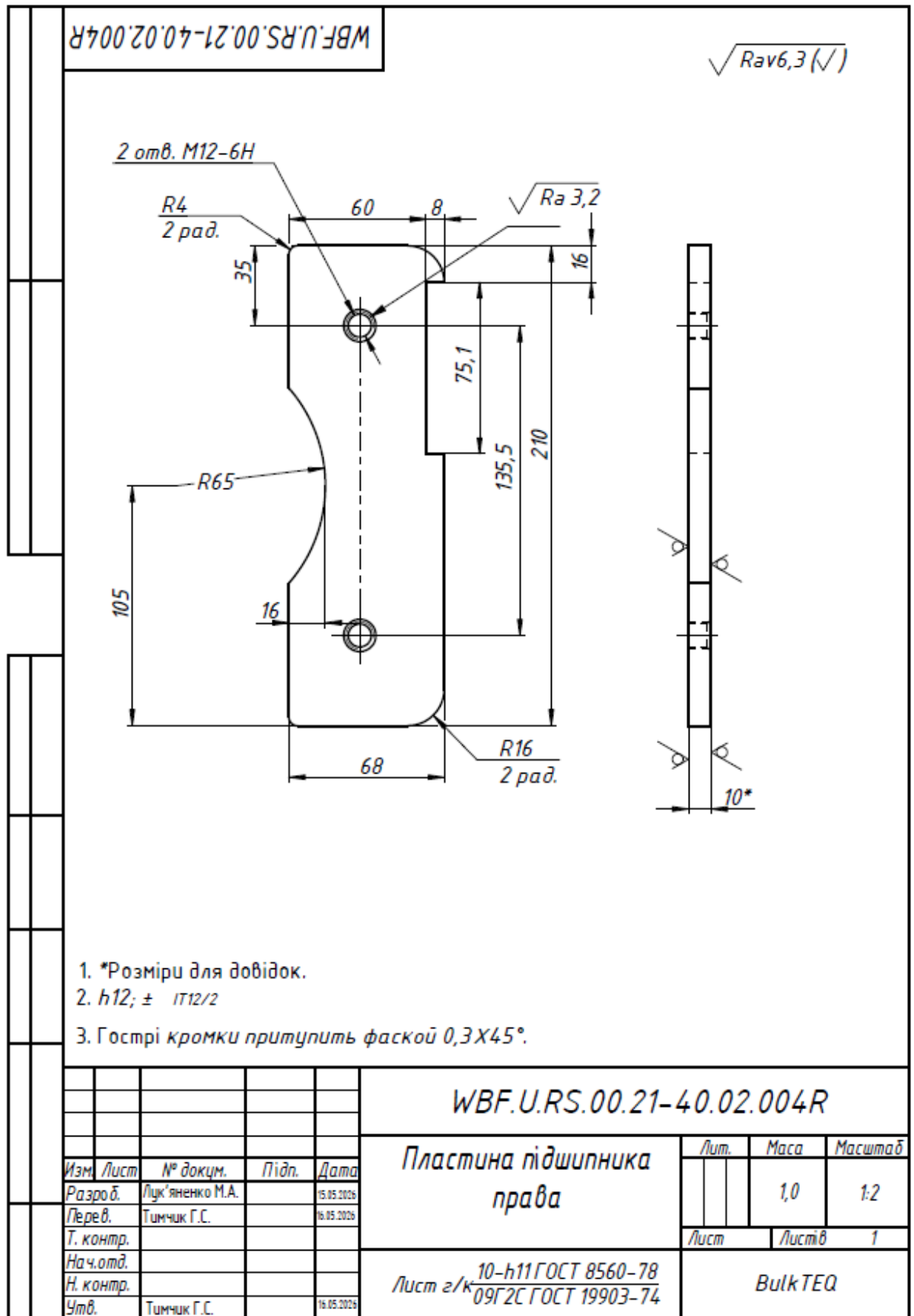
[illegible][illegible]

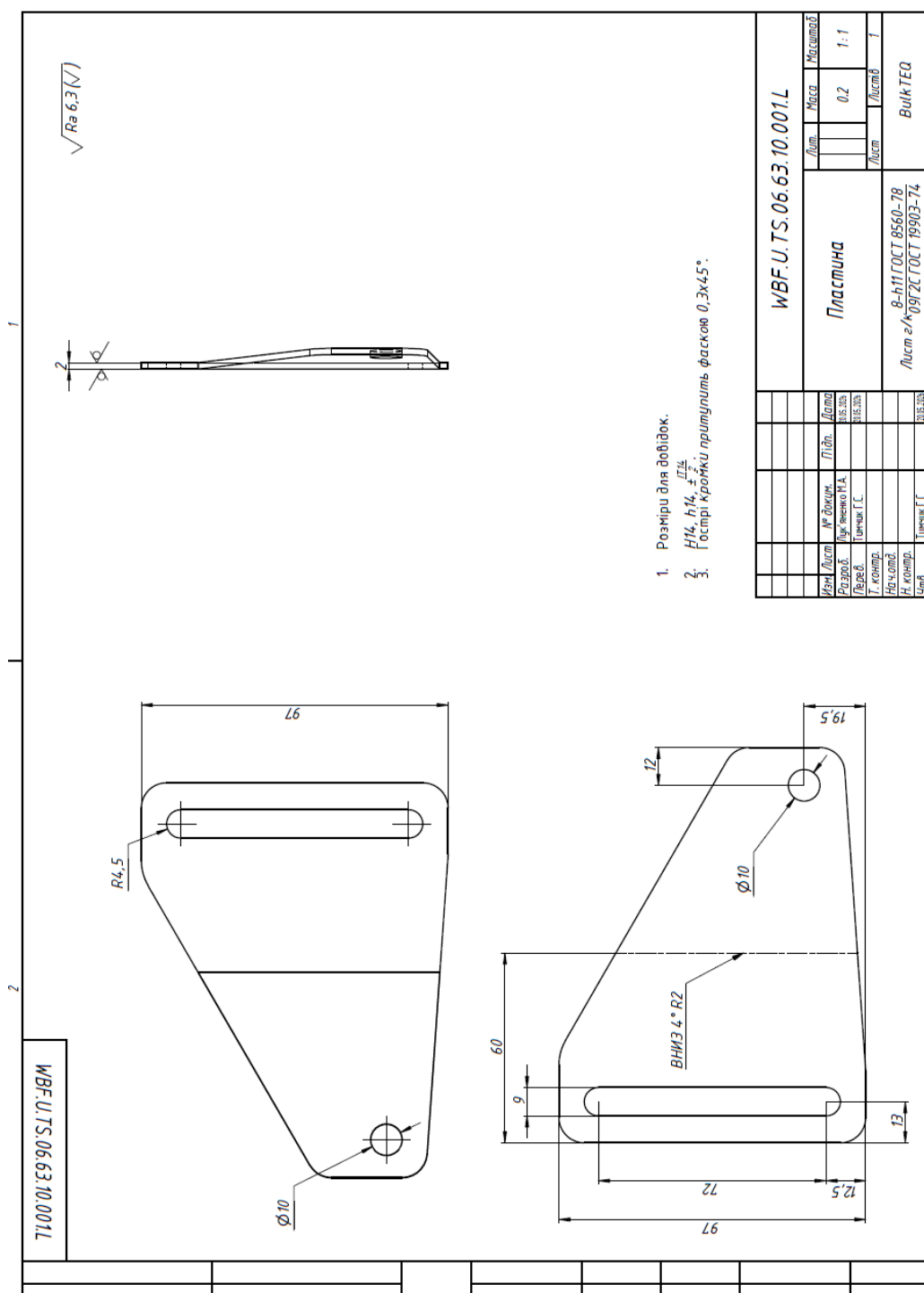
WB.F.U.TS.06.63.00.000

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

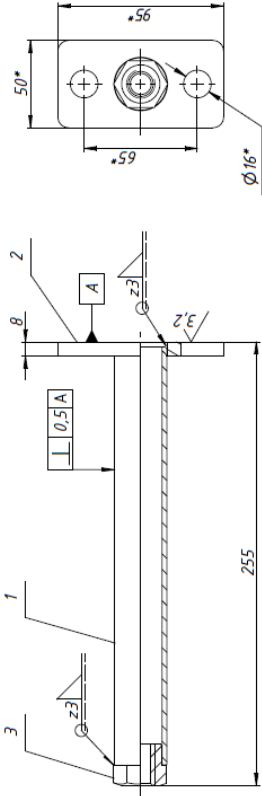






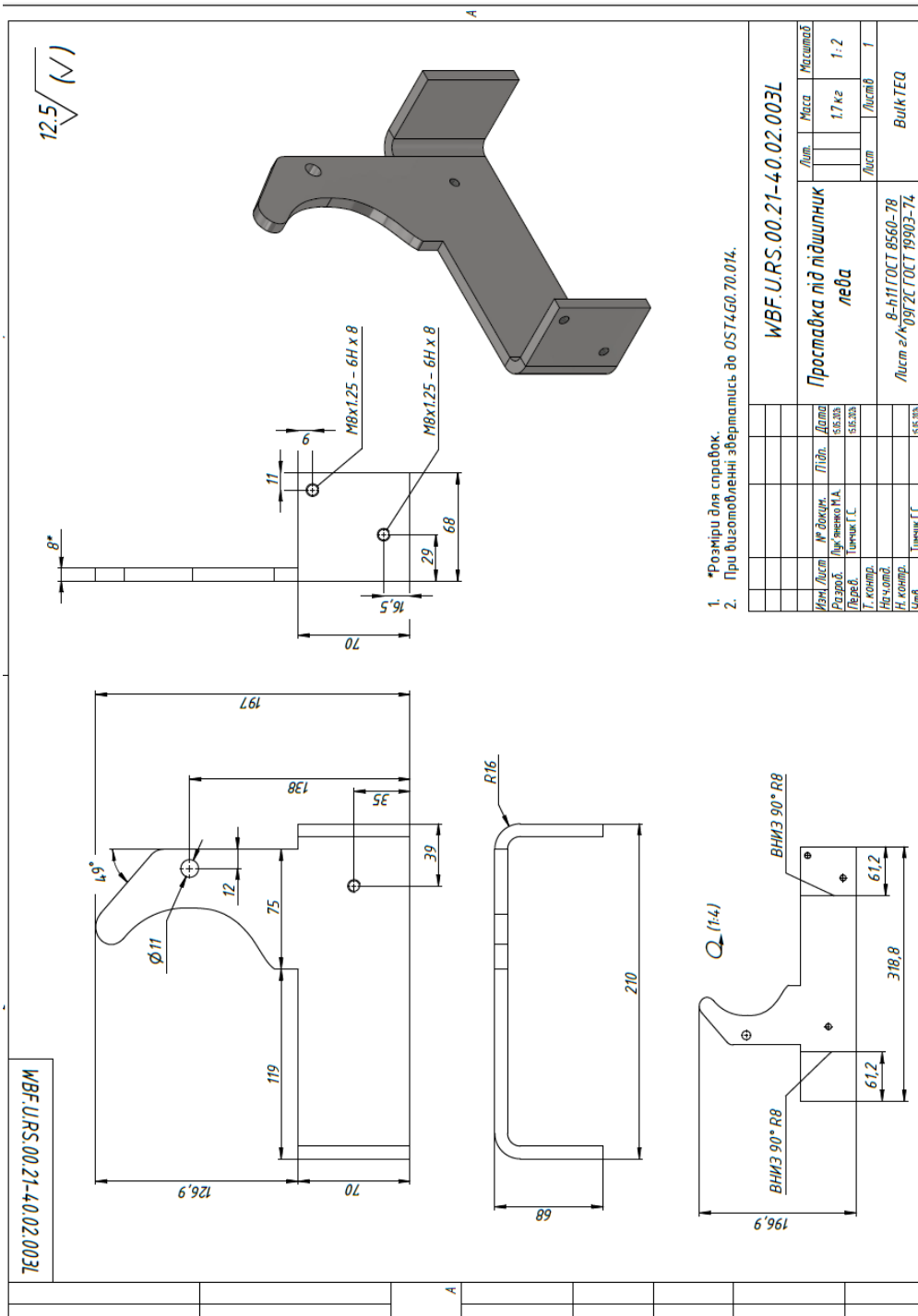


WBFLURS.00.16-35.01.000				Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	К.літ.	Примітки
								Документація		
							WBFLURS.00.16-35.01.000	Складальне креслення	1	
								Деталі		
						1	WBFLURS.00.16-35.01.001	Балка	1	
						2	WBFLURS.00.16-35.01.002	Фланець напівзуба	1	
						3	WBFLURS.00.16-35.01.003	Гайка напівзуба Т16x4	1	

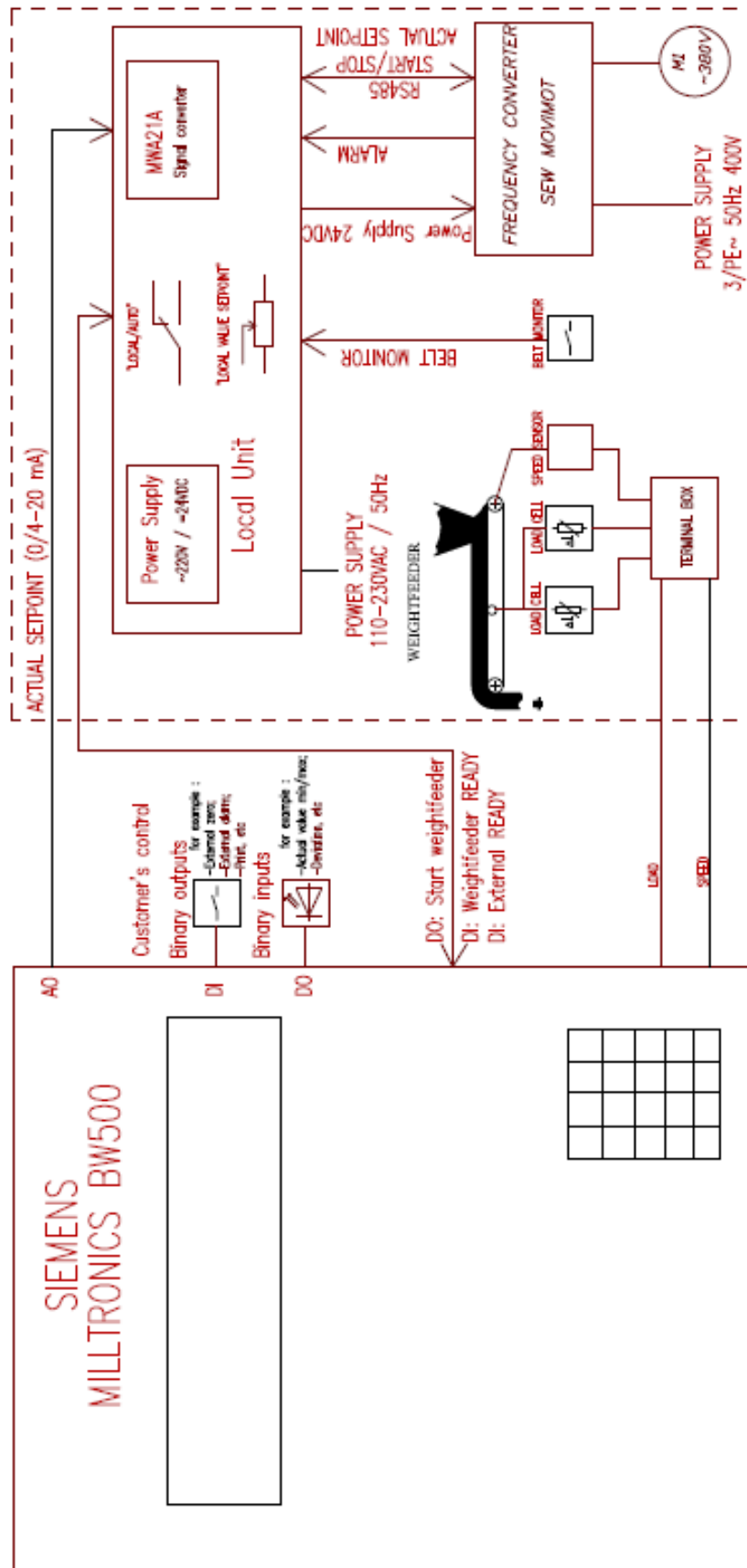


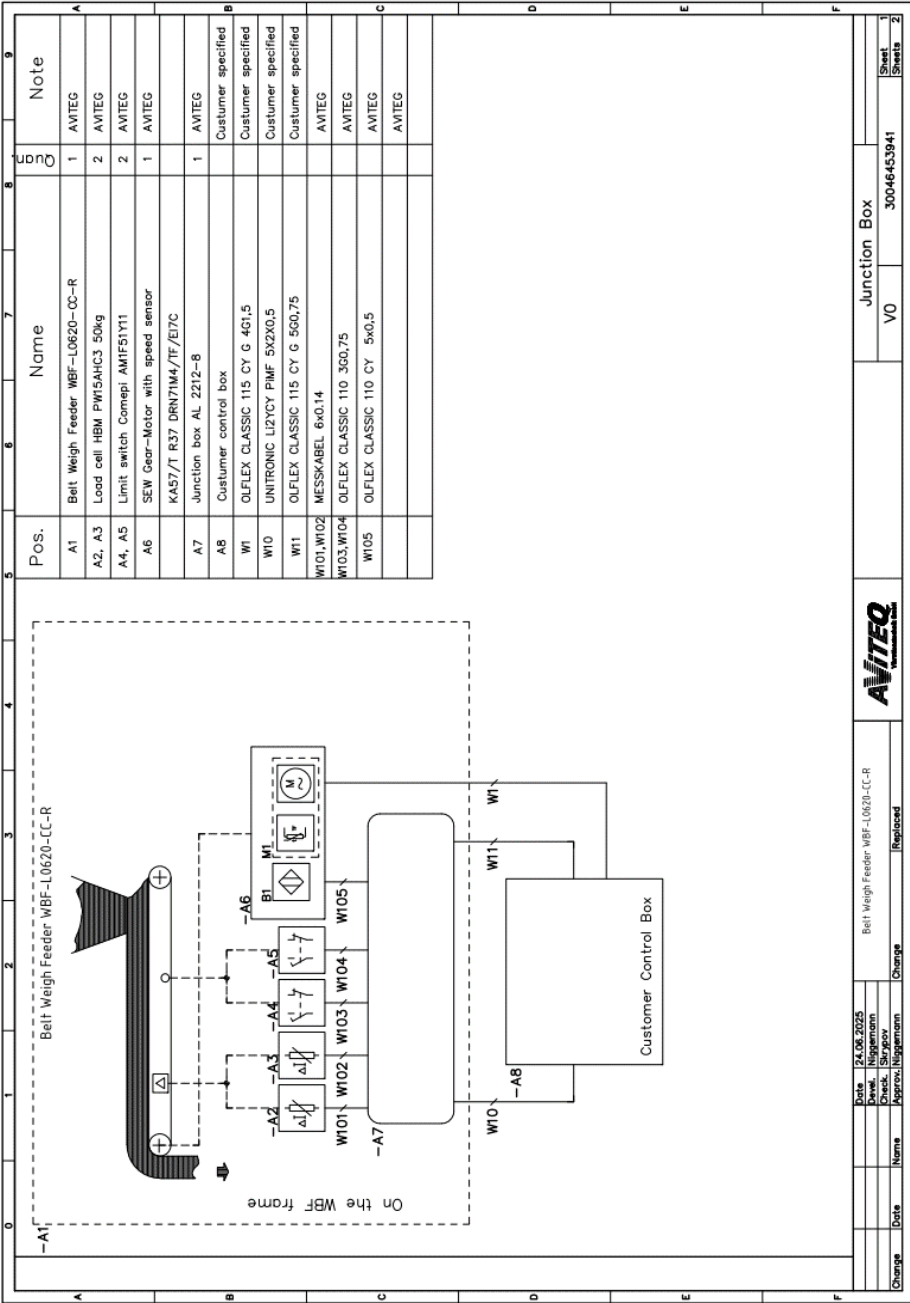
- 1. *Розміри для довідок.
- 2. Зварні шви по ДСТУISO2553-2019.

WBFLURS.00.16-35.01.000				WBFLURS.00.16-35.01.000			
Напрялюча				Напрялюча			
Складальне креслення				Складальне креслення			
BulkTEK				BulkTEK			
Формат А3				Формат А3			
Мзм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Розроб.	Пук	Женюта	18.03.2019	18.03.2019	0,7 кг	1:2	
Перев.	Точник	Т.С.	18.03.2019	18.03.2019	Лист	Листів	1
Нач.отд.	Н.С.	Точник	Т.С.	18.03.2019			
Утв.	Утв.	Утв.	Утв.	Утв.			

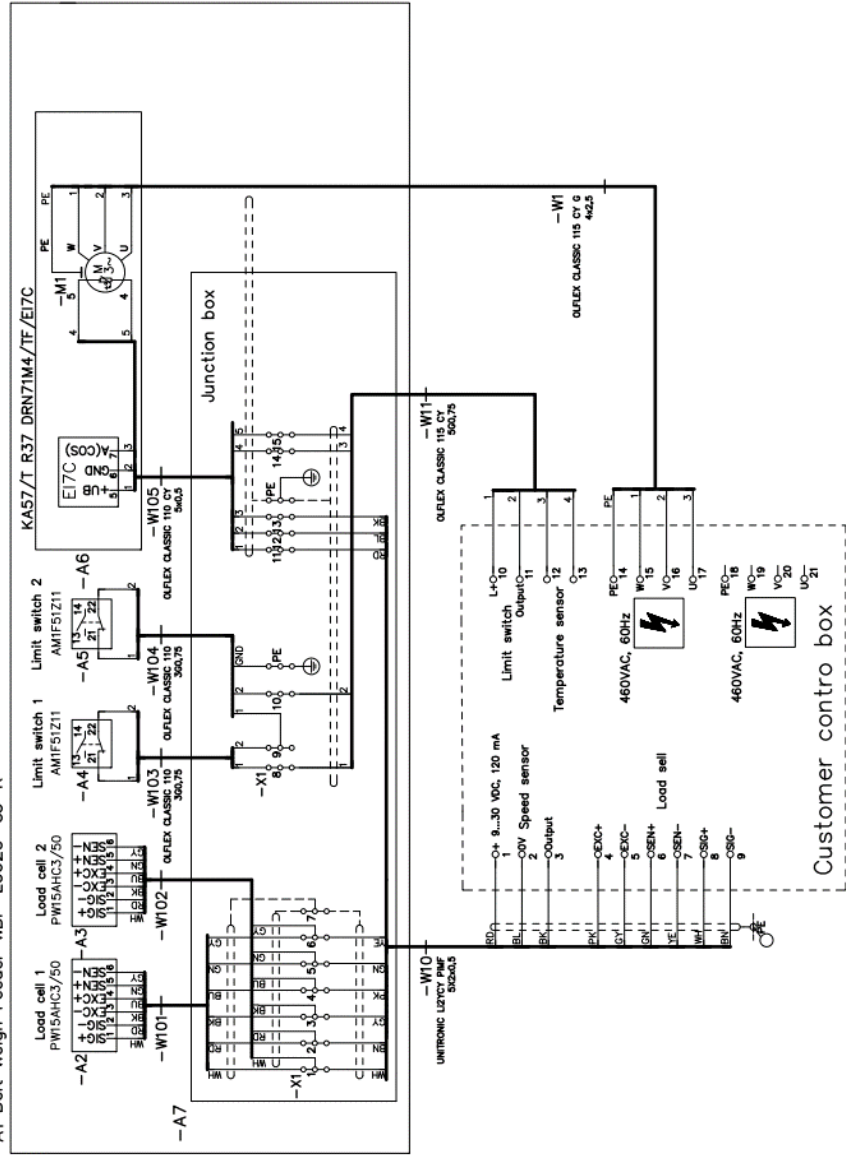


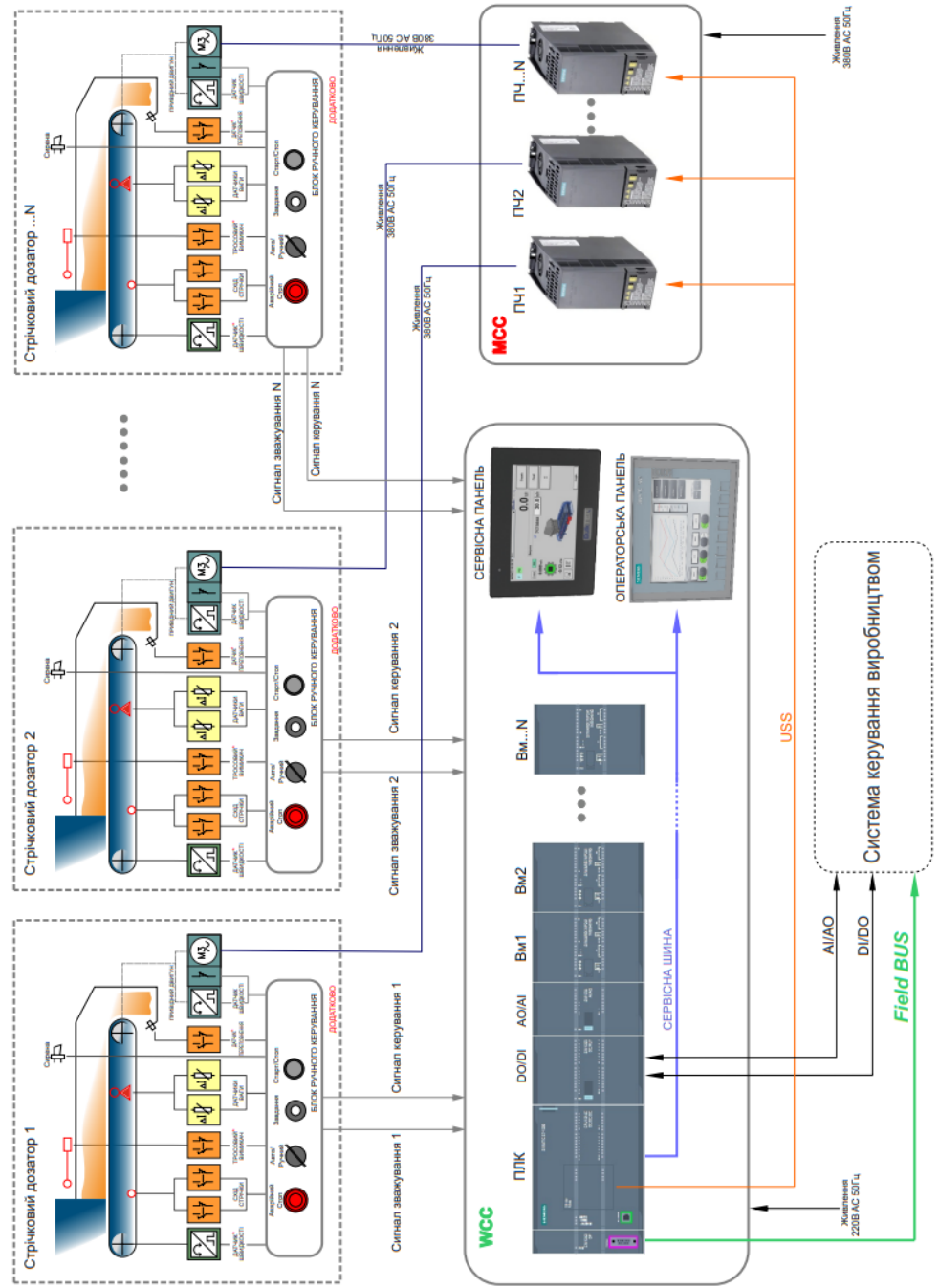
Формат/Экз./Лист	Получения	Назначение	Мат.	Примеч.
		Деталь		
		Складовые кресла	1	
		Деталь		
		Стена	1	
		Основа газозащитного модуля	1	
		Резерв	2	
		Упор	1	





-A1 Belt Weigh Feeder WBF-L0620-CC-R







Налаштування: Взяття нуля

Допуск +	6.0	% від L (кг/м)
Допуск -	6.0	% від L (кг/м)
Оберти	3	
Відхилення від нуля	-0.05 кг/м	-0.06 %

Взяття нуля

Останнє взяття нуля: 2026/01/08 10:43:17



Вихід