

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій  
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП

Вікторія МІРОШНИЧЕНКО

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в металургії та  
гірництві»  
за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології

**на тему «Система автоматизації процесу розливання заготовок в  
умовах конвертерного цеху металургійного комбінату»**

Керівник роботи

Вікторія МІРОШНИЧЕНКО

Консультант від  
бази практики

Сергій ШЕПЕТУХА

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання  
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Дмитро ШИРОКИХ

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Андрій ЛЕОНОВ

Запоріжжя 2025

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра	автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	бакалавр
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
ОПП	Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в металургії та гірництві

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Вікторія МІРОШНИЧЕНКО

01.05.2025 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Широких Дмитру Ігоровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Система автоматизації процесу розливання заготовок в умовах конвертерного цеху металургійного комбінату  
керівник роботи Мірошніченко Вікторія Ігорівна, доцент, канд. техн. наук  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом Університету від 81/31.03.2025 від 31.03.2025 р.
2. Термін подання роботи 23.06.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, дані металургійного комбінату, результати власних експериментів та досліджень тощо.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області (літературний огляд, недоліки існуючих систем, сучасні тенденції). 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури системи управління. 3. Реалізація запропонованої системи. 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи. 5. Охорона праці. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема структурна автоматизації. Схема функціональна автоматизації. Схема структурна комплексу технічних засобів. Принципово-електрична схема контуру.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Мірошніченко В.І.
2	Мірошніченко В.І.
3	Мірошніченко В.І.
4	Мірошніченко В.І.
5	Мірошніченко В.І.

7. Дата видачі завдання 01.05.2025

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	До 19.05.2025
2	Розділ 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури комп'ютерної системи управління	До 26.05.2025
3	Розділ 3. Реалізація запропонованої системи автоматизації	До 09.06.2025
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи автоматизації	До 14.06.2025
5	Розділ 5. Охорона праці	До 14.06.2025
6	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	До 14.06.2025
7	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	16.06.2025 – 20.06.2025
8	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	16.06.2025 – 20.06.2025
9	Рецензування завершеної роботи.	23.06.2025 – 27.06.2025
10	Захист	30.06.2025 – 04.07.2025

Здобувач

(Дмитро ШИРОКИХ)

Керівник роботи

(Вікторія МІРОШНИЧЕНКО)



## АНОТАЦІЯ

*Широких Дмитра Ігоровича.* Система автоматизації процесу розливання заготівок в умовах конвертерного цеху металургійного комбінату. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». ОПП «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в металургії та гірництві» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2025.

*Об'єктом дослідження* є система автоматизації процесу розливання заготівок в умовах конвертерного цеху металургійного комбінату.

*Предметом дослідження* є автоматизація процесу розливання заготівок в умовах конвертерного цеху металургійного комбінату.

У першому розділі проаналізована предметна область автоматизації процесу розливання заготівок. Надана загальна характеристика вказаного технологічного процесу та наявної системи автоматизації. Приведено аналіз рішень на аналогічних об'єктах. В результаті визначена необхідність модернізації наявної системи та сформульована невирішена частина проблеми, яку планується досліджувати та вирішувати в рамках кваліфікаційної роботи.

У другому розділі проведено аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації, визначено параметри об'єкта автоматизації, визначені задачі автоматичного контролю та регулювання відповідних технологічних параметрів, обґрунтована запропонована структура системи автоматизації, наведено опис функціональної схеми системи автоматизації.

У третьому розділі обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації для спроектованої САР; розроблена пропозиція системи моніторингу ромбовидності безперервнолитих заготовок.

У четвертому розділі відповідними розрахунками підтверджено економічну доцільність впровадження запропонованої системи автоматизації.

У п'ятому розділі наведено аналіз небезпечних і шкідливих факторів виробництва та рекомендації щодо поліпшення умов праці персоналу АСУ ТП ділянки МБРЗ.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** МАШИНА БЕЗПЕРЕРВНОГО РОЗЛИВАННЯ ЗАГОТІВОК, РОМБОВИДНІСТЬ ЗАГОТОВОК, МОНІТОРІНГ, АВТОМАТИЗАЦІЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ .....	7
1.1 Опис технологічного процесу розливання сталі .....	7
1.2 Основні складові частини АСУТП ділянки МБРЗ конвертерного цеху .....	9
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ .....	12
2.1 Задачі автоматичного контролю та регулювання технологічного процесу безперервного розливання заготовок .....	12
2.2 Задачі автоматизованого керування МБРЗ .....	13
2.3 Функції АСУ ТП МБРЗ.....	14
2.4 Структура АСУ ТП МБРЗ.....	15
3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ .....	17
3.1 Вибір технічних засобів .....	17
3.2 Розробка функціональної схеми автоматизації .....	18
3.3 Принципова електрична схема контуру контролю та регулювання загальної витрати води на ЗВО .....	20
3.4 Опис системи моніторингу ромбовидності .....	21
3.5 Дослідження плавного переходу між ручним та автоматичним режимами регулювання в системи автоматичного регулювання (САР) з ПІД-регулятором .....	22
4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ.	27
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	29
5.1 Загальна характеристика умов праці персоналу, що експлуатує АСУТП МБРЗ конвертерного цеху .....	29
5.2 Порядок допуску до виконання робіт:.....	29
5.3 Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори .....	29
5.4 Техніка безпеки.....	30
ВИСНОВКИ .....	31
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	32
ДОДАТОК А КОНСТРУКЦІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС МБРЗ ...	34
ДОДАТОК Б СТРУКТУРИ ПІДРОЗДІЛУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ В ЦЕХУ .....	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
ДОДАТОК В МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАЯВНОЇ АСУ ТП МБРЗ .....	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>



## ВСТУП

Процес безперервного розливання заготовок є важливою ланкою технологічного ланцюга сучасного металургійного підприємства із замкнутим циклом виробництва.

Питання забезпечення високої продуктивності та енергоефективності виробництва, повної відповідності показників якості готової продукції вимогам замовників, а також зменшення обсягів браку є актуальними викликами, які постають перед виробниками металургійної продукції. У вказаному контексті на етапі виробництва безперервнолитої сортової заготовки є доцільним забезпечити моніторинг технологічних параметрів процесу безперервного розливання сталі для виявлення причин виникнення дефекту ромбовидності в конкретних умовах виробництва заготовки квадратного перерізу.

В кваліфікаційній роботі проаналізовано поточний стан автоматизації технологічного процесу безперервного розливання заготовок в умовах конвертерного цеху металургійного комбінату. Запропонована модернізація системи автоматизації шляхом впровадження технічних засобів автоматизації, які призначені для моніторингу геометричних дефектів литої заготовки та коригування факторів, що їх спричиняють. Розраховано очікуваний економічний ефект від впровадження запропонованого рішення.

Матеріали проведених досліджень було апробовано та опубліковано на міжнародній науковій конференції «MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education», Riga, The Republic of Latvia, November 28–29, 2024.

# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

## 1.1 Опис технологічного процесу розливання сталі

Безперервне розливання сталі – це процес лиття, охолодження та різання високотемпературної рідкої сталі через машину безперервного лиття для отримання заготовок. Будучи з'єднувальною ланкою технологічного ланцюга між виплавою сталі та прокатом, стабільність виробництва безперервного лиття не тільки впливає на ефективність завдань з виплавки сталі, але й стосується якості та чистоти виробленої сталі. До складу машини безперервного лиття заготовок (МБРЗ) входять: розливний стенд, проміжний ківш, кристалізатор, тягово-правильна машина, зона вторинного охолодження та машина газової різки та інше допоміжне обладнання [1]. Детальна характеристика технологічного агрегату наведена в Додатку А.

Підготовка МБРЗ до розливання передбачає наступні етапи:

1) перевірка та підготовка кристалізаторів (повинні відповідати вимогам технологічної інструкції);

2) перевірка елементів системи вторинного охолодження (справність та надійність підведення води, розташування та справність форсунок тощо);


3) перевірка елементів підтримуючої системи (стан поверхні роликів, обертання роликів секціями);

4) підготовка проміжних ковшів (здійснюється сушіння і розігрів проміжних ковшів на підйомно-поворотному візку в резервній позиції; розігрів проводиться до температури не менше 1100 °С. Для забезпечення безаварійної роботи МБРЗ розлив слід розпочинати за наявності на робочому майданчику двох розігрітих проміжних ковшів;

5) закладення затравки, що є дном першої порції металу. Перед цим проводиться перевірка справності всіх складових затравки. Геометричні розміри верхнього зрізу головки затравки повинні відповідати перерізу заготовки, що відливається. Підготовлену затравку пристроєм для закладення та видачі заводять у кристалізатор на зниженій швидкості. Переміщення затравки в кристалізаторі у вихідне положення здійснюється включенням приводів роликів радіальної ділянки. При досягненні голівкою затравки відстані 600 мм нижче за верхній зріз кристалізатора переміщення припиняють;

6) підготовка МБРЗ до прийому рідкого металу (для аварійного зливу готують ємності та жолоби. Подають воду на охолодження кристалізатора та механізмів МБРЗ).

Робота МБРЗ здійснюється у такому порядку. За допомогою пристрою для закладення та підйому затравки кристалізатор зверху вводять затравку, заповнюють повітрям камери і утримують її приводними роликами радіальної ділянки таким чином, щоб торець головки затравки утворював тимчасове дно кристалізатора. Сталерозливний ківш зі сталлю




після позапічної обробки встановлюють цеховим мостовим краном на резервну підвіску стенду розливу, що знаходиться в нижньому положенні і приєднують гідроприводи шибєрних затворів. Промківш, попередньо нагрітий до 1100 – 1200 °С, піднімають у верхнє положення, прибирають пальники розігріву і переміщенням самохідного візка промківш з резервної позиції переводять у робочу позицію. Центрують промківш щодо кристалізаторів та підключають виконавчі механізми дистанційного та автоматичного управління стопорами промковша. Потім поворотом розливного стенду сталерозливний ківш переводять з резервної позиції в робочу, де встановлюють по осі МБРЗ над проміжним ковшем і опускають в нижнє положення, щоб між ковшами була мінімальна відстань. Перед початком розливання повинні бути підготовлені до роботи системи водяного охолодження зливка та вентиляції.

Розливання починається після відкриття шибєрного затвора проміжного ковша, при цьому склянки розливу промковша повинні бути щільно закриті стопорами. Наповнивши проміжний ківш на висоту 250-300 мм від бокової частини ковша, відкривають обидва стопори і починають заповнення кристалізатора, потім на меніск металу наводять шлак. Система управління рівнем металу в кристалізаторі на базі гамма-випромінювання приводить у дію стопор, що регулює кількість металу, що надходить до кристалізатора. Струмнь рідкого металу між промковшем і кристалізатором захищається за допомогою занурювального розливного стакана, який при необхідності можна швидко замінювати. Кристалізатор забезпечений системою електромагнітного перемішування. При наповненні кристалізатора до рівня, що дорівнює 100-150 мм від верхнього краю, включають механізм гойдання кристалізатора, що запобігає прилипанню кірки металу, що твердне, до стінок кристалізатора. Потім включають приводні ролики радіальної ділянки для витягування заготовки та подачу води у форсунки системи вторинного охолодження. Швидкість витягування спочатку мінімальна, а потім поступово збільшується до заданої шляхом зміни частоти обертання приводних роликів.

Якщо планується безперервне розливання кількох плавок, то до спустошення першого ковша на резервну підвіску стенда розливу встановлюють другий ківш зі сталлю тієї ж марки, що і в першому ковші. Після спустошення першого ковша поворотом траверси стенду над промковшем встановлюють другий ківш і продовжують розливання. При тривалому розливанні серії плавок періодично, у міру зношування вогнетривких матеріалів, замінюють промковші.

З кристалізатора метал надходить у нульові роликові секції, які служать для спрямування та охолодження заготовки, для попередження деформації та розриву кірки заготовки, що твердіє. Потім приводна роликова секція переміщує заготовку технологічною віссю машини. Далі заготовка надходить у роликову секцію криволінійної ділянки, де піддається подальшому охолодженню та випрямленню. Випрямлення



відбувається поступово, щоб у заготовці не з'явилися тріщини. Потім заготовка надходить у роликову секцію горизонтальної ділянки, де додатково охолоджується. Для формування потрібного режиму охолодження між роликами утримуючого та напрямного сегментів встановлені водорозпилювальні сопла. Управління інтенсивністю водорозпилення, що дозволяє адаптувати його до різних марок сталі та швидкостей розливу. Усі сегменти поміщені в камеру охолодження, обладнану дверима та трапами для доступу всередину. Така камера охолодження утримує в собі пару, що утворюється при контакті води, що розпорошується, вторинного охолодження з розпеченим металом. Для витяжки пари служать вентилятори та димарі. Далі заготівка транспортується рольгангом до машини газового різання, розрізається на заготовки заданої довжини, які переміщуються крокуючим пристроєм холодильника для остаточного охолодження та маркування. Також на холодильниках відбувається візуальний контроль якості заготовки та відбір проб металу.

Затравка після виходу з останнього ролика горизонтальної ділянки потрапляє у пристрій відділення затравки, де в автоматичному режимі відокремлюється від зливка, піднімається у вертикальне положення під розливний майданчик і перехоплюється машиною завдання і видачі затравки, де вона зберігається для наступного циклу розливу. При значному приварюванні злитка до голівки затравки, коли автоматичного відділення затравки не відбувається, застосовують спеціально встановлений пристрій для аварійного відділення корпусу затравки від головки. Корпус затравки захоплюється лебідкою за хвостову частину і піднімається вгору під розливний майданчик, де цеховий кран перехоплює і подає на розливний майданчик.

Сталерозливний ківш після закінчення розливу переводять у резервне положення (поворотом траверси стенду), від'єднують гідропрिलाди шиберних затворів і потім ківш із стенду розливу [1].

## **1.2 Основні складові частини наявної системи автоматизації ділянки МБРЗ конвертерного цеху**

В наявній системі автоматизації ділянки МБРЗ конвертерного цеху, ЛМІ якої наведений на рис. 1.1, використані наступні програмовані логічні контролери (PLC) серії S7 300, зокрема: S7-635 застосовуються для керуванням механізму качання кристалізатора та стопорної розливки; S7-317-2DP використовуються в локальних системах керування розливанням сталі на кожному потоці, загального керування, керування охолодженням та маркувальною машиною.

Системи децентралізованого доступу (RIO - Remote Input/Output):

– ET200S (105 шт.) забезпечують децентралізовану передачу даних між PLC і різними пристроями, що підключаються до контролерів (вхідні та вихідні модулі);

– ET200M призначена для маркірувальної машини, забезпечує гнучкість у підключенні і налаштуваннях.

На польовому рівні автоматизації використовуються оптичні датчики для контролю температури металу; витратоміри для вимірювання витрат охолоджувальної води; датчики рівня для контролю рівня металу в кристалізаторі та проміжному ковші; контролери безпеки, що виконують аварійне відключення при виході параметрів за межі допустимих значень [2].

Структура комплексу технічних засобів автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП) ділянки МБРЗ наведена на рис. 1.2 [2].

Дослідження роботи системи автоматизації ділянки МБРЗ конвертерного цеху показало, що у її складі відсутня система автоматичного контролю ромбовидності квадратної заготовки. Натепер контроль ромбовидності здійснюється вручну з використанням штангенциркуля, що не дозволяє вчасно вжити заходів для запобігання браку заготовок з плавки, яка розливається в поточний момент часу.

Питання визначення ромбовидності відноситься до вимірювання геометричних розмірів безперервнолитої заготовки, зокрема діагоналей її торцевої частини (рис. 1.3) [3].

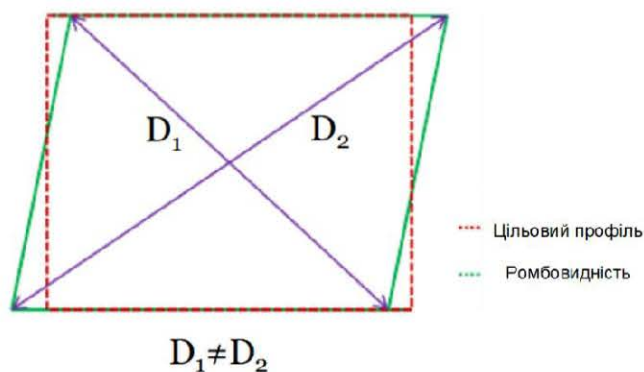



Рисунок 1.3 – Пояснення ромбовидності заготовки

Проаналізовані рішення щодо контролю ромбовидності передбачають використання триангуляційних сканерів для сканування заготовки по усій довжині, систем комп'ютерного зору [3] та систем з термографічними камерами для перевірки голови і хвоста заготовок поштучно. До вказаної системи також знаходять сигнали від лазерних датчиків, які дозволяють точно знати змінну відстань до поверхні заготівки [4].

Також серед існуючих рішень є застосування алгоритмів машинного навчання для прогнозування дефектів ромбоподібної форми в заготовках, отриманих шляхом безперервного лиття. Аналізуючи різні змінні, такі як якість сталі та параметри охолоджувальної води, ці алгоритми можуть



виявляти закономірності та кореляції, які сприяють утворенню ромбоподібності. Точно прогнозуючи ступінь ромбоподібності в заготовках, виробники можуть вживати профілактичних заходів для запобігання дефектів і поліпшення загальної якості продукції [5].

Враховуючи результати аналізу предметної області завданням кваліфікаційної роботи є модернізація системи автоматизації процесу безперервного розливання сортових заготовок з метою запобігання дефекту ромбоподібності.



## 2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

### 2.1 Задачі автоматичного контролю та регулювання технологічного процесу безперервного розливання заготівок

Керування процесом безперервного розливання полягає в підтриманні основних технологічних параметрів на заданому рівні, а також забезпеченні взаємодії всіх технологічних вузлів МБРЗ для оптимального процесу розливання. Для цього необхідно контролювати та автоматично регулювати наступні параметри на технологічних вузлах МБРЗ:

- 1) поворотний стіл зі стальковшем (контроль):
  - a) температура сталі в ковші;
  - b) маса сталі в ковші;
  - c) ступінь відкриття шиберного затвору стальковша;
  - d) кут і швидкість повороту стола;
  - e) параметри аргону на охолодження шиберного затвору й параметри гідросистеми: тиск, температуру, витрати;
- 2) проміжний ківш (контроль):
  - a) маси металу (рівень металу);
  - b) температури металу;
  - c) швидкості (кількість металу) виливання металу із нього;
- 3) кристалізатор (контроль та регулювання):
  - a) рівня металу в кристалізаторі;
  - b) параметрів води на охолодження кристалізатора;
  - c) процесу змащування стінок кристалізатора (зусилля витягування);
  - d) теплового стану кристалізатора;
  - e) параметрів механізму качання (частота, амплітуда);
  - f) моменту прилипання металу до кристалізатора (система попередження прориву металу);
- 4) зона вторинного охолодження (ЗВО) (контроль та регулювання):
  - a) швидкості витягування зливку;
  - b) температура поверхні зливку на виході з зони (витрати води і повітря на секції зони);
- 5) машина газової різки (МГР) (контроль та регулювання):
  - a) позиціонування положення МГР щодо заготівки;
  - b) переміщення різаків;
  - c) витрати газу на різакі;
  - d) тиск і температуру газу нарізання та низку допоміжних параметрів.

## 2.2 Задачі автоматизованого керування МБРЗ

У роботі МБРЗ виділяють три режими: гідравлічний, пов'язаний безпосередньо із розливанням рідкого металу та наповненням кристалізатора; тепловий, що визначає кристалізацію та охолодження безперервної заготовки; енергосиловий, що характеризує роботу всіх механізмів та приводів МБРЗ.

Задачі керування для кожного з вказаних режимів наступні:

1) гідравлічний режим:

– підтримка постійного рівня металу в проміжному ковші, що забезпечує стабільний стан потоку металу і, отже, однакову якість розливання. Вирішується шляхом зміни подачі металу зі сталерозливного ковша при регулюванні витрат металу шиберним затвором;

– підтримка постійного рівня металу в кристалізаторі. Цей рівень у процесі розливання повинен перебувати у досить вузьких заданих межах, що з наступними причинами: перевищення рівня може призвести до переливу металу через верх кристалізатора; зниження рівня нижче допустимої межі призводить до отримання тонкої кірки зливка, її розриву та прориву рідкого металу під кристалізатором. Значні коливання рівня металу порушують стабільність охолодження заготовки в кристалізаторі та змінюють умови кристалізації, що негативно позначається на якості заготовки. Вирішується шляхом зміни подачі металу кристалізатор стопорним затвором проміжного ковша. Також це завдання може вирішуватися зміною швидкості витягування зливка при постійній подачі металу з проміжного ковша. Може застосовуватися комбіноване управління з використанням обох керуючих впливів.

2) тепловий режим кристалізатора:

– забезпечення достатньої товщини оболонки заготовки на виході із кристалізатора шляхом стабілізації перепаду температур води на вході та виході в канали охолодження кристалізатора (при постійній швидкості витягування зливка) зміною витрати води. Величина перепаду температур вибирається максимальною за гранично допустиму температуру нагрівання води за умов відкладення солей.

3) тепловий режим зони вторинного охолодження:

– створення умов, що запобігають надмірному охолодженню поверхні та водночас забезпечують рівномірне затвердіння заготовки. Це забезпечується шляхом регулювання витрати води та її розподілу за секціями зони вторинного охолодження залежно від швидкості витягування заготовки.

У процесі витягування зливка між його поверхнею та стінками кристалізатора виникають значні сили тертя, які можуть призвести до "зависання" верхньої частини зливка та його розриву. Для запобігання цього явища на МБРЗ застосовують кристалізатори, що коливаються. Наявна також задача управління енергосиловими режимами МБРЗ,



зокрема стабілізації зусилля витягування зливка, за допомогою зміни подачі мастила до кристалізатору.

На МБРЗ використовують багато різних приводних пристроїв. Основні механізми (хитання кристалізатора, тяговоправильна машина (ТПМ), платформа різання, переміщення різача та інші) мають електричні приводи, що пов'язано зі зміною швидкості в широких межах. Тому наявна задача керування, пов'язана з пуском цих приводів на початку розливання у певній послідовності, зміни їх швидкості та синхронізація в процесі роботи.

### **2.3 Функції системи автоматизації МБРЗ**

АСУ ТП МБРЗ являє собою сукупність програмно-технічних засобів, що реалізують такі функції:

- управління комплексом механізмів і машин, що забезпечують реалізацію процесу розливання сталі необхідної якості;
- контроль технологічних параметрів і ходу технологічного процесу;
- сигналізація відхилення значень технологічних параметрів за межі робочого діапазону;
- регулювання ходу технологічного процесу за окремими параметрами;
- накопичення інформації про хід технологічного процесу і візуалізація її на відповідних АРМ;
- видача необхідної інформації в АСУ цеху.

Для нормального безперебійного функціонування технологічного агрегату повинні бути передбачені наступні автоматичні системи оперативного контролю та управління:

- контроль температури металу в сталерозливному ковші;
- контроль температури металу в проміжному ковші;
- контроль температури броні проміжного ковша;
- контроль маси металу в сталерозливному ковші;
- контроль маси металу в проміжному ковші;
- контроль і регулювання рівня металу в кристалізаторі;
- контроль тиску в ТПМ на затравку та гарячий зливоч;
- контроль і управління охолодженням кристалізатора; контроль і регулювання витрати технологічного мастила; контроль швидкості розливання;
- контроль та регулювання витрати води на секції 1-5 вторинного охолодження;
- контроль та регулювання тиску повітря води на зону вторинного охолодження;
- контроль стану форсунок;
- контроль тиску і витрати води на охолодження обладнання;
- контроль температури поверхні заготовки;

- автоматичний контроль і оптимізація ритму розливання;
- автоматичне вимірювання розмірів і оптимальний розкрій заготовки.

АСУ ТП МБРЗ є складовою частиною АСУ конвертерного цеху, виконує свої функції з урахуванням роботи інших ділянок цеху і керуючих ними АСУ ТП.

Основні функції АСУ ТП МБРЗ можуть бути сформульовані наступним чином:

1) інформаційні та інформаційно-обчислювальні функції:

- контроль величин: температури рідкої сталі в сталерозливному ковші; температури рідкої сталі в проміжному ковші; маси сталі в сталерозливному ковші; маси металу в проміжному ковші; рівня металу в кристалізаторі; швидкості витягування заготовки; тиску в ТПМ на затравку та гарячий зливочок; витрати і тиску води на кристалізатор; перепаду температури охолоджуючої води на кристалізаторі; витрати і тиску води на зони вторинного охолодження;

- розрахункові функції: розрахунок основних параметрів режиму розливання (швидкість розливання, витрата мастила); розрахунок теплового стану в зоні вторинного охолодження; розрахунок техніко-економічних показників.

2) функції керування:

- величинами: масою металу в проміжному ковші; рівнем металу в кристалізаторі; витратою води на кристалізатор; витратою води по секціях вторинного охолодження; витратою технологічного мастила.

- процесами: пусковим режимом; режимом вторинного охолодження злитка; порізом злитка на мірні довжини; оптимальним розкриємо злитка з метою зменшення відходів; режимом розливання методом "Плавка на плавку" шляхом розрахунку і видачі рекомендацій щодо підтримання потрібного контактного графіка; витяжки злитка ТПМ.

Крім наведеного переліку функцій здійснюється:

- сигналізація відхилень від норм основних технологічних параметрів;

- накопичення інформації про режим розливання і умови формування кожної заготовки для подальшого аналізу;


- реєстрація передаварійних ситуацій;

- підготовка та друк технологічного паспорта розливання та інших документів по роботі МБРЗ.

## **2.4 Структура системи автоматизації МБРЗ**

У відповідності до [6] передбачені наступні рівні АСУ ТП МБРЗ, структура якої наведена на плакаті графічної частини:

На рівні L0 (польовому) знаходиться сам об'єкт управління, датчики, які є первинними джерелами інформації про технологічні параметри об'єкта (Додаток В), виконавчі механізми, за допомогою яких на об'єкт



здійснюється керуючий вплив; також на цьому рівні встановлена апаратура відсічення та блокування, ті перетворювачі, які за своїми технічними характеристиками повинні безпосередньо перебувати поблизу датчиків. З цього рівня передається інформація про стан об'єкта на верхні рівні, а у свою чергу з верхніх рівнів на рівень об'єкта надходять керуючі сигнали.

На рівні L1 (ЛСКтаР) знаходяться RIO, ПЛК та сервери. Вся інформація надходить з рівня L0 на RIO-станції ПЛК, який залежно від визначеного для контуру регулювання алгоритму керування розраховує керуючий вплив. Оператори-технологи зі свого поста управління (АРМ) можуть включити локальне завдання регулювання або видачу уставок від ЕОМ (L2). На цьому рівні знаходяться АРМ операторів МГР та АРМ контролера ВТК, які реалізовані як клієнти ЛМІ, що дозволяє операторам контролювати та регулювати технологічні параметри, забезпечувати стабільний хід технологічних процесів різання та мірні довжини та маркування заготовок. Також на пультах розташовані системи сигналізації, виробничого гучномовного зв'язку, диспетчерського зв'язку.

На рівні L2 знаходиться пост управління розливом призначений для організації роботи наступних взаємопов'язаних вузлів машини: сталерозливний ківш, проміжний ківш та кристалізатор. Оператор розливання стежить за рівнями металу в проміжному ковші, сталерозливному ковші та кристалізаторі, масами металу в ковшах. Основне завдання – вчасно подати новий сталерозливний ківш, щоб рівень металу в проміжному ковші не знизився нижче за критичний. На рівні L2 реалізовані функції управління, візуалізації і оптимізації технологічного процесу, розрахунку технологічних параметрів і протоколювання інформації про хід розливання, також виконуються завдання виробничого планування, оцінки ефективності роботи технологічних агрегатів, розрахунку техніко-економічних показників, планування ремонтів тощо.



## 3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ

### 3.1 Вибір технічних засобів

Рівень L0 (польовий) передбачає наявність датчиків вказаних технологічних параметрів (див. Додаток Б), що підлягають автоматичному контролю, вихідні сигнали яких заведені на відповідні входи модулів аналогового та дискретного введення контролерів, розташованих у станціях RIO. Виконавчі механізми регулювальних органів отримують сигнали через модулі аналогового та дискретного виведення вказаних станцій. Для керування приводами механізмів МБПЗ обрані перетворювачі частоти SIEMENS SINAMICS G120 для таких механізмів потоків 1-7: WSU (тягнучий та правильний пристрій), DBS (пристрій зберігання затравки), TSM (привод пальника та привід візка), RRT1 (відвідний рольганг 1), MLS (насос змащення кристалізатора), CLD1 (поперечний транспортувальник 1), CLD2 (поперечний транспортувальник 2).

Рівень L1 (ЛСКтаР) складається з PLC SIMATIC S71500, які керують системами і пристроями агрегату: контролер загальний (SIMATIC S7 CPU 1516-3PN/DP) та контролери потоків 1-7 (SIMATIC S7 CPU 1516-3PN/DP) забезпечують контроль та регулювання технологічних параметрів процесу розливання сталі на потоках 1-7, збираючи відповідну інформацію з датчиків та видаючи керуючі впливи за допомогою станцій віддаленого введення/виведення RIO (SIMATIC ET200SP) для потоку, системи контролю рівня в кристалізаторі, охолодження кристалізатора, системи контролю качання кристалізатора, параметрів аргону, керування приводами усіх механізмів, а також моніторинг за параметрами розливання – розрахунок швидкості розливання, довжини заготовки; крім того, контролери потоків забезпечує взаємодію між іншими підсистемами МБПЗ; контролер зони вторинного охолодження та контролер маркувальної машини (SIMATIC S7 CPU 1516-3PN/DP). Як робочі місця операторів використовуються промислові комп'ютери під управлінням WinCC, два з яких є серверами, а 4 інших клієнтами.

Рівень L2 представлений АРМ оператора розливання сталі на базі HP ProOne 440 G9 AiO, станцією програмування та сервером HPE ProLiant DL20 G10+ E-2336, які реалізують функції управління, візуалізації і оптимізації технологічного процесу, розрахунку технологічних параметрів, протоколювання інформації про хід розливання та ведення баз даних. Зв'язок між рівнями здійснюється по мережі Profinet.

### 3.2 Розробка функціональної схеми автоматизації

Функціональна схема – графічний документ, в якому у вигляді умовних позначень відображені склад, структура та принцип дії пристрою, а також його окремих блоків [7].

При побудові ФСА було розглянуто такі контури:


- 1) контроль температури металу в сталерозливному ковші;
- 2) контроль температури металу в проміжному ковші;
- 3) контроль температури броні проміжного ковша;
- 4) контроль маси металу в сталерозливному ковші;
- 5) контроль маси металу в проміжному ковші;
- 6) контроль та регулювання рівня металу в кристалізаторі;
- 7) контроль швидкості витягування злитку;
- 8) контроль тиску в ТПМ на затравку/ гарячий злиток;
- 9) контроль та регулювання перепаду температур охолоджувальної води на кристалізатор;
- 10) контроль та регулювання витрати води на зону 1;
- 11) контроль та регулювання витрати води на зону 2;
- 12) контроль та регулювання витрати води на зону 3;
- 13) контроль та регулювання витрати води на зону 4;
- 14) контроль та регулювання витрати води на зону 5;
- 15) контроль ромбовидності заготовки.

До складу контурів контролю температур металу в сталерозливному та проміжному ковшах входять датчики занурювальні Heraeus Electro Nite (поз. 1-1, 2-1) [8], вихідні сигнали з яких надходять на модуль введення аналогових сигналів у RIO-станції. Надалі інформація надходить на АРМ оператора розливання.

До складу контуру контролю температури броні проміжного ковша входять пірометри Optris CSmicro LT15 (поз. 3-1) [9], вихідні сигнали з яких надходять на модуль введення аналогових сигналів у RIO-станції. Надалі інформація надходить на АРМ оператора розливання, де наявна сигналізація по досягненні вимірюваної температури 350 °С для завершення плавки.

Контури контролю маси металу в сталерозливному та проміжному ковшах реалізуються на базі ваговимірювальних модулів Siemens SIWAREX WP521 (поз. 4-1, 5-1) [10], які призначені для роботи з S7 1500. Вихідні сигнали надходять до відповідних RIO-станцій.

Контроль рівня металу в кристалізаторі здійснюється датчиком Berthold LB 6652 (поз. 6-1) [11], вихідний сигнал якого надходить на модуль введення аналогових сигналів у відповідній RIO-станції. Регулювання рівня здійснюється швидкістю витягування зливка з кристалізатора, керуючий вплив від контролера надходить на частотний перетворювач Siemens SINAMICS G120 [12], який керує механізмом WSU (поз. 6-2).




Контроль швидкості витягування злитку здійснюється інкрементним енкодером високотемпературної серії Kübler 5823 (поз. 7-1) [13], сигнал з якого надходить у відповідну RIO-станцію.

Контроль тиску в ТПМ на затравку/ гарячий злиток здійснюється датчиком тиску PN 2021 (поз. 8-1) [14], вихідний сигнал з якого надходить на модуль введення аналогових сигналів у відповідній RIO-станції.

Контур керування тепловим режимом кристалізатора складається з окремих взаємопов'язаних підконтурів: контролю температури води на кристалізатор, контролю температури води після кристалізатора, контролю тиску води до та після кристалізатора та контуру контролю та регулювання витрати води на кристалізатор. Температура води до та після кристалізатора вимірюється термометрами опору Omnigrad M TR10 (поз. 9-1, 9-2) [15] зі струмовими вихідними сигналами 4-20 мА, що надходять до модулю введення аналогових сигналів у відповідній RIO-станції. Тиск води до та після кристалізатора вимірюється датчиками Cerabar-M PMP51 (поз. 9-3, 9-4) [16] зі струмовими вихідними сигналами 4-20 мА, що надходять до модулю введення аналогових сигналів у відповідній RIO-станції. Витрати охолоджувальної води на кристалізатор контролюються за допомогою електромагнітного витратоміра Promag 10W (поз. 9-5) [17], вихідний струмовий сигнал 4-20 мА надходить до модуля введення аналогових сигналів у відповідній RIO-станції. На підставі поточних значень вказаних параметрів контролером розраховується керуючий вплив у вигляді струмового сигналу 4-20 мА та з виходів модуля аналогового виведення на RIO-станції надходить до електро-пневматичного перетворювача Samson 6111 (поз. 9-6) [18], сигнал від якого далі надходить до пневматичного клапану Samson 241 (поз. 9-7) [19].

Контури контролю та регулювання витрати води на зони 1-5 ЗВО (10, 11, 12, 13, 14) аналогічні. Розглянемо їхню роботу на прикладі контуру контролю та регулювання витрати води на зону 1. До складу цього контуру входять датчик витрати Promag 10W (поз. 10-1), вихідний струмовий сигнал 4-20 мА надходить до модуля введення аналогових сигналів SM 531. Також на входи модуля надходить сигнал 4-20 мА від датчику тиску води на вході в зону 1 Cerabar-M PMP51 (поз. 10-2). З урахуванням поточних значень цих параметрів контролером формується керуючий вплив, який з модуля виведення аналогових сигналів SM 532 надходить на електропневматичний перетворювач Samson 6111 (поз. 10-3), сигнал від якого далі надходить до пневматичного клапану Samson 241 (поз. 10-4).

До складу контуру визначення робмовидності заготовок входять два триангуляційних датчика scan Control LLT29x0-10/BL [20] та дві інфрачервоні камери PI 450i G7 [21], інформація з яких надходить у відповідну RIO-станцію, контролер та АРМ операторів. У разі виявлення браку (невідповідності геометричних розмірів заготовки заданим) при роботі в автоматичному режимі роботи системи автоматизації



розраховується та вноситься корегування уставок контурів регулювання витрати води на ЗВО та/або швидкості витягування заготовки.

### 3.3 Принципова електрична схема контуру контролю та регулювання загальної витрати води на ЗВО

Принципова електрична схема – графічне зображення за допомогою умовних графічних і буквено-цифрових позначень зв'язків між елементами електричного пристрою [7].

Принципову електричну схему складають в наступному порядку:

- на підставі схем автоматизації визначають технологічні вимоги до електричної схемою;
- стосовно до цих вимог встановлюють перелік і послідовність дії схеми;
- кожне із заданих дії схеми зображують у вигляді елементарних схем;
- елементарні схеми об'єднують в загальну схему;
- виробляють вибір апаратури і електричний розрахунок елементів схеми;
- коректують схему відповідно до можливостей апаратури;
- перевіряють схему з точки зору можливості виникнення помилкових ланцюгів або її неправильної роботи при пошкодженнях елементарних ланцюгів;
- розглядають можливі варіанти і вибирають найбільш оптимальний.

На підставі функціональної схеми автоматизації розроблена схема електрична принципова контуру контролю та регулювання витрати води на зону 1 ЗВО, що наведена на кресленні.

До складу вказаного контуру входять датчик витрати Promag 10W (поз. 10-1), датчик тиску води на вході в зону 1 Cerabar-M PMP51 (поз. 10-2), модуль введення аналогових сигналів SM 531, модуль виведення аналогових сигналів SM 532, електропневматичний перетворювач Samson 6111 (поз. 10-3), пневматичний клапан Samson 241 (поз. 10-4), блок живлення PS 1505.

Сигнал від датчика витрати води Promag 10W (поз. 10-1) надходить на модуль введення аналогових сигналів SM 531 (клеми 01-02). Сигнал від датчика тиску води Cerabar-M PMP51 (поз. 10-2) надходить на модуль вводу аналогових сигналів SM 531 (клеми 05-06).

На підставі цих сигналів контролер формує керуючий вплив, який надходить з клем 01, 04 на електропневматичний перетворювач Samson 6111 (поз. 10-3), сигнал від якого далі надходить до пневматичного клапану Samson 241 (поз. 10-4).

### 3.4 Опис системи моніторингу ромбовидності

Вихідні дані: заготовка квадратного перерізу з розмірами від 130x130 до 200x200 мм; довжина заготовки 5800 – 12100 мм. Температура на місці контролю не нижче 720°C. Швидкість руху заготовки по рольгангу до 0,1 м/с.

На обох торцях заготовки проводять сканування її перерізу інфрачервоними камерами PI 450i G7, які безпосередньо вимірюють його геометричні розміри. Додатково двома триангуляційними датчиками scan Control LLT29x0-10/BL, які рухаються вздовж заготовки, вимірюється величина кута між двома гранями заготовки. На підставі цього значення розраховується величина ромбовидності. Таким чином запропонований комбінований метод надає наступні переваги:

1) можливість порівняти результати вимірювання торців із результатами розрахунків за даними триангуляційних датчиків для перевірки їхньої точності;

2) можливість оптимального сканування – якщо при вимірюванні торців не виявлена ромбовидність, допускається зменшити щільність триангуляційного сканування по довжині заготовки;

3) можливість виявляти градієнтні деформації (скручування) при визначенні різниці між геометричними розмірами торців заготовки.

Процес вимірювання відбувається між переміщеннями заготовки за допомогою крокуючого механізму холодильника. В цей час стаціонарно встановлені інфрачервоні камери сканують торці вимірюваної заготовки. Після наступного переміщення рухомий модуль з триангуляційними сканерами сканує цю ж заготовку по довжині. Така затримка в часі між скануваннями дозволяє попередньо оцінити ромбовидність заготовки на підставі вимірювань геометричних розмірів торців за допомогою камер та оптимізувати використання триангуляційних сканерів. Якщо за результатами обох вимірювань виявлено ромбовидність, інформація про це надходить на АРМ усіх операторів ділянки МБРЗ. У випадку автоматичного режиму роботи системи автоматизації за визначеним алгоритмом розраховується та реалізується корегування уставки в підсистемі керування або тепловим режимом в ЗВО, або швидкості витягування заготовки з метою запобігти подальшому утворенню браку заготовок. У разі, якщо система працює в супервізорному режимі, корегування лише розраховуються та виводяться на АРМ операторів розливання для прийняття ними рішень щодо запобігання браку.

### 3.5 Дослідження плавного переходу між ручним та автоматичним режимами регулювання в системі автоматичного регулювання (САР) з ПІД-регулятором

Розглянемо роботу САР при переході між ручним та автоматичним режимами регулювання на прикладі моделювання системи, що складається з об'єкту першого порядку із запізненням та ПІД-регулятора, в Matlab (рис. 3.1).

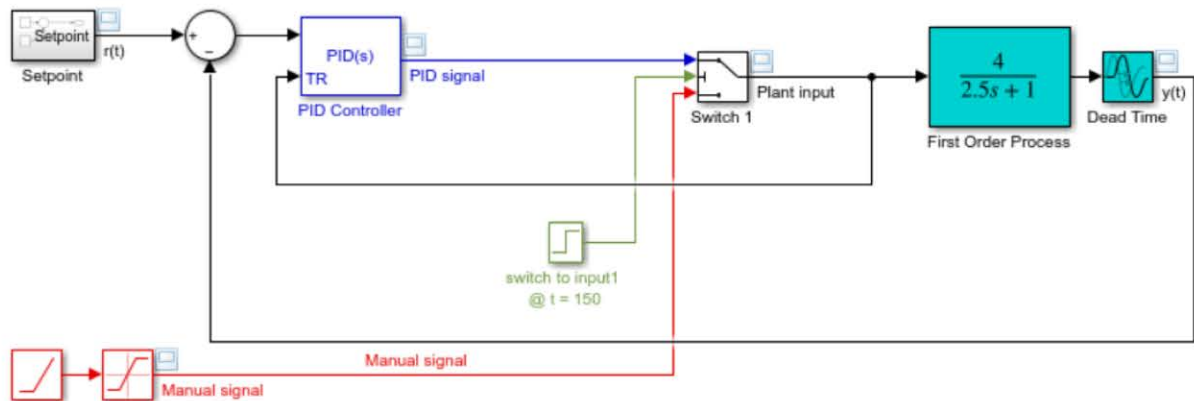


Рисунок 3.1 – Модель Simulink ПІД-регулювання з плавною передачею

Для прикладу розглянемо випадок, коли персоналом вирішено розпочати процес керування в ручному режимі (розімкнутий контур), подаючи на вхід установки постійно зростаючий сигнал, щоб повільно привести вихідний сигнал системи до потрібного значення. Перемикання між режимами заплановано на  $t = 150$  с. При перемиканні ПІД-регулятор повинен керувати процесом (замкнутий контур), не створюючи стрибків керуючого впливу на вході об'єкта.

Для підтримки плавного переходу керування блок ПІД-регулятора підтримує два режими роботи: режим стеження та режим керування. У режимі керування блок працює як звичайний ПІД-регулятор. Однак у режимі відстеження блок має додатковий вхід, який дозволяє блоку PID регулювати свій внутрішній стан, змінюючи вихід інтегратора таким чином, щоб вихід блоку відстежував заданий сигнал, що подає цей додатковий вхідний порт. Щоб досягти плавної передачі керування, блок ПІД-регулятора повинен перебувати в режимі відстеження, коли установка перебуває в фазі ручного режиму, і в режимі керування, коли установка перебуває в фазі автоматичного режиму.

Сигнал заданого значення та відповідь замкнутої моделі показані на рис. 3.2.

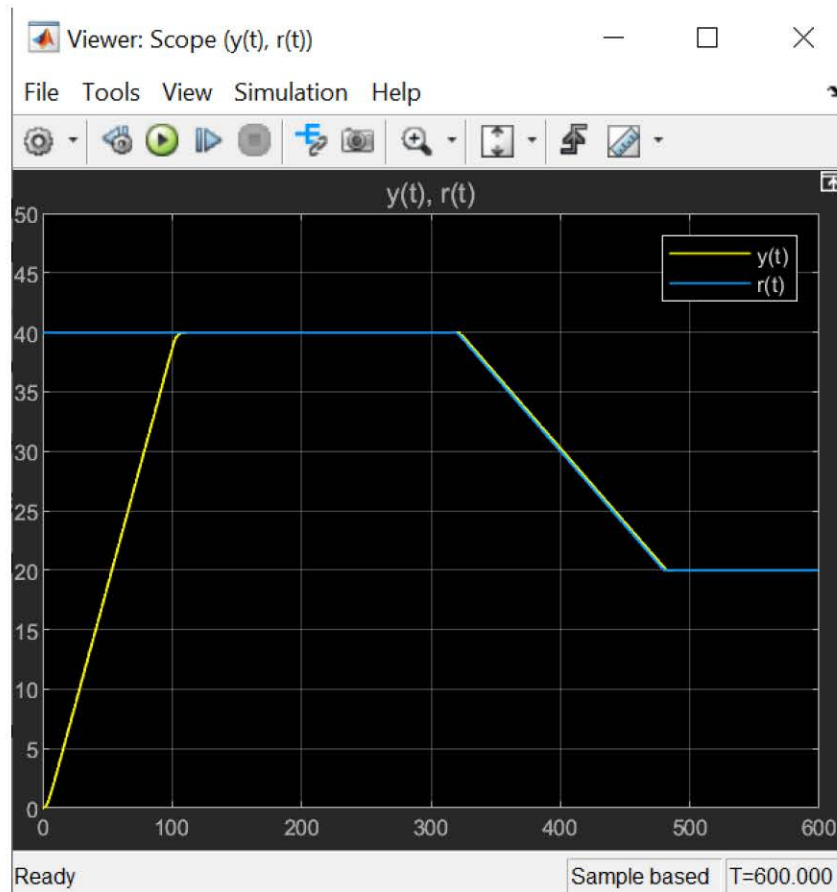


Рисунок 3.2 – Уставка та вимірний вихід

З рис. 3.2 видно, що вимірний вихідний сигнал відповідає профілю заданого значення без будь-яких відхилень на вихідному сигналі під час перемикання ( $t = 150$  с). Для подальшого дослідження розглянемо графіки в Scope виходу блоку ПІД (рис. 3.3 "PID signal") та ручного керування (рис. 3.3 "Manual signal") та вхідний керуючий сигнал для об'єкта регулювання (OP) Scope після блоку Switch (рис. 3.4).

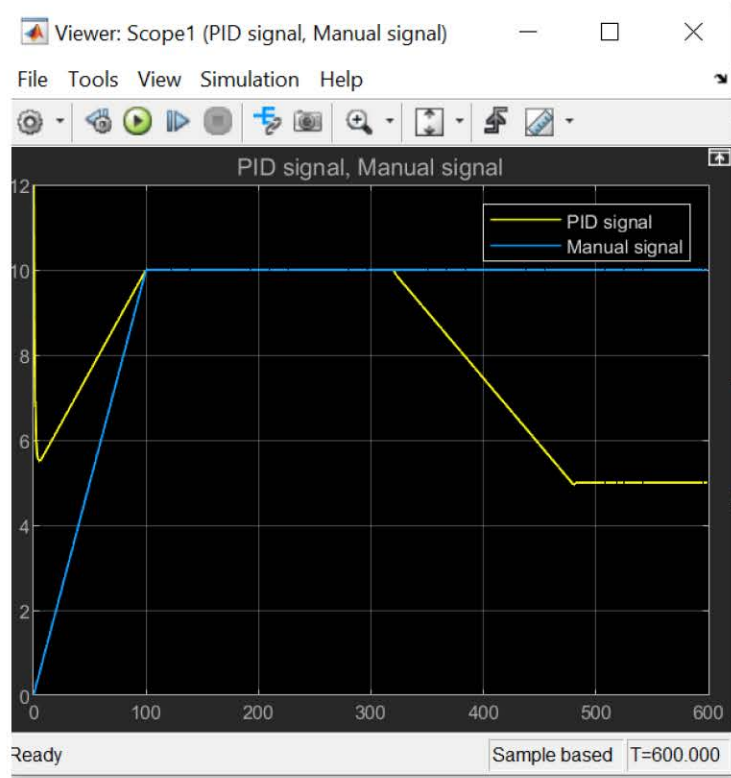


Рисунок 3.3 – Вихідні сигнали регулятора та ручного керування

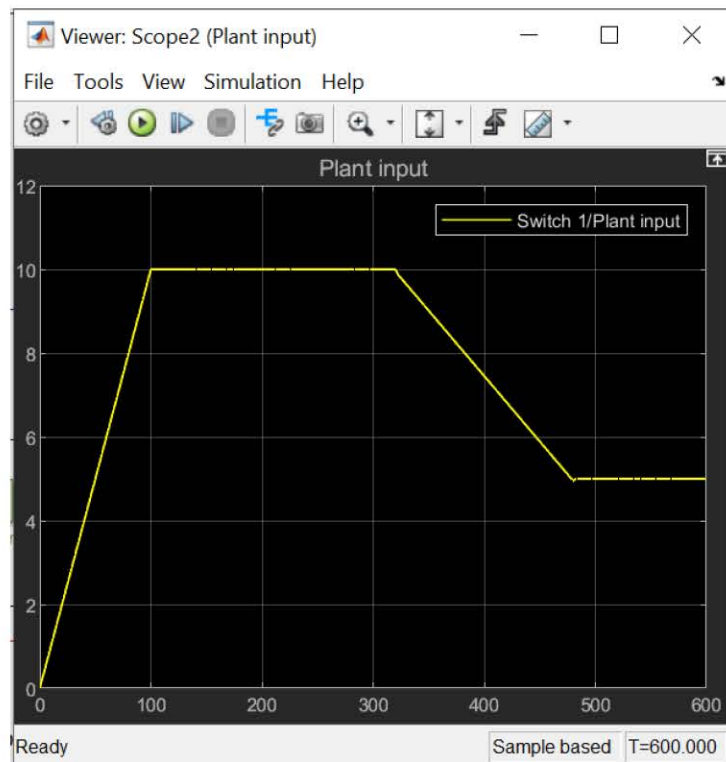


Рисунок 3.4 – Вхідний сигнал об'єкта регулювання

На рисунках 3.3 і 3.4 показано, що в момент перемикання вхідний сигнал ОР не зазнав ступінчастих змін, і тому передача керування відбувається плавно, як і планувалося.

Для порівняння розглянемо випадок, коли режим відстеження не використовується (рис. 3.5).

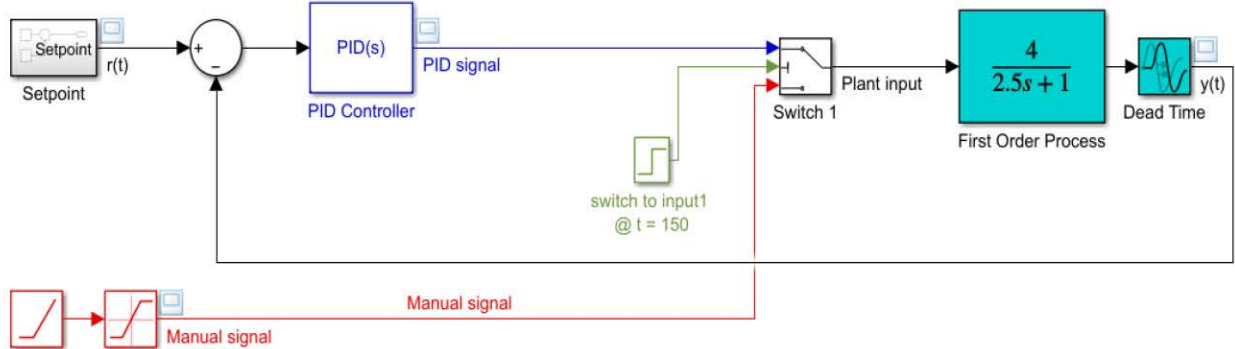


Рисунок 3.5 – Модель Simulink ПІД-регулювання без плавної передачі.

На рисунках 3.6 і 3.7 показані вихідний сигнал САР (“y(t)”), уставка (“r(t)”), керуючий вплив при ручному (“Manual signal”) та при автоматичному (“PID signal”) режимах регулювання за відсутності відповідної стратегії безперебійної передачі керування.

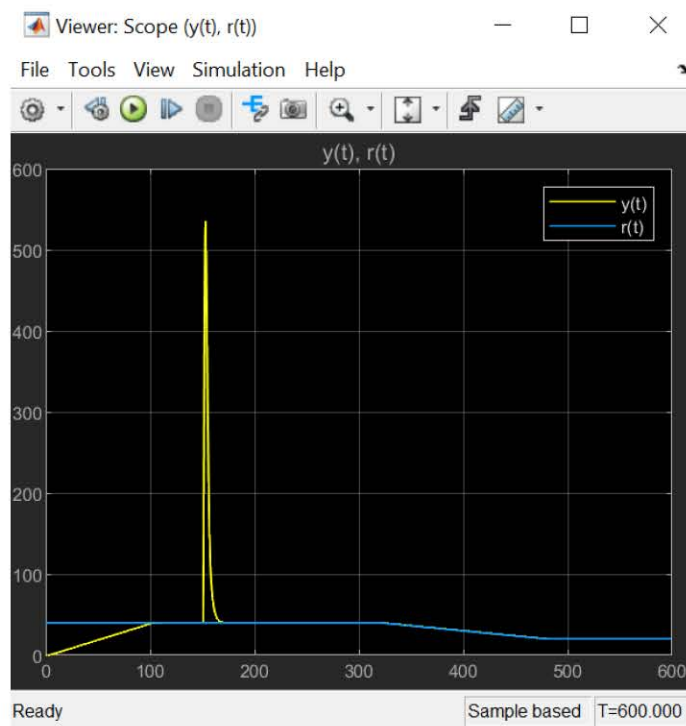


Рисунок 3.6 – Уставка та вимірний вихід

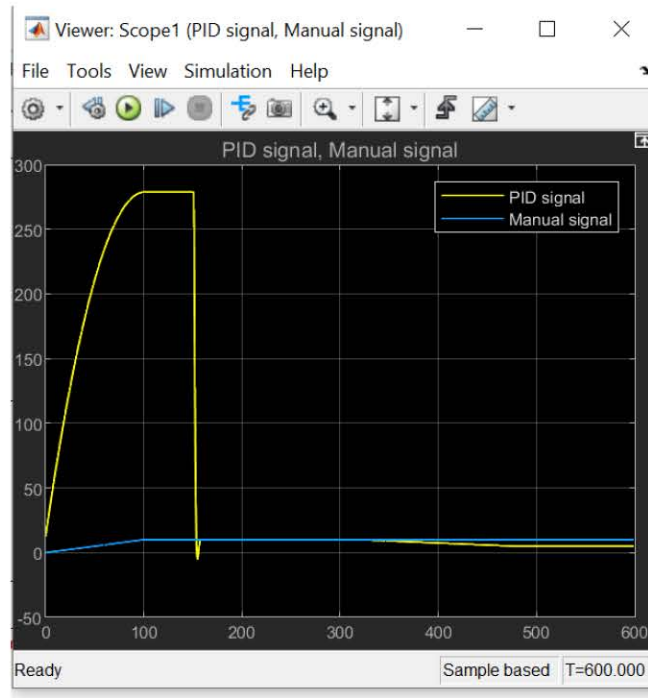


Рисунок 3.7 – Перемикання керуючого сигналу

З результатів моделювання можна зробити висновок, що відсутність відстеження керуючого впливу ПІД-регулятором під час ручного регулювання об'єктом може призвести до небажаних суттєвих перехідних процесів під час перемикання, що слід враховувати також при керуванні тепловим режимом ЗВО при розливанні безперервнолитих заготовок.

## 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ

Економія в результаті реконструкції визначається зіставленням норм витрати на одиницю продукції до і після впровадження та розраховується на річний обсяг виробництва. У зв'язку зі зменшенням кількості бракованих заготовок через впровадження нової системи, розрахуємо річний обсяг економії:

$$M = (HP1 * Цм - HP2 * Цм) * B2, \quad (4.1)$$

де М - річна економія;  
HP1 – норма браку до автоматизації; HP1=0,008;  
HP2 – норма браку після автоматизації; HP2;  
B2 – річний обсяг виробництва, B2 = 1400000 т.;  
Цм – прибуток з 1 т., де Цм = Ціна реалізації 1т. - Собівартість 1т. = 22952 грн - 20153 грн. = 2800 грн

Розглянемо два випадки розрахунки річного обсягу економії:

а) відсутність бракованих заготовок в результаті впровадження запропонованої системи, HP2=0, тоді за формулою (4.1).

$$M = (0,008) * 2800 * 1400000 = 31\,360\,000 \text{ грн.}$$

б) Залишковий брак після впровадження системи 0,2 % (HP2=0,002):

$$M = (0,008 - 0,002) * 2800 * 1400000 = 0,006 * 2800 * 1400000 = 23\,520\,000 \text{ грн.}$$

Розрахуємо сумарний економічний ефект від впровадження системи автоматизації за вирахуванням витрат:

$$E_A = M - Z_{авт}, \quad (4.2)$$


де Z<sub>авт</sub> – затрати на систему автоматизації; Z<sub>авт</sub>=5 040 000 грн.

$$\text{а) } E_A = 31\,360\,000 - 5\,040\,000 = 26\,320\,000 \text{ грн.}$$

$$\text{б) } E_A = 23\,520\,000 \text{ грн.} - 5\,040\,000 = 18\,480\,000 \text{ грн.}$$

Зниження собівартості на одиницю продукції дорівнює:

$$\Delta C = \frac{E_A}{B_2} \quad (4.3)$$


$$а) \Delta C = 26\,320\,000 / 1400000 = 18,8 \text{ грн./т}$$

$$б) \Delta C = 18\,480\,000 / 1400000 = 13,2 \text{ грн./т}$$

Доцільність впровадження системи автоматизації визначаємо за розрахунками показників терміну окупності і коефіцієнта ефективності.

Термін окупності впроваджуваної системи визначаємо за формулою:

$$T_p = \frac{K_{\text{доп}}}{E_A} \quad (4.4)$$

$$А) T_p = 5\,040\,000 / 26\,320\,000 = 0,19 \text{ року} \approx 69 \text{ днів}$$

$$Б) T_p = 5\,040\,000 / 18\,480\,000 = 0,27 \text{ року} \approx 99 \text{ днів}$$

Коефіцієнт ефективності визначаємо за формулою

$$E_p = \frac{E_A}{K_{\text{доп}}} \quad (4.5)$$

$$А) E_p = 26\,320\,000 / 5\,040\,000 = 5,2$$

$$Б) E_p = 18\,480\,000 / 5\,040\,000 = 3,6$$

На підставі отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

1. Термін окупності модернізації становить: а) 69 днів; б) 99 днів.  
2. Коефіцієнт ефективності інвестицій: а) 6,2, б) 3,2, що свідчить про високу рентабельність проєкту.

3. Впровадження запропонованої системи автоматизації забезпечить значну економію та підвищення якості продукції.



## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Загальна характеристика умов праці персоналу, що експлуатує АСУТП МБРЗ конвертерного цеху

Робота електромонтера відноситься до робіт підвищеної небезпеки. Електромонтер здійснює щоденний огляд, перевірку, тестування, налаштування електронного устаткування, засобів релейної автоматики та датчиків, очищує їх від виробничого пилу, перевіряє наявність розбірливих надписів вхідних та вихідних сигналів, а також маркування дротів та кабелів та при необхідності їх обновлює.

При надходженні заявки від технологічного персоналу або проведенні планово-попереджувального ремонту виявляє несправні блоки та елементи, які входять до складу автоматичних систем, включаючи і засоби відображення технологічної інформації на пультах в мнемощитах, здійснює їхню заміну справними, займається ремонтом несправного устаткування. Усуває наслідки аварійних ситуацій, які призвели до виходу з ладу кабельно-провідникової продукції та датчиків. Здійснює обхід електроприміщень, кабельних трас, прокладених відкрито в тунелях, на півповерхах та шахтах, звертаючи увагу на зміщення кабелів, стан приміщень, включаючи будівельну частину. Забезпечує електробезпеку проведення робіт в цих приміщеннях неелектротехнічному персоналу.


### 5.2 Порядок допуску до виконання робіт:

До професії «Електромонтер з ремонту та обслуговування електроустаткування» допускаються особи у віці не молодше 18 років, визнані придатними за результатами медичного обстеження, які пройшли вступний та первинний інструктаж з охорони праці, мають групу з електробезпеки не нижче другої, які пройшли перевірку знань з питань охорони праці та допущені до виконання своїх обов'язків розпорядженням начальника управління автоматизації.

### 5.3 Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори

До основних небезпечних та шкідливих виробничих факторів для електромонтера з ремонту та обслуговування електроустаткування відносяться:

- рухомі машини та механізми;
- обертові частини виробничого устаткування; підвищена запыленість повітря робочої зони;
- підвищений рівень іонізуючого випромінювання,
- відсутність або недостатність природнього освітлення;

- 
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
  - наявність електричного струму;
  - розташування робочого місця на значній висоті відносно поверхні землі (підлоги);
  - підвищена температура повітря робочої зони.

Для захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів електромонтери забезпечуються спецодягом, спецвзуттям та засобами індивідуального захисту, які видаються відповідно до діючих на підприємстві переліків.

#### **5.4 Техніка безпеки**

Під час впровадження та експлуатації системи моніторингу необхідно дотримуватися правил охорони праці та техніки безпеки на металургійному виробництві:

1) заборонено проводити монтажні або ремонтні роботи без відключення живлення;

2) роботи на висоті або в зоні дії кранового обладнання повинні виконуватись лише із застосуванням страхувальних засобів; Обслуговування датчиків і сканерів повинно виконуватись з урахуванням захисту від випромінювання (лазерних або інфрачервоних джерел); Персонал повинен проходити регулярні інструктажі з електробезпеки, пожежної безпеки та дій у надзвичайних ситуаціях;

3) всі роботи мають проводитись відповідно до діючих інструкцій та стандартів з охорони праці.

Дотримання вимог техніки безпеки забезпечить стабільну роботу обладнання та знизить ризики виникнення аварійних ситуацій.



## ВИСНОВКИ

В межах кваліфікаційної роботи було досліджено предметну область автоматизації процесу розливання заготовок. Наведені загальна характеристика вказаного технологічного процесу та наявної системи автоматизації, а також проаналізовані рішення з автоматизації на аналогічних об'єктах. За результатами аналізу було визначено необхідність модернізації наявної системи та сформульована невирішена частина проблеми, яка полягає у впровадженні системи моніторингу ромбовидності безперервнолитих заготовок.


Було проаналізовано технологічний процес як об'єкт автоматизації, визначено його параметри, задачі автоматичного контролю та регулювання відповідних технологічних параметрів, обґрунтовано запропонована структура системи автоматизації, наведено опис функціональної схеми системи автоматизації та принципово-електричної схеми контуру регулювання витрати води на ЗВО. Для запропонованої системи обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації, в тому числі і для системи моніторингу ромбовидності безперервнолитих заготовок, наведено опис її функціонування, змодельовано плавний перехід між режимами керування.

У четвертому розділі відповідними розрахунками підтверджено економічну доцільність впровадження запропонованої системи автоматизації.

У п'ятому розділі наведено аналіз небезпечних і шкідливих факторів виробництва та рекомендації щодо поліпшення умов праці персоналу АСУ ТП ділянки МБРЗ.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. TI 230-НЛ459-21 – Технологічна інструкція процесу безперервного розливання заготовок на 7-миструменевій сортовій МБРЗ
2. DMKD 7-миструменева сортова МБРЗ. Конфігурація апаратного забезпечення. VAI Pomini 184.СК.91 – DO100/HWC001
3. Madias J. A Review of Rhomboidity Problem in Billet Casting. *AISTech* 2012, Atlanta, 4 May 2012. URL: [https://www.researchgate.net/publication/260425873\\_A\\_Review\\_of\\_Rhomboidity\\_Problem\\_in\\_Billet\\_Casting/citations](https://www.researchgate.net/publication/260425873_A_Review_of_Rhomboidity_Problem_in_Billet_Casting/citations).
4. Checking billets for rhomboidity: A success story celebrated by FLIR - BCB Ingeniería. *BCB Ingeniería*. URL: <https://bcbingenieria.com/en/checking-billets-for-rhomboidity-a-success-story-celebrated-by-flir/> (date of access: 23.04.2025).
5. Morales E. Enhancing Continuous Casting Efficiency with Machine Learning. *ECON Tech | Smart Solutions for Industrial Automation & AI*. URL: <https://econ-tech.com/blog-n1/enhancing-continuous-casting-efficiency-with-machine-learning> (date of access: 13.04.2025).
6. Стандарт АСУ ТП. Центр Експертизи АСУ ТП ТОВ «МЕТІНВЕСТ ДІДЖИТАЛ». 2020
7. ДСТУ Б А.2.4-16:2008. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах. [Чинний від 2010-01-01]. Вид офіц. Київ. 2009. (Система проектної документації для будівництва).
8. Temperature Measurement Technology For Foundry Refining Solutions. *Heraeus Electro-Nite - Technology For Measurement in Molten Metals*. URL: <https://www.heraeus-electro-nite.com/en/foundry/refining-solutions-for-foundry/temperature-measurement-technology-for-foundry-refining/> (date of access: 28.04.2025).
9. CSmicro LT pyrometer. *Optris*. URL: <https://optris.com/products/infrared-thermometers-pyrometers/csmicro-series/csmicro-lt/>. (date of access: 14.05.2025).
10. Ваговимірювальні електронні модулі SIWAREX для SIMATIC. *Siemens*. URL: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/kontrolno-vymiryvalni-prylady/vahovymiryuvannya/vahovymiryvalni-elektronni-moduli-siwarex-dlya-simatic.html>. (date of access: 20.05.2025).
11. CONGAUGE LB 6755. *Berthold Technologies GmbH & Co.KG*. URL: <https://www.berthold.com/en/process-control/products/level-measurement/mould-level-measurement/congauge-lb-6755/> (date of access: 29.05.2025).
12. Модульний багатофункціональний перетворювач частоти. *Siemens*. URL: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/tekhnohiiyi->



[pryvodiv/sinamics/peretvoryuvachi-nyzkoyi-napruhy-sinamics/standartni-peretvoryuvachi-chastoty-sinamics/sinamics-g120.html](#). (date of access: 20.05.2025).

13. 5823 Encoders Incremental Product details - Kübler Group - Worldwide. *Kübler Group - Worldwide*.

URL: <https://www.kuebler.com/en/products/measurement/encoders/product-finder/product-details/5823> (date of access: 29.04.2025).

14. PN2021. *ifm - automation made in Germany*. URL: <https://www.ifm.com/de/en/product/PN2021> (date of access: 22.05.2025).

15. Search. *Flow, level, liquid analysis, optical analysis, pressure, temperature measurement, software and system products | Endress+Hauser*. URL: <https://www.endress.com/en/search?filter.text=M%20TR10&s.category=search-download#focus-9415922> (date of access: 21.05.2025).

16. Search. *Flow, level, liquid analysis, optical analysis, pressure, temperature measurement, software and system products | Endress+Hauser*. URL: <https://www.endress.com/en/search?filter.text=Cerabar-M%20PMP51%20&s.category=search-download#focus-9601939> (date of access: 23.05.2025).

17. Proline Promag W 10 electromagnetic flowmeter. *Flow, level, liquid analysis, optical analysis, pressure, temperature measurement, software and system products | Endress+Hauser*. URL: <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/electromagnetic-flowmeter-promag-w10-5wbb?t.tabId=product-overview> (date of access: 21.05.2025).

18. 6111. *SAMSON UK • SAMSON UK*. URL: <https://uk.samsongroup.com/en/products-applications/product-selector/signal-converters/details/signalconvertertype/6111/> (date of access: 29.06.2025).

19. Series 240. *SAMSON AG • SAMSON*. URL: <https://www.samsongroup.com/document/t80430en.pdf> (date of access: 29.05.2025).

20. scanCONTROL 29x0 | *Micro-Epsilon. Micro-Epsilon*. URL: <https://www.micro-epsilon.com/2d-3d-measurement/laser-profile-scanners/scancontrol-29x0/> (date of access: 25.05.2025).

21. Optris PI 450i G7. *Optris*. URL: <https://optris.com/products/infrared-cameras/precision-line/pi-450i-g7/> (date of access: 25.05.2025).

## ДОДАТОК А КОНСТРУКЦІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС МБРЗ

Машина безперервного розливання заготовок (рис. А.1) є ключовим обладнанням в металургійному виробництві. Вона використовується для розливу рідкого металу в форму заготовки, що дозволяє отримати високоякісні продукти з меншими витратами часу та ресурсів. Машина безперервного розливання заготовок працює за принципом неперервного наповнення форми заготовки рідким металом, після чого відбувається затвердіння продукту та його вивільнення з форми. Процес відбувається без перерви, що дозволяє забезпечити високу продуктивність та ефективність виробництва. Однією з основних переваг машини безперервного розливання заготовок є можливість розливу металу з високою точністю та швидкістю, що забезпечує високу якість продукту та підвищує продуктивність виробництва. Крім того, машина дозволяє зменшити витрати на проміжні процеси, такі як обробка та зберігання металу, що забезпечує економію ресурсів та зниження вартості продукції. Машина безперервного розливання заготовок використовується у виробництві сталі та інших металевих продуктів, що дозволяє підвищити якість та конкурентоспроможність продукції на ринку.

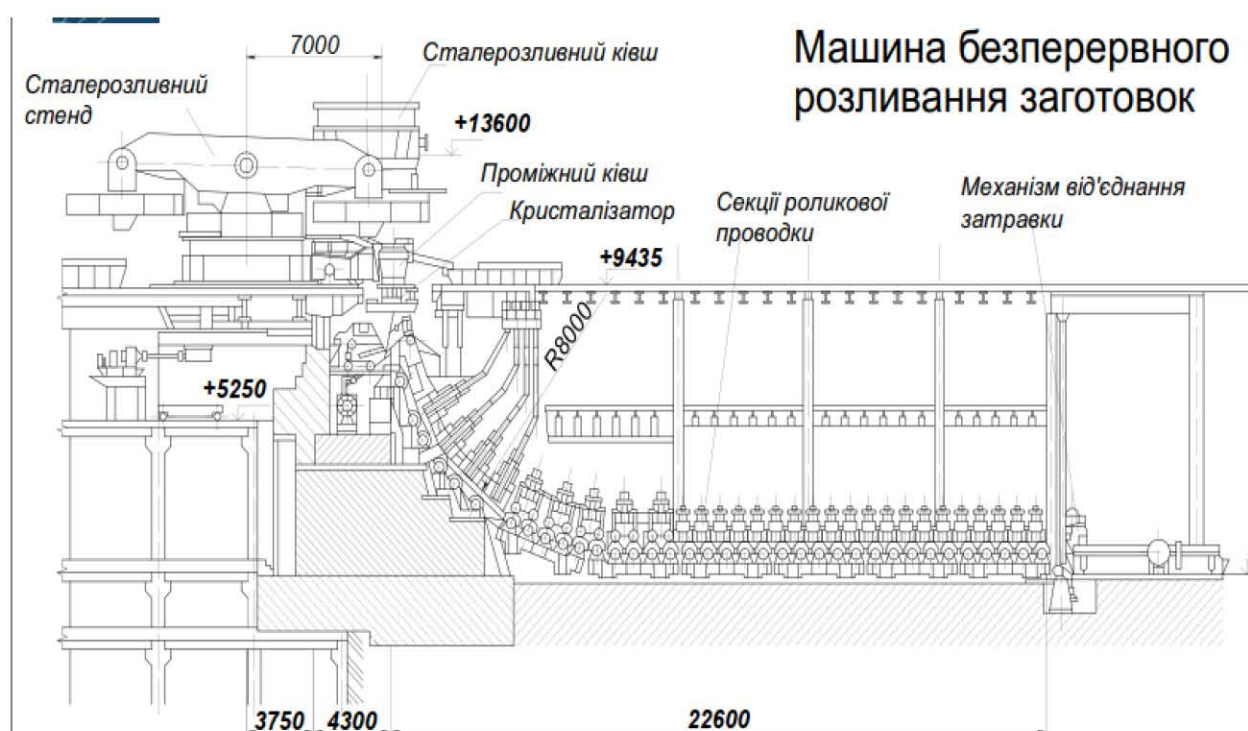
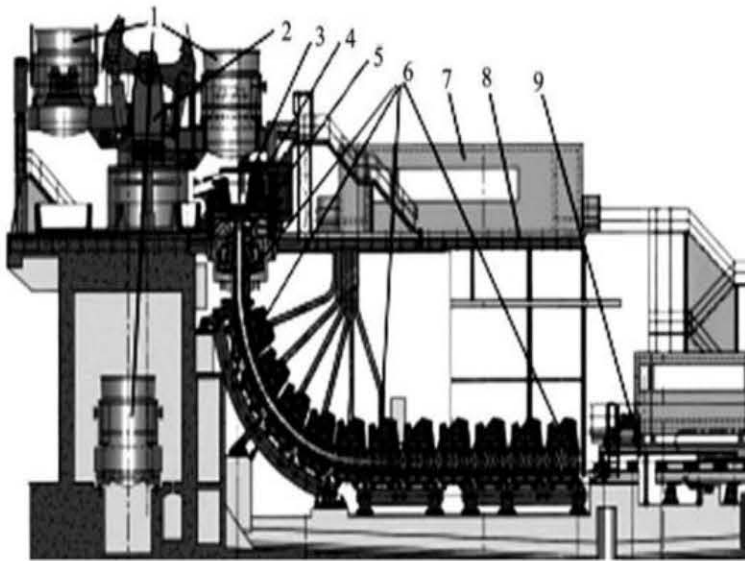


Рисунок А.1 – Конструкція МБРЗ

До складу 7-миструменевої машини з гідравлічним притискуванням роликів і тягнуче-правильною машиною (рис. А.2) входять:

- сталерозливний стенд(ПС) для двох ковшів;

- сталерозливний ківш;
- проміжний ківш, встановлений на самохідному візку;
- мідний водоохолоджуваний кристалізатор;
- механізм хитання кристалічний з роликівими секціями;
- тягнуче правильна машина;
- машина для введення в кристалізатор затравки;
- рольганг, що коливається;
- рухома машина газового різання.



- 1 – сталерозливні ковші; 2 – сталерозливний стенд; 3 – проміжний ківш; 4 – візок проміжного ковша; 5 – кристалізатор; 6 – роликіві секції ЗВО; 7 – пульт управління; 8 – робочий майданчик; 9 – машина газового різання

Рисунок А.2 – Конструкція 7-миструменевої машини