



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

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП

Артем РУХЛОВ

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Інжиніринг електропостачання та електромеханічних систем у  
металургії та гірництві»  
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка (G3 Електрична інженерія)  
на тему: **«Модернізація електропривода подачі кисневої  
фурми конвертерного цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»**

Керівник роботи

Юрій ШРАМКО

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень та напрацювань.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело. Електронний та паперовий варіанти роботи є ідентичними.*

Здобувач

Світлана ІВАНЧИШИНА

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

Голова ЕК

Денис КОНОНЮК

Запоріжжя 2026

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	автоматизації виробництва, інформаційних та управлінських технологій
Кафедра	автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	бакалавр
Спеціальність	141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (G3 Електрична інженерія)
ОПП	Інжиніринг електропостачання та електромеханічних систем у металургії та гірництві

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

\_\_\_\_\_ Артем РУХЛОВ

02.03.2026 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Іванчишиної Світлани Василівни

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Модернізація електроприводу кисневої фурми конвертера ПрАТ "Камет-Сталь"

керівник роботи Шрамко Юрій Юрійович, к. т. н.,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 23.02. 2026 р. №41/23.02.2026

2. Термін подання роботи 12.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, дані ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» м. Кам'янське, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області (літературний огляд, технологічний процес, недоліки існуючих систем, сучасні тенденції, постановка задач з підвищення енергоефективності роботи технологічного обладнання). 2. Спеціальний розділ: обґрунтування вибору системи регульованого електроприводу на базі напівпровідникового перетворювача; вибір та розрахунок елементів електроприводу і засобів вимірювання; дослідження режимних параметрів роботи при регулюванні; розробка алгоритмів керування та захистів; структурні/принципові рішення та заходи ЕМС). 3. Економічне обґрунтування запропонованих заходів. 4. Безпека праці у предметній області. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Електрична силова схема живлення електродвигуна, силова схема перетворювача електродвигуном електроприводу, що модернізується

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Аналіз предметної області	доц. Шрамко Ю.Ю.
Спеціальний розділ	доц. Шрамко Ю.Ю.
Економічне обґрунтування запропонованих заходів	доц. Шрамко Ю.Ю.
Безпека праці у предметній області	доц. Шрамко Ю.Ю.

7. Дата видачі завдання 05.12.2025

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	13.04.26
2	Розділ 2. Спеціальний розділ	27.04.26
3	Розділ 3. Економічне обґрунтування запропонованих заходів	18.05.26
4	Розділ 4. Безпека праці у предметній області	25.05.26
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	08.06.26
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	09.06.26
7	Остаточне оформлення роботи та графічного (презентаційного) матеріалу	10.06.26
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	10.06.26

Здобувач

Світлана ІВАНЧИШИНА

Керівник роботи

Юрій ШРАМКО

## АНОТАЦІЯ

*Іванчишина Світлана Василівна.* Модернізація електропривода подачі кисневої фурми конвертерного цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». 89 сторінок машинописного тексту, 26 рисунків, 5 таблиць, 28 джерело. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (G3 Електрична інженерія). ОПП «Інжиніринг електропостачання та електромеханічних систем у металургії та гірництві». ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

Об'єкт дослідження: електромеханічна система привода подачі кисневої фурми конвертерного виробництва.

Предмет дослідження: режими роботи електропривода, параметри керування та енергетичні характеристики системи підйому фурми.

Мета роботи: підвищення надійності, точності та енергоефективності електропривода подачі кисневої фурми шляхом впровадження сучасної системи регульованого електропривода.

У першому розділі розглянуто технологічний процес конвертерного виробництва сталі ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» та роботу механізму подачі кисневої фурми. Описано конструкцію, умови експлуатації та виявлено недоліки існуючого електропривода.

У другому розділі проаналізовано систему електропривода та сучасні рішення керування. Обґрунтовано вибір замкненої системи регулювання з тиристорним перетворювачем SIMOREG, визначено структуру привода та основне обладнання.

У третьому розділі виконано розрахунок і проектування електропривода, включаючи вибір двигуна, параметрів системи та синтез регуляторів. Розглянуто принцип роботи системи керування та її алгоритми.

У четвертому розділі розглянуто охорону праці, електробезпеку та економічну ефективність модернізації. Оцінено доцільність впровадження сучасного електропривода та очікуваний економічний ефект.

**ЕЛЕКТРОПРИВІД, ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРЕМУ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, РЕГУЛЯТОР.**

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ У КОНВЕРТЕРНОМУ ЦЕХУ.....	9
1.1 Опис технологічного процесу виробництва сталі у конвертерному цеху.....	9
1.2 Механізму подачі кисневої фурми.....	14
1.3 Робота механізму руху кисневої фурми.....	18
1.4. Налагодження роботи та динамічні показники.....	27
1.5 Огляд існуючих систем електропривода і вибір системи керування для приводу подачі кисневої фурми.....	32
2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОДАЧІ КИСНЕВОЇ ФУРМИ.....	38
2.1 Перевірка потужності двигуна.....	38
2.2 Вибір силового трансформатора.....	45
2.3 Вибір тиристорів.....	49
2.4 Розрахунок згладжувального дроселя.....	52
2.5 Впровадження запропонованих змін SINAMICS DCM.....	60
3 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОДАЧІ КИСНЕВОЇ ФУРМИ.....	71
3.1 Загальна характеристика проєкту модернізації.....	71
3.2 Розрахунок капітальних вкладень.....	71
3.3 Розрахунок річних витрат на оплату праці.....	74
3.4 Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	75
3.5 Розрахунок витрат на електроенергію.....	75
3.6 Розрахунок економії на ремонтах.....	76
3.7 Розрахунок економії від скорочення простоїв.....	76
3.8 Розрахунок річного економічного ефекту.....	77
3.9 Визначення строку окупності.....	77
3.10 Визначення коефіцієнта економічної ефективності.....	77
4. ОХОРОНА ПРАЦІ. ЗАХОДИ ПО ПОЛІПШЕНЮ УМОВ ПРАЦІ В КОНВЕРТЕРНОМУ ЦЕХУ ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».....	79
4.1 Охорона праці в Україні.....	79
4.2 Вимоги до території підприємства.....	79
4.3 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	81
4.4 Заходи, передбачені дипломним проєктом для покращення умов праці та охорони навколишнього середовища.....	82
4.5 Засоби індивідуального захисту.....	83
4.6 Пожежна безпека.....	84
4.7 Технічна естетика та ергономіка.....	85
4.8 Ефективність запропонованих заходів з охорони праці.....	86
ВИСНОВКИ.....	88
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	89



## ВСТУП


У сучасному промисловому виробництві електропривод є одним із ключових технічних засобів, що забезпечує роботу машин, механізмів і технологічного обладнання [1,12]. Широке застосування електроприводів зумовлене універсальністю електричної енергії, зручністю її передавання, розподілу, регулювання та перетворення в інші види енергії, насамперед у механічну [1]. Саме електропривод забезпечує керований рух робочих органів машин, стабільність технологічних режимів, необхідну продуктивність обладнання та можливість автоматизації виробничих процесів [12,13].

Особливе значення електроприводи мають у металургійному виробництві, де технологічні процеси характеризуються високою енергоємністю, значними механічними навантаженнями, підвищеними вимогами до точності керування, надійності та безперервності роботи обладнання [12]. Одним із відповідальних агрегатів конверторного виробництва є механізм подачі кисневої фурми, від надійної роботи якого значною мірою залежить ефективність продувки металу киснем, стабільність перебігу плавки, якість одержуваної сталі та безпечність експлуатації конвертора [11].

Механізм подачі кисневої фурми працює в складних виробничих умовах і повинен забезпечувати точне переміщення фурми у вертикальному напрямку відповідно до заданого технологічного режиму [11]. Під час роботи необхідно підтримувати задану швидкість переміщення, забезпечувати плавний пуск і гальмування, обмежувати динамічні навантаження, а також гарантувати надійне позиціонування фурми відносно рівня металевої ванни [1,13]. Порушення режимів роботи електроприводу може призвести до погіршення якості продувки, збільшення тривалості плавки, перевитрати енергоресурсів, зниження ресурсу механічного обладнання та виникнення аварійних ситуацій [11].

Успішне вирішення завдань підвищення енергоефективності, зниження експлуатаційних витрат, підвищення якості продукції та забезпечення надійної роботи технологічного обладнання безпосередньо пов'язане із застосуванням сучасних автоматизованих регульованих електроприводів [1,13]. Такі системи дають змогу реалізувати точне керування швидкістю, моментом і положенням робочого органу, забезпечити захист електродвигуна та механізму, зменшити пускові струми, знизити механічні удари й підвищити загальну культуру експлуатації обладнання [1,6].

Водночас до сучасних електроприводів висуваються підвищені вимоги щодо надійності, швидкодії, точності регулювання, простоти керування, зручності діагностики та технічного обслуговування [5,13]. Важливого значення набувають також покращення енергетичних характеристик, зменшення масогабаритних показників, підвищення ремонтпридатності та можливість інтеграції електроприводу в загальну



систему автоматизованого керування технологічним процесом [8,9]. Забезпечення зазначених вимог можливе лише на основі комплексного аналізу роботи електромеханічної системи, правильного вибору силового перетворювача, електродвигуна, датчиків зворотного зв'язку, алгоритмів регулювання та засобів захисту [1,13].

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю модернізації застарілих систем електроприводу, які не повною мірою відповідають сучасним вимогам до точності, надійності, енергоефективності та автоматизації металургійного обладнання [8,12]. Використання морально та фізично застарілих перетворювачів у системах керування електроприводами ускладнює забезпечення стабільних режимів роботи, збільшує ймовірність відмов, погіршує якість регулювання та підвищує витрати на технічне обслуговування [7]. Тому заміна застарілого перетворювального обладнання на сучасну систему керування є важливим напрямом підвищення ефективності роботи механізму подачі кисневої фурми [8].

У кваліфікаційній роботі розглядається модернізація електроприводу подачі кисневої фурми конвертора конверторного цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» [11]. Основним напрямом модернізації є заміна застарілого перетворювача та впровадження замкненої системи підпорядкованого керування електроприводом [7,8]. Такий підхід дозволяє підвищити якість регулювання швидкості та положення механізму, забезпечити стабільність роботи в перехідних і усталених режимах, покращити динамічні характеристики приводу, зменшити вплив збурень і підвищити надійність функціонування обладнання [1,13].

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування технічних рішень щодо модернізації електроприводу подачі кисневої фурми конвертора шляхом впровадження сучасного перетворювача та замкненої системи підпорядкованого керування, що забезпечує підвищення надійності, точності та ефективності роботи механізму [8,13].

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати призначення та умови роботи механізму подачі кисневої фурми, визначити основні вимоги до електроприводу, оцінити недоліки існуючої системи керування, обґрунтувати вибір елементів модернізованого електроприводу, розглянути структуру замкненої системи керування та виконати перевірку її основних технічних характеристик [1,7,8].

Таким чином, модернізація електроприводу подачі кисневої фурми є актуальним технічним завданням, спрямованим на підвищення ефективності, надійності та безпеки роботи конверторного обладнання [11,12]. Реалізація запропонованих рішень дозволить покращити якість керування технологічним процесом, знизити експлуатаційні ризики та забезпечити відповідність електроприводу сучасним вимогам промислової автоматизації [5,8,9].



## 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ У КОНВЕРТЕРНОМУ ЦЕХУ

### 1.1 Опис технологічного процесу виробництва сталі у конвертерному цеху

Сталеплавильний комплекс складається з наступних виробничих цехів: конвертерний цех, цех підготовки сталеплавильного виробництва, копровий цех, вогнеупорний - вапняний цех.

Виробнича характеристика конвертерного цеху: 2 конвертери ємністю по 250 т кожен і 2 МБЛЗ шести струмкових криволінійного типу [11]. Виробнича потужність цеха 2 млн. т сталі на рік, розливання на МБЛЗ 1.4 млн. т і в злитках 1,4 млн. т [11].

Конвертерний цех складається з наступних виробничих відділень: міксерне, магнітних матеріалів, жужільне, завантажувальне, конвертерне, ковшове, поза агрегатного доведення сталі, розливочне, безупинної розливання [11].


Міксерне відділення зблоковано з головним корпусом цеха естакадою довжиною 312 м, обладнано одним міксером ємністю 2500 тонн, двома заливальними кранами вантажопідйомністю 160-32/20 т, машинами для скачування шлаку з чавуновозних ковшів [11].

У відділенні побудована установка для десульфурзації чавуна в заливальних ковшах порошкоподібним вапном з газоочисною установкою і ділянкою для підготовки продувних фурм [11].

Схема подачі чавуна в цех наступна: чавун з доменного цеха надходить на рівні підлоги цеха в ковшах ємністю 100 тонн. У відділенні чавуновозні ковші краном подаються на рівень 12,6 м для скачування шлаку. Після скачування шлаку чавун зливається в міксер, потім для транспортування до конвертерів у заливальний ківш, а при ремонті міксера зливається відразу в заливальний чавуновозний ківш [11]. подача чавуна до конвертерів здійснюється 2-ма самохідними чавуновозами з установленими на них заливальними ковшами ємністю по 250 т [11].

У відділенні здійснюється вимір температури, добір проб і зважування чавуна, подаваного до конвертерів, зважування передбачене на міксерних вагах, установлених під носком, і кранових вагах при заливанні чавуна в конвертер [11].

Відділення магнітних матеріалів служить для навантаження металошихти в совки ємністю 65 м<sup>3</sup> і передачі їх до конвертерів [11]. Відділення обладнане п'ятьма електромостовими кранами; один вантажопідйомністю 15т, два 30т з магнітами М-626 і поліпами – грейферами для вивантаження скрапу з залізничних вагонів і навантаження його в совки [11], а також двома мостовими кранами вантажопідйомністю 130 т і 160 т для перестановки совків із брухтом на пересувні візки.



Для збереження і складування брухту у відділенні мається яма площею 2900м<sup>2</sup>, глибиною 4м [11].

Навантаження брухту в совки проводиться як у копровому цеха, так і в конвертерному цеха [11]. Довантаження брухту в прольоті здійснюються з залізничних вагонів і ями. Зважування навантажених совків у відділенні передбачено на вагах вантажопідйомністю 100 т і двох кранових вагах, коректування ваги брухту в совках при зважуванні здійснюються магнітно-грейферними кранами вантажопідйомністю 15 і 30т. Брухт двома скраповозами передаються в завантажувальний проліт.

Жужільне відділення служить для прийому шлаку з конвертерів у чашах ємністю 16 м<sup>3</sup> і передачі його у відділення переробки шлаку [11], що обладнано двома електромостовими кранами вантажопідйомністю 100т і двома тупиковими залізничними коліями для заміни жужільних чаш. Вивіз охолодженого шлаку здійснюється залізничним і автомобільним транспортом [11].

Конвертерне відділення.

Будинок конвертерного відділення складається з наступних прольотів: конвертерного, завантажувального, пилоподібних матеріалів, ківшевого і жужільної естакади [11]. Між завантажувальним прольотом і жужільною естакадою розміщене приміщення головних посад керування конвертерами й обчислювальний центр.

Конвертерне відділення оснащено двома конвертерами ємністю 250т двома заливальними кранами вантажопідйомністю 280 т і одним скрапозавалочним краном вантажопідйомністю 160т [11].

Конвертери обладнані казанами-охолоджувачами ОКГ-130. працюючими з частковим допаленням газів, що відходять, продувними фурмами, що забезпечують витрата кисню до 1100 м<sup>3</sup>/хв [11]. Над конвертерами встановлена серія бункерів для сипучих матеріалів і феросплавів, що забезпечують транспортування і двосторонню подачу матеріалів у конвертер і в сталеразливочний ківш із витратою вапна 60-80 кг/т, плавикового шпату 3-4 кг/т, залізородних матеріалів 2-3 кг/т.


Завалка металевого лона щільністю 1,1-1,2 т/м<sup>3</sup> в обсязі 70-80т (20% від ваги садки) проводиться одним совком ємністю 65 м<sup>3</sup> [11].

Заливання чавуна проводиться одним ковшем ємністю 250 т [11].

Основні технічні параметри конвертерів:

- номінальна маса плавки 250 тонн;
- робочий обсяг 187,8 м<sup>3</sup>;
- питомий обсяг 0,75 м<sup>3</sup>/т;
- внутрішній обсяг корпусу без футеровки 449 м<sup>3</sup>;
- глибина ванни рідкого металу 1488 мм;
- маса футеровки 758 тонн;
- маса футеровки знімного днища 97 тонн;
- швидкість повороту конвертера 0.04..10 рад/сек.

У конвертерному цеху в 80 роках проводився комплекс робіт з освоєння технології комбінованої продувки (з подачею кисню й азоту



через верхню продувну фурму, природного газу в оболонці кисню через кілька донних фурм). Комбінована продувка поліпшує масообмінні процеси в конвертері. Технологія рекомендована для отримання низковуглецевих і нержавіючих сталей [11].

Проведено роботи з освоєння технології підігріву брухту в конвертері з використанням фурми-горілки, для чого було побудовано газопровід природного газу високого тиску.

Комплекс розроблених технічних заходів дозволив збільшити на дослідних плавках витрата брухту в конвертерній шихті до 30-35% замість 20% за типовою технологією [11].

Ковшове відділення призначено для підготовки сталерозливочних ковшів, до прийому плавки, що включає проведення наступних операцій: футеровки, сушіння і розігріву ковшів, підготовки шибєрних затворів і установки їх на ковші [11]. Відділення оснащено двома електромостовими кранами 140/32 т.

Футеровка ковшів проводиться двома способами: 1 вручну тільки формовою цеглою; 2 вручну арматурного шару і днища формованою цеглою, а потім на механізованій установці робочого шару ковша [11].

У 1996 році з мартенівського цеха переміщена пескомітна установка для набивання робочого шару ковшів вогнетривною масою. Впровадження нової технології забезпечило зниження витрати ковшової цегли, збільшення стійкості футеровки з 9 до 18 плавок [11]. Споруджено стенд для високотемпературного нагрівання ковшів з основною футеровкою. Передбачено використання футерованих кришок для стальковшів з метою мінімальної втрати температури сталі в період розливання.


Розливочне відділення являє собою два прольоти із шістьма розливочними площадками, оснащеними п'ятьма розливочними кранами 320-100/20т з крановими вагами [11]. Розливання сталі здійснюється в ізложниці з розважуванням злитка 6,8 - 7 тонн [11], установлених на сталерозливочних візках.

Розширений донизу 7 - тонний злиток киплячого і напівспокійного металу призначений для прокатки на блюмінгу 1050 і 1150. Розширений догори злиток вагою 6,8т призначений для прокатки рейок з розливанням зверху.

При розливанні киплячого металу застосовується рідкий алюміній для закупорювання злитка. Для одержання рідкого алюмінію на розливочних площадках установлені печі ємністю 0,5 т.

На станції доведення здійснюється усереднення хімічного складу і температури шляхом продувки сталі аргоном [11], при необхідності передбачене охолодження металу шляхом введення в ківш сталевої стружки обдирних верстатів.

Станція доведення обладнана серією механізованих бункерів для здійснення комплексного доведення сталі шляхом подачі в ківш феросплавів і інших добавок [11], трайб-апаратами для введення



алюмінієвого і порошкоподібного дроту. Піддається коректуванню 30-40 % плавок поточного виробництва. Обслуговується станція доведення розливочним краном.

Технологічний процес виробництва сталі в конвертерному цеха.

У міксерне відділення конвертерного цеха чавун подається від доменних печей залізничним транспортом у чавуновозних ковшах грушоподібної форми ємністю 100 т [11] на рівні заводської підлоги. Після скачування доменного шлаку з ковшів чавун зливається в міксер ємністю 2500т, опалюваний природним газом, для конвертерів чавун з міксера зливається в 250 т заливальний ківш, установлений на самохідному чавуновозі для транспортування по 312-метровій естакаді.

Металевий скрап поступає у відділення магнітних матеріалів з копрового цеха на залізничних платформах [11] у совках або у залізничних вагонах для наступного навантаження кранами в совки безпосередньо в цьому відділенні.

Додаткові матеріали і феросплави поступають у залізничних вагонах у спеціальне розвантажувальне відділення вогнетривно – вапняного цеха з наступною подачею конвеєрами в бункери конвертерного відділення [11].

Вапняк обпікається в 2-х обертових печах. Вапно після сортування подається по конвеєрній системі в завантажувальні бункери конвертерного відділення.

Вогнеупори для футерівки конвертерів виготовляються у вогнетривному відділенні і перевозяться в цех автотранспортом, вогнетривні матеріали для футерівки ковшів доставляються також автомобільним транспортом.


Технологічний кисень чистотою не менш 99% виготовляється в киснево-компресорному цеха комбінату [11], накопичується в газгольдерах з наступною подачею в реціпієнтні установки конвертерного цеха.

Конвертерний цех обладнаний засобами для оборотного водопостачання, казанами охолоджувачами конвертерних газів і їхнього очищення з видачею очищеного газу димососами на свічі для викиду в атмосферу [11].

Розливочний склади з ізложницями для розливання сталі зверху і сифонним способом готуються надворі ізложниці № 3 ЦПСП.

Технологія плавки.

Совок з металевим брухтом (вага брухту 70-80т, 20% від ваги металевої садки) подається самохідним візком з відділення [11] магнітних матеріалів у конвертерне відділення. Із совка брухт вивантажується в конвертер скрапозавантажувальним краном. Виконується кілька нахилів конвертера для рівномірного розподілу брухту на днище. Заливання чавуна в конвертер у кількості 180-190т с температурою не менш 1320 °С [11] (80% від ваги металошихти) проводиться заливальним краном, за



вимог технології в конвертер може завантажуватися теплоносії - вугілля, подаваний по конвеєрному тракту.

Потім опускається продувна фурма, подається технологічний кисень, "запалюється" плавка, починається процес плавлення за рахунок проходячих у ємності конвертера екзотермічних реакцій від вигорання вуглецю, марганцю, кремнію і згоряння теплоносіїв.

Періодично частково зливається первинний шлак у шлаковницю, розташовану на шлаковозі з північної сторони під конвертером. Сталеваром проводяться операції по виміру температури металу й узяттю проб для визначення готовності металу до випуску, при необхідності призначається додувка металу на сірку, вуглець або температуру [11].

Метал зливається через лютку в сталерозливний ківш, установлений на сталевозі під конвертером з південної сторони. Під час випуску плавки в ківш подаються феросплави і розкислювачі по жолобах із завантажувальних бункерів конвертерного відділення [11].

Після зливу плавки сталерозливний ківш вивозиться в розливочний проліт і встановлюється під установкою для аргоної продувки металу з метою усереднення хімічного складу і вирівнювання температури по висоті ковша, а при необхідності для охолодження перегрітих плавок шляхом опускання в ківш металевої заготовки або сталевою стружкою, розкислення сталі алюмінієвими блоками, набраними на аргоній фурмі [11].

Для проведення технологічних операцій по комплексному доведенню сталі, що включає мікролегування різними елементами, сталерозливний ківш переміщається розливочним краном на середню установку комплексного доведення, на якій встановлена серія бункерів і механізмів.

Потім ківш переміщається за допомогою сталевозного візка у розливочне відділення. Розливочним краном ківш подається на розливочну площадку, де виконується розливання сталі зверху сифоном у ізложницю, встановлені на розливочних візках, подається на МБЛЗ.

Після закінчення розливання сталерозливний склад з злитками вивозиться тепловозом у стріперне відділення.

Безперервнолита заготовка з МБЛЗ вивозиться до печей трубозаготівельного стану 900/750'3 або сортопрокатний стан 350.

З метою зниження вмісту сірки розроблена технологія продувки чавуна порошкоподібним вапном і обробка магнієм, для чого в міксерному відділенні споруджена установка для десульфурзації з пропускною здатністю 1 млн. тонн чавуна на рік [11].

За результатами дослідно-промислової експлуатації отримані наступні результати: сірка вихідна 0,046% і після обробки 0,030%, витрати вапна 5,6 кг/т, ступінь десульфурзації 34,4%.

Обробка чавуна магнієм проводиться шляхом примусового введення в розплав за допомогою трайб-апаратів. По дослідним плавкам

отримані наступні попередні результати: сірка вихідна 0,040% і після обробки 0,020%, витрата магнію 0.55 кг/т, ступінь десульфурації 57,8%.

Позаагрегатна обробка сталі після випуску з конвертера передбачає кілька технологічних етапів: коректування по температурі; продувка інертним газом аргоном для усереднення металу і зниження змісту неметалічних включень; десульфурації шляхом уведення твердої шлакоутворювальної суміші у ківш під час зливу з конвертера (склад : 85% вапна, 15% плавикового шпату, витрата до 12 кг/т сталі); остаточна десульфурація шляхом продувки сталі порошкоподібним вапном на станції доведення металу в ковші; мікролегування металу й остаточне розкислення алюмінієм шляхом примусового введення в розплав алюмінієвих блоків, установлених на заглибних фурмах для продувки сталі аргоном; застосування електропідігрівання металу й остаточне його доведення в установці "пек-ківш"; вакуумування сталі у вакууматорі [11].

## 1.2 Механізму подачі кисневої фурми

Кожний механізм оснащений двома приводами підйому: основним і аварійним [1,7,8]. Кінематична схема механізмів підйому представлена на рис. 1.1.

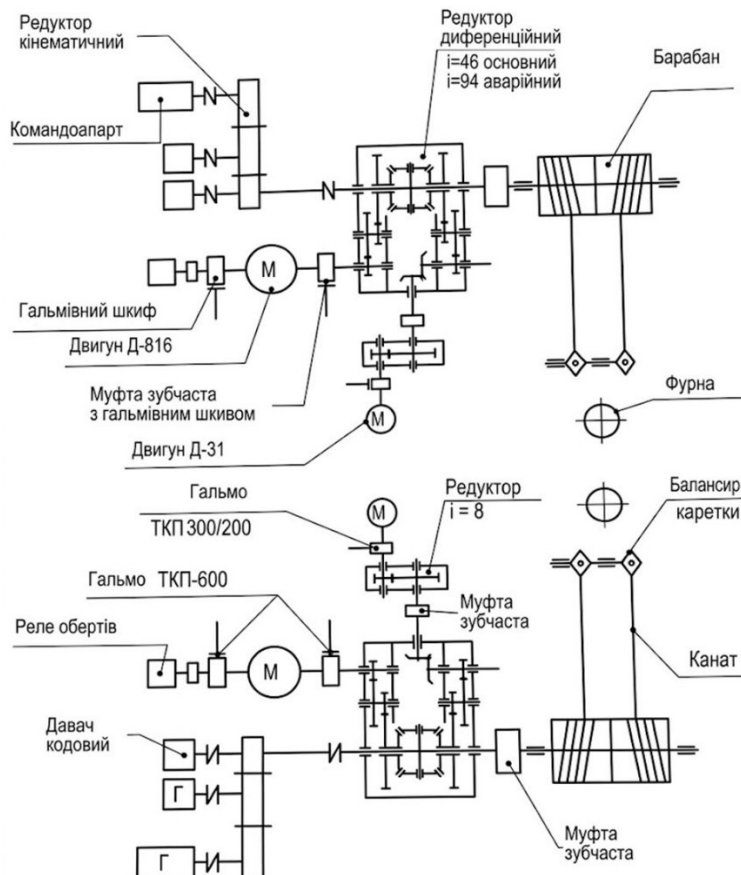



Рисунок 1.1 - Кінематична схема



Основний привід підйому фурми призначений для переміщення фурми у вертикальній площині із заданою швидкістю з метою встановлення її на задані висоти в процесі ведення плавки або сушіння конвертера [7, 8,12].

Аварійний привід призначений для підйому фурми у верхнє положення на низькій швидкості у випадку несправності основного привода або вимкнення напруги живлення [2,4,7].

Колодкові гальма основного привода в нормальному режимі використовуються для утримання фурми в заданому положенні, виконуючи функцію стоянкових гальм. Гальмування фурми в нормальному режимі здійснюється електроприводом. В аварійному режимі – вимкненням лінійного контактора, увімкненням контактора динамічного гальмування та накладанням гальм [1,7,13].

Колодкові гальма привода аварійного підйому використовуються для гальмування механізму при вимкненні двигуна аварійного підйому та подальшого утримання фурми [7,8].

На кожному механізмі фурми встановлені такі датчики [7,8,9]:

- ~ кодові датчики (1BN1, 2BN1);
- ~ кулачкові командоапарати (11SQL1, 21SQL1);
- ~ аварійні кінцеві вимикачі крайнього верхнього положення каретки (11SQ1, 21SQ1);
- ~ індуктивний датчик - реперна точка (1BR01, 2BR01);
- ~ датчики, що діють на канати зусилля - тензодатчики (1SQ4, 2SQ4);
- ~ датчики аварійного ослаблення канатів (11SQ2, 11SQ3, 21SQ2, 21SQ3);
- ~ центробіжні реле швидкості (1SR, 2SR).

Кодові датчики призначені для контролю переміщення фурм. Положення фурм відповідає певному куту повороту вала датчика. Для індикації положення фурм відносно нульової позначки величина зазначеного кута у вигляді двійкового коду передається в ПЛК через мережу PROFIBUS [9,10]. На основі отриманих даних ПЛК формує керувальні сигнали для керування рухом фурми на заданих позиціях відповідно до рис. 1.2 [1,9]. ПЛК також обчислює висоту підйому фурми та передає інформацію у двійково-десятковому коді на індикатор, який є складовою частиною системи АСУ цеху.

Кулачкові командоапарати призначені для видачі дискретних сигналів на визначених позиціях фурм відповідно до рис. 1.2, а також використовуються для реалізації аварійних блокувань [7,9].

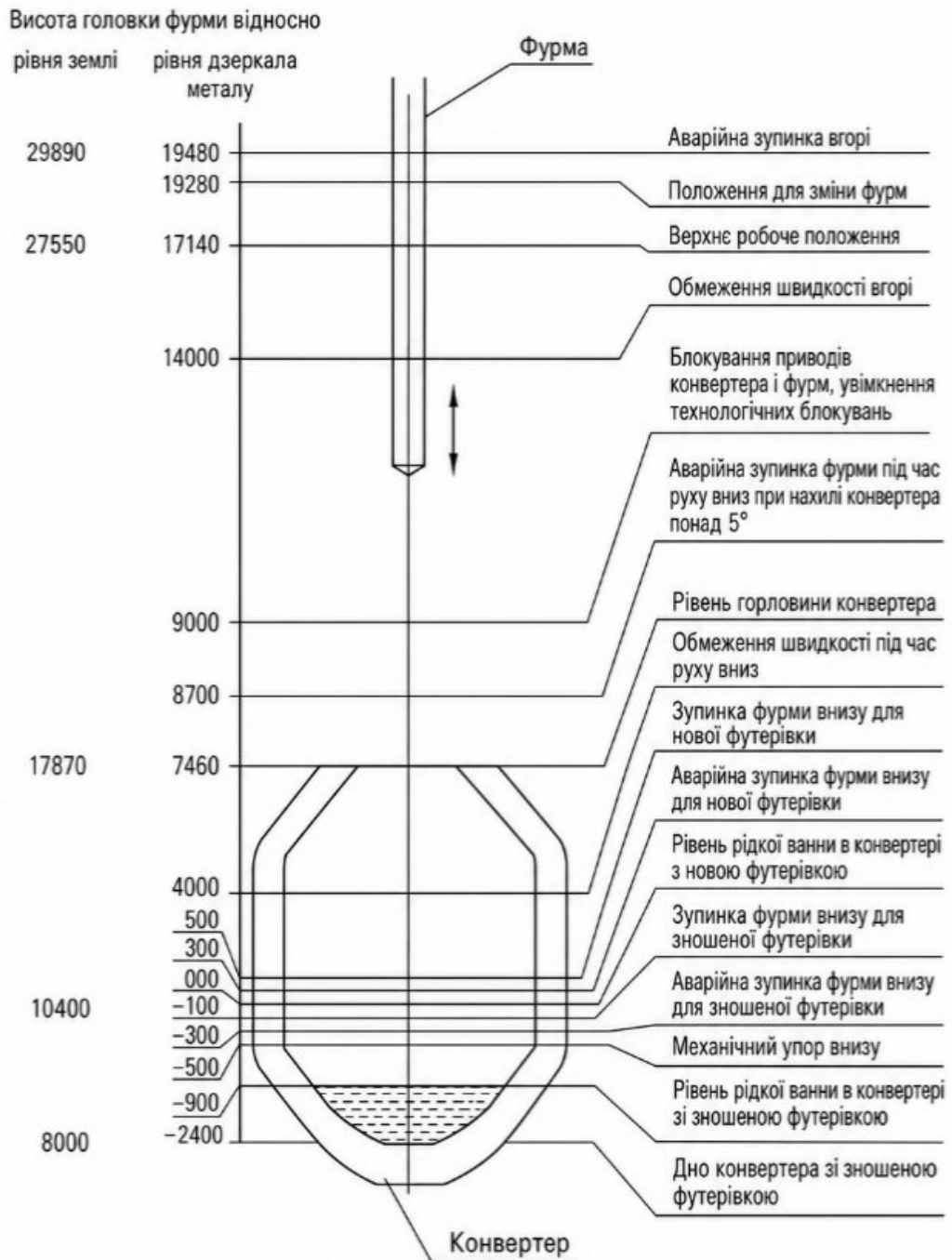



Рисунок 1.2 – Позичії фурми для узгодження блокувань

У нормальному режимі під час роботи основного привода для вимірювання висоти підйому фурм ПЛК використовує сигнали як від командоапаратів, так і від кодових датчиків; при цьому сигнали від командоапаратів постійно порівнюються із сигналами від кодових датчиків [9, 10].

У випадку невідповідності зазначених сигналів відповідна інформація виводиться на панель оператора 15OP1 або 25OP1 [9].

Аварійні кінцеві вимикачі крайнього верхнього положення каретки використовуються як дублювальні у разі несправності основного блока



датчиків [4,5]. Важіль цього вимикача взаємодіє з лінійкою, встановленою безпосередньо на каретці фурми.

Тензодатчики необхідні для вимірювання навантаження на канати підйомної лебідки [11]. Аналогові сигнали, що генеруються цими датчиками, надходять на адаптери зв'язку 1A2, 2A2 і передаються в ПЛК для подальшої індикації розрахованих навантажень на панелях оператора 15OP1, 25OP1 [9].

Датчики аварійного ослаблення канатів використовуються як елемент аварійного вимкнення та діагностики механічної частини приводів фурм [4,11].

У нормальному режимі під час роботи основного привода для вимірювання навантаження на канати підйомної лебідки ПЛК використовує сигнали як від тензодатчиків, так і від датчиків аварійного ослаблення канатів. При цьому сигнали від тензодатчиків постійно порівнюються із сигналами від датчиків аварійного ослаблення канатів [9].

У випадку невідповідності зазначених сигналів відповідна інформація виводиться на панель оператора 15OP1 або 25OP1 [9]. Також можливе вимкнення несправного датчика із системи керування за допомогою перемикача 11SA3, 21SA3 [9].

Центробіжне реле швидкості подає команду на аварійне гальмування привода у разі збільшення його швидкості понад допустиму [4,5].

Характеристики привода.

Швидкості підйому-опускання фурми, м/с [7,8,11]:

- ~ основна 0,543 м/с;
- ~ знижена 0,2 м/с;
- ~ мінімальна 0,05 м/с;
- ~ аварійна 0,081 м/с.

Час розгальмовування при нормальній роботі основного привода - 1,0 с [7].

Час розгальмовування аварійного привода - 1,8 с [7].

Довжина шляху переміщення фурми, мм [11]:

- ~ повний шлях  $19720 \pm 50$  мм;
- ~ робочий шлях  $17400 \pm 30$  мм.


Точність зупинки в позиціях над конвертером і у верхньому положенні – 50 мм [7,11].

На рис. 1.2 за текстом значення позначок і шляхів переміщення є попередніми та уточнюються за фактичними значеннями після монтажу МПК [11].

Склад.

Електрообладнання МПК складається з [7,8,11]:

- електрообладнання, встановленого на механізмах;
  - загальних засобів керування;
  - засобів керування основними електроприводами фурм.
- Електрообладнання, встановлене на механізмах.



Це електрообладнання розташоване на платформі, де встановлені лебідки підйому, силові редуктори та кінематичні редуктори для датчиків [11]. Розташування електрообладнання наведено на складальному кресленні.

Основні двигуни механізму підйому фурми 11М1 і 21М1 типу Д816 У2 - постійного струму, краново-металургійної серії, повністю закриті, невентильовані, незалежного збудження, напруга - 440 В, ізоляція класу Н, перевантажувальна здатність - 2,25 від номінального струму [6,7,11]. Потужність у режимі S2 (60 хв) - 115 кВт, струм - 288 А, частота обертання – 500 об/хв; при ПВ = 25 % – 97 кВт, струм – 240 А, частота обертання – 535 об/хв [6,11].

Двигуни привода аварійного підйому фурми 12М1 і 22М1 типу Д31 У2 – постійного струму, краново-металургійної серії, повністю закриті, невентильовані, напруга – 220 В, ізоляція класу Н, перевантажувальна здатність – 2,8 від номінального струму. Потужність – 12 кВт у режимі S2 (60 хв), струм – 64 А, частота обертання – 1360 об/хв [6,11].

Котушки електромагнітних гальм постійного струму головного привода типу ТКП-600 (11УВ1, 11УВ2, 21УВ1, 21УВ2) – 4 шт. [7,11].

Електромагніти гальм постійного струму привода аварійного підйому типу МП201 У2 (12У1, 21У1) – 2 шт. [7,11].

Командоапарати кулачкові типу 1ВМН-899-В3/5 IP65 (11SQL1, 21SQL1) – 2 шт. [5,11].

Реле максимальних обертів типу РМН 7011-У3 (1SR, 2SR) – 2 шт. [11].

Кінцеві вимикачі – важіль із роликком – крайнього верхнього положення каретки типу ПП 743 У2 (11SQ1, 21SQ1) – 2 шт. [5,11].

Кінцеві вимикачі ослаблення канатів типу ВП 6РЕ23Б (11SQ2, 11SQ3, 21SQ2, 21SQ3) – 4 шт [11].

Тензодатчики RTN 0.01/10 t – 2 шт [11].

Кодові датчики CE-65-M Profibus – 2 шт [11].

Клемні шафи (11КШ1, 21КШ1) – 2 шт [11].


### **1.3 Робота механізму руху кисневої фурми**

Роботи електрообладнання першої та другої фурми є аналогічним [11].

Для живлення якірного кола електродвигуна 1 використовується реверсивний тиристорний перетворювач Simoreg 6RA7085, 600А фірми Siemens [7]. Тиристорний перетворювач живиться від мережі 380 В через комутаційний дросель [2]. Схема випрямлення, що використовується в тиристорному перетворювачі, – мостова, реверсивна, з роздільним керуванням [7].

Для живлення обмотки збудження двигуна використовується збуджувач, вбудований у тиристорний перетворювач [7].

Комутація навантаження здійснюється на стороні постійного струму [12].



Система автоматичного регулювання головного електропривода переміщення побудована як однозонна двоконтурна система, з внутрішнім контуром регулювання струму та зовнішнім – швидкості, зі зворотним зв'язком за ЕДС двигуна [1,13].

Завдання швидкості надходить від програмованого контролера мережею Profibus DP [9,10].

Для аварійної зупинки фурми в крайньому верхньому положенні використовується кінцевий вимикач, у крайньому нижньому – кулачковий командоапарат, а для зупинки в робочих позиціях – кодовий датчик положення [5].

Для живлення гальм і кіл керування використовується цехова мережа =220 В [2,3].

Для живлення двигуна електропривода аварійного підйому та системи керування використовується цехова мережа =220 В [2].

Система керування електроприводом аварійного підйому побудована на релейно-контакторній апаратурі, без участі програмованого контролера в процесі керування, але з частковою його участю в процесі діагностики [11].

Загальна готовність привода аварійного підйому індикується за допомогою сигнальних ламп на пультах і шафі привода аварійного підйому 12ШУ1 [11].

Для надійного живлення електропривода аварійного підйому та його системи керування в проєкті передбачена система резервного живлення. Вона складається з акумуляторних батарей, зарядного пристрою та системи АВР, зібраних в одному комплектному пристрої [3,11].

У разі зникнення основного живлення електропривода аварійного підйому відбувається перемикання на резервне джерело [3]. Під час перемикання з основного джерела живлення на резервне джерело відбувається розбирання схеми привода аварійного підйому [11]. Для продовження роботи необхідно виконати повторний пуск привода: оператор повинен натиснути кнопку «ПУСК» на ЦПУ за наявності сигналу готовності привода аварійного підйому [11].

Під час роботи основного привода його керування, контроль і блокування з іншими механізмами та системами здійснюються за допомогою програмованого логічного контролера ПЛК [9]. Найважливіші блокування дублюються релейно-контакторною апаратурою [4].

Індикація робочих параметрів машини – положення фурми та навантаження на канати – здійснюється на панелях оператора 15А1, 25А1 [9].

Індикація додаткової робочої та діагностичної інформації здійснюється на панелі оператора 13А1 [9].

Різні датчики та пристрої керування об'єднані в єдину систему керування засобами мережі PROFIBUS DP [10], а саме:

- процесорний модуль 13А1.2 [9];
- повторювач мережі 13А2.1 [10];



- 1UZ Simoreg DC Master [7] ;
- станції віддаленого введення-виведення ET200 і панелі оператора 15OP1 на ЦПУ [9];
- адаптери зв'язку 1A2 і кодові датчики 1BN1 на платформі [11].

З метою підвищення надійності датчики та пристрої керування, що належать до різних фурм, утворюють дві незалежні одна від одної мережі PROFIBUS [10].

Загальна для обох фурм панель оператора OP270 (13OP1) підключена до процесорних модулів через мережу MPI [9] .

Керування приводами фурм можливе з ЦПУ, МПУ (16ПУ), а також в автоматичному режимі від АСУ цеху [11] .

Привід фурми має два режими керування: аварійний і основний – залежно від того, який привід перебуває в роботі [11]. Вибір режиму керування, а також вибір робочої фурми здійснюється перемикачем 5SA2, розташованим на ЦПУ [11].

В основному режимі завдання напрямку та швидкості руху робочої фурми здійснюється за допомогою командоконтролера – джойстика 15SA1, встановленого на ЦПУ [11] .

В аварійному режимі вмикання привода фурми на підйом і вимкнення здійснюється оператором також із ЦПУ [11].

В основному режимі діють усі технологічні блокування [4]. Перелік технологічних блокувань у різних режимах роботи МПК наведено в [11].

Схеми живлення та керування головними приводами фурм і аварійного підйому виконані з урахуванням можливості незалежної роботи кожного привода [5,11], тобто за будь-яких несправностей і вимкнення шаф керування першої фурми зберігається повна працездатність другої. Це саме стосується й аварійних приводів підйому [11].

Перелік внутрішніх блокувань [4].

Вимкнення лінійного контактора 11KM1 відбувається при вимкненні проміжного реле 11KM01 [11].

Вимкнення проміжного реле 11KM01 відбувається у таких випадках [11]:

- ~ натиснута одна з кнопок аварійного зупину: на шафі з тиристорним перетворювачем 11ШУ1 або центральному пульті керування 15ПУ;

- ~ аварійне верхнє положення фурми;

- ~ аварійне нижнє положення;

- ~ спрацювання центробіжного вимикача;

- ~ вимкнення реле при виникненні аварійних ситуацій, що обробляються програмованим контролером, а саме:

- ~ вимкнення автоматичних вимикачів, блок-контакти яких підключені до входів модуля, див. схему електричну принципову;

- ~ зникнення напруги живильної мережі 380 В – вимкнення реле напруги 11KV1;

- ~ вихід однієї з фурм із положення зміни у тому випадку, якщо інша фурма також не перебуває в положенні зміни;
- ~ опускання фурми нижче позначки 9000 у тому випадку, якщо конвертер не перебуває у вертикальному положенні;
- ~ одночасне ослаблення двох канатів;
- ~ переведення перемикача 5SA2 у нульове положення;
- ~ вимкнення ключа-бирки 5SA1.

Вимкнення проміжного реле 11KL1 відбувається при спрацюванні центробіжного реле швидкості 1SR і переході КТУ у стан керування о11 “Збій” [7] – зникнення “Готовність КТУ” – при ввімкненому контакторі гальм 11KM3.

Контактор 11KM1 не вмикається, якщо до його ввімкнення на клеммах 1С, 1D КТУ присутня напруга, а також якщо КТУ не перебуває у стані керування о7 “Готовність до ввімкнення” [7]– відсутній сигнал на клемі 52 (46) КТУ.

Опис роботи схеми керування основним приводом [11].

Нижче наведено опис роботи схеми керування основним приводом першої фурми; схема керування основним приводом другої фурми працює аналогічно [11].

У вихідному стані в шафах:

- ~ у 11ШУ1 увімкнені автоматичні вимикачі 11QF1, 11SF1–11SF6;
- ~ у 13ШК1 увімкнені автоматичні вимикачі 11SF1–11SF9;
- ~ у 12ШУ1 увімкнені автоматичні вимикачі 12QF1, 11SF1–11SF2;
- ~ у ШЗУ1 увімкнені автоматичні вимикачі 1QF1, 1QF2, 1QF3, 3SF1;
- ~ у 11КШ1 увімкнений автоматичний вимикач 1SF5;
- ~ сигнали від блок-контактів подаються на входи модулів 13А1.4–13А1.6;

органи керування перебувають у положенні, необхідному для ведення плавки;

- ~ ключ-бирка 5SA1 на ЦПУ увімкнена;
- ~ положення контактів командоапаратів, кінцевих вимикачів і блокувальних реле відповідає справному стану механізмів і нормальним умовам для початку плавки.


Після подачі живлення повинні ввімкнутися:

- 1) реле наявності напруги 11KV1 [2];
- 2) лампа наявності напруги 11HL1 “~380 В Ввод Вкл” [11];
- 3) процесор ПЛК починає виконувати програму керування та вмикає [9]:

проміжне реле 1KM01, якщо немає умов для аварійного вимкнення, викладених у пункті 1.4.6.2, і КТУ перебуває у стані керування о7 “Готовність до ввімкнення” / “Готовність КТУ”;

- ~ реле ввімкнення вентилятора КТУ 1KM5;
- ~ лампу 1HL3 “Готовність перетворювача”.

Збирання схеми – увімкнення лінійного контактора 11KM1 [11].



Для збирання схеми, тобто ввімкнення контактора 11KM1, необхідно натиснути кнопку 11SB2-HL2 і утримувати її протягом 2–3 с [11].

При цьому система виконує такі дії у наведеній нижче послідовності [9,11]:

1) контактна група кнопки 11SB2-HL2 подає сигнал на клему 7 модуля 13A1.4;

2) за цим сигналом програма ПЛК перевіряє положення контактів командоапаратів, кінцевих вимикачів і блокувальних реле, яке має відповідати справному стану механізмів і нормальним умовам для початку плавки;

3) якщо умова ввімкнення контактора 11KM1 виконується, за винятком наявності струму збудження, то ПЛК подає на клему 37 (36 ??) КТУ сигнал на ввімкнення струму збудження;

4) після появи струму збудження ПЛК вмикає реле 11KM01; одночасно вмикаються контактори 11KM1 і 11KM2.

Увімкнення привода фурми [11].

Перед увімкненням привода фурми мають виконуватися такі умови [4,11]:

~ контактор 11KM1 повинен бути ввімкнений.

~ за допомогою перемикача 5SA1 має бути вибраний основний привід фурми;

~ рукоятка джойстика 15SA1 має перебувати в нульовому положенні.

Для ввімкнення привода фурми необхідно повернути її – рукоятку – у потрібне положення.

~ Для задання руху фурми вгору мають виконуватися такі умови:

~ робоча фурма має перебувати нижче положення зміни;

~ рукоятка джойстика 15SA1 перебуває в одному з двох положень “Вверх”;

не має бути подане завдання на рух фурми вниз.

~ При заданні напрямку руху вгору система виконує такі дії:

~ подається команда на розблокування регуляторів КТУ – сигнал від ПЛК на клему 38 і 37 КТУ;

~ подається команда на ввімкнення струму утримання;


~ при появі струму утримання вмикаються проміжні реле 13KL102 і 13KL103;

~ реле 13KL102 вмикає контактор гальм 11KM4;

~ реле 13KL103 вмикає контактор форсування гальм 11KM4; після закінчення 2–3 с реле 13KL103 вимикається, вимикаючи контактор форсування гальм 11KM4;

у котушках гальм 11YB1 і 11YB2 зростає струм, що контролюється реле мінімального струму 11KA1, і гальма розгальмовуються;

~ при спрацюванні реле 11KA1 знімаються сигнали з модуля 13A1.4 і 1-й вхід 2, а швидкість задається від положення рукоятки джойстика 15SA1.



Привід розганяється до заданої швидкості протягом часу, встановленого у формувачі характеристики розгону-гальмування КТУ [7]. На панелі оператора 15OP1 відображаються навантаження на канати, струм якоря, а також положення каретки з фурмою [9].

Для задання руху фурми вниз мають виконуватися такі умови:

- ~ робоча фурма має перебувати вище нижнього положення, не має бути ослаблення обох канатів одночасно;
- ~ якщо фурма перебуває нижче позначки 9000, необхідно, щоб конвертер перебував у вертикальному положенні;
- ~ якщо фурма перебуває нижче позначки 9000, то рух фурми вниз можливий лише за наявності сигналу готовності до продувки; у налагоджувальному режимі наявність цього сигналу не потрібна;
- ~ якщо фурма перебуває вище позначки 9000, то для руху вниз необхідне виконання лише перших двох умов;
- ~ рукоятка джойстика 15SA1 перебуває в одному з трьох положень “Вниз”;

не має бути подане завдання на рух фурми вгору.

При заданні напрямку руху вниз система виконує ті самі дії, що й під час руху вгору, за винятком того, що перед подачею команди на ввімкнення швидкості подається команда на реверс КТУ.

Зупинка фурми [11]. Для зупинки фурми необхідно повернути рукоятку контролера 15SA1 у нульове положення [11].

При цьому скасовується команда на ввімкнення швидкості, швидкість привода плавно зменшується до нуля відповідно до характеристики розгону-гальмування [1,13].

При досягненні нульової швидкості двигуна подається команда на вимкнення контактора гальм 11KM3 [11]. Протягом часу накладання гальм ( $t \leq 0,6$  с) фурма утримується двигуном, в якійній обмотці якого продовжує протікати струм утримання.

Коли гальма накладаються, скасовується команда на ввімкнення струму утримання.

Описаний вище процес гальмування є нормальним [12]. Фурма при цьому гальмується електродвигуном з віддачею накопиченої ним енергії в мережу [12], а гальма накладаються після зупинки привода.


Нормальне гальмування.

Процес нормального гальмування фурми здійснюється за таких умов:

- ~ встановлення рукоятки командоапарата 15SA1 у нуль;
- ~ досягнення фурмою верхнього робочого положення  $H = 17,140$  м;
- ~ досягнення фурмою верхнього граничного положення  $H = 19,280$  м;
- ~ досягнення фурмою нижнього граничного положення  $H = 0,500$  м;
- ~ під час руху вниз на рівні  $H = 9,000$  м, якщо конвертер повернутий на кут понад 5 град.;

при ослабленні обох канатів під час руху вниз.

Аварійний технологічний підйом [11].



У процесі продувки при знаходженні фурми нижче позначки 9000 у разі зникнення зовнішнього сигналу “ Клапана кисню відкрилися ” із витримкою часу близько 2 с формується команда на аварійний технологічний підйом фурми з конвертера, загоряється світловий сигнал 11HL5 на дверях шафи 11ШУ1, і привід фурми на максимальній – 2-й – швидкості підіймається з конвертера [11].

Зупинка фурми в будь-якій позиції всередині конвертера можлива шляхом натискання й утримання кнопки 5SB1.

Якщо оператор не втручається в процес аварійного технологічного підйому, фурма на повній швидкості підіймається до позначки 14000, потім її швидкість автоматично знижується до 0,2 м/с, і фурма зупиняється у верхньому робочому положенні.

Понижена швидкість [11].

Функція обмеження швидкості забезпечує понижену швидкість руху фурми вгору і вниз у зоні між позначкою 14000 та граничним верхнім положенням [13] - позначкою 19480, а також під час руху фурми вниз нижче позначки 4000.

Світлові сигнали [11].

Для контролю стану та справності приводів фурм схема керування оснащена необхідною кількістю світлових сигналів, установлених на головному пульті та на дверях щитів керування [5,11].

Аварійне гальмування [12].

Аварійне гальмування привода, на відміну від нормального, здійснюється без віддачі енергії в мережу шляхом накладання механічних гальм на вимкнений привід, що рухається, з одночасним замиканням кола динамічного гальмування двигуна [12].

Додаткові захисні функції [4,5].

У схемі привода також передбачено низку наведених нижче захисних функцій:

~ заборонено вибір привода першої фурми, якщо каретка другої не перебуває в положенні зміни;

~ заборонено вмикання привода першої фурми, якщо він не вибраний перемикачем 5SA2 або ввімкнений аварійний привід;

~ заборонено вмикання лінійного контактора 11KM1, якщо на його головному полюсі є напруга  $U \geq 40$  В;

~ при виборі головного привода першої або другої фурми автоматично вмикається вентилятор відповідного тиристорного перетворювача – контактор 11KM5;

~ при вмиканні привода здійснюється контроль часу пуску. Якщо за контрольний час привід не запусився, що контролюється спрацюванням реле мінімального струму гальм 11KA1, процес пуску зупиняється;

~ при будь-якій зупинці привода для його повторного пуску потрібно встановити рукоятку контролера 15SA1 у нульове положення, а потім повернути її у потрібному напрямку;

~ передбачено обхід – шунтування – верхнього аварійного кінцевого вимикача 11SQ1 і нижнього аварійного положення фурми за допомогою перемикача 11SA2 “Байпас”, встановленого у щиті керування з КТУ, для виведення привода фурми з верхнього крайнього положення;

~ передбачено виведення фурми із зони дії аварійних блокувань, таких як крайнє нижнє положення, опускання фурми нижче рівня 9000 мм при нахилі конвертера понад 5°, можливість обслуговування каретки фурми за допомогою ввімкнення аварійного привода відповідної фурми або, у разі виходу з ладу двигуна, КТЕ, ПЛК основного привода – за допомогою ввімкнення аварійного привода відповідної фурми;

~ передбачено дозвіл опускання фурми в конвертер без увімкнення енергоносіїв у позиції ключа-перемикача 11SA4 “Налагоджувальний режим”.

Опис роботи схеми керування аварійним приводом [11].

Для роботи аварійного привода необхідно ввімкнути всі автоматичні вимикачі шафи аварійного підйому 12ШУ1 і встановити перемикач 5SA2 на ЦПУ у положення “А” [11].

~ Мають бути замкнені такі контакти апаратів у нульовому колі:

~ кнопки “Отключение аварийного привода” 15SB1;

~ кінцевого вимикача “Останов в крайнем верхнем положении” 11SQ1;

~ теплового реле 12KK1;

~ контакти реле-повторювача 12KL15 у колі командоапарата 11SQL1.2, що розмикає коло в положенні зміни фурм.

При цьому на ЦПУ і дверях шафи 12ШУ1 мають горіти лампи 15HL1 “Готовність привода аварійного підйому” – ЦПУ і 12HL1 “Готовність” – 12ШУ1.


Увімкнення привода на підйом здійснюється короткочасним натисканням кнопки 15SB2-HL2 на ЦПУ [11]. При цьому вмикається і стає на самопідхоплення реле 12KM13, яке своїм контактом вмикає лінійний контактор 12KM1 за умови наявності збудження двигуна 12M1. Таким чином вмикається перший ступінь пуску.

При появі струму якоря та ввімкненні реле струму 12KA2 вмикається контактор гальма 12KM9, і привід розгальмовується [11].

Струм гальма контролюється реле 12KA4 [11], увімкнення якого подає команду на ввімкнення контакторів прискорення 12KM10, 12KM11 і 12KM12 з витримками часу, що визначаються налаштуванням реле часу 12KT12 і 12KT13.

Привід розганяється до швидкості 0,081 м/с і рухається вгору до досягнення положення зміни фурм, де зупиняється шляховим вимикачем 11SQL1.2.

За необхідності зупинки фурми в проміжному положенні необхідно натиснути кнопку 15SB1 на ЦПУ; схема розбереться і накладеться гальмо 12YB1.



У разі відмови роботи шляхового вимикача 11SQL1.2 привід буде зупинений у крайньому верхньому положенні кінцевим вимикачем 11SQ1.2.

Контроль роботи привода здійснюється за допомогою амперметра 12PA1 і вольтметра 12PV1 [6], установлених на дверях шафи 12ШУ1. Контроль досягнення положення зміни фурм здійснюється за допомогою світлових сигналів 15HL3 і 12HL1, установлених на ЦПУ і 12ШУ1.

Основним джерелом живлення аварійних приводів підйому фурм є цехова мережа  $=220$  В [2,3]. При загальному вимкненні електроенергії або вимкненні напруги  $=220$  В аварійний підйом фурми може бути здійснений від шафи акумуляторних батарей і зарядного пристрою ШЗУ1 [11].

У вихідному стані, за наявності напруги цехової мережі  $=220$  В і зібраної схеми живлення, увімкнені контактор 3KM01 і реле часу 3KT01. При цьому котушка головного контактора 3KM1 знеструмлена. Через нормально замкнутий головний контакт контактора 3KM1 і автоматичний вимикач 1QF1 напруга живлення надходить на верхні губки ввідного автоматичного вимикача 12QF1 у шафі 12ШУ1. При зникненні основного живлення відбувається перемикання на батарею акумуляторів – отримує живлення 3KM2 і, відповідно, 3KM1.

За наявності напруги цехової мережі відбувається постійний заряд акумуляторних батарей від зарядного пристрою ЗА1 [11]. При зникненні основної напруги та підключенні навантаження до акумуляторної батареї відбувається автоматичне вимкнення зарядного пристрою – блок-контакт контактора 3KM01.

Збій зарядного пристрою передається у вигляді дискретного сигналу в контролер – реле 3KL1. Лампа 3HL1 сигналізує про наявність живлення зарядного пристрою, 3HL2 сигналізує про те, що живлення здійснюється від акумуляторних батарей.

Після відновлення напруги цехової мережі відбувається автоматичне повернення схеми у початковий стан [11].

#### **1.4. Налагодження роботи та динамічні показники.**

Для проведення пробних пусків двигунів необхідно виконати такі роботи [1,3,6,12]:

у вимкненому двигуні налаштовуються регулятори струму якоря та збудження; програма завдання струму утримання і програма контролю струму утримання [1,13];

налагоджується схема завдання швидкості та зворотного зв'язку за ЕРС якоря [1,7,13];

попередньо налаштовуються глухо-загальмовані режими привода [12,13];

при підключених гальмах здійснюються пробні пуски двигунів з від'єднаними редукторами і визначається їхній напрям обертання [3,5];

після цього перетворювач вимикається від перевищення напруги, короткочасно загальмовується двигун [7,8];

~ здійснюється прокручування двигунів у холостому режимі на різних швидкостях і напрямках обертання [6,12];

~ здійснюється прокручування двигунів, з'єднаних із редуктором і канатним барабаном; перевіряється хід привода [11,12];

~ виконується перевірка дії реле максимальних обертів 1SR, 2SR [2, 3];

~ виконується налаштування і перевірка двигуна аварійного підйому [11]:

а) перевіряється цілісність обмотки, справність опору 1R11, 2R11, установлення номінального збудження двигуна [ 6,11];

б) підключається якірне коло двигуна і здійснюються пробні пуски [3,5].

Одночасно виконується перевірка механічної частини привода [12].

Для цього двигуни від'єднуються від редукторів лебідки привода, перевіряється стан канатів і подальша наладка здійснюється рухом каретки [11,12]. При цьому навантаження привода не перевищує 20 % номінальної потужності [6].

На цьому етапі повторно перевіряють і за необхідності налаштовують регулятори струму ЕДС і швидкісні режими на малій та середній швидкості [1,13]. Ці роботи виконують під час підйому каретки фурми на висоту не більше 3 м від механічного упора [11] .

Після цього послідовно виконуються такі роботи [3,12]:

~ на малій швидкості каретка фурми підіймається у верхнє положення з контролем механічної частини машини; перевіряється відсутність механічного заклинювання каретки в напрямній [11,12];

~ перевіряється відповідність положення фурми та встановлюються стрілки сельсина в положення, що відповідає позначкам положення головки фурми відносно рівня металу, див. рис. 1.2 [11];

~ налаштовується робота верхнього аварійного вимикача SQ1 [2,5];

~ на малій швидкості каретка опускається вниз і налаштовується робота нижнього аварійного вимикача SQL2 [2,5].

~ під час руху каретки вгору послідовно налаштовуються кулачки командоапаратів відповідно до діаграми їх роботи [11];

~ при досягненні фурмою положення зміни перевіряється верхній кінцевий вимикач і під час руху фурми вниз перевіряється його дія [3,5];

~ перевіряється робота датчиків натягнення канатів SQ2, SQ3 установкою каретки на механічний упор [11];

~ перевіряється робота привода фурми при дистанційному керуванні на різних швидкостях і в різних режимах [1,9];

~ перевіряється дія блокувань привода фурми з приводом повороту конвертера [11] ;

~ перевіряється дія взаємних блокувань між двома фурмами [11] ;

~ перевіряються режими роботи аварійного гальмування з динамічним гальмуванням і без нього [7,12];

каретка встановлюється в нижнє положення, і виконуються пробні пуски аварійного привода [11];

верхня гілка каретки перевіряється роботою кулачкового командоапарата SQL2; у режимі нормальної зупинки кінцевий вимикач SQ1.2 аварійної зупинки аварійного привода [11].

На наступному етапі навішується фурма, під'єднуються вода, кисень, рукави та здійснюється центрування фурм по кесону [11].

Після цього фурма заповнюється водою і здійснюється налагодження приводів з ~70 % навантаженням [12]. При цьому:

остаточно встановлюється струм утримання на рівні 60–80 % струму підйому фурми [1,13];

остаточно налаштовується регулятор ЕДС і уставки завдання швидкості за ступенями командоконтролера [1,7];

перевіряються режими роботи нормальної та аварійної зупинки, динамічного гальмування [7,12];

виконується осцилографування привода часовими інтервалами ~10 с у кожному режимі. Установлюються швидкість і гальмівні часи для руху вгору та вниз при різних значеннях швидкості [1,12];

остаточно налаштовуються пускові режими аварійного привода спільно з роботою гальм і дією струму утримання [11];

перевіряється робота головного та аварійного привода фурми при дистанційному керуванні, у різних режимах і швидкостях [9,11].

Типові осцилограми привода фурми для руху вгору та вниз наведені на рис. 5.1, рис. 5.2 [1,12], де:

$t_0$  – момент повороту рукоятки командоконтролера;

$t_1$  – увімкнення контактора гальм;

$t_2$  – розгальмовування привода і початок розгону;

$t_3$  – закінчення розгону привода, перехід на встановлений рух;

$t_4$  – закінчення формування гальм;

$t_5$  – поворот рукоятки командоконтролера в нуль, початок гальмування привода;

$t_6$  – кінець гальмування привода;

$t_7$  – вимкнення контактора гальм.

$t_8$  – накладання механічних гальм;

$t_9$  – вимкнення струму утримання;

$t_{10}$  – вимкнення регуляторів тиристорного перетворювача;

$t_{11}$  – струм утримання двигуна;

$t_{12}$  – пусковий струм;

$t_3$  – струм сталого режиму підйому;

$t_4$  – гальмівний струм;

$I_{ф. г}$  – струм форсування гальм;

$I_{у. т.}$  – струм утримання гальм.

Типові значення наведених величин для привода фурми з двигуном типу Д814, гальмами ТКП-600, цифровим тиристорним перетворювачем



якірного кола та програмованим контролером для керування наведені нижче [7,11, 12] :

$t_2-t_0 \sim 0,5$  с – сумарна затримка пуску привода;

$t_3-t_2 \sim 1,0$  с – час розгону привода до повної швидкості;

$t_4-t_3 \sim 0,5$  с – час дії привода з повною швидкістю до нуля;

$t_6-t_5 \sim 1,0$  с – час затримки накладання механічних гальм після повної зупинки привода;

$t_{10}-t_8 \sim 1,0$  с – час затримки вимкнення тиристорного перетворювача після накладання механічних гальм;

$t_9-t_5 \sim 2,0$  с – час утримання після вимкнення завдання на швидкість;

$I_2 \sim 140$  А – розрахункове значення без урахування маси настилу;

$I_1 \sim 0,6-0,8 \times I_3$  – струм утримання встановлюється під час налагодження;

$I_2 \sim 300$  А – розрахункове значення без урахування маси настилу за час пуску  $t = 1,0$  с.

Графіки завдання швидкості, ЕРС двигуна та струм двигуна та гальмі при русі фурми вгору [1,12] показано на рисунку 1.3.

Режимні графіки при роботі аварійного привода.

Розрахункова осцилограма пуску аварійного привода наведена на рис. 1.4 [11], де:

$t_0$  – момент натискання кнопки SB10 і ввімкнення реле KV34, КП11 та контактора обмотки збудження KM7;

$t_1$  – втягування реле струму збудження KA3 і ввімкнення контактора попереднього ступеня KM7;

$t_2$  – втягування реле струму утримання KA2 і ввімкнення контактора гальма KM9;

$t_3$  – розгальмовування привода і початок руху;

$t_4$  – втягування реле струму гальма KA4, ввімкнення контактора першого ступеня KM10 і вимкнення живлення реле часу KT12;

$t_5$  – ввімкнення контактора другого ступеня KM11 і вимкнення живлення реле часу KT13;

$t_6$  – ввімкнення контактора третього ступеня KM12;

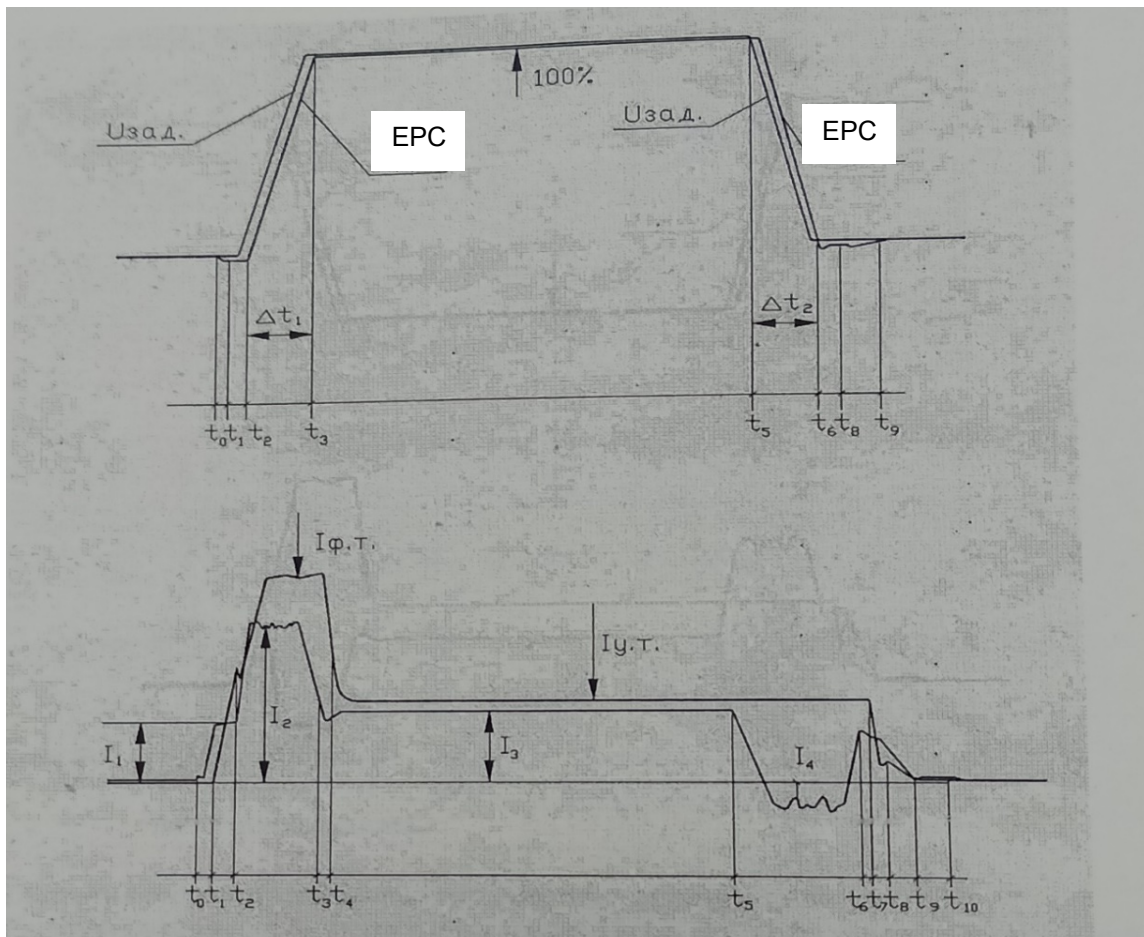
$t_7$  – вимкнення контакта реле часу KT11;

$I_v.$  – струм обмотки збудження;

$I_t.$  – струм гальма;

$I_я.$  – струм якірного кола;

$V$  – швидкість привода.



$I$  – струм основного двигуна,  $I_{т}$  – струм гальма

Рисунок 1.3 - Графіки завдання швидкості, ЕРС двигуна та струм двигуна та гальмі при русі фурми вгору [1,12]

Розрахункова осцилограма пуску аварійного привода [11] відображена на рисунку 1.5.

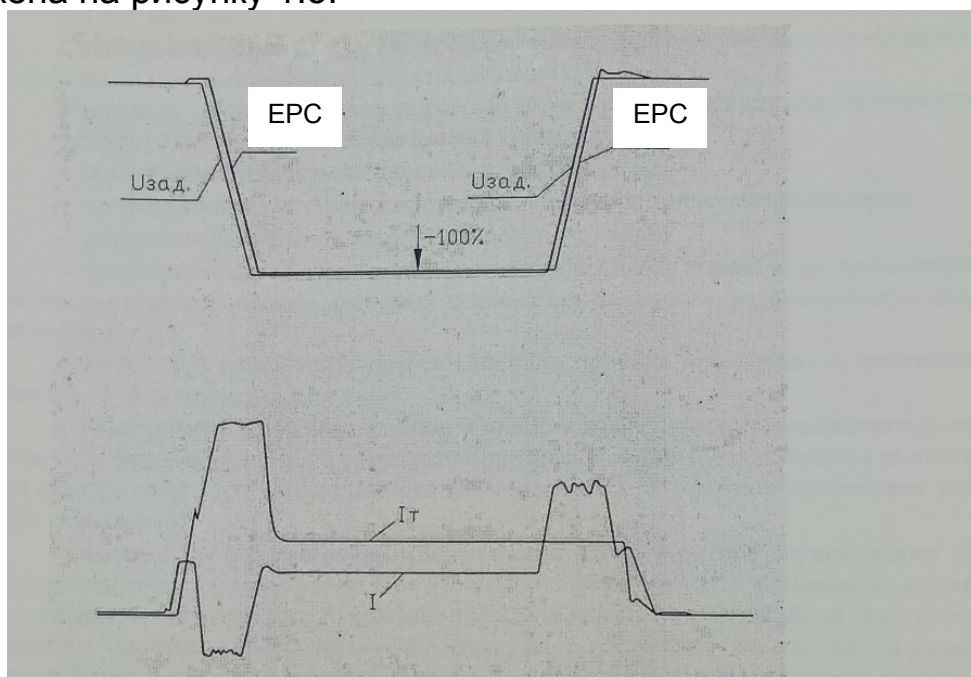


Рисунок 1.4 - Графіки завдання швидкості, ЕРС двигуна та струм двигуна та гальмі при русі фурми вниз [1,12]

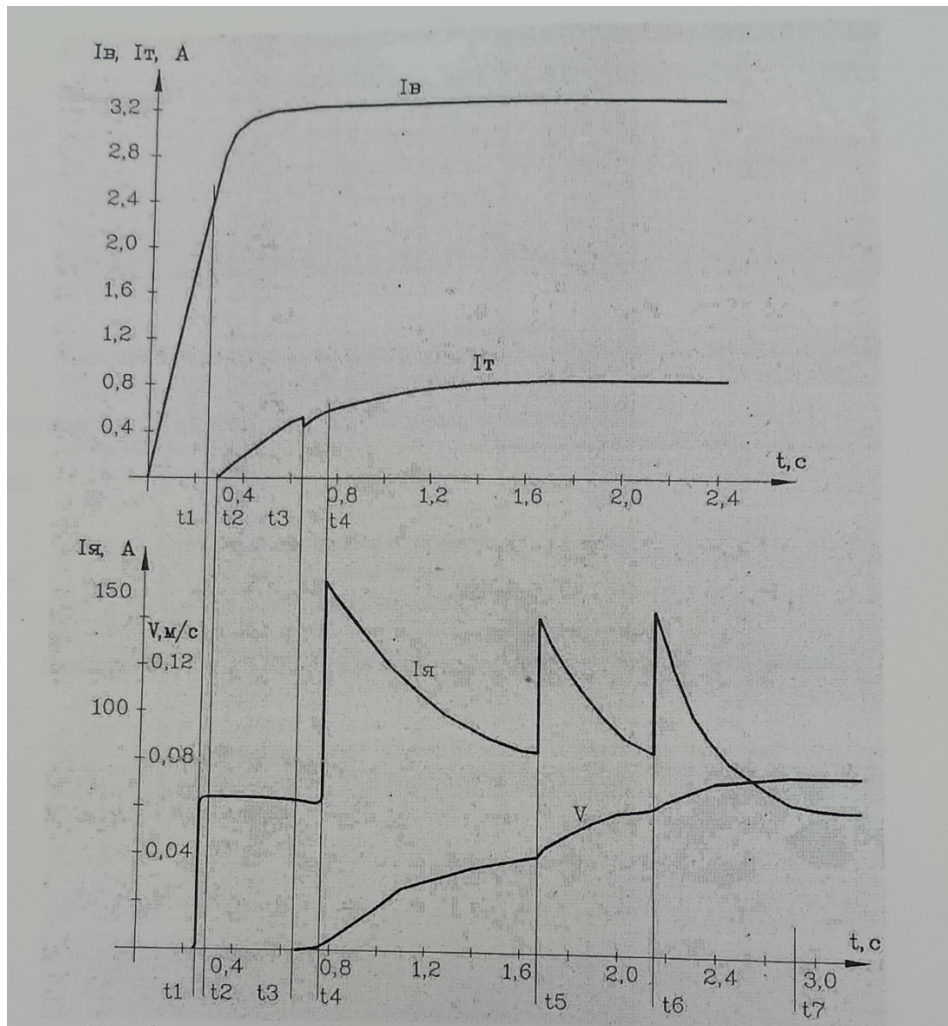


Рисунок 1.5 - Розрахункова осцилограма пуску аварійного привода [11]


### 1.5 Огляд існуючих систем електропривода і вибір системи керування для привода подачі кисневої фурми

Система керування асинхронними електродвигунами змінного струму з фазним ротором здійснюється кулачковими контролерами, що мають однотипну конструкцію і різні схеми включення (К-АДФ) [1].

Контролери здійснюють комутацію обмоток статора, а також комутацію ступенів опорів у колі ротора [12].

Усі контролери змінного струму дозволяють здійснювати регулювання швидкості електродвигунів з фазним ротором у діапазоні 2,5:1 за рахунок введення в коло ротора регульовальних ступіней опорів [1].

Основна область застосування силових кулачкових контролерів – керування найбільш простими електроприводами легкого і середнього



режимів роботи з діапазоном регулювання швидкості не більш 3:1 і невелике число включень у час [12].

Системи керування з використанням магнітних контролерів застосовуються для установок постійного (МК-Д) і змінного (МК-АДФ) струмів [1]. У цих системах використовуються різні пристрої регулювання швидкості з релейно-контакторними схемами включення обмоток електродвигунів і резисторів [13].

У складі магнітних контролерів для комутації кіл застосовуються контактори з електромагнітним приводом постійного і змінного струмів, електромагнітні реле напруги, години і струму, резистори, напівпровідникові випрямлячі й інші пристрої комутації і керування [13]. Операції по керуванню в цих системах здійснюються за допомогою командоконтролерів [1].


Вибір магнітних контролерів здійснюється з урахуванням роду струму живильної мережі і типу кранового механізму, потужності при заданих режимах крана, умов експлуатації, реалізацій необхідного діапазону регулювання швидкості [12].

Для розширення діапазону регулювання використовується тиристорний регулятор напруги [13]. Через тиристорний регулятор напруги одержує живлення обмотка статора асинхронного електродвигуна з фазним ротором (ТРН – АДФ) [1]. Ця система займає проміжне положення між МК-АДФ і системою з більш складним перетворювачами енергії [12].

При автоматичному регулюванні напруги зі зворотним зв'язком по швидкості система ТРН-АДФ дозволяє досягти регулювання швидкості в діапазоні 10:1, але при цьому в системі необхідно мати тахометричний контроль частоти обертання з усіма зв'язаними з цим незручностями (передача через тролєї малопотужних сигналів) [13].

При використанні в системах ТРН-АДФ тиристорних регуляторів напруги з'являється можливість безструмової комутації статорних обмоток електродвигунів, що значно підвищує термін служби і зносостійкості електроприводів. Основним недоліком системи є застосування тахометричного контролю швидкості, а також необхідність у висококваліфікованому обслуговуванні блоків регуляторів [12].





2) з безконтактним регулюванням струмів збудження за допомогою магнітних підсилювачів або тиристорних регуляторів [13] .

По способу живлення головного кола системи керування також мають два виконання:

з постійно замкнутим головним колом, коли якір електродвигуна постійно з'єднаний з якорем генератора [1];

система з головним колом, що комутується, коли від одного генератора по черзі можуть одержувати живлення кілька електродвигунів, що відключаються, і контакторів, які підключаються при рівності нуля напруги генератора [12].

Системи Г-Д володіють гарними регульовальними характеристиками, порівняно невисокою вартістю і високим рівнем терміну служби [13]. Однак при їх застосуванні необхідно розміщати в стиснутих приміщеннях обертові перетворюючі агрегати, що є основною умовою, що обмежує їхнє застосування [12] . Крім того, системи Г-Д вимагають регулярного обслуговування і підвищених витрат на профілактичний догляд [1].

Системи ТП-Д (рис.1.7) є аналогом системи Г-Д, де замість електромашинного перетворювача постійного струму використовується тиристорний пристрій, що представляє собою один чи два випрямляча з регульованою напругою за рахунок зміни кута відкриття тиристорів [13].

Оскільки регульованим випрямлячем може проводити струм тільки в одному напрямку, системи з ТП мають три виконання [1]:

з реверсивним випрямним пристроєм, у якому використовуються два зустрічно-включених випрямляча [12]. Якір електродвигуна одержує живлення від одного випрямляча і працює в режимі споживання енергії при куті регулювання до  $90^{\circ}$  чи в режимі рекуперації при протилежному напрямку обертання і куті регулювання понад  $90^{\circ}$ . При живленні від іншого випрямляча здійснюються також два режими, але при протилежному напрямку струму, завдяки чому забезпечується робота у всіх чотирьох квадрантах механічних характеристик;

з одним випрямним пристроєм, у якому для зміни напрямку струму використовується контактний реверс головного кола [13]. Таке переключення здійснюється автоматично без струму, як тільки напруга на якорі електродвигуна стає вище напруги, створюваного випрямлячем, або по команді оператора при закритому випрямлячі;

з одним випрямним пристроєм, що забезпечує роботу електродвигуна в режимі споживання енергії і рекуперації при зміні напрямку обертання (I і IV квадранти) [12]. Для забезпечення роботи в II і III квадрантах виробляється зміна напрямку струму в обмотці збудження електродвигуна.



потужності і вимагають кваліфікованого обслуговування [13]. Недоліком системи ТП-Д є погіршення ними якості електроенергії в мережі, особливо при малопотужних джерелах живлення [2]. При живленні від джерела потужністю менш 300% потужності електродвигуна виникаючі при цьому перешкоди можуть перевищити допустимий рівень [2].

Використання перетворювачів частоти (ТПЧ-АД) (рис. 1.8) дозволяє використовувати асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором і одержати широкий діапазон регулювання [13]. Використання систем векторного керування асинхронними двигунами дозволяє отримати діапазон регулювання 1:100 без великих складнощів, та має добрі масо-габаритні показники [1].

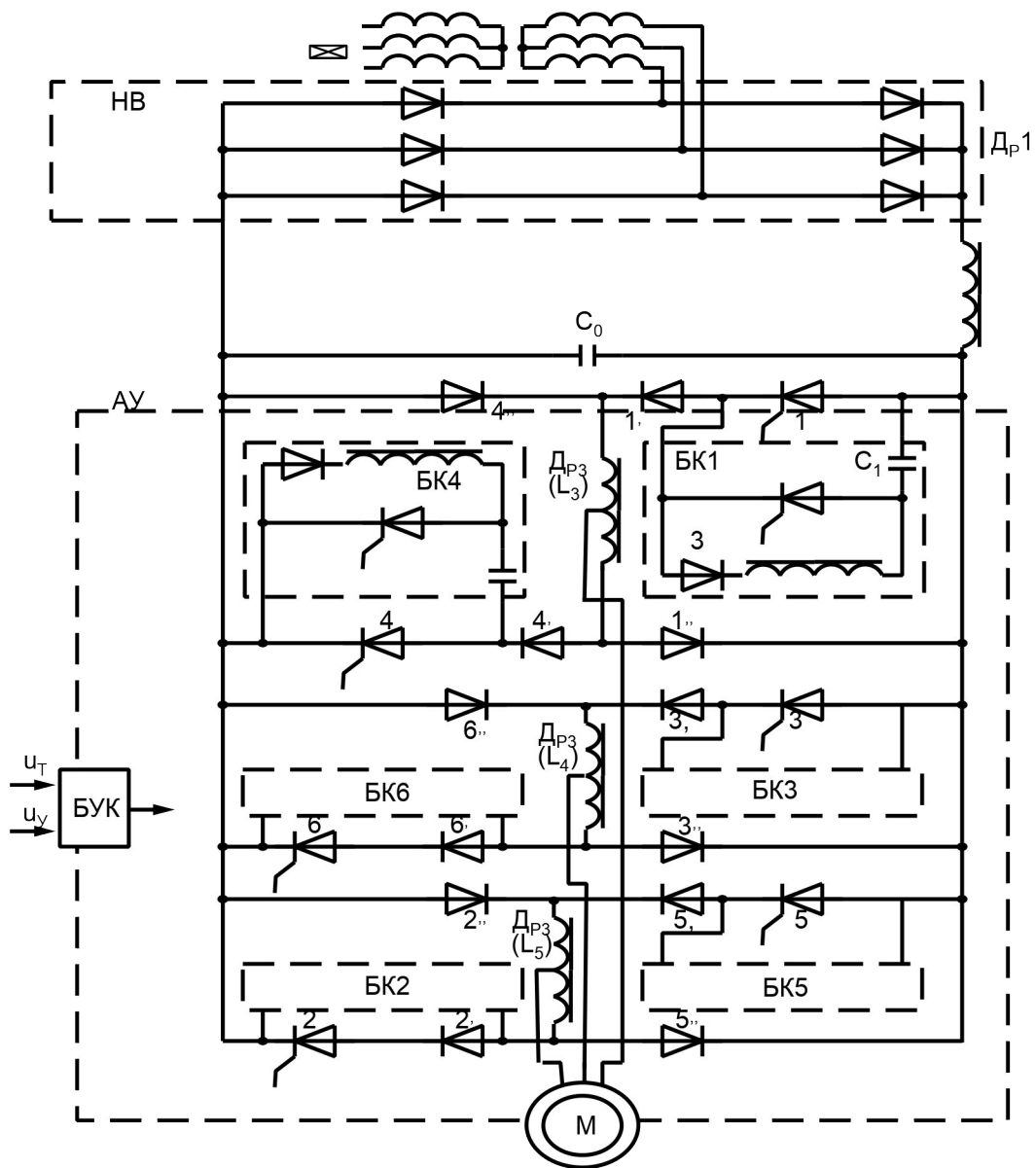



Рисунок 1.8 - Принципова схема ТПЧ-АД



При всіх загально відомих недоліках недоліках двигунів постійного струму в кваліфікаційній роботі пропонується залишити привід постійного струму [11], тому що:

- ~ заміна двигуна потребує значних витрат по узгодженню місця встановлення двигуна, що значно підвищить вартість модернізації [11];

- ~ переважувальна спроможність двигунів постійного струму значно вища ніж у асинхронних двигунів, тому для забезпечення необхідних моментів необхідно буде вибрати двигун більшої потужності ніж існуючий [6];

- ~ не треба модернізувати систему електроживлення механізму [2];

- ~ при не зміні механічної частини механізму можемо використати існуючі давачі, при необхідності з послідовною заміною на сучані, при чому місця встановлення залишаться без змін, що також є сприятливими умовами [11].

Як рішення з модернізації пропонується заміна тиристорного перетворювача застарілого знятого з виробництва, що в свою чергу знижує надійність виробництва, перетворювач SIMOREG 6RA7085 на сучасний SINAMICS DCM 6RA8085 [7,8]. Тим самим підвищується надійність та гнучкість системи керування, а також з'являється можливість інтеграції у сучасну автоматизовану систему керування на базі сучасних рішень Siemens [8, 9].

## 2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОДАЧІ КИСНЕВОЇ ФУРМИ

### 2.1 Перевірка потужності двигуна

Для виплавлення сталі в конвертері необхідно здійснювати продування компонентів плавки технічно чистим киснем. З цією метою були розроблені спеціальні машини для подачі кисню в конвертер. У процесі розвитку конвертерного способу виробництва сталі конструкції таких машин неодноразово змінювалися [28].

Проте, незважаючи на конструктивні відмінності, загальною вимогою до машин для подачі кисню є наявність двох незалежних фурм. Це необхідно для того, щоб у разі виходу з ладу однієї фурми її можна було швидко замінити іншою без значних втрат часу. Така вимога є особливо важливою в умовах швидкоплинного киснево-конвертерного процесу, оскільки дає змогу скоротити тривалість допоміжних операцій [28].

Стаціонарна машина для подачі кисню.

У конструкції стаціонарної машини для верхньої подачі кисню вертикальне переміщення фурми на визначеній ділянці поєднується з її горизонтальним рухом. Принципова схема, що демонструє будову та принцип роботи таких механізмів, наведена на рис. 2.1 [28].

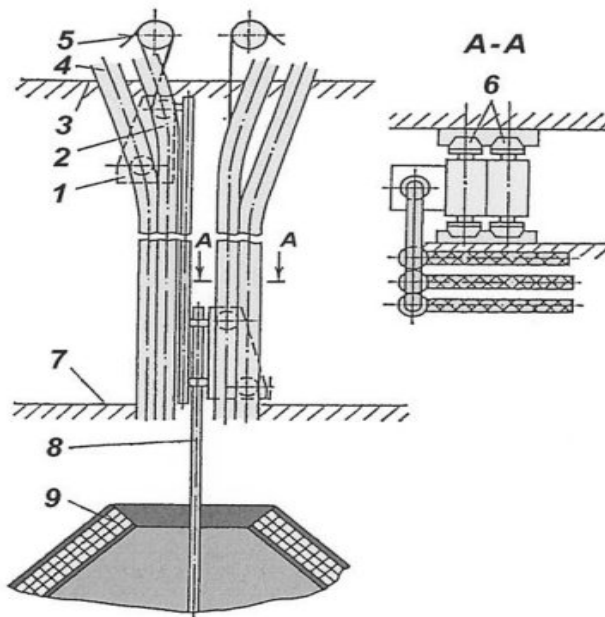


Рисунок 2.1- Принципова схема стаціонарної машини подачі кисню

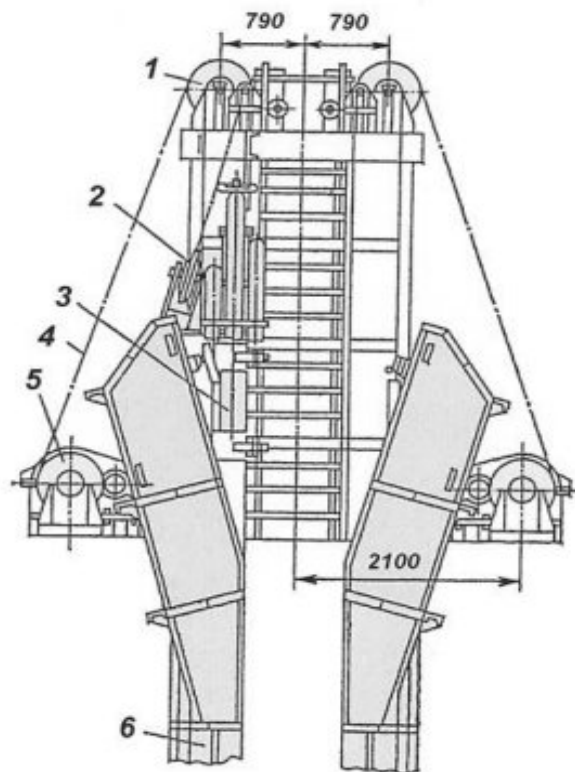
Каретка 1 оснащена двома парами ходових роликів 6, зміщених на різні відстані від осі фурми 8. Кожна пара роликів каретки розміщена на окремих напрямних 2 і 4, закріплених на металоконструкціях 3 і 7. Нижня пряма ділянка напрямних забезпечує рух фурми вздовж

вертикальної осі конвертера 9. У верхній частині профіль напрямних виконаний таким чином, що створює плоскопаралельне переміщення каретки, унаслідок чого фурми переміщуються як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках [28].

Заміну фурми, що вийшла з ладу, резервною здійснюють шляхом піднімання однієї каретки та опускання іншої [28].

Фурменні каретки переміщуються за допомогою двох окремих механізмів канатного типу. Кожний із них складається з лебідки, канатів, напрямних блоків та зрівнювального блока, встановленого на підвісці каретки [28].

Будову стаціонарної машини для подачі кисню наведено на рис. 2.2.




- 1 – напрямний блок; 2 – рухомий блок на каретці; 3 – фурменна каретка;  
4 – канат; 5 – лебідка; 6 – напрямні.

Рисунок 2.2 - Стаціонарна машина для подачі кисню

До переваг цієї машини належать менша металоємність порівняно з машинами інших типів, наявність лише двох механізмів переміщення фурм, відсутність перевірки або повторного підбирання шламу, а також різке зменшення вібрацій під дією струменя кисню завдяки верхньому та нижньому закріпленню напрямних [28].

Недоліками машини є необхідність встановлення двох напрямних для кожної каретки фурми та їх підвищене зношування на криволінійних ділянках [28].

Стаціонарна машина має низку переваг порівняно з більш поширеними пересувними двопозиційними машинами:



~ відсутність механізму пересування машини;  
~ каретки фурми обладнані уловлювачами, що унеможлиблює падіння  
~ каретки з фурмою в конвертер;  
~ наявність аварійних електроприводів для піднімання фурм у разі відсутності електроенергії;  
~ наявність стендів для кисневих фурм і торкрет-фурми, що дає змогу  
~ спростити роботи з під'єднання металорукавів ;  
~ використання в механізмі піднімання фурми каната як тягового органу [28].

Поряд із зазначеними перевагами машина має й певні недоліки. Механізм уловлювача фурменної каретки спрацьовує не лише у разі обриву каната, а й за умови послаблення його натягу, зокрема під час зняття фурми з каретки для заміни або при зачепленні настилом на фурмі фурменного вікна. Це може призвести до зриву різьби на осі верхнього балансира каретки [28].

У конструкції стаціонарної машини для верхньої подачі кисню вертикальне переміщення фурми на певній ділянці поєднується з її горизонтальним рухом.

Машина для подачі кисню, наведена на рис. 2.3, містить такі основні вузли та механізми:

- 1 – металоконструкція машини;
- 2 – напрямна, яка закріплюється по осі конвертера до металоконструкції цеху; по її доріжках переміщуються ролики правої та лівої кареток 5, 6;
- 7 – фурми кисневі, що являють собою три концентрично зварені між собою сталеві труби, які закінчуються наконечником із соплами; через них кисень вдувається в реакційну зону конвертера;
- 3,4 – механізми піднімання та опускання кисневих фурм і відведення їх у резервне положення;
- 9,10 – стенди для кисневих фурм, правий і лівий;

Напрямна машини складається з трьох частин, що являють собою зварні металоконструкції. Фланці кожної частини обробляють механічним способом, а взаємне положення частин фіксують штифтами.

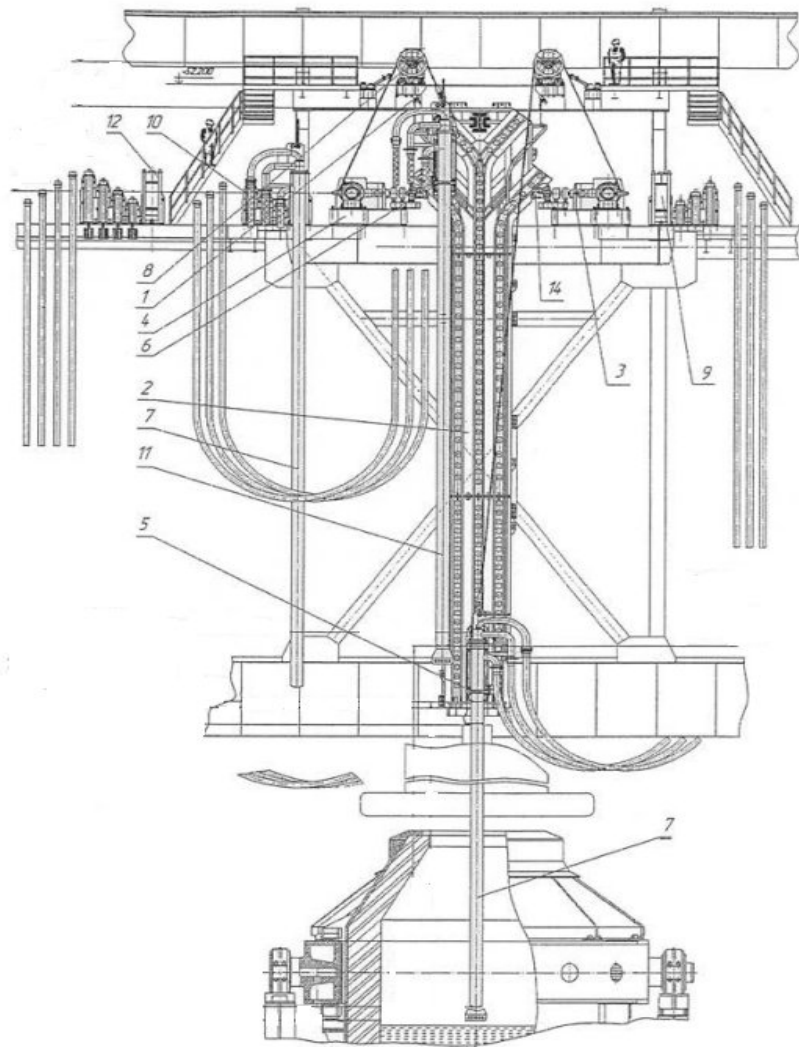


Рисунок 2.3 - Стационарна машина для подачі кисню

Бігові доріжки напрямної також проходять механічну обробку по всій довжині, включаючи криволінійні ділянки, після повного складання напрямної.

Напрямна оснащується кронштейнами та деталями кріплення для встановлення на металоконструкції цеху. Конструкція кріплення не перешкоджає вільному термічному видовженню напрямної [28].

Нижня частина напрямної, яка зазнає теплового впливу відхідних газів конвертера та дії настилю на фурмі, може бути замінена окремо, без демонтажу інших частин напрямної.

На нижньому торці напрямної встановлено упори, які додатково запобігають падінню фурменної каретки.

Каретка складається з металоконструкції, двох роликів балансирів, бокового та нижнього роликів, системи підвіски з уловлювачем, кронштейна для встановлення і хомута для кріплення фурми. Каретка переміщується за допомогою канатного механізму піднімання без застосування протизваги [28].

Фурменна каретка обладнана уловлювачем, який спрацьовує у разі обриву або послаблення натягу каната, що унеможлиблює падіння фурми в конвертер [28] .

У разі обриву або послаблення натягу каната пружина механізму уловлювача переміщує штангу уловлювача вниз. Штанга діє на важіль, який, повертаючись навколо своєї осі за допомогою канатної тяги, повертає кулачки, виводячи їх із зачеплення з напрямною. Робоча поверхня кулачків має криволінійну форму, що забезпечує їх самозатягування під час руху каретки вниз під дією сили тяжіння.

Недоліком уловлювача є те, що він спрацьовує не лише у разі обриву каната, а й при послабленні його натягу.

Каретка підвішена на двох канатах через сергу та підвіску, які забезпечують рівномірне навантаження канатів як під час прямолінійного, так і під час криволінійного переміщення каретки.

Заміна канатів виконується аналогічно до цієї операції на мостових кранах. Контроль стану канатів здійснюється без їх демонтажу.

У каретці фурма закріплюється хомутом, який притискається за допомогою клина. На кронштейні для встановлення фурми є «рухома» опора, переміщення якої дає змогу коригувати положення фурми у фурменному вікні.

Демонтаж каретки виконується фурменним краном. У резервному положенні каретку підвішують тросом мірної довжини на гак крана за проріз, розташований на одній осі з центром ваги, від'єднують від підвіски механізму піднімання та виводять із напрямної.

У разі заміни фурми, що вийшла з ладу, каретку з фурмою встановлюють у резервне положення та фіксують механічним упором для забезпечення безпечного виконання операції. З площадки, розташованої біля напрямної, петлю шлангового «крюка» накидають на гак мірного стропа, який підвішений на гак крана. Фурму знімають із каретки та переміщують у положення, в якому від неї від'єднують металорукави.

Машина оснащена двома приводами піднімання. Привід піднімання кожної фурми складається з канатного барабана; диференціального редуктора ( $i = 46$  – під час роботи в основному режимі;  $i = 94$  – під час роботи в аварійному режимі); електродвигуна Д-816; двох гальм ТКП-600 з гідравлічними штовхачами; з'єднувальних зубчастих муфт; командоапаратів і кодових датчиків. Більш повні дані наведені у табл. 2.1. [28]

Таблиці 2.1 - Технічні характеристики машини для подачі кисню

Найменування параметра	Величина параметра
1. Кількість фурм на машині, шт: кисневих	2
2. Тип приводу піднімання фурм	Електромеханічний канатний
3. Маса, що підіймається max, Н (кг)	147099,75 (15000)

Продовження таблиці 2.1

Найменування параметра	Величина параметра
Привід піднімання фурми	
1. Швидкість піднімання / опускання, м/с:	
номінальна	0,543
мінімальна	0,050
2. Діаметр барабана по осі каната, мм	60
3. Діаметр каната, мм	35,5
4. Розривне зусилля каната в цілому, Н (кг)	7722,74 (78750)
5. Кількість робочих канатів на барабані, шт	2
6. Електродвигун, тип	Д-816
7. Колодкове гальмо, тип	ТКП-600
8. Гальмівний момент, Нм	5000
9. Кількість гальм, шт	2
10. Редуктор, тип	Диференціальний
11. Крутний момент на тихохідному валу max, Нм	93000
12. Передаточне число:	
при роботі основного приводу	46
при роботі аварійного приводу	94

Кожний привід оснащений механізмом аварійного піднімання.

Для контролю швидкості піднімання та опускання фурм до валу електродвигуна через муфту під'єднано інкрементний датчик із відцентровим вимикачем [28].

Привід піднімання оснащений датчиками контролю послаблення натягу канатів. Датчики подають сигнал на вимкнення приводу у разі зависання фурми у фурменному вікні або каретки в напрямній під час їх опускання. Завдяки цьому зменшується динамічне навантаження при раптовому звільненні фурми або каретки [28].

Привід піднімання також обладнаний датчиками контролю величини навантаження на канати. Це унеможливорює обрив канатів і падіння фурми під час її піднімання, наприклад у разі недопустимо великого налипання настилю, тобто коли навантаження на привід перевищує 15000 кг.

На кожному приводі піднімання встановлено командоапарати для реалізації блокувань і кодові датчики для контролю положення фурми.

Перевірка потужності двигуна.

Статичної потужності при гальмівному спуску з вантажем:

$$P_{ст} = \frac{G \cdot V}{1000 \cdot \eta_0} \text{ кВт}, \quad (2.1)$$

де  $G$  - маса, що підіймається max, Н;

$V$  - швидкість руху фурми номінальна, м/с;

$\eta_0$  - ККД механізму.

$$P_{\text{ст}} = \frac{147099,75 \cdot 0,543}{1000 \cdot 0,82} = 97 \text{ кВт.}$$

Отримана величина співпадає з проектними даними.

Згідно проектних даних тривалість включення складає 25%.

Виконаємо перерахунок до стандартного ТВ 40%, що в довідникових даних електричних машин постійного струму [15].

$$P_{\text{ТВ40\%}} = P_{\text{ст}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ТВ}_{25\%}}{\text{ТВ}_{40\%}}} = 97 \cdot \sqrt{\frac{25}{40}} = 77 \text{ кВт.} \quad (2.2)$$

Згідно довідникових даних найближчий двигун, що відповідає потужності Д-816 рис. 2.4. [17]

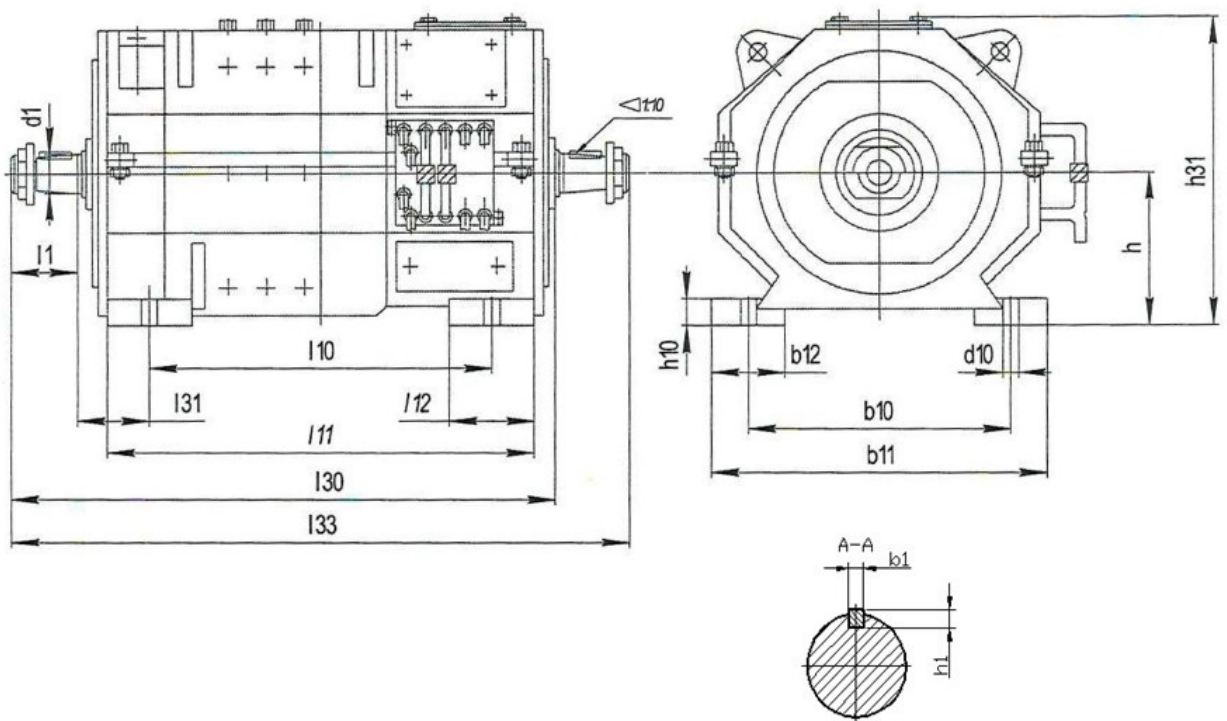


Рисунок 2.4 – Габаритні розміри двигуна Д-816

Перевантажувальна здатність по струму при ізоляції класу Н складає 2,25.

З огляду на інші режими роботи і для надійної роботи механізму вибираємо двигун серії Д-816 технічні данні наведені в табл. 2.2:

Таблиця 2.2 – Технічні данні двигуна Д-816

Найменування параметра	Величина параметра
Тип	Д-816
Потужність, кВт	70
Напруга, В	440
Струм, А	175
Номінальна швидкість обертання валу, об/хв	535
Тривалість включення, %	40
Опір якорного кола, Ом	0,0324
Момент інерції, кг×м <sup>2</sup>	16,25

Перевірка двигуна по моменту [15, 17].

$$M_H = 9,55 \cdot \frac{P_{дв}}{n} = 9,55 \cdot \frac{70000}{535} = 1249 \text{ Нм.} \quad (2.3)$$

Враховуючи перевантажувальну здатність двигуна максимальний момент крутний момент на тихохідному валу, що може розвивати двигун

$$M_{\max_{dv}} = 2,25 \cdot M_H \cdot i_{red} = 2,25 \cdot 1249 \cdot 46 = 129274 \text{ Нм.} \quad (2.4)$$

Максимальний момент крутний момент на тихохідному валу, що може розвивати двигун вище максимально необхідного. Висновок двигун задовольняє технологічним вимогам [15, 17].

## 2.2 Вибір силового трансформатора

Для електропривода, що працює в повторно-короткочасному режимі з частотними реверсами двигуна по технологічних умовах, пропонують вимоги забезпечення мінімально можливого часу протікання динамічних режимів і високого статизму. Цим вимогам задовольняє двокомплектна схема перетворювача з протипаралельним включенням [18, 27].

Напругою умовного холостого ходу тиристорного перетворювача:

$$E_{dc} = U_d + U_{cd} + U_{Tp} + U_k + U_{всп} + U, \quad (2.4)$$

де  $U_{da}=U_H=440$  В – середнє значення випрямної напруги на якорі електродвигуна;

$DU_{cd}=(0,005,0,01) U_{da}=0,0075 \cdot 440=3,3$  В – спадання напруги на активному опорі згладжувального дроселя;

$U_k=1$  В – класифікація спадання напруги на тиристорі середньої групи;

$U_0=(1,35,1,55) U_k=1,45 U_k=1,45$  В – напруга випрямлення ВАХ тиристора.

$$r_y = \frac{(0,2 \div 0,3) U_k}{I_{TH}} = \frac{0,25}{58,33} = 0,0043 \text{ Ом} \quad (2.5)$$

де  $r_y$  - динамічний опір тиристора;

$I_{TH}$  - струм через тиристор.

$$I_{TH} = \frac{I_H}{3}; \quad I_{TH} = \frac{175}{3} = 58,33 \text{ A} \quad (2.6)$$

де  $\Delta U_{Tr}$  - падіння напруги на активному опорі трансформатора.

$$\Delta U_{Tr} = (0,02 \div 0,03) U_{d\alpha} = 0,2 \cdot 440 = 9,2 \text{ В} .$$

$$\Delta U_k = A \frac{U_k}{100} U_{d\alpha}; \quad \Delta U_k = 0,5 \frac{5,5}{100} 440 = 12,1 \text{ В},$$

$$A = 0,5 - \text{для даного випадка, } U_k = (5 \div 7) \%$$

Спадання напруги з урахуванням коливання мережі змінного струму:

$$U = (0,050,1) U_d = 0,05440 = 23\text{В},$$

$$\Delta U_{Bcp} = 2 \frac{U_0 + r_y I_H}{3} = 2 \frac{1,45 + 0,0043 \cdot 175}{3} = 1,467 \text{ В},$$

$$E_{do} = 440 + 3,3 + 9,2 + 12,1 + 1,467 + 23 = 489,068 \text{ В},$$

де  $\Delta U_{Bcp}$  - середнє значення спадання напруги на тиристорі.

Напруга на вторинній обмотці силового трансформатора

$$U_{2л} = \frac{E_{do}}{1,35}; \quad U_{2л} = \frac{489,068}{1,35} = 362,27 \text{ В}.$$

$$U_{2ф} = \frac{E_{do}}{2,34}; \quad U_{2ф} = \frac{489,068}{2,34} = 217,849 \text{ В}.$$

Діюче значення струму вторинної обмотки трансформатора

$$I_2 = I_1 = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d; \quad (2.7)$$

$$I_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot 175 = 142,89 \text{ А}.$$

Вибираємо в даному випадку для гальванічної розв'язки роздільний трансформатор з напругою на двох сторонах 380 В.

Механізм підйому фурми належить до категорії важкого кранового обладнання з частими пусками, гальмуваннями та ризиком заклинювання.

Максимальний короткочасний струм двигуна ( $I_{max}$ ) з урахуванням перевантажувальної здатності  $\lambda = 2,25$ :

$$I_{max} = I_{nom} \cdot \lambda = 175 \text{ A} \cdot 2,25 = 393,75 \text{ A}.$$

Для живлення ДПС зазвичай використовується трифазна мостова схема випрямлення. Зв'язок між струмом випрямленого постійного струму  $I_d$  та діючим струмом змінного струму на вході перетворювача ( $I_2$ ) визначається співвідношенням:

$$I_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot I_d \approx 0,816 \cdot I_d \quad (2.8)$$

Номінальний струм вторинної обмотки:

$$I_{2nom} = 0,816 \cdot 175 \text{ A} \approx 142,8 \text{ A}$$

Максимальний (піковий) струм вторинної обмотки:

$$I_{2max} = 0,816 \cdot 393,75 \text{ A} \approx 321,3 \text{ A}$$

Визначення необхідної напруги вторинної обмотки.

Для забезпечення номінальної напруги ДПС ( $U_d = 440 \text{ В}$ ) з урахуванням падіння напруги в тиристорах, обмотках та динамічного запасу на регулювання (зазвичай береться коефіцієнт  $k_u \approx 0,85 \dots 0,95$  для схеми випрямлення), лінійна напруга вторинної обмотки трансформатора  $U_2$  розраховується за формулою:

$$U_2 = \frac{U_d}{1,35 \cdot \cos(\alpha_{min})} \cdot k_{запасу} \quad (2.9)$$

Для надійної роботи приводу підйому фурми в металургії стандартно приймають лінійну напругу вторинної обмотки  $U_2 = 380 \text{ В}$  або  $400 \text{ В}$  (це дозволяє тиристорному випрямлячу впевнено видавати  $440 \text{ В}$  постійного струму навіть при просадках мережевої напруги). Прийmemo розрахункове  $U_2 = 400 \text{ В}$ .

Розрахунок необхідної потужності трансформатора.

Повна конструктивна потужність узгоджувального трансформатора  $S_{тр}$  для трифазної мостової схеми перевищує корисну потужність постійного струму і розраховується як:

$$S_{тр} = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_{2nom} \quad (2.10)$$
$$S_{тр} = 1,732 \cdot 400 \text{ В} \cdot 142,8 \text{ А} \approx 98900 \text{ ВА} \approx 99 \text{ кВА}$$

Перевірка за перевантажувальною здатністю трансформатора.

Узгоджувальний трансформатор повинен без шкоди для себе пропускати піковий струм перевантаження двигуна. Згідно з ГОСТ/ДСТУ, сухі та масляні трансформатори металургійного виконання допускають короткочасне перевантаження за струмом в 1,5 раза протягом 120 секунд.

$$S_{\text{доп.пік}} = S_{\text{ном.тр}} \cdot 1,5 \quad (2.11)$$

Максимальна пікова потужність, яка вимагається приводом при заклинюванні або різкому підйомі фурми:

$$S_{\text{пік}} = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_{2\text{max}} = 1,732 \cdot 400 \text{ В} \cdot 321,3 \text{ А} \approx 222,6 \text{ кВА} \quad (2.12)$$

Звідси мінімально допустима номінальна потужність трансформатора за умовою перевантаження:

$$S_{\text{ном.тр}} \geq \frac{S_{\text{пік}}}{1,5} = \frac{222,6 \text{ кВА}}{1,5} \approx 148,4 \text{ кВА} \quad (2.13)$$

З урахуванням важкого режиму роботи механізму підйому кисневої фурми (категорія важкого режиму з повторно-короткочасним навантаженням) та необхідності мати запас на округлення, вибирається стандартний трансформатор потужністю 160 кВА.

Вибираємо трансформатор ТСЗ-160/0,4 табл.2.3.

Таблиця 2.3 - Технічними параметрами для узгоджувального сухого трансформатора ТСЗ-160/0,4:

Параметр трансформатора	Одиниця виміру	Значення
Тип (маркування)	–	ТСЗ-160/0,4
Номінальна потужність	кВА	160
Номінальна напруга первинної обмотки (ВН)	В	380
Номінальна напруга вторинної обмотки (НН)	В	400
Номінальний струм первинної обмотки $I_{1\text{ном}}$	А	243
Номінальний струм вторинної обмотки $I_{2\text{ном}}$	А	231

Продовження таблиці 2.3

Параметр трансформатора	Одиниця	Значення
-------------------------	---------	----------

	виміру	
Допустимий піковий струм перевантаження (до 120 с)	А	346
Схема і група з'єднання обмоток	–	$\Delta/Y_n - 11$ або $Y/\Delta - 11$
Напруга короткого замикання $U_k$	%	4,5
Струм холостого ходу $I_0$	%	1,5 – 2,2
Втрати холостого ходу $P_0$	Вт	320 – 480
Втрати короткого замикання $P_k$	Вт	2400
Клас нагрівостійкості ізоляції	–	H (180 °C)
Ступінь захисту кожуха	–	IP21 / IP23
Охолодження	–	AN
Температурний захист	–	Вбудований (Pt100)
Орієнтовні габарити (ДхШхВ)	мм	1050 x 650 x 1250
Орієнтовна маса	кг	580 – 650

### 2.3 Вибір тиристорів

Для реверсивного привода механізму підйому фурми із двома зустрічно-паралельними схемами вибір тиристорів проводиться за двома критичними параметрами: за середнім струмом та за максимальною зворотною напругою [18, 27].

Враховуючи важкий температурний режим металургійного цеху (до +50 °C у зоні щитової) та високу циклічність роботи, застосовуємо коефіцієнт запасу  $k_i = 3$ .

Вихідні дані для розрахунку:

- номінальна потужність двигуна  $P_{\text{НОМ}}$ : 70 кВт;
- номінальний струм двигуна  $I_{\text{НОМ}}$ : 175 А;
- номінальна напруга двигуна  $U_d$ : 440 В;
- перевантажувальна здатність двигуна  $\lambda$ : 2,25;
- тип перетворювача: трьохфазний мостовий реверсивний (12 тиристорів, зустрічно-паралельне з'єднання);
- напруга вторинної обмотки трансформатора  $U_2$ : 400 В;
- коефіцієнт запасу за струмом  $k_i$ : 3,0;

- коефіцієнт запасу за напругою  $k_u$ : 2,1.

Розрахунок максимального струму двигуна (струму стопоріння).

Для механізмів підйому фурми критичним є режим пуску з місця або заклинювання у конвертері.

Максимальний короткочасний струм якір за умови  $\lambda = 2,25$

$$I_{d.max} = I_{ном} \cdot \lambda = 175 \cdot 2,25 = 393,75 \text{ А.} \quad (2.14)$$

Розрахунок середнього струму через один тиристор.

У трифазній мостовій схемі випрямлення (схемі Ларіонова) струм через кожен тиристор протікає протягом третини періоду  $120^\circ$ .

Середній струм тиристора в номінальному режимі:

$$I_{T.ном} = \frac{I_{ном}}{3} = \frac{175}{3} = 58,33 \text{ А} \quad (2.15)$$

Середній струм тиристора в режимі максимального перевантаження:

$$I_{T.max} = \frac{I_{d.max}}{3} = \frac{393,75}{3} = 131,25 \text{ А} \quad (2.16)$$

Визначення необхідного номінального струму тиристора із запасом 3.

Враховуючи важкий температурний режим металургійного цеху (до  $+50^\circ\text{C}$  у зоні щитової) та високу циклічність роботи, застосовуємо коефіцієнт запасу  $k_i = 3$ :

$$I_{T(AV)} \geq I_{T.max} \cdot k_i = 131,25 \cdot 3 = 393,75 \text{ А.} \quad (2.17)$$

Згідно з ГОСТ/ДСТУ для силових напівпровідникових приладів, найближчі стандартні номінали середнього струму – це 400 А та 500 А. Оскільки розрахункове значення (393,75 А) знаходиться на межі 400 А, для гарантованої надійності обирається номінал 500 А [34].

Розрахунок тиристора за напругою.

Максимальна зворотна лінійна напруга, яка прикладається до закритого тиристора, дорівнює амплітуді вторинної напруги трансформатора  $U_2 = 400 \text{ В}$ :

$$U_{вр.max} = \sqrt{2} \cdot U_2 = 1,414 \cdot 400 = 565,6 \text{ В} \quad (2.18)$$

Застосовуємо коефіцієнт запасу за напругою  $k_u = 2,1$  (враховує комутаційні перенапруги та інверторний режим гальмування при опусканні фурми):

$$U_{RRM} \geq U_{вр.маx} \cdot k_u = 565,6 \cdot 2,1 = 1187,76 \text{ В} \quad (2.19)$$

Округлюємо до найближчого стандартного класу напруги в більшу сторону – 12 клас 1200 В.

Для комплектації реверсивного перетворювача (всього необхідно 12 тиристорів) за результатами розрахунку обрано тиристири зі специфікацією:

- номінальний середній струм  $I_{T(AV)}$ : 500А;
- повторювана імпульсна зворотна напруга  $U_{RRM}$ : 1200В (12-й клас).

В якості напівпровідникових ключей вибираємо силові тиристорні модулі:

- ~ ТТ500N12KOF (двопозиційний тиристорний модуль) табл. 2.5;
- ~ характеристики: номінальний струм 500 А, клас 12.

Перевага: модулі на 500 А мають ізольовану основу, що дозволяє встановлювати їх на один великий груповий радіатор без ризику короткого замикання між фазами. Це значно спрощує конструкцію шафи перетворювача.

Таблиця 2.5 – Технічні параметри вибраного модуля

Параметр	Значення
Бренд	Infineon
Номінальний середній струм увімкненого стану	500 А
Тип тиристора	ПКТ
Тип упаковки	Модуль 60 мм
Повторювана пікова зворотна напруга	1200 В
Номінальний струм перенапруги	17000 А
Тип кріплення	Монтаж на панель
Максимальний струм запуску затвора	250 мА
Максимальна напруга запуску затвора	2,2 В
Максимальний струм утримання	300 мА
Кількість ріп	7
Розміри	124 × 60 × 52 мм
Пікова напруга в увімкненому стані	1,45 В
Повторюваний піковий струм поза станом	100 мА
Максимальна робоча температура	+125 °С
Мінімальна робоча температура	-40 °С
Повторювана пікова блокувальна напруга вперед	1800 В

## 2.4 Розрахунок згладжувального дроселя

Для реверсивного тиристорного привода механізму підйому фурми згладжувальний дросель (реактор) у колі якоря двигуна постійного струму (ДПС) є обов'язковим елементом. Індуктивність дроселя  $L_{др}$ , обмежує

пульсації струму (згладжування), забезпечує режим безперервного струму в усьому діапазоні регулювання швидкості та захищає колектор двигуна від кругового вогню [15,18,27] .

Вихідні дані для розрахунку:

- ~ тип схеми випрямлення: трехфазна мостова реверсивна (6-пульсна, частота основної гармоніки пульсацій  $f_{\text{пул}}=6 \cdot 50 \text{ Гц}=300 \text{ Гц}$ ;
- ~ номінальний струм двигуна  $I_{\text{ном}}$ : 175 А;
- ~ максимальний струм перевантаження  $I_{\text{мах}}$ : 394 А (із запасом 3 для тиристорів на 500 А) ;
- ~ номінальна напруга двигуна  $U_d$ : 440 В;
- ~ номінальна швидкість (частота обертання) двигуна  $n_{\text{ном}}$ : 535 об/хв;
- ~ опір якорного кола двигуна  $R_{\text{я}}$ : 0,0324 Ом;
- ~ власна індуктивність якоря двигуна  $L_{\text{я}}$ : мГн (мН);
- ~ визначення критичного струму безперервних струмів  $I_{\text{крит}}$  .

Щоб тиристорний привод працював стабільно, а механізм підйому фурми рухався плавно без ривків, перетворювач має працювати в режимі безперервного струму. Межа цього режиму (критичний струм) для металургійних приводів зазвичай закладається на рівні 5% – 10% від номінального струму двигуна [15,18].

Прийmemo  $k_{\text{крит}} = 0,08$

$$I_{\text{крит}} = 0,08 \cdot I_{\text{ном}} = 0,08 \cdot 175 \text{ А} = 14 \text{ А}$$

Розрахунок необхідної сумарної індуктивності кола  $L_{\Sigma}$ .

Для трифазної мостової схеми випрямлення мінімальна сумарна індуктивність кола (якоря + дроселя), що забезпечує безперервний струм при куті регулювання тиристорів  $\alpha \approx 90^\circ$  (найнесприятливіший режим з найбільшими пульсаціями), розраховується за емпіричною інженерною формулою [18,22,27]:

$$L_{\Sigma} \geq \frac{0,095 \cdot U_2}{I_{\text{крит}} \cdot f_{\text{мережі}}} \quad (2.20)$$

де  $U_2 = 400 \text{ В}$  (вторинна лінійна напруга трансформатора),  $f_{\text{мережі}} = 50 \text{ Гц}$ .

$$L_{\Sigma} \geq \frac{0,095 \cdot 400}{14 \cdot 50} = \frac{3,8}{700} \approx 0,0543 \text{ Генрі} = 54,3 \text{ мГн}$$

Розрахунок індуктивності самого згладжувального дроселя  $L_{\text{др}}$ .

Аналіз кривих змін діючих значень перших гармонік більшості схем перетворювача показує, що для інженерних розрахунків з достатнім ступенем точності може скористатися наступними рівнянням для визначення індуктивності згладжувального дроселя [18,27]:

$$L_{cd} = L_{т.д.} - (2L_{тр} + L_{дв}), \quad (2.21)$$

де  $L_{т.д.}$  – сумарна індуктивність якірного кола системи Т-Д;  
 $L_{тр}$  – приведена індуктивність силового трансформатора;  
 $L_{дв}$  – індуктивність якоря двигуна.

Сумарна індуктивність якірного кола системи.

Сумарна індуктивність якірного кола Т-Д [15, 28].

$$L_{т.д.} = \frac{\sqrt{2}U_n}{m\omega_0 I_{dmin}} \quad (2.22)$$

де  $U_n$  – діюче значення випрямленої напруги  $U_n = 0,25U_{до}$ .

Номінальна напруга двигуна  $U_d = 440$  В зазвичай забезпечується при мінімальних кутах регулювання, максимальне значення холостого ходу  $U_{d0}$  для цієї схеми становить близько 515 В.

$$U_d \approx 0,294 \cdot 515 \text{ В} \approx 151,4 \text{ В}$$

$m=6$  – число фаз випрямляча;

$\omega=314,16 \text{ с}^{-1}$  – кутова частота живильної мережі.

Мінімальний струм навантаження:

$$I_{dmin} = (0,020,08) \cdot I_{дн} = 0,08175 = 5,22 \text{ А.}$$

$$L_{т.д.} = \frac{\sqrt{2} \cdot 151,4}{6 \cdot 314,159 \cdot 14} \approx 0,01147 \text{ Гн} = 11,47 \text{ мГн.}$$

Індуктивність якоря двигуна [17].

$$L_{дв.} = \gamma \frac{U_n}{I_n} \cdot \frac{1}{p \cdot \omega}; \quad (2.23)$$

де  $\gamma = 0,6$  – конструктивний коефіцієнт;

$U_{ном}=440$  В – номінальна напруга живлення двигуна;

$I_{ном}=175$  А – номінальний струм якоря;

$2p = 2$  – кількість полюсів машини (приймаємо базове значення для середньої потужності);

$p_{ном}=56,03$  об/хв .

$$L_{дв} = 0,6 \frac{440}{175} \cdot \frac{1}{2 \cdot 56,03} = 9,6 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} = 9,6 \text{ мГн}$$

Для визначення індуктивності трансформатора використаємо вираження:

Номінальний фазний струм вторинної обмотки:

$$I_{2\phi} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{160000}{\sqrt{3} \cdot 440} = 209,95 \text{ A}$$

Активний опір трансформатора (приведений до однієї фази) [17, 19]:

$$r_T = \frac{\Delta P_{к.з.}}{3 \cdot I_{2\phi}^2} = \frac{2400}{3 \cdot 209,95^2} = 0,0182 \text{ Ом}$$

Повний опір фази трансформатора [17, 19] :

$$Z_T = \frac{U_{к.з.} \% \cdot U_H}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{2\phi}} = \frac{5,5 \cdot 440}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 209,95} = 0,0666 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір трансформатора [17, 19]:

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - r_T^2} = \sqrt{0,0666^2 - 0,0182^2} = 0,0640 \text{ Ом}$$

Власна індуктивність трансформатора [17, 19]:

$$L_{тр} = \frac{X_T}{\omega_c} = \frac{0,0640}{314,16} = 2,04 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} = 0,204 \text{ мГн}$$

$$L_{сд} = 11,47 - (2 \cdot 0,204 + 9,6) = 1,46 \text{ м Гн.}$$

Сумарний активний опір якірного кола:

$$r_{як} = (r_d + r_{дп}) + r_k + 2r_m + 2r_d + r_{сд}. \quad (2.24)$$

де  $r_k$  – комутаційний опір перетворювача;

$I_T$  – струм через тиристор;

$b=1,24$  – коефіцієнт, що враховує опір обмоток двигуна.

$r_d$  – динамічний опір тиристорів.

$$r_k = \frac{m}{2\pi} X_m = \frac{0,026 \cdot 6}{6,28} = 0,0611 \text{ Ом};$$

$$r_d = \frac{0,25 \cdot U_H}{3 \cdot I_{T,max}} = \frac{0,25 \cdot 440}{3 \cdot 175} = 0,301 \text{ Ом},$$

$$I_{T,max} = \frac{3 \cdot I_H}{3} = \frac{3 \cdot 175}{3} = 175 \text{ A};$$

Для сучасних мідних згладжувальних дроселів втрати напруги становлять близько 1% від  $U_H$ :

$$r_{сд} \approx \frac{0,01 \cdot U_H}{I_H} = \frac{4,4}{175} \approx 0,0251 \text{ Ом}$$

$$r_{як} = 1,24 \cdot 0,0324 + 0,0611 + 2 \cdot 0,0182 + 2 \cdot 0,301 + 0,0251 = 0,765 \text{ Ом},$$

Індуктивність якірного кола:

$$L_{як} = L_{дв} + L_{сд} + 2L_{тр} = 9,6 + 1,46 + 20,04 = 11,47 \text{ мГн}.$$

Електромагнітна стала часу:

$$T_{я} = \frac{L_{як}}{r_{як}} = \frac{0,01147}{0,765} = 0,015 \text{ с}.$$

Електромеханічна стала часу (для динамічного режиму):

$$T_M = J_{\Sigma} \frac{R_{яц}}{(C)^2}, c; \quad (2.25)$$

$$C = \frac{U_H - I_H R_{яц}}{\omega_H} = \frac{440 - 0,03024 \cdot 175}{56,02} = 7,752 \text{ Вс};$$

$$T_M = J_{\Sigma} \frac{R_{як}}{C^2} = 20,5 \frac{0,765}{7,744^2} = 0,261 \text{ с};$$

$$\frac{T_M}{T_{я}} = \frac{0,261}{0,015} \approx 17,4.$$

Співвідношення

$$\frac{T_{M,дин}}{T_{я,дин}} = 17,4$$

задовольняє умову  $T_M > 4 \cdot T_{я}$ , що гарантує стійкість системи керування та відсутність коливальних процесів у контурі струму при максимальних навантаженнях.

Стала часу тиристорного перетворювача:

$$T_n = T_{по} + \frac{2}{mf} = 0,005 + \frac{2}{6 \cdot 50} = 0,0117 \text{ с},$$

де:  $T_{по}$  – стала часу СІФК (не більш 0,005 с);

$\frac{2}{mf}$  - середньостатистичне запізнювання ТП.

Коефіцієнт ОС по швидкості:

$$K_c = \frac{U_{зсmax}}{\omega_o} = \frac{10}{66,43} = 0,1505 \text{ Вc}$$

де:  $U_{зсmax} = 10 \text{ В}$  – напруга завдання максимальна;

$\omega_o = \frac{U_{do}}{C}$  - кутова швидкість холостого ходу;

$\omega_o = \frac{515}{7,752} = 66,43 \text{ c}^{-1}$  - швидкість Х.Х.

Коефіцієнт ОС по струму:

$$K_c = \frac{U_{зlmax}}{1,5 \cdot I_H} \quad (2.26)$$

$$K_c = \frac{10}{1,5 \cdot 175} = 0,0381 \text{ В/А.}$$

Коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача:

$$K_n = \frac{E_{do}}{U_{кер.max}} = \frac{515}{2/3 \cdot 10} = 77,25$$

де  $U_{кер.max} = 2/3 U_{з.max}$  - сигнал завдання при максимальному значення.

Розрахунок динамічних режимів.

Система управління електроприводом побудована за принципом підпорядкованого регулювання параметрів.

Структура підпорядкованого регулювання координат зображена на рисунку 2.5.

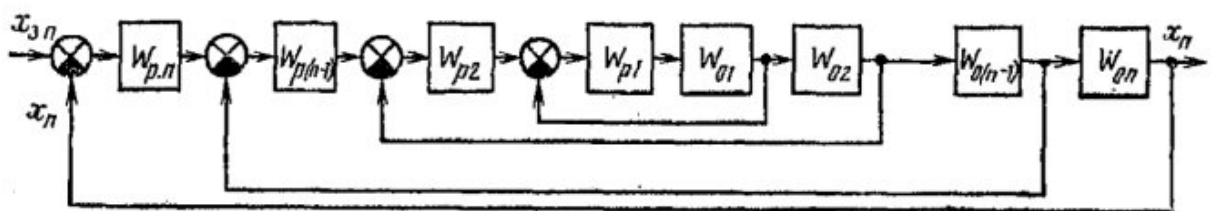


Рисунок 2.5 - Структура підпорядкованого регулювання координат

При цьому для одержання нульового статизму в систему вводиться ПІ-регулятор швидкості. Структурна схема такої системи представлена на рис. 2.6.

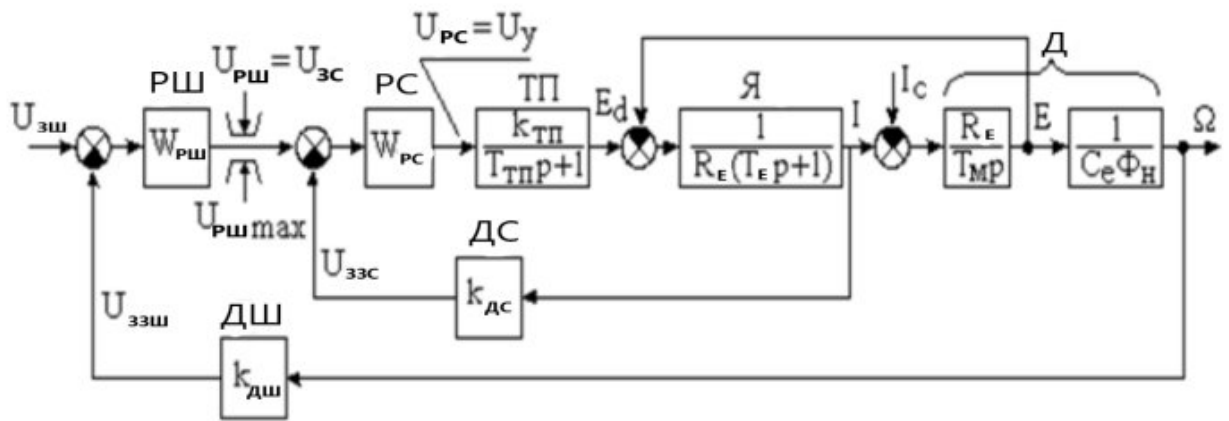


Рисунок 2.6 - Структурна схема системи ТП-Д

Щоб перехідні процеси в багатоконтурній системі були оптимальними, необхідно передаточні функції вибрати виходячи із умов деяких критеріїв оптимальності.

Згідно положення технічного оптимуму передаточні функції будуть [15,20,21,23] :

Передавальна функція ПІ-регулятора швидкості

$$W_{pш} = \frac{1+6T_{пp}}{8T_{пp}} \cdot \frac{T_{м\cdot c} \cdot K_c}{4T_{п\cdot K_{ш}} \cdot R_{я.к.}} \quad (2.27)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт оберненого зв'язку за швидкістю;

$K_c$  – коефіцієнт оберненого зв'язку за струмом.

Передавальна функція ПІ-регулятора струму

$$W_{pc}(p) = \frac{(1+T_{яp}) \cdot R_{я.к.}}{2T_{п\cdot K_{п}} \cdot K_c \cdot p} \quad (2.28)$$

де  $K_{п}$  – коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача: При дослідженні перехідних процесів тиристорний перетворювач можна представити у вигляді інерційного кола з передаточною функцією:

$$W_{тп}(p) = \frac{K_{п}}{1+T_{пp}} \quad (2.29)$$

На представленій структурній схемі передавальна функція РШ містить форсуюче коло  $(1+8T_{пp})$ , яке буде форсувати перехідні процеси, в порівнянні із статичною системою регулювання. Для компенсації впливу форсуючого кола на вхід системи вмикається інерційне коло з передаточною функцією:

$$W_{i.к.}(p) = \frac{1}{1+8T_{пp}} \quad (2.30)$$

Для спрощення моделювання структурну схему на рисунку 2.6 перетворити в структурну схему виду (рис.2.7). Виходячи з перетвореної структурної схеми можна скласти наступні диференційні рівняння:

Регулятор швидкості описується рівнянням:

$$W_{p.c.}(p) = \frac{1+8 \cdot T_{пp}}{8 \cdot T_{пp}} \cdot \frac{T_{м} \cdot C \cdot K_{т}}{4 \cdot T_{н} \cdot K_{с} \cdot R_{як}} \quad (2.31)$$

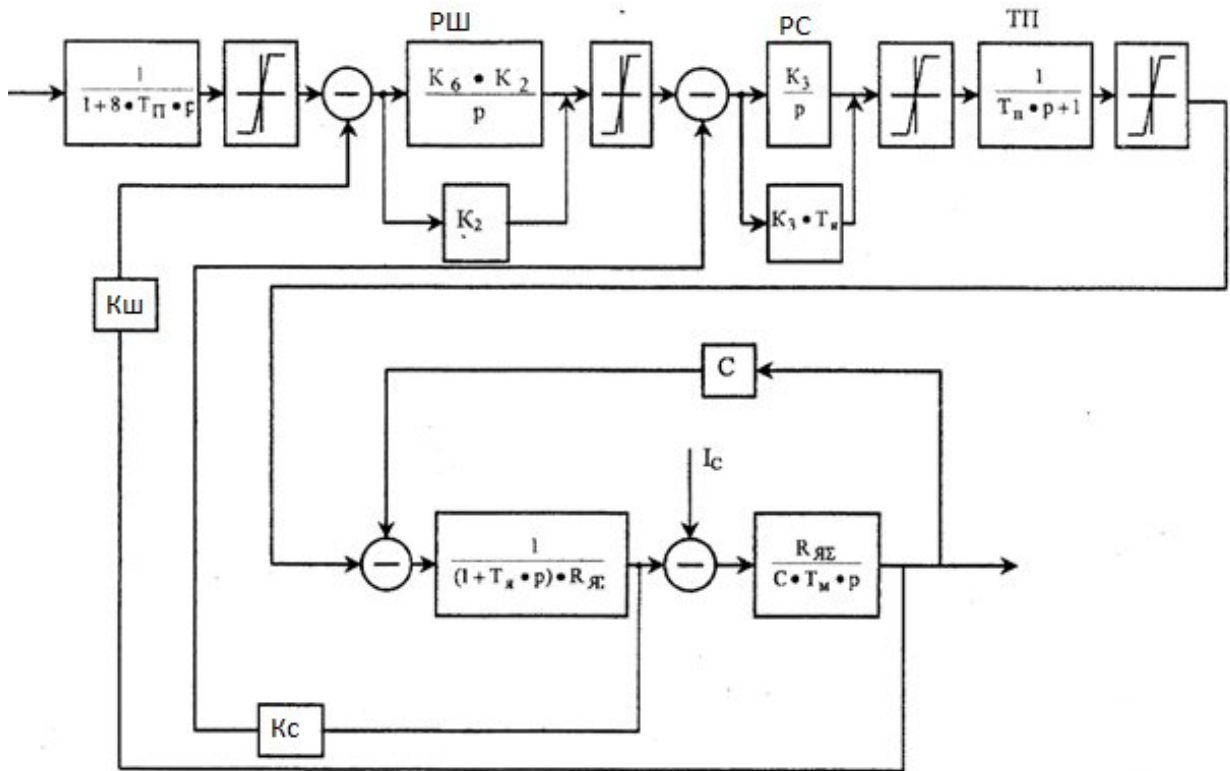


Рисунок 2.7 – Перетворена структурна схема системи ТП-Д з астатичною системою регулювання

$$W_{p.c.}(p) = \left( \frac{K_6}{p} + 1 \right) K_2 = \frac{K_6 \cdot K_2}{p} + K_2, \quad (2.32)$$

де  $K_6 = K_1 = 8 \cdot 0,0117 = 0,0936$

$$K_2 = \frac{T_m \cdot C \cdot K_c}{4 \cdot T_n \cdot K_{ш} \cdot R_{як}} = \frac{0,261 \cdot 7,752 \cdot 0,0381}{4 \cdot 0,0117 \cdot 0,1505 \cdot 0,765} = 6,5$$

Передавальна функція регулятора струму:

$$W_{pT}(p) = \frac{1+T_a p}{2T_{пp}} \cdot \frac{R_{як}}{K_{п} \cdot K_{ст}}; \quad (2.33)$$

$$W_{pT}(p) = \frac{K_3}{p} + K_3 T_a. \quad (2.34)$$

$$K_3 = \frac{R_{\text{як}}}{2 \cdot T_{\text{п}} \cdot K_{\text{п}} \cdot K_{\text{с}}} = \frac{0,765}{2 \cdot 0,0117 \cdot 77,25 \cdot 0,0381} = 4,5$$

Тиристорний перетворювач представлено як інерційне коло з передаточною функцією:

$$W_{\text{тп}}(p) = \frac{K_{\text{п}}}{T_{\text{п}}p+1}. \quad (2.35)$$

Для підтвердження результатів розрахунків виконано моделювання переходних процесів режимів роботи електропривода рисунок 2.8-2.10.

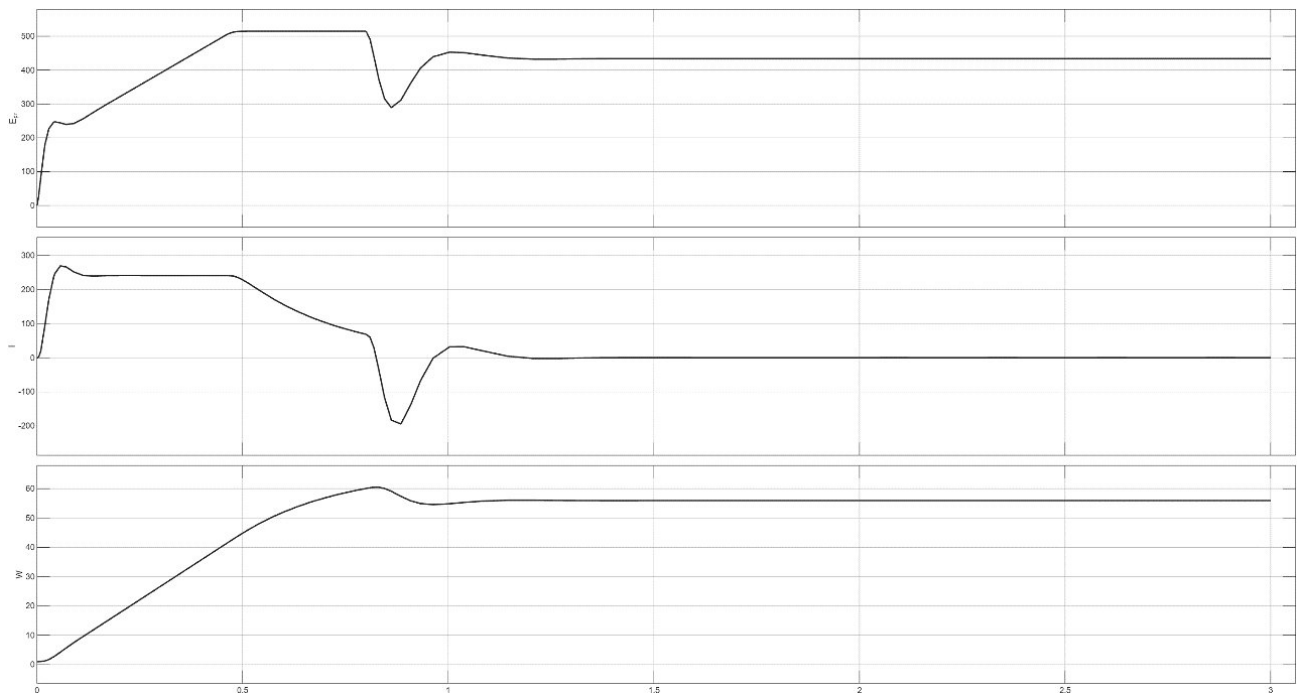


Рисунок 2.8 - Пуск електропривода без навантаження.

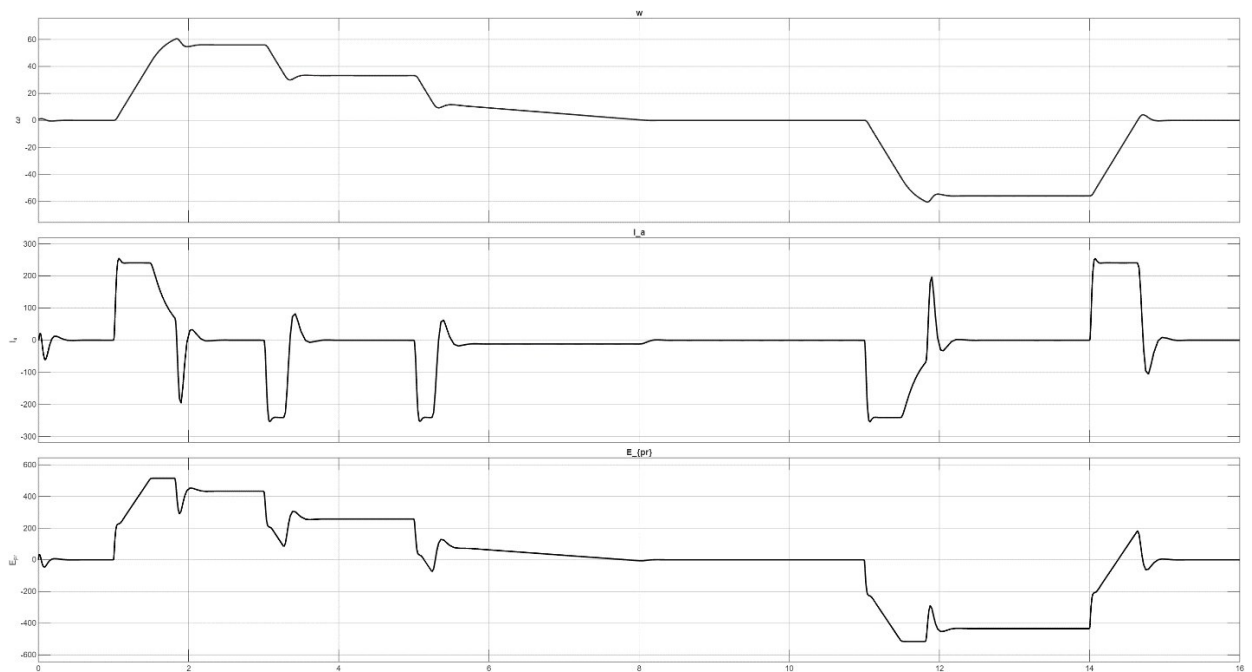


Рисунок 2.9 – Відпруцювання повного циклу руху без навантаження

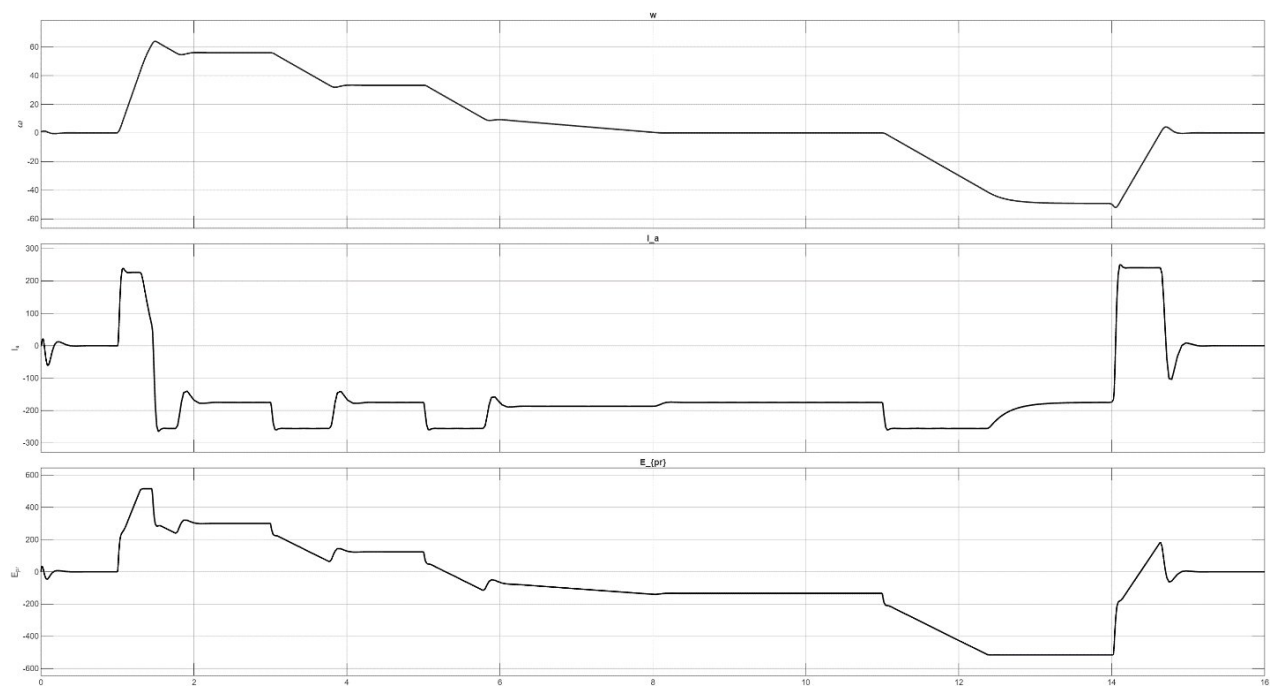


Рисунок 2.10 – Відпруцювання повного циклу руху з номінальним навантаженням

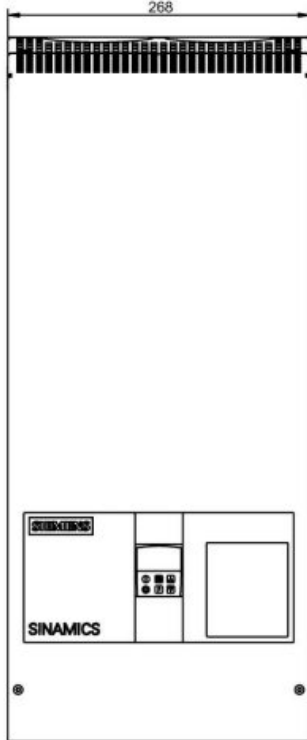
## 2.5 Впровадження запропонованих змін SINAMICS DCM

Запропонована модернізація є необхідною [21 - 26].

Запропоновані дії повністю відповідають рекомендаціям Siemens з міграції на сучасне обладнання.

Монтажні розміри перетворювача відображено на рисунку 2.11. Розташування компонентів випрямляча зображено на рисунку 2.12.

1) Minimum clearance for air circulation.  
An adequate flow of cooling air must be provided



Max. conductor cross-section for cables with cable lug  
in acc. with DIN 46234:  
1U1, 1V1, 1W1 = 2 x 150 mm<sup>2</sup>  
1C1, 1D1 = 2 x 185 mm<sup>2</sup>

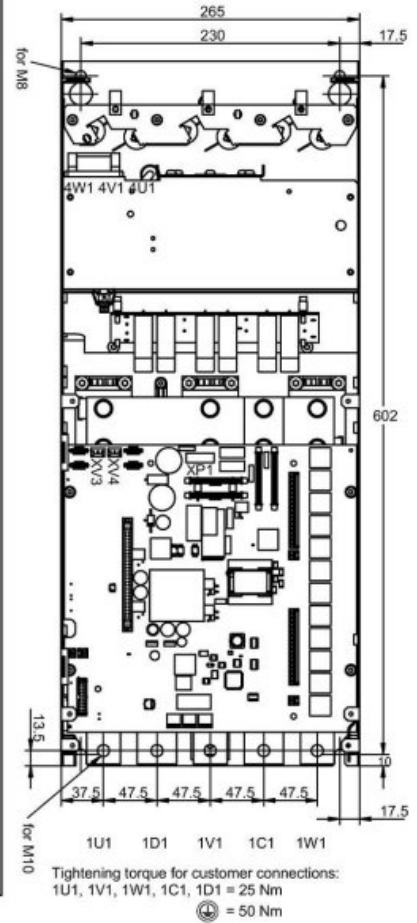
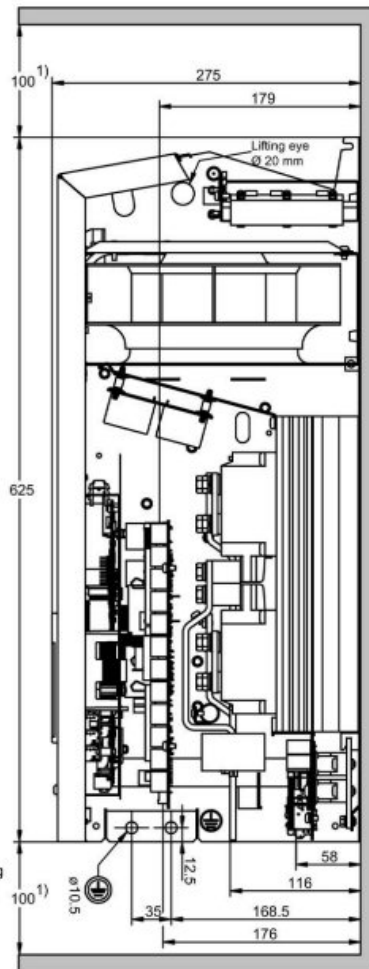


Рисунок 2.11 – Монтажні розміри

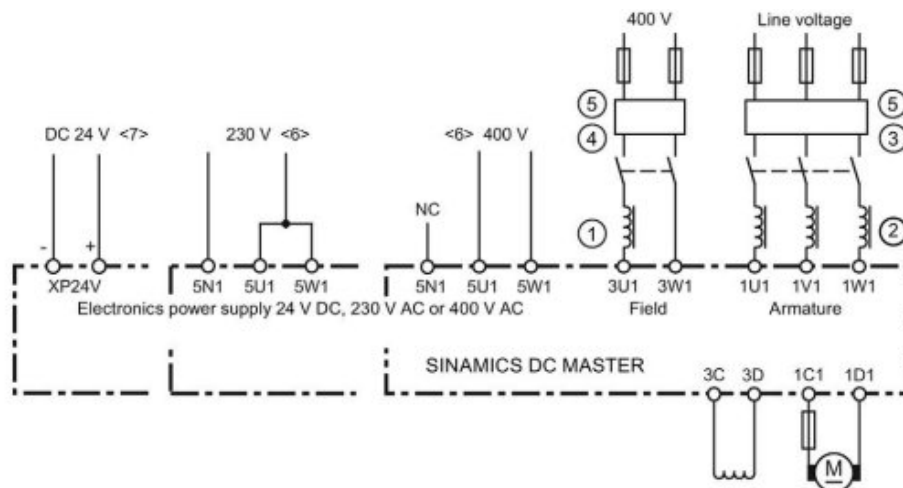


Рисунок 2.12- Розташування компонентів випрямляча: 1 -комутаційні дроселі в колі обмотки збудження; Комутаційний дросель у колі якоря; 2- фільтр радіоперешкод для кола якоря; 3- фільтр радіоперешкод у колі збудження; 4 - якщо напруги живлення для кола якоря і кола збудження збігаються, то схему напруги для збудження можна підключити після фільтра радіоперешкод для кола якоря

Рекомендована електрична схема підключення відображена на рисунку 2.13.

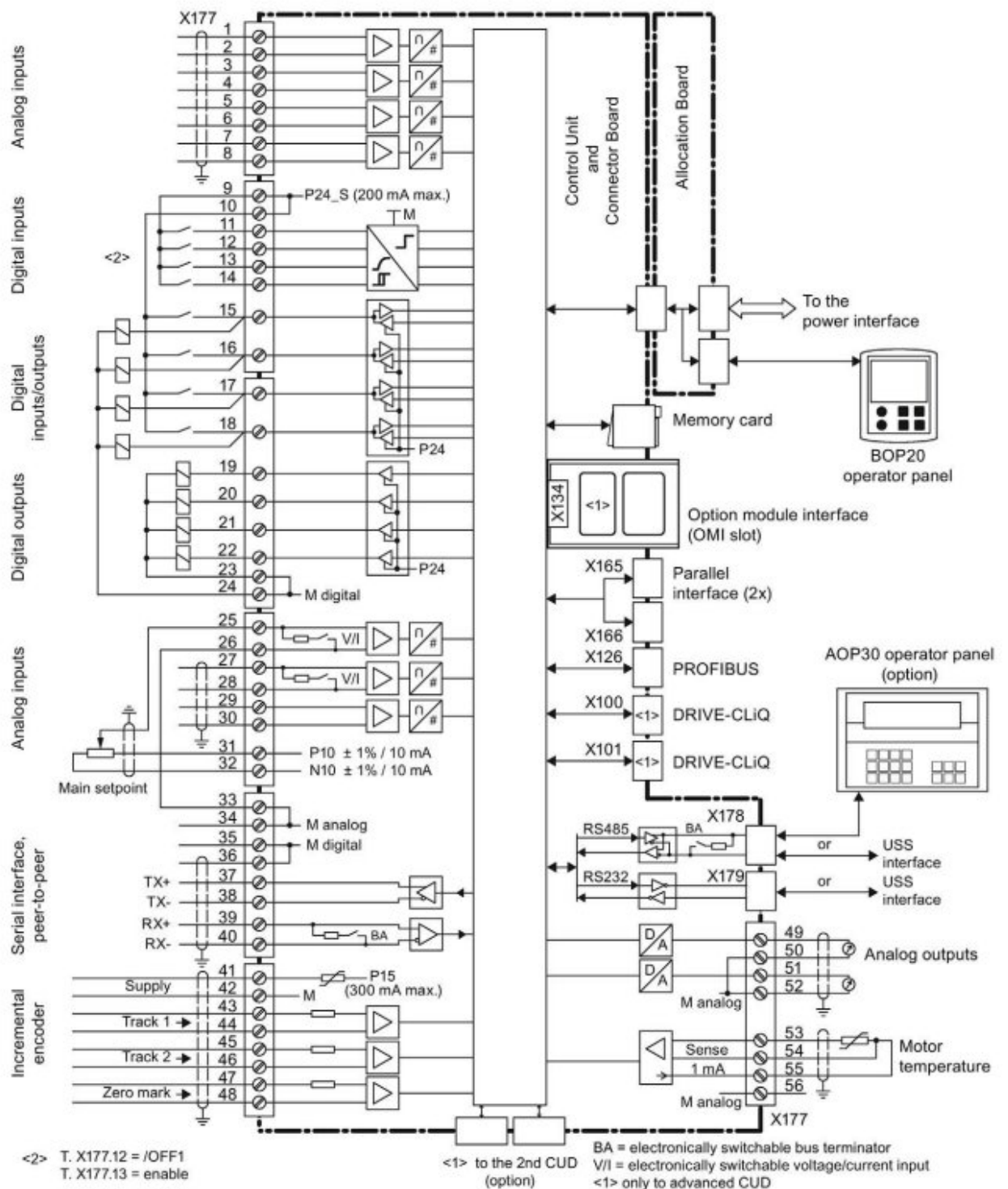


Рисунок 2.13 – Рекомендована електрична схема підключення

Рекомендована електрична схема підключення з вентилятором охолодження зображена на рисунку 2.14.

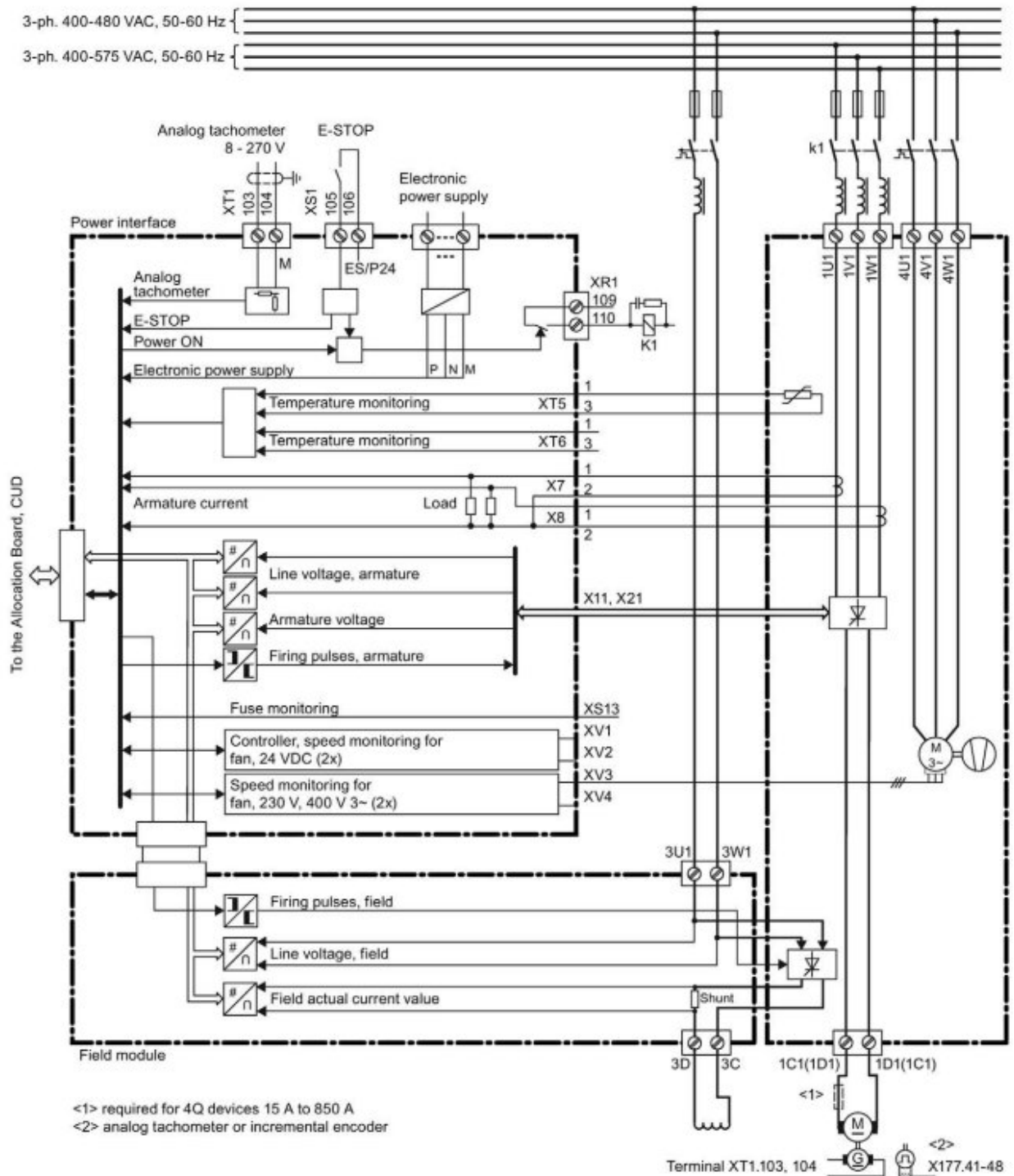


Рисунок 2.14 – Рекомендована електрична схема підключення з вентилятором охолодження

Силві з'єднання відображені на рисунку 2.15.

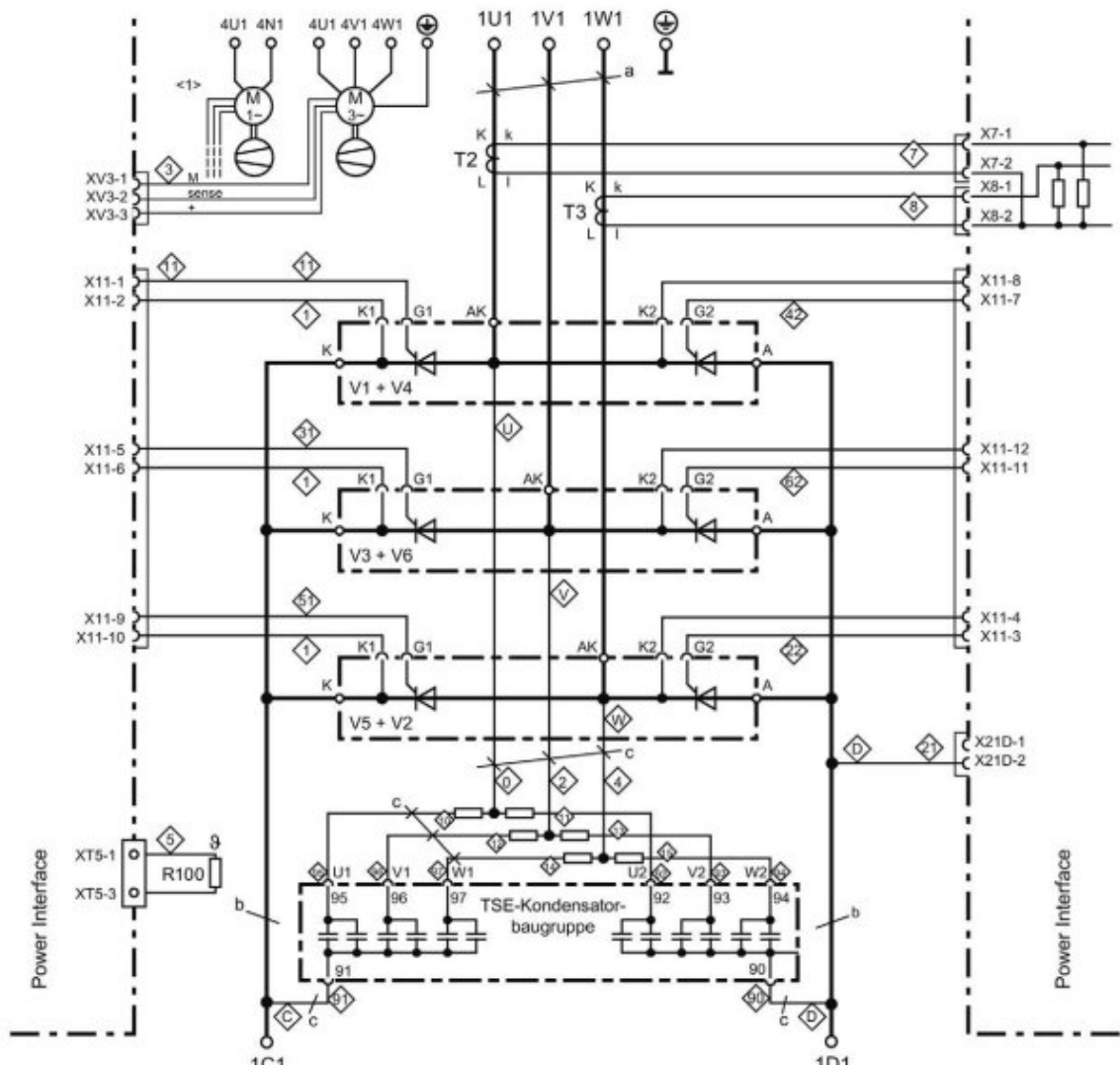


Рисунок 2.15 – Силові з'єднання

Живлення обмотки збудження зображено на рисунку 2.16.

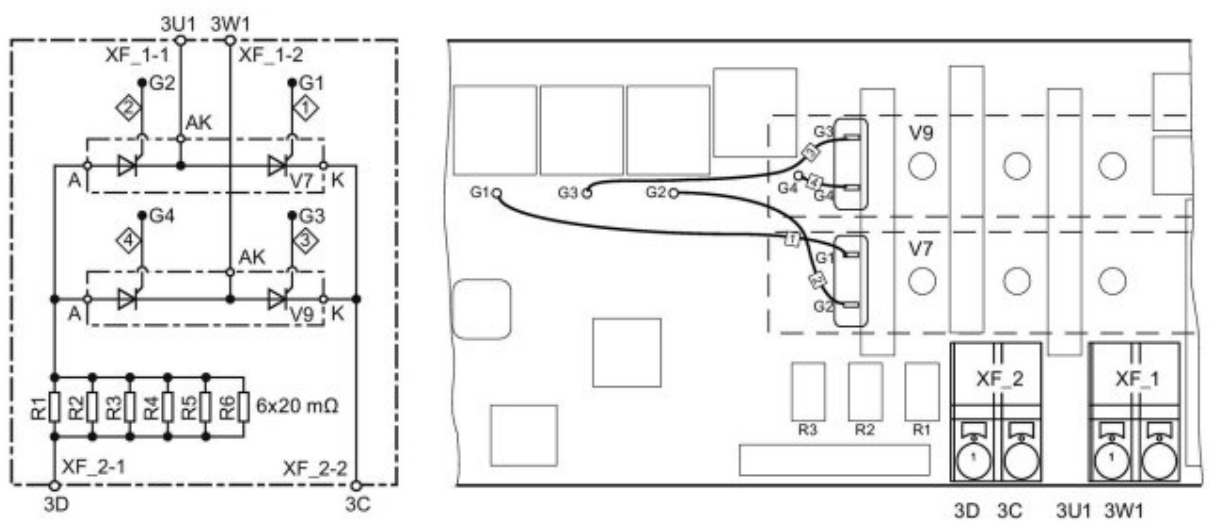


Рисунок 2.16 – Живлення обмотки збудження

Силві роз'єми пристрою зображено на рисунку 2.17.

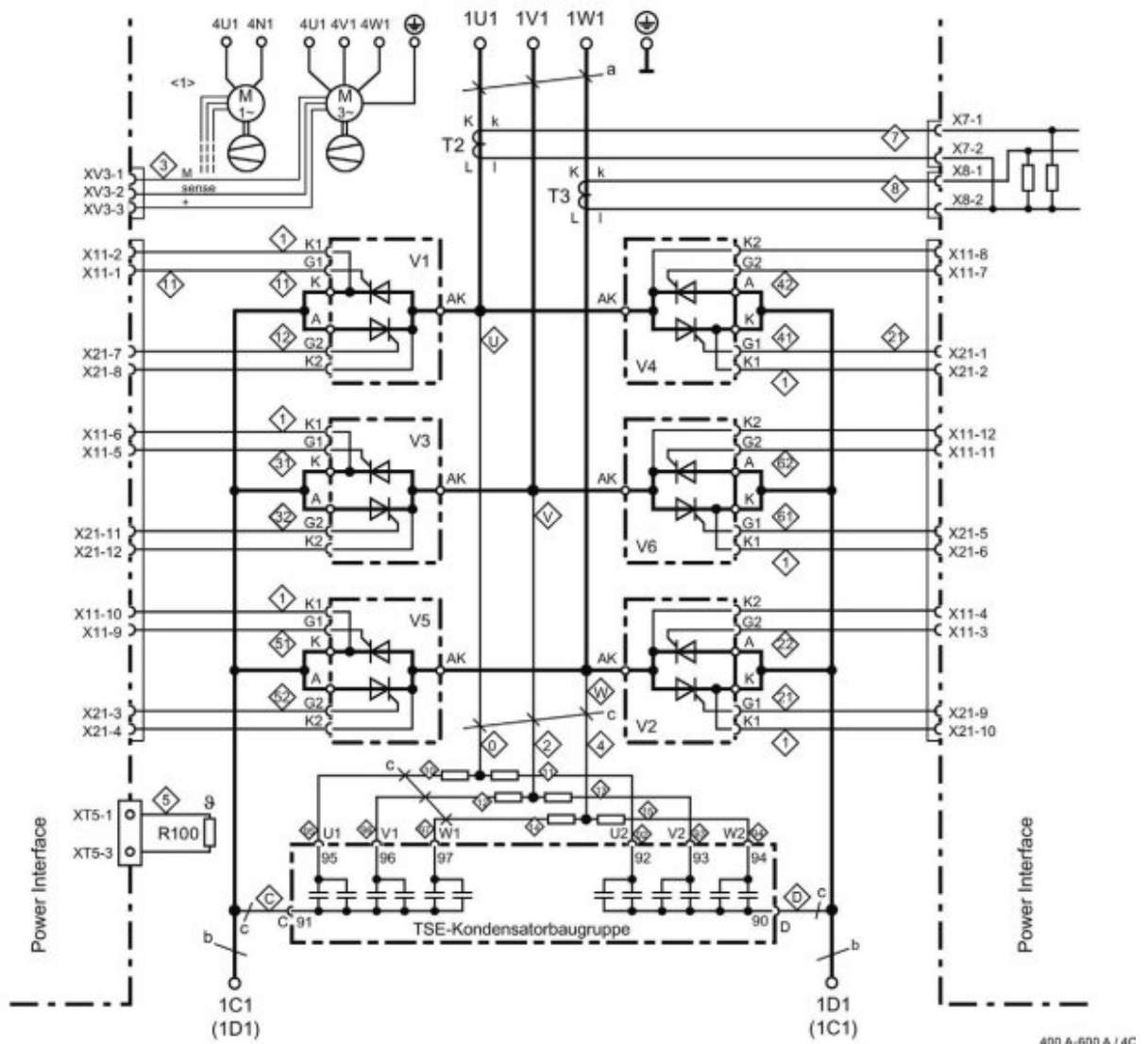


Рисунок 2.17 – Силві роз'єми пристрою

Завдання швидкості обертання.

Джерело завдання швидкості і його додаткових значень може бути завдань через параметрування [8]:

~ указівка через аналогову величину  $0 \dots \pm 10 \text{ V}$ ,  $0 \dots \pm 20 \text{ mA}$ , від 4 до 20 mA;


~ через вбудований потенціометр;

~ через бінектор з функціями: фіксоване завдання, штовховий режим, повзучість;

~ через послідовний інтерфейс основного приладу;

~ через додатковий модуль.

Нормування здійснюється таким чином, щоб 100% завдання (складається з основного й додаткового завдань) відповідало максимальній швидкості [8]. Завдання може бути обмежене по максимальному й мінімальному значенню через чи параметр конектор [8].



Крім того, у програмному забезпеченні маються адресні осередки, щоб, наприклад, можна було б перед чи після головного завдання подати додаткове завдання [8]. Через бінектор можна вибрати функцію «Розблокування завдання» [8]. Після параметрування фільтрування (елемент РТ1) сумарне завдання передається далі на вхід регулятора швидкості [8]. При цьому діє додатковий датчик розгону [8].

Поточне значення швидкості.


Як сигнал для потокового значення швидкості може бути обраний одне з чотирьох джерел [8] - аналоговий тахометр.

Напруга тахогенератора може складати при максимальній швидкості від 8 до 250 В [8]. Узгодження напруги здійснюється через параметр [8] - імпульсний датчик.

Тип імпульсного датчика, число штрихів на один оберт і максимальну швидкість обертання визначають через параметри [8]. В електронному блоці оцифровування сигнали датчика (симетричні: з додатковою інвертованою чи доріжкою несиметричні: щодо маси) можуть бути оброблені до максимальної диференціальної напруги 27 В [8]. Через параметри вибирається номінальний діапазон напруги датчика: 5 В чи 15 В [8]. При 15 В живлення датчика можна робити прямо від перетворювача SINAMICS [8]. датчики, розраховані на 5 В, вимагають зовнішнього джерела живлення [8]. Оцифровування імпульсного датчика виробляється за допомогою зчитування доріжок: доріжка 1, доріжка 2 і нульова мітка [8]. Однак, є можливість використання імпульсного датчика й без нульової мітки. За допомогою нульової мітки мається можливість фіксації однієї позиції. Максимальна частота імпульсів датчика може складати 300 кгц. Рекомендується використовувати датчики з числом імпульсів 1024 на один оберт (через високу точність при малих швидкостях обертання) [8] -режим роботи без тахогенератора з регулюванням EPC.

Для регулювання EPC датчик швидкості не потрібно [8]. Для цього в SINAMICS виміряється вихідна напруга перетворювача. Обмірювана напруга якоря компенсується з внутрішнім спаданням напруги двигуна ( $I \cdot R$  компенсація). Величина компенсації вибирається автоматично в процесі оптимізації регулятора струму. Точність цього процесу регулювання визначається зміною опору в якірному контурі двигуна, що залежить від температури й складає близько 5%. Рекомендується процес оптимізації регулятора струму для досягнення найвищої точності проводити при робочій температурі машини. Регулювання EPC можна використовувати тоді, коли вимоги до точності не дуже високі, неможливо умонтувати датчик і двигун працює в діапазоні якірної напруги [8] - вільно оббирань сигнал потокового значення швидкості.

Для цього режиму можна використовувати будь-які номери конекторов як сигнал потокового значення швидкості. Таке настроювання вибирається насамперед тоді, коли реєстрація потокового значення швидкості виробляються технологічним модулем [8].



Перед передачею значення швидкості на регулятор швидкості його можна згладити за допомогою параметричного згладжування (елемент  $PT_1$ ) і двох регульованих смугових фільтрів. Смугові фільтри застосовуються насамперед там, де є присутнім механічний резонанс для того, щоб придушити резонансні частоти. Добротність фільтрів можна налаштувати на резонансні частоти.

Датчик розгону.

Датчик розгону перетворює завдання, що вводиться, при стрибкоподібній зміні в безупинно змінюваному в часі сигналі завдання. Година розвантажування й уповільнення можна набудувати незалежно друг від друга. Додатково датчиком розгону використовується згладжувач качану й кінця, що працює на качану й наприкінці години розвантажування [8].

Усі часи датчика розгону набудовуються незалежно друг від друга.

Для часів датчика розгону мається три блоки параметрів, що можуть бути обрані через бінарні чи вхоть вибору через послідовний інтерфейс (через бинектор). Переключення параметрів датчика розгону може вироблятися під година роботи. Значення блоку параметрів можна додатково мультиплікативно оцінювати через конектор (для зміни даних датчика розгону через конектор). При введенні години датчика розгону рівного нулю завдання швидкості прямо передається на регулятор швидкості [8].


Регулятор швидкості.

Регулятор швидкості порівнює завдання і поточне значення швидкості обертання і при відхиленні видає регулятору струму відповідне завдання по струму (принцип: регулювання швидкості за допомогою допоміжного регулятора струму) [20, 21, 23]. Регулятор швидкості виконаний як ПІ-регулятор з додатковою обираною D-компонентою [8, 20]. Крім того статична частина, що переключається є обираною. Усі параметри регулятора можна налаштувати незалежно друг від друга [8]. Значення  $K_c$  (посилення) можна адаптувати в залежності від сигналу конектора (зовнішнього чи внутрішнього) [8].

Функції регулювання в якірному контурі.

При цьому П-підсилення регулятора швидкості можна настроїти в залежності від потокового значення швидкості, від потокового значення струму, від різниці заданого й потокового чи значень від діаметра обмотки [8]. Для високої динаміки контуру регулювання швидкості він є керованим. Для цього, наприклад, у залежності від тертя й моменту інерції привода після регулятора швидкості додається моментальне значення завдання [8, 15, 16]. Визначення компенсації тертя й інерції можна робити в процесі автоматичної оптимізації [8].

Вихідне значення регулятора швидкості можна набудувати через параметри відразу ж після розблокування регулятора [8]. В залежності від параметрування можна обійти регулятор швидкості й регулювати перетворювач по чи моменті по струму [8, 15]. Додатково є можливість



переключення регулювання швидкості й регулювання моменту враховуючи час роботи через функцію вибору «ведуче/відоме переключення». Функція вибирається як бинектор через бінарну клему чи бора через послідовний інтерфейс [8]. Введення завдання по моменті робиться через оббирань конектор і може надходити через аналогову чи клему від послідовного інтерфейсу [8].

У відомому режимі (режим регулювання чи моменту струму) працює обмеження регулятора. При цьому можна в залежності від установлюваного в параметрах обмеження швидкості впливати на регулятор, щоб виключити неприпустимий рознос привода. Привод при цьому обмежується на відхилення швидкості, що набудовується [8].

Обмеження моменту.

У залежності від параметрування вихід регулятора швидкості являє собою або завдання моменту, або завдання струму. У режимі регулювання моменту вихід регулятора швидкості оцінюється разом з потоком машини й потім у виді завдання по струму передається на регулятор струму. Режим регулювання моменту використовується насамперед при зниженні струму, щоб незалежно від швидкості обертання можна було б обмежити момент двигуна [8,15, 16].

Перелік доступних функцій:

- незалежна установка позитивної й негативної границі моменту через параметри;
- переключення обмеження моменту через бинектор у залежності від параметрування значення швидкості;
- вільне завдання обмеження моменту за допомогою сигналу конектора, наприклад, через аналоговий чи вхід через послідовний інтерфейс.


Як діюче обмеження моменту завжди приймається найменша задана величина. Після обмеження моменту можна додатково додати завдання моменту [8].

Обмеження струму.

Обмеження струму, установлюване після обмеження моменту, служити для захисту перетворювача й двигуна [8, 18, 27]. Як діюче обмеження струму завжди приймається найменша з заданих величин [8].

Можуть бути встановлені наступні значення обмеження струму:

- незалежна установка позитивного й негативного обмеження струму через параметр (установка максимального обмеження струму двигуна), вільне завдання струмообмеження через конектор, наприклад, від аналогового чи виходу через послідовний інтерфейс;
- роздільне настроювання струмообмеження через параметри для стану спокою й для швидкої зупинки;
- залежні від швидкості струмообмеження; при високій швидкості за допомогою параметрування можна автоматично установити автоматичне, залежні від швидкості зниження струмообмеження (гранична характеристика комутації двигуна).



Контроль силової частини по  $I^2t$ : при всіх значеннях струму розраховується тепловий стан тиристорів [18, 22, 27]. При досягненні граничної температури для тиристорів у залежності від параметрування або постійний струм знижується до номінального, або перетворювач виключається з видачею повідомлення про несправність. Ця функція служити для захисту тиристорів [8].

Регулятор струму.

Регулятор струму виконаний як ПІ-регулятор з незалежними друг від друга що набудовуються П - посиленням і постійної години регулювання. При цьому складові П і І можуть відключатися (чисте П- чи І - регулювання) [8, 20]. Поточне значення струму реєструється на стороні перемінного струму за допомогою перетворювача струму й передається через повний опір трансформатора й випрямляч на аналогово-цифровий перетворювач. Дозвіл складає 10 біт на номінальний струм перетворювача [8]. Як завдання по струму використовується вихід обмежника струму [8].

Вихід регулятора струму видає на блок керування керуючий кут, паралельно цьому діє керування з подвійним посиленням.

Керування з подвійним посиленням.

Таке керування в контурі регулювання струму поліпшує динаміку регулювання [8, 18]. Завдяки цьому стає можливим таймерний інтервал регулювання від 6 до 9 мс [8]. Керування з подвійним посиленням діє в залежності від завдання по струму й ЕРС двигуна й забезпечує завдяки цьому при переривчастому й непереривчастому струмі й навіть при зміні напрямку моменту введення необхідного керуючого кута в блок керування [8].

Командна ступінь.


Командна ступінь діє разом з контуром регулювання струму логічного процесу всіх необхідних для зміни моменту дій. При необхідності можна заблокувати через параметри також і напрямок моменту [8].

Блок керування.

Блок керування формує синхронно із напругою мережі керуючий імпульс для тиристорів силової частини [8, 18]. Синхронізація є незалежною від обертового чи полю й від живлення електроніки й сприймається силовою частиною. Положення керуючого імпульсу в часі визначається вихідним значенням регулятора струму й керуванням з подвійним посиленням. Обмеження регулювання виробляється через параметр [8]. Блок керування автоматично набудовується на подавану частоту в діапазоні 45...65 Гц [8].

Регулятор ЕРС.

Регулятор ЕРС порівнює задане й поточне значення ЕРС (індукована напруга двигуна) і видає завдання для регулятора струму збудження [8, 15]. Завдяки цьому стає можливим залежні від ЕРС регулювання зі зниженням струму. Регулятор ЕРС працює як ПІ-



регулятор, П- і І- компоненти можна набудувати незалежно друг від чи друга ж регулятор може працювати як чистий П- чи І- регулятор [8, 20].

Паралельно з регулятором ЕРС працює керування з подвійним посиленням, що в залежності від швидкості керує завданням струму збудження за допомогою автоматично формованої характеристики полючи. Після регулятора ЕРС знаходиться підсумовуючий осередок, що може вводити додаткове завдання полючи за допомогою конектора, наприклад, через аналоговий чи вхід через послідовний інтерфейс. Спільно діє обмеження для завдання порушення. При цьому завдання по збудження можна незалежно друг від друга обмежити по одному мінімальному й по одному максимальному значенню. Обмеження виробляється за допомогою чи параметра конектора. При цьому мінімум діє для верхньої границі, а максимум - для нижньої.

Регулятор струму збудження.

Регулятор струму для полючи – це ПІ-регулятор з незалежними налаштуваннями для  $K_p$  і  $T_n$ . Додатково він може працювати як чистий П- і І-регулятор. Паралельно з регулятором струму порушення працює керування з подвійним посиленням, що в залежності від завдання по струму й напруги мережі визначає кут керування для контуру збудження й встановлює його [8, 20]. Керування з подвійним посиленням підтримує регулятор струму й забезпечує йому динамічні характеристики в контурі порушення [8].

Блок керування.

Блок керування утворить у контурі збудження синхронно з напругою мережі керуючий імпульс для тиристорів силової частини. Синхронізація сприймається силовою частиною й завдяки цьому незалежна від живлення електронної частини. Положення керуючого імпульсу в часі визначається вихідним значенням регулятора струму й керуванням з подвійним посиленням. Обмеження регулювання виробляється через параметр. Блок керування автоматично налаштовується на частоту мережі в діапазоні 45...65 Гц [8].

## 3 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОДАЧІ КИСНЕВОЇ ФУРМИ

### 3.1 Загальна характеристика проєкту модернізації

У сучасних умовах промислового виробництва одним із головних напрямків підвищення ефективності роботи технологічного обладнання є модернізація електроприводів [15,16]. Особливо актуальним це питання є для металургійних підприємств, де від надійності електроприводів залежить безперервність технологічного процесу та економічні показники виробництва [16,21].

У даному дипломному проєкті розглядається модернізація електропривода механізму підйому кисневої фурми конвертерного цеху шляхом заміни існуючої системи керування на сучасний тиристорний перетворювач SINAMICS DCM [8,18,22].

Існуюче обладнання експлуатується протягом тривалого часу та має значний фізичний і моральний знос, що характерно для електроприводних систем промислових механізмів [15]. Внаслідок цього збільшується кількість аварійних відмов, погіршується якість регулювання швидкості, зростають витрати на ремонт і технічне обслуговування.

Запропонована модернізація дозволяє:

- підвищити надійність роботи електропривода;
- зменшити аварійні простоя обладнання;
- скоротити витрати на ремонт;
- покращити якість регулювання технологічного процесу;
- збільшити строк служби електрообладнання;
- знизити експлуатаційні витрати.

Економічне обґрунтування модернізації виконується шляхом визначення необхідних капітальних вкладень, розрахунку річних експлуатаційних витрат до та після модернізації, визначення річного економічного ефекту та строку окупності інвестицій [28].

### 3.2 Розрахунок капітальних вкладень

Для впровадження нової системи керування електроприводом механізму підйому кисневої фурми необхідно здійснити певні капітальні вкладення. До складу капітальних витрат входять витрати на придбання основного та допоміжного обладнання, монтажні роботи, виконання пусконаладжувальних робіт, розроблення проєктної документації та інші супутні витрати [28].

Загальні капітальні вкладення визначаються за формулою:

$$K = K_{об} + K_{м} + K_{пнр} + K_{пр} + K_{ін} \quad (3.1)$$

де  $K_{об}$  – витрати на обладнання;

$K_{м}$  – витрати на монтаж;

$K_{пнр}$  – витрати на пусконаладжувальні роботи;

$K_{пр}$  – витрати на проектування;

$K_{ін}$  – інші витрати.

Основну частину інвестицій становить придбання нового комплексу електрообладнання, яке забезпечує функціонування модернізованого електропривода [28].

Вартість обладнання.

Основні елементи модернізованої системи наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вартість обладнання

Найменування обладнання	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Вартість, грн.
Перетворювач SINAMICS DCM	1	320000	320000
Силовий трансформатор ТСЗ-160/0,4	1	90000	90000
Тиристорні модулі TT500N12KOF	12	6000	72000
Згладжувальний дросель	1	25000	25000
Датчик швидкості	1	12000	12000
Кабельна продукція	1 комплект	18000	18000
Шафа керування	1	45000	45000

Сумарна вартість обладнання визначається як сума вартостей усіх елементів:

$$K_{об} = 320000 + 90000 + 72000 + 25000 + 12000 + 18000 + 45000$$

Загальна вартість обладнання:

$$K_{об} = 582000 \text{ грн}$$

Таким чином, на придбання обладнання необхідно витратити 582 тис. грн.

Найбільшу частину вартості становить перетворювач SINAMICS DCM, який є основним елементом системи керування електроприводом.

Розрахунок витрат на монтаж.

Монтажні роботи включають установлення силового обладнання, прокладання кабельних трас, підключення електричних кіл, перевірку правильності монтажу та проведення електричних випробувань [2, 5].

У практиці проектування промислових електроприводів вартість монтажних робіт приймають у межах 6–10 % від вартості обладнання [28]. Для даного проекту приймаємо нормативне значення 8 %.


$$K_M = 0,08 \cdot K_{об} \quad (3.2)$$

$$K_M = 0,08 \cdot 582000$$

$$K_M = 46560 \text{ грн}$$

Орієнтовна вартість монтажних робіт становить 46,56 тис. грн.

Розрахунок витрат на пусканалагоджувальні роботи.

Пусканалагоджувальні роботи включають налаштування параметрів перетворювача SINAMICS DCM, перевірку роботи захистів, тестування системи регулювання швидкості та проведення пробного пуску обладнання [8, 26].

Зазвичай витрати на пусканалагоджувальні роботи становлять 4–6 % від вартості обладнання [28]. Для розрахунку приймається значення 5%.

$$K_{пнр} = 0,05 \cdot K_{об} \quad (3.3)$$

$$K_{пнр} = 0,05 \cdot 582000$$

$$K_{пнр} = 29100 \text{ грн}$$

Таким чином, витрати на пусканалагодження становлять 29,1 тис. грн.

Розрахунок витрат на проектування.

Проектні роботи включають розроблення електричних схем, виконання креслень, підготовку специфікацій обладнання та оформлення технічної документації [14].

Для промислових об'єктів витрати на проектування становлять 2–5 % від вартості обладнання [28]. Приймаємо значення 3 %.

$$K_{пр} = 0,03 \cdot K_{об} \quad (3.4)$$

$$K_{пр} = 0,03 \cdot 582000$$

$$K_{пр} = 17460 \text{ грн}$$

Інші витрати.

До інших витрат відносять транспортні витрати, завантажувально-розвантажувальні роботи, оформлення супровідної документації та непередбачені витрати [28].

Зазвичай вони становлять близько 2 % вартості обладнання:

$$K_{ін} = 0,02 \cdot K_{об} \quad (3.5)$$

$$K_{ін} = 0,02 \cdot 582000$$

$$K_{iH} = 11640 \text{ грн}$$

Загальний обсяг капітальних вкладень.

Підставляючи отримані значення до формули, визначаємо загальний обсяг інвестицій:

$$K = 582000 + 46560 + 29100 + 17460 + 11640$$

$$K = 686760 \text{ грн}$$

Отже, для реалізації проєкту модернізації електропривода механізму підйому кисневої фурми необхідні капітальні вкладення в розмірі 686,76 тис. грн.

Найбільшу частку інвестицій (84,7 %) становить вартість основного обладнання, що є характерним для проєктів модернізації промислових електроприводів. Решта коштів спрямовується на виконання монтажних, пусконаладжувальних та проєктних робіт, необхідних для введення системи в експлуатацію.

### 3.3 Розрахунок річних витрат на оплату праці

Для забезпечення обслуговування електропривода необхідний один електромеханік [25].

Посадовий оклад:

$$З_{\text{міс}} = 18000 \text{ грн}$$

Річний фонд основної заробітної плати:

$$\Phi_{\text{осн}} = 18000 \cdot 12$$

$$\Phi_{\text{осн}} = 216000 \text{ грн}$$

Додаткова заробітна плата.

Приймається 15 % від основної:

$$\Phi_{\text{дод}} = 216000 \cdot 0,15$$

$$\Phi_{\text{дод}} = 32400 \text{ грн}$$

Єдиний соціальний внесок:

$$ЄСВ = (216000 + 32400) \cdot 0,22$$

$$ЄСВ = 54648 \text{ грн}$$

Загальний фонд оплати праці:

$$\text{ФОП} = 216000 + 32400 + 54648$$

$$\text{ФОП} = 303048 \text{ грн}$$

### 3.4 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація являє собою поступове перенесення вартості обладнання на собівартість продукції протягом терміну його служби [28].

Для електротехнічного обладнання приймається норма амортизації 10 % [28].

$$A = 686760 \cdot 0,1$$

$$A = 68676 \text{ грн/рік}$$

Отже, щорічні амортизаційні відрахування становлять 68,68 тис. грн.

### 3.5 Розрахунок витрат на електроенергію

Потужність двигуна:

$$P_{\text{ном}} = 70 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт завантаження:

$$k_z = 0,7$$

Середня потужність:

$$P_{\text{сер}} = 70 \cdot 0,7 = 49 \text{ кВт}$$

Річний фонд часу роботи:

$$T = 6000 \text{ год}$$

Річне споживання електроенергії визначається як добуток середньої потужності та річного фонду часу роботи обладнання [19]:

$$W = P_{\text{сер}} \cdot T \quad (3.6)$$

$$W = 49 \cdot 6000$$

$$W = 294000 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

При тарифі:


$$Ц = 7,62 \text{ грн/кВт\год}$$

Річні витрати становлять:

$$З_e = 294000 \cdot 7,62$$

$$З_e = 2240280 \text{ грн}$$

### **3.6 Розрахунок економії на ремонтах**

Аналіз експлуатації подібних систем показує, що після модернізації витрати на ремонти знижуються приблизно на 50 % [15, 16].

До модернізації:

$$З_{\text{рем1}} = 150000 \text{ грн}$$

Після модернізації:

$$З_{\text{рем2}} = 70000 \text{ грн}$$

Економія:

$$\Delta З_{\text{рем}} = 150000 - 70000 = 80000 \text{ грн}$$

### **3.7 Розрахунок економії від скорочення простоїв**

Внаслідок відмов застарілого обладнання середня тривалість простоїв становила 35 годин на рік [15, 17].

Після модернізації:

$$t_2 = 10 \text{ год}$$

Втрати від однієї години простою:

$$С_{\text{пр}} = 5000 \text{ грн/год}$$

До модернізації:

$$В_1 = 35 \cdot 5000 = 175000 \text{ грн}$$

Після модернізації:

$$В_2 = 10 \cdot 5000 = 50000 \text{ грн}$$

Економія:

$$\Delta В = 175000 - 50000$$

$$\Delta B = 125000 \text{ грн}$$

### 3.8 Розрахунок річного економічного ефекту

Загальний річний економічний ефект визначається [28]:

$$E = \Delta Z_{\text{рем}} + \Delta B + \Delta Z_{\text{обсл}} \quad (3.7)$$

де:

$$\Delta Z_{\text{обсл}} = 30000 \text{ грн}$$

Тоді:

$$E = 80000 + 125000 + 30000$$

$$E = 235000 \text{ грн}$$

### 3.9 Визначення строку окупності

Строк окупності визначається співвідношенням капітальних вкладень до річного економічного ефекту [28]:

$$T = \frac{686760}{235000}$$

$$T = 2,92 \text{ роки}$$

### 3.10 Визначення коефіцієнта економічної ефективності

Коефіцієнт економічної ефективності визначається як відношення річного економічного ефекту до загального обсягу капітальних вкладень [28].

$$E_{\text{еф}} = \frac{235000}{686760}$$

$$E_{\text{еф}} = 0,342$$

Нормативне значення:


$$E_{\text{н}} = 0,15$$

Оскільки

$$0,342 > 0,15$$

Проект відповідає вимогам економічної ефективності.


У результаті проведених розрахунків встановлено, що для реалізації модернізації електропривода подачі кисневої фурми необхідні капітальні вкладення в розмірі 686,76 тис. грн. Основна частина витрат припадає на



придбання сучасного тиристорного перетворювача SINAMICS DCM та допоміжного силового обладнання [8, 18].

Після впровадження модернізованої системи очікується суттєве зниження витрат на ремонт та технічне обслуговування, а також скорочення аварійних простоїв технологічного обладнання [15, 16]. Розрахований річний економічний ефект становить 235 тис. грн. Строк окупності інвестицій складає 2,92 року, що є прийнятним показником для промислових проєктів модернізації електроприводів [28]. Коефіцієнт економічної ефективності дорівнює 0,342, що перевищує нормативне значення 0,15 [28].

Отже, запропонована модернізація є економічно доцільною та рекомендованою до впровадження у виробництво. Отримані результати підтверджують економічну доцільність впровадження системи SINAMICS DCM для керування приводом подачі кисневої фурми [8,28].



## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ. ЗАХОДИ ПО ПОЛІПШЕННЮ УМОВ ПРАЦІ В КОНВЕРТЕРНОМУ ЦЕХУ ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»**

### **4.1 Охорона праці в Україні**

Охорона праці в Україні є одним із пріоритетних напрямів державної соціальної політики, спрямованої на забезпечення безпечних і здорових умов праці. Конституцією України гарантовано право кожного громадянина на належні, безпечні та здорові умови праці. Реалізація цього права забезпечується системою законодавчих, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів [24].

Основним нормативно-правовим актом у сфері охорони праці є Закон України «Про охорону праці», який визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їхнього життя і здоров'я в процесі трудової діяльності [24]. Закон регулює відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, а також встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Закон України «Про охорону праці» складається з таких основних розділів:

- загальні положення;
- гарантії прав працівників на охорону праці;
- організація охорони праці;
- стимулювання охорони праці;
- нормативно-правові акти з охорони праці;
- державне управління охороною праці;
- державний нагляд і громадський контроль за охороною праці;
- відповідальність за порушення законодавства про охорону праці.

На ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» значна увага приділяється питанням створення безпечних і комфортних умов праці [25]. На підприємстві впроваджуються сучасні технології, здійснюється модернізація обладнання та автоматизація виробничих процесів, що сприяє зниженню рівня виробничого травматизму, поліпшенню умов праці та підвищенню продуктивності праці.

У цьому розділі розглянуто заходи, спрямовані на зменшення впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, профілактику професійних захворювань і виробничого травматизму, а також заходи щодо захисту навколишнього природного середовища від негативного впливу виробничої діяльності підприємства.

### **4.2 Вимоги до території підприємства**

ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» розташоване в південній частині міста Кам'янське Дніпропетровської області. Кліматичні умови району

характеризуються помірно континентальним кліматом. Середньорічна роза вітрів наведена на рисунку 4.1.

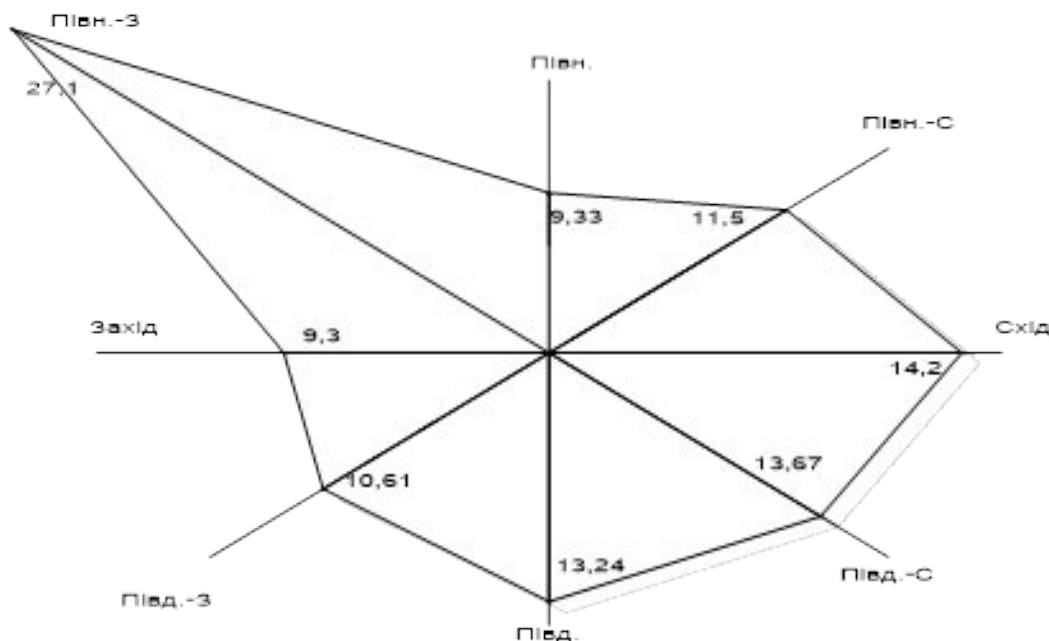


Рисунок 4.1 – Середньорічна роза вітрів

Підприємство розташоване у II кліматичному районі. Основні метеорологічні характеристики місцевості є такими:

- максимальна температура повітря в холодний період року – мінус 26 °С;
- максимальна температура повітря в теплий період року – плюс 38 °С;
- середня температура повітря в холодний період року – мінус 4,5 °С;
- середня температура повітря в теплий період року – плюс 22,5 °С;
- середньорічна температура повітря – плюс 9 °С;
- середня відносна вологість повітря в холодний період року – 84 %;
- середня відносна вологість повітря в теплий період року – 62 %.

Річна кількість атмосферних опадів становить близько 500 мм. Середня глибина промерзання ґрунту в зимовий період досягає 0,9 м.

Територія підприємства повинна утримуватися відповідно до вимог чинних нормативних документів з охорони праці, пожежної безпеки та виробничої санітарії [24, 25]. Проїзди та пішохідні доріжки повинні мати тверде покриття, бути вільними для руху транспорту та працівників і систематично очищатися від сміття, пилу та снігу.

На території підприємства мають бути передбачені:

- безпечні маршрути пересування працівників;
- відповідне зовнішнє освітлення;
- дорожні знаки та знаки безпеки;
- місця для зберігання матеріалів і відходів виробництва;

- 
- засоби пожежогасіння та вільний доступ до них.

Організація території підприємства повинна забезпечувати безпечне виконання виробничих процесів, мінімізувати вплив шкідливих виробничих факторів на працівників та сприяти дотриманню вимог охорони праці [25].

### **4.3 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів**

У процесі виконання виробничих обов'язків працівники конвертерного цеху зазнають впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, характер яких визначається особливостями технологічного процесу та умовами експлуатації обладнання.

До основних небезпечних виробничих факторів належать:

- рухомі машини та механізми;
- рухомі частини виробничого обладнання;
- гострі крайки, задирки та шорсткість поверхонь інструментів і деталей;
- підвищена напруга в електричних колах, замикання яких може відбутися через тіло людини;
- можливість падіння предметів під час виконання ремонтних робіт.

Електротехнічний персонал, а також працівники, які обслуговують електрообладнання, піддаються ризику ураження електричним струмом [4,26]. Основним небезпечним фактором у цьому випадку є наявність напруги в силових колах електроприводів та колах керування електроустановок.

Під час роботи технологічного обладнання на працівників також впливає підвищений рівень шуму, який створюється електродвигунами, вентиляційними установками та іншими механізмами. Тривалий вплив шуму може призвести до зниження працездатності, погіршення слуху та розвитку професійних захворювань [ 25].

До шкідливих виробничих факторів належить і підвищена температура повітря в робочій зоні, яка в окремих випадках може досягати 60 °С. Неприятливий мікроклімат негативно впливає на самопочуття працівників, викликає швидку втому та знижує ефективність праці.

Під час проведення технічного обслуговування і ремонту обладнання працівники можуть піддаватися впливу таких факторів:

- рухомих елементів механізмів;
- механізованого інструменту;
- виробничого пилу;
- мастильних матеріалів;
- механічних ушкоджень гострими крайками деталей та інструментів.

Робота в конвертерному цеху характеризується значною складністю та різноманітністю технологічних операцій, що обумовлює наявність комплексу небезпечних фізичних факторів. Для оцінки умов праці проводиться аналіз відповідності фактичних показників нормативним вимогам.

#### **4.4 Заходи, передбачені дипломним проєктом для покращення умов праці та охорони навколишнього середовища**

На підставі проведеного аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів передбачено комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці та зниження негативного впливу виробничої діяльності на навколишнє середовище [25,26].

Для захисту працівників, які обслуговують електроустановки, передбачається застосування таких технічних засобів безпеки:

- огорожувальних пристроїв;
- ізолювальних засобів;
- запобіжних пристроїв;
- засобів автоматичного контролю та сигналізації.

На проєктованій ділянці передбачено використання природного, штучного та аварійного освітлення.

Природне освітлення здійснюється через світлові прорізи у зовнішніх стінах будівлі. За недостатнього рівня природного освітлення використовується штучне освітлення, яке повинно забезпечувати нормативні значення освітленості робочих місць.

Аварійне освітлення передбачається для забезпечення можливості безпечного завершення технологічного процесу або евакуації працівників у разі раптового відключення робочого освітлення. Рівень освітленості при аварійному освітленні повинен відповідати вимогам чинних нормативних документів [25].

Важливе значення має належне технічне обслуговування освітлювальних установок. Очищення світильників та світлопрозорих поверхонь необхідно проводити відповідно до встановленого графіка. Перед виконанням робіт з очищення електрообладнання воно повинно бути знеструмлене [4].

Для забезпечення нормативних параметрів повітряного середовища передбачається ефективна робота вентиляційних систем [25]. Вентиляція повинна забезпечувати видалення пилу, надлишкового тепла та шкідливих газоподібних речовин із робочої зони.

З метою зниження рівня шуму необхідно впроваджувати такі заходи:

- раціональне планування виробничих приміщень;
- використання звукоізолювальних конструкцій;
- застосування шумопоглинальних матеріалів;
- встановлення глушників шуму на аеродинамічних установках;
- своєчасне технічне обслуговування обладнання.

Для зменшення негативного впливу виробництва на навколишнє середовище необхідно:

- забезпечити контроль за викидами шкідливих речовин;
- здійснювати своєчасне очищення вентиляційних систем;
- дотримуватися правил поведінки з виробничими відходами;

- застосовувати сучасні природоохоронні технології [25].

Реалізація зазначених заходів сприятиме покращенню умов праці, зниженню рівня виробничого травматизму та професійної захворюваності, а також підвищенню рівня екологічної безпеки підприємства.

#### **4.5 Засоби індивідуального захисту**

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) призначені для запобігання або зменшення впливу на працівників небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Вони застосовуються у випадках, коли безпека працівників не може бути повністю забезпечена конструкцією обладнання, організацією виробничих процесів або засобами колективного захисту.

Працівники конвертерного цеху повинні бути забезпечені спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до характеру виконуваних робіт і вимог чинних нормативних документів [24, 25].

Для захисту від механічних ушкоджень, підвищених температур та виробничих забруднень працівники повинні використовувати:

- спеціальний одяг, призначений для роботи в умовах металургійного виробництва;
- спеціальне взуття із захисними властивостями;
- захисні каски для запобігання травмуванню голови;
- захисні рукавиці для захисту рук від механічних пошкоджень і термічних впливів.
- Для захисту органів слуху від дії виробничого шуму застосовуються:
- протишумові навушники;
- протишумові вкладки (беруші).

Під час обслуговування електроустановок працівники повинні використовувати електрозахисні засоби [4], зокрема:

- діелектричні рукавички;
- діелектричні килимки;
- ізолювальні штанги;
- покажчики напруги;
- переносні заземлення;
- ізолювальні кліщі.

Для захисту органів дихання на запилених ділянках виробництва необхідно застосовувати респіратори відповідного типу.

З метою захисту органів зору від механічних частинок, пилу та інтенсивного світлового випромінювання працівники повинні користуватися захисними окулярами або спеціальними щитками.

Використання засобів індивідуального захисту є обов'язковою умовою безпечного виконання робіт і сприяє зниженню рівня виробничого травматизму та професійної захворюваності [24].

## 4.6 Пожежна безпека

Характеристика виробництва щодо пожежної безпеки.

Відповідно до вимог чинних нормативних документів виробничі приміщення конвертерного цеху за пожежною небезпекою належать до відповідної категорії залежно від властивостей речовин і матеріалів, що використовуються у виробничому процесі.

Будівлі цеху виконані переважно із залізобетонних конструкцій, цегли та металевих елементів, що забезпечує необхідний ступінь вогнестійкості [25]. Адміністративно-побутові приміщення повинні відповідати вимогам пожежної безпеки, встановленим для відповідних категорій будівель.

Найбільш імовірними місцями виникнення пожежі можуть бути:

- електроустановки та електрообладнання;
- місця можливого витoku газу;
- газопроводи та допоміжне технологічне обладнання;
- склади зберігання горючих матеріалів.

Причинами виникнення пожеж можуть бути:

- порушення правил експлуатації електрообладнання;
- короткі замикання в електричних мережах;
- несправність засобів захисту;
- необережне поводження з відкритим вогнем;
- порушення вимог пожежної безпеки під час виконання вогневих робіт [25, 26].


Пожежна профілактика

Для попередження виникнення пожеж необхідно здійснювати комплекс організаційних і технічних заходів [25], а саме:

- розробляти та переглядати інструкції з пожежної безпеки;
- призначати відповідальних осіб за забезпечення пожежної безпеки на виробничих дільницях;
- проводити первинний, повторний та позаплановий інструктаж з пожежної безпеки;
- організувати навчання працівників діям у разі виникнення пожежі;
- здійснювати постійний контроль за справністю електрообладнання;
- забезпечувати вільний доступ до евакуаційних виходів та засобів пожежогасіння.

Для запобігання виникненню вибухонебезпечних ситуацій необхідно:

- забезпечувати герметичність газопроводів;
- своєчасно виявляти та усувати витoki газу;
- виключати можливість контакту горючих газів із джерелами займання;
- дотримуватися встановленого порядку проведення газонебезпечних робіт.



У виробничих приміщеннях повинні функціонувати системи аварійного оповіщення та сигналізації, що забезпечують своєчасне виявлення пожежі та інформування працівників про необхідність евакуації [25].

**Засоби та способи гасіння пожеж**

Для ліквідації пожеж у цеху необхідно використовувати первинні засоби пожежогасіння та системи протипожежного водопостачання.

Протипожежне водопостачання забезпечується внутрішнім і зовнішнім протипожежними водопроводами, параметри яких повинні відповідати вимогам нормативних документів.

На території цеху повинні бути встановлені:

- вуглекислотні вогнегасники для гасіння електрообладнання, що перебуває під напругою;

- порошкові вогнегасники універсального призначення;

- пожежні щити, укомплектовані необхідним інвентарем;

- ящики з піском;

- пожежні крани з комплектом рукавів і стволів.

Усі первинні засоби пожежогасіння повинні розміщуватися у легкодоступних місцях, мати відповідне маркування та регулярно проходити технічне обслуговування [25].

Працівники підприємства повинні бути ознайомлені з правилами користування засобами пожежогасіння та порядком дій у разі виникнення пожежі [25].

#### **4.7 Технічна естетика та ергономіка**

Раціональна організація робочих місць, дотримання вимог технічної естетики та ергономіки є важливими складовими створення безпечних і комфортних умов праці [24]. Вони сприяють підвищенню продуктивності праці, зниженню втомлюваності працівників і зменшенню ймовірності виникнення помилкових дій під час виконання виробничих операцій.

Умови праці визначаються рівнем технічного оснащення виробництва, характером технологічного процесу, організацією виробничої діяльності, санітарно-гігієнічними показниками, режимом праці та відпочинку, а також естетичним оформленням виробничих приміщень.

Під час проєктування та модернізації робочих місць необхідно враховувати такі ергономічні вимоги [ 26]:


- забезпечення достатнього робочого простору для виконання виробничих операцій та технічного обслуговування обладнання;

- створення необхідних умов для зорового, слухового та інформаційного сприйняття сигналів керування;

- раціональне розташування обладнання, органів керування та засобів відображення інформації;

- забезпечення безпечних проходів і проїздів у виробничих приміщеннях;

- дотримання нормативних параметрів освітлення робочих місць;

- 
- підтримання допустимих рівнів шуму та вібрації;
  - забезпечення працівників необхідними засобами індивідуального захисту;
  - розміщення знаків безпеки відповідно до вимог чинних нормативних документів.

Для запобігання передчасній втомі працівників необхідно передбачати заходи, спрямовані на оптимізацію режимів праці та відпочинку, створення сприятливого психологічного клімату в колективі та підвищення культури виробництва.

Проектними рішеннями передбачається проведення періодичного косметичного ремонту виробничих приміщень, фарбування металоконструкцій та обладнання, утримання в належному стані території цеху і пішохідних зон.

У виробничих приміщеннях повинні бути обладнані місця для питного водопостачання, приміщення для відпочинку працівників та санітарно-побутові приміщення відповідно до вимог чинних нормативних документів [25].

Система вентиляції цеху повинна забезпечувати підтримання нормативних параметрів повітряного середовища в робочій зоні [25]. Прибирання виробничих приміщень необхідно проводити регулярно згідно із затвердженим графіком.

Забезпечення належного рівня технічної естетики та ергономіки сприяє створенню безпечних і комфортних умов праці, підвищенню працездатності персоналу та покращенню виробничих показників підприємства.

#### **4.8 Ефективність запропонованих заходів з охорони праці**

Заходи щодо поліпшення умов праці є важливою складовою підвищення ефективності виробничої діяльності підприємства. У багатьох випадках вони одночасно сприяють удосконаленню технологічних процесів, підвищенню надійності обладнання та покращенню якості виконуваних робіт.

Зниження рівня запиленості, шуму та інших шкідливих виробничих факторів позитивно впливає на стан здоров'я працівників, зменшує ризик виникнення професійних захворювань і сприяє підвищенню продуктивності праці. Використання сучасних засобів колективного та індивідуального захисту дозволяє знизити рівень виробничого травматизму та скоротити втрати робочого часу, пов'язані з тимчасовою непрацездатністю працівників [24].

Поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці, удосконалення систем освітлення, вентиляції та шумозахисту сприяють зменшенню втомлюваності персоналу, підвищенню концентрації уваги та зниженню ймовірності помилкових дій під час виконання виробничих операцій.

- У результаті впровадження запропонованих заходів очікується:
- зниження рівня виробничого травматизму;



- зменшення кількості професійних захворювань;
- покращення санітарно-гігієнічних умов праці;
- зниження стомлюваності працівників;
- підвищення рівня безпеки під час експлуатації обладнання;
- зменшення негативного впливу виробництва на навколишнє природне середовище;
- скорочення втрат робочого часу;
- підвищення продуктивності праці персоналу.

Таким чином, реалізація комплексу організаційних і технічних заходів з охорони праці забезпечить підвищення рівня безпеки виробничих процесів, створення сприятливих умов праці та зростання ефективності діяльності підприємства в цілому [24, 25].



## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано аналіз технологічного процесу виробництва сталі в конвертерному цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», розглянуто конструкцію, принцип роботи та особливості експлуатації механізму подачі кисневої фурми, а також досліджено існуючу систему електропривода даного механізму.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що застосування застарілого тиристорного перетворювача SIMOREG 6RA7085 не повністю відповідає сучасним вимогам щодо надійності, точності регулювання, енергоефективності та діагностичних можливостей електропривода. Тому в роботі обґрунтовано необхідність модернізації системи керування механізмом підйому кисневої фурми шляхом впровадження сучасного тиристорного перетворювача SINAMICS DCM.

У проєктній частині виконано перевірку потужності електродвигуна, вибір силового трансформатора, тиристорних елементів та основного силового обладнання системи електропривода. Проведені розрахунки підтвердили правильність вибору електродвигуна та відповідність основних елементів системи умовам експлуатації механізму подачі кисневої фурми.

Розроблено структурну схему модернізованої системи керування електроприводом на базі SINAMICS DCM із замкненими контурами регулювання струму та швидкості. Проведений аналіз динамічних характеристик показав, що система забезпечує необхідну швидкодію, стійкість і точність позиціонування фурми в усіх технологічних режимах роботи.


У економічній частині визначено капітальні витрати на модернізацію, розраховано експлуатаційні витрати, економію від зниження простоїв та витрат на ремонт. Отримані результати свідчать про економічну доцільність впровадження запропонованого технічного рішення. Річний економічний ефект становить близько 235 тис. грн, а строк окупності проєкту складає приблизно 2,9 року, що підтверджує ефективність модернізації.

У розділі охорони праці виконано аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів конвертерного цеху та розроблено комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на підвищення безпеки праці, зниження рівня виробничого травматизму та покращення умов роботи персоналу.

Таким чином, поставлена мета кваліфікаційній роботі досягнута. Запропонована модернізація електропривода подачі кисневої фурми забезпечує підвищення надійності роботи обладнання, покращення якості регулювання технологічного процесу, зниження експлуатаційних витрат та підвищення ефективності виробництва сталі в конвертерному цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конспект лекції з дисципліни «Системи керування електроприводами» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / уклад. В.Б. Нізімов. Кам'янське : ДДТУ, 2019 . 124 с.
2. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Харків : Форт, 2017. 760 с.
3. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС). Київ : Мінпаливенерго України, 2012. 308 с.
4. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС). Київ : Основа, 2018. 272 с.
5. ДСТУ EN 60204-1:2015. Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
6. ДСТУ IEC 60034-1:2010. Машини електричні обертові. Частина 1. Номінальні параметри та характеристики. Київ : Держспоживстандарт України, 2012.
7. Технічна документація на тиристорний перетворювач SIMOREG DC-MASTER 6RA7085 компанії Siemens.
8. Технічна документація на перетворювач SINAMICS DCM 6RA8085 компанії Siemens Industry Online Support.
9. Технічна документація на програмований логічний контролер SIMATIC S7 компанії Siemens Automation.
10. Технічна документація мережі PROFIBUS DP компанії PROFIBUS & PROFINET International.
11. Довідкові матеріали та технічна документація конвертерного цеху Камет-сталь.
12. Сибірцев В. С. Автоматизовані електроприводи металургійних машин : навчальний посібник. Дніпро : НМетАУ, 2010. 420 с.
13. Бондаренко О. І. Системи автоматичного керування електроприводами : навчальний посібник. Київ : Ліра-К, 2018. 390 с.
14. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи за спеціальністю «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2024.
15. Ключев В. І. Теорія електропривода : підручник. Київ : Вища школа, 2002. 511 с.
16. Браславський І. Я., Ішматов З. Ш., Поляков В. Н. Електропривод і автоматизація загальнопромислових механізмів : навчальний посібник. Київ : Техніка, 2009. 320 с.
17. Болюх В. Ф., Говорун С. В. Електричні машини : підручник. Харків : НТУ «ХПІ», 2018. 464 с.
18. Кузьмін О. В., Сегеда М. С. Силова електроніка та перетворювальна техніка : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. 340 с.



19. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи : підручник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. 540 с.

20. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування : підручник. Київ : Либідь, 2007. 656 с.

21. Білякович М. О., Лозинський О. Ю. Системи керування електроприводами : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. 356 с.

22. Микитенко Г. В. Напівпровідникові перетворювачі електроенергії : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 312 с.

23. Головка В. М. Системи автоматичного керування електроприводами : навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2017. 286 с.

24. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 №2694-ХІІ (зі змінами).

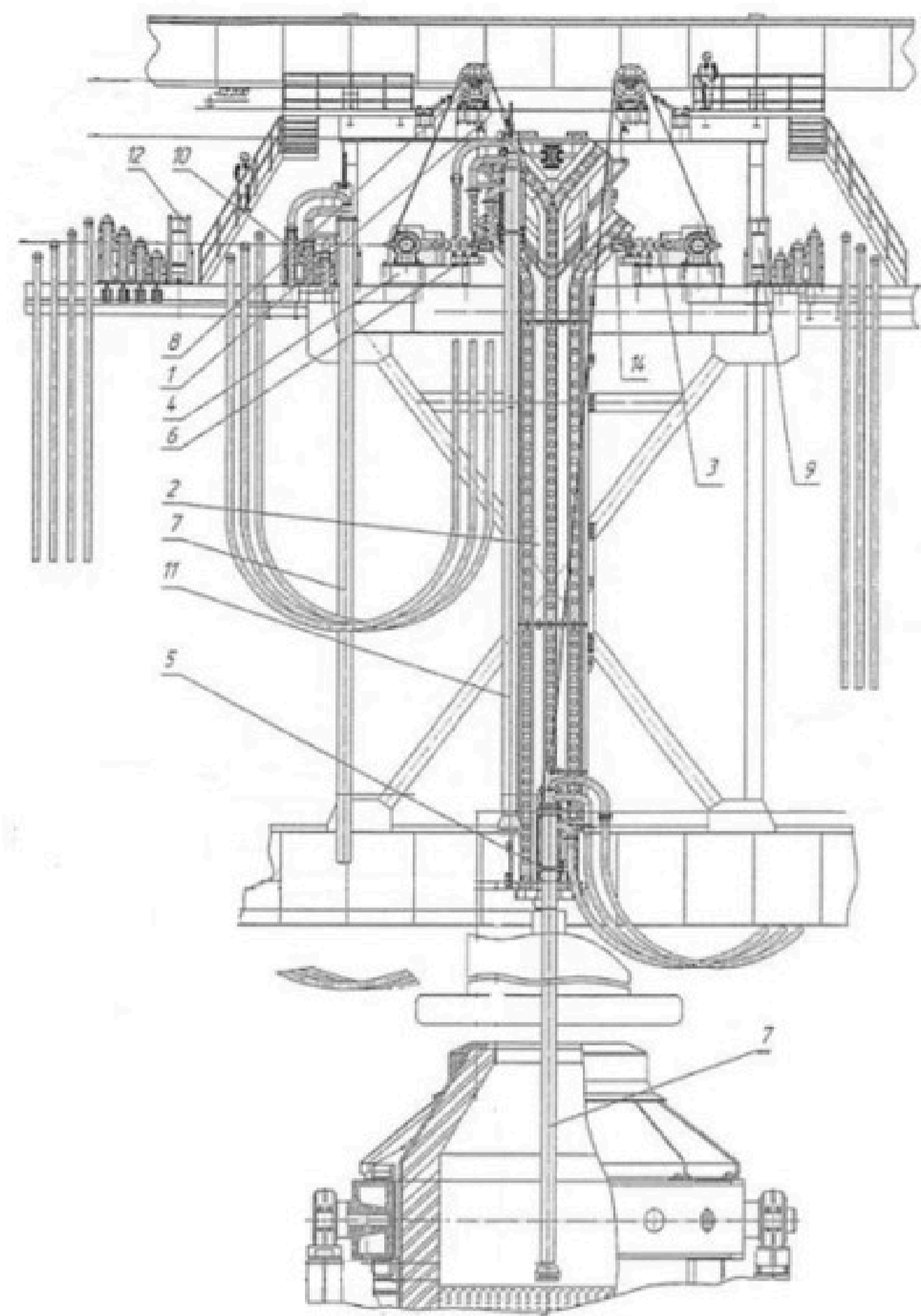
25. НПАОП 27.0-1.01-08. Правила охорони праці у металургійній промисловості. Київ, 2008.

26. ДСТУ EN 61800-5-1:2015. Регульовані електроприводи. Вимоги безпеки.

27. Кравченко В. І., Каплун В. В. Силові напівпровідникові перетворювачі в електроприводі : навчальний посібник. Харків : НТУ «ХПІ», 2018. 318 с.

28. Методичні вказівки до проєктування систем електропривода металургійних механізмів / укл. О. В. Лозинський. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2020. 96 с.

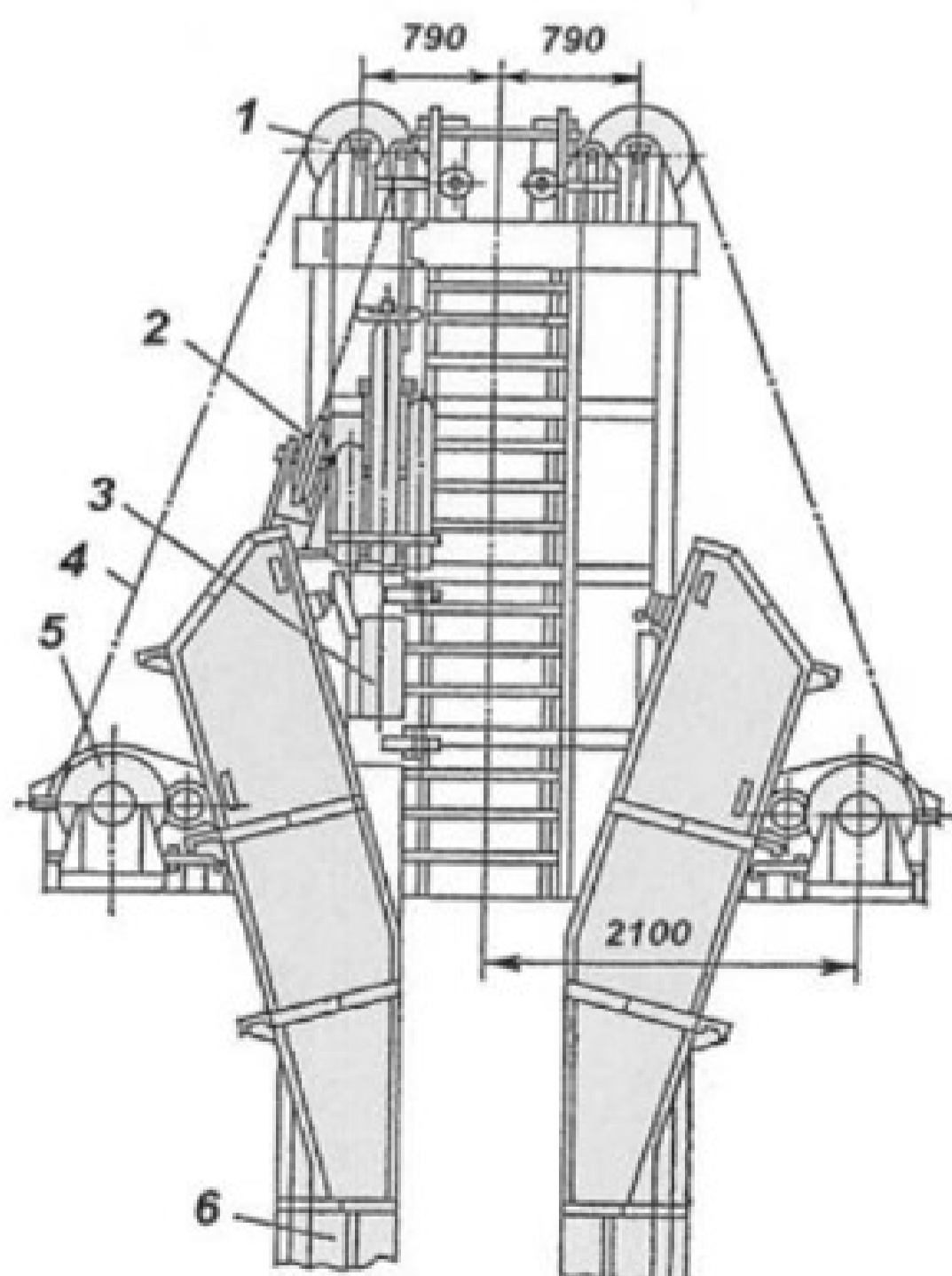
**Стаціонарна машина для подачі кисню**



Основні вузли та механізми машини для подачі кисню	
№	Опис
-1	Металоконструкція машини
-2	Напрямна, яка закріплюється по осі конвертера до металоконструкції цеху
-3	Механізм підняття та опускання кисневих фурм і відведення їх у резервне положення
-4	Механізм підняття та опускання кисневих фурм і відведення їх у резервне положення
-5	Ролик каретки
-6	Ролик каретки
-7	Фурми кисневі, що являють собою три концентрично зварені між собою сталеві труби, які закінчуються наконечником із соплами
-9	Стенд для кисневих фурм
-10	Стенд для кисневих фурм

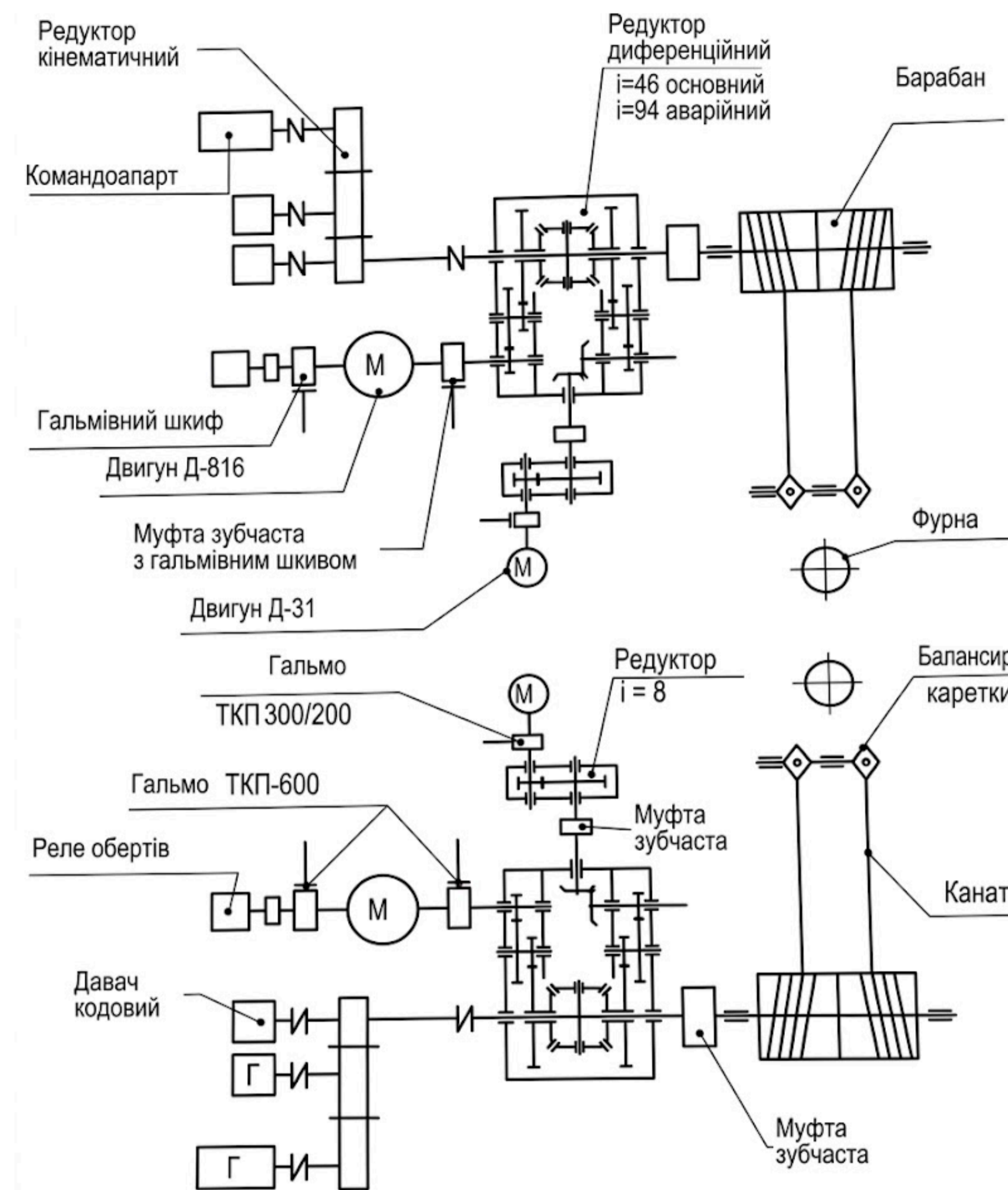
Примітки: Напрямна машини складається з трьох частин, що являють собою зварні металоконструкції. Фланці кожної частини обробляють механічним способом, а взаємне положення частин фіксують штифтами.

**Зовнішній вигляд механізму подачі кисню в конвертер**



№ (Поз.)	Опис / Найменування вузлів та механізмів
1	Напрямний блок
2	Рухомий блок на каретці
3	Фурменна каретка
4	Канат
5	Лебідка

**Кінематична схема**



Лист № 01  
Лист № 02  
Лист № 03  
Лист № 04  
Лист № 05  
Лист № 06  
Лист № 07  
Лист № 08  
Лист № 09  
Лист № 10  
Лист № 11  
Лист № 12  
Лист № 13  
Лист № 14  
Лист № 15  
Лист № 16  
Лист № 17  
Лист № 18  
Лист № 19  
Лист № 20  
Лист № 21  
Лист № 22  
Лист № 23  
Лист № 24  
Лист № 25  
Лист № 26  
Лист № 27  
Лист № 28  
Лист № 29  
Лист № 30  
Лист № 31  
Лист № 32  
Лист № 33  
Лист № 34  
Лист № 35  
Лист № 36  
Лист № 37  
Лист № 38  
Лист № 39  
Лист № 40  
Лист № 41  
Лист № 42  
Лист № 43  
Лист № 44  
Лист № 45  
Лист № 46  
Лист № 47  
Лист № 48  
Лист № 49  
Лист № 50

АВЕРС. КРБ12298898. ЕТР-4А				
Зм.	Арх.	№ док.	Підп.	Дата
Розробив	С.В. Іванчишин			
Перевірив	Ю.Ю. Шрамко			
Т.контур				
Н.контур	Ю.Ю. Шрамко			
Затвердив				

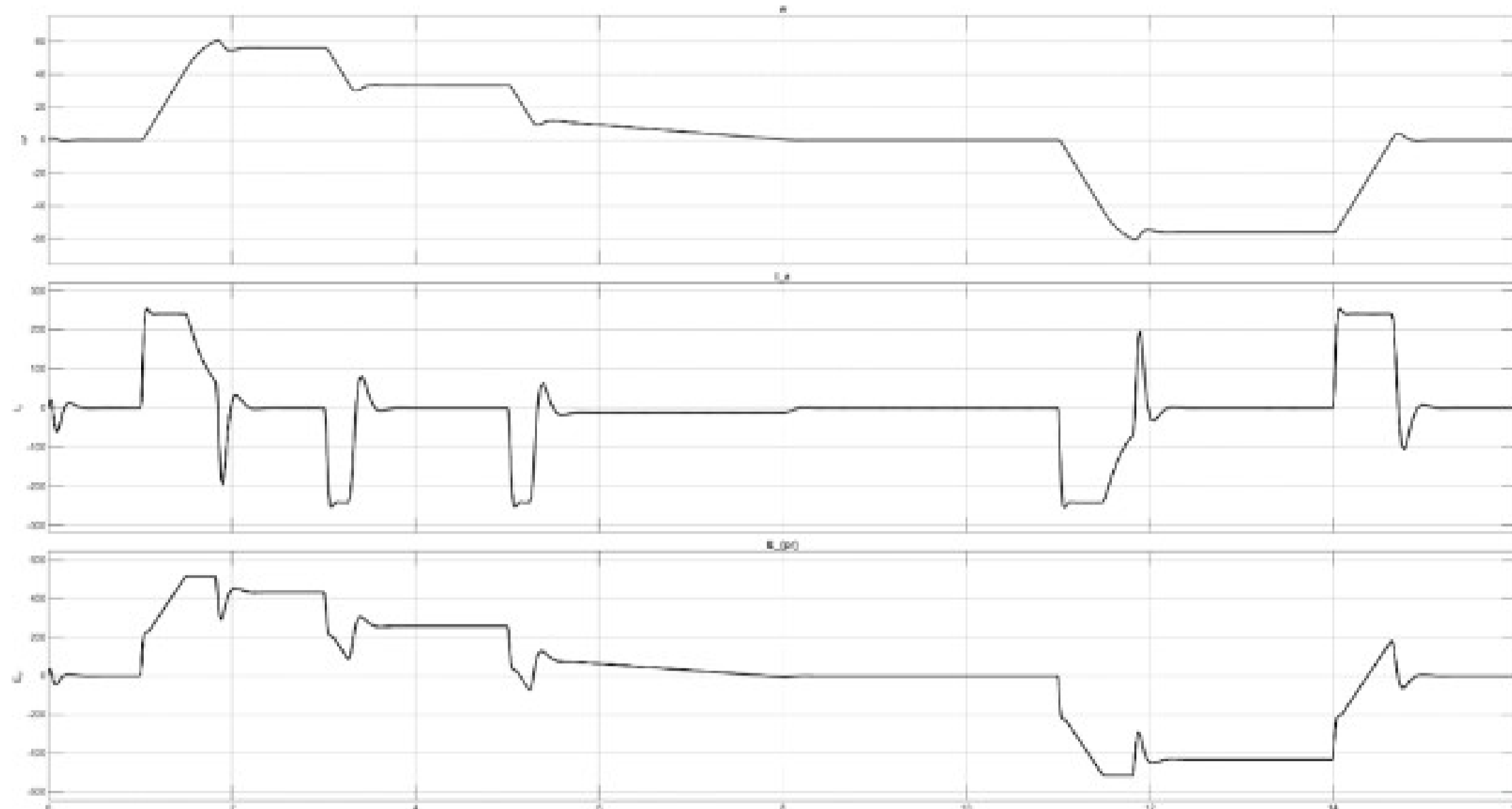
Підключення, моделювання перехідних процесів

Літера	Маса	Мірило

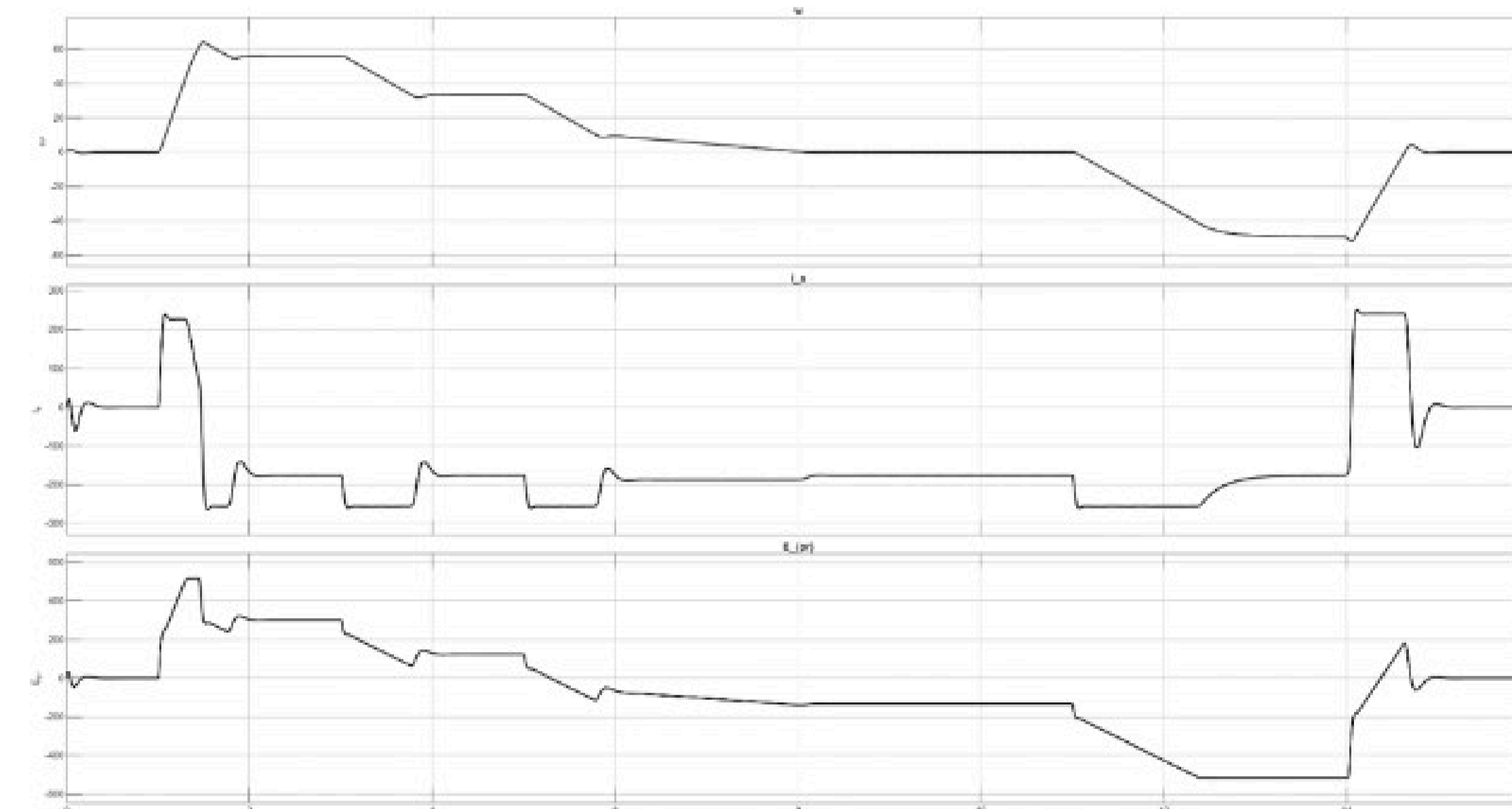
Аркуш 1 Аркуш 2

ТОВ "МЕТІВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА"  
ФАБІЛ, АВЕРС цд.  
ЕІ-23-Іл. 2026

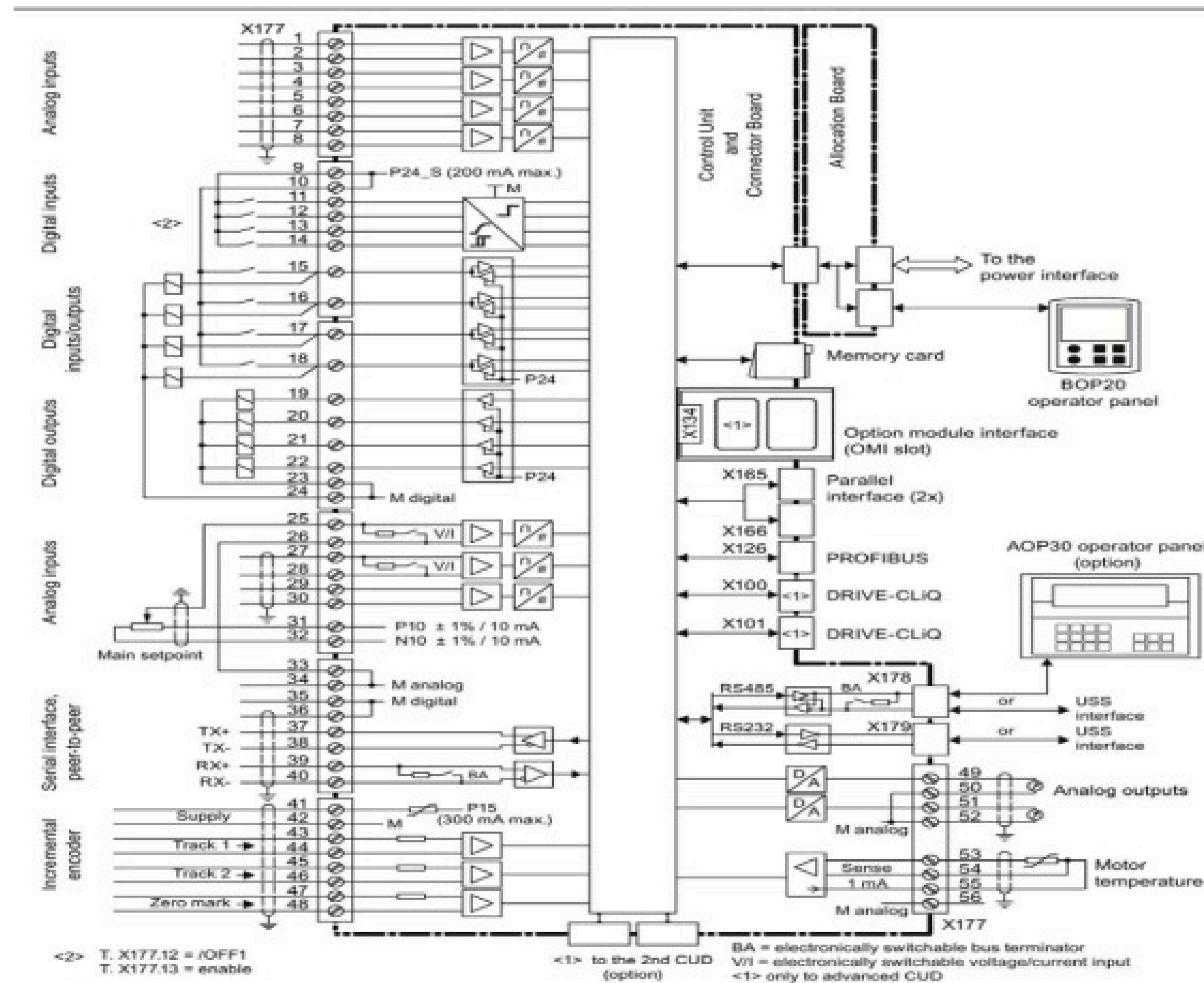
Відпруцювання повного циклу руху без навантаження



Відпруцювання повного циклу руху з номінальним навантаженням



Рекомендована електрична схема підключення



Лист № 01.  
Лист № 02.  
Лист № 03.  
Лист № 04.  
Лист № 05.  
Лист № 06.  
Лист № 07.  
Лист № 08.  
Лист № 09.  
Лист № 10.

АВЕРС. КРБ12298898. ЕТР-4Д				
Зм.	Арх.	№ док.	Підп.	Дата
Розробив	С.В. Іванчишин			
Перевірив	Ю.Ю. Шрамко			
Т.контур				
Н.контур	Ю.Ю. Шрамко			
Затвердив				
Підключення, моделювання перехідних процесів				
Літера		Маса	Мірило	
Аркуш 2		Аркуш 2		
ТОВ ТУ "МЕТІВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА" 04417, АВЕРС ІП. ЕІ-23.Іл. 2026				