

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського  
Навчально-науковий інститут муніципального управління  
та міського господарства  
Кафедра інженерних систем та технологій

На правах рукопису

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

## ТЕМА РОБОТИ

### «МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ЗАХИСТУ ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА»

Здобувача вищої освіти  
Грищука Олександра Миколайовича  
Освітня програма  
«Автоматизоване управління  
технологічними процесами»  
(Спеціальність 174 «Автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані технології  
та робототехніка»)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник:  
к.держ.упр., професор, Гуйда О.Г.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Національна шкала \_\_\_\_\_  
Кількість балів \_\_\_\_\_  
Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

Київ – 2025

Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського  
Навчально-науковий інститут муніципального управління  
та міського господарства  
Кафедра інженерних систем та технологій  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані  
технології та робототехніка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

Наталія ОМЕЦІНСЬКА

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 року

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Грищуку Олександрю Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація системи автоматичного захисту водогрійного котла  
керівник роботи: к.держ.упр., професор, Гуйда О.Г. \_\_\_\_\_  
затвержені Наказом ТНУ імені В.І Вернадського:  
від « 2 » жовтня 2025 р. № 116
2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи: 5 грудня 2025р
3. Вихідні дані до роботи: Система блокувань водогрійного котла промислової котельні з газовим та мазутним паливними трактами, запальною системою, системою розпилу мазуту парою та допоміжними інженерними мережами. Проектування здійснюється з урахуванням вимог промислової безпеки, діючих нормативних документів.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Вступ. Технологічний розділ. Дослідницько-аналітичний розділ. Проектно-рекомендаційний розділ. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Загальні висновки по роботі. Список використаних джерел.
5. Перелік графічного матеріалу: графічний матеріал виконаний у вигляді мультимедійної презентації.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	к.держ.упр., професор, Гуйда О.Г.		
2	к.держ.упр., професор, Гуйда О.Г.		
3	к.держ.упр., професор, Гуйда О.Г.		
4	к.держ.упр., професор, Гуйда О.Г.		

7. Дата видачі завдання 3 жовтня 2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Заключний документ етапу
1	Вибір теми магістерської роботи, призначення керівника	до 08.09.2025	Затвердження переліку тем магістерських робіт та наукових керівників
2	Пошук і відбір літератури по темі роботи, складання плану магістерської роботи	до 15.09.2025	Список літературних (інформаційних) джерел, план роботи
3	Визначення об'єкта, предмета, мети, завдань та методів дослідження, написання вступу до теми магістерського дослідження	до 22.09.2025	Текст вступу
4	Написання тексту магістерської роботи відповідно до її структури:	23.09.2025 – 10.11.2024	Текст розділів
	4.1 I розділ	23.09.2025 – 05.10.2025	
	4.2 II розділ	06.10.2025 – 20.10.2025	
	4.3 III розділ	21.10.2025 – 03.11.2025	
4.4 IV розділ	04.11.2025 – 10.11.2025		
5	Підготовка графічних матеріалів чи іншого унаочнення	11.11.2025 – 14.11.2025	Роздатковий матеріал, презентація
6	Оформлення кінцевого списку використаних джерел та додатків	15.11.2025 – 21.11.2025	Список літературних джерел
7	Оформлення та попередній захист магістерської роботи	24.11.2025 – 28.11.2025	Магістерська робота, рішення кафедри про допуск до захисту
8	Внесення коректив та кінцеве редагування магістерської роботи	01.12.2025 – 05.12.2025	Магістерська робота
9	Реєстрація магістерських робіт на кафедрі	до 05.12.2025	Магістерська робота внесена до журналу реєстрації випускових робіт
10	Захист магістерської роботи	15.12.2025 – 26.12.2025	Рішення Екзаменаційної комісії про захист

## АНОТАЦІЯ

**Гришук О. М. Модернізація системи автоматичного захисту водогрійного котла– Рукопис.**

Кваліфікаційна магістерська робота за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». – Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, Київ, 2025 рік.

Проект присвячений модернізації системи блокувань (захистів першого порядку) водогрійного котла з урахуванням сучасних вимог до промислової безпеки, енергоефективності та технологічної надійності. У роботі проаналізовано існуючу релейну схему блокувань, визначено її сильні сторони та обґрунтовано доцільність збереження апаратної логіки при одночасному впровадженні нових європейських компонентів — реле змінного струму, електронних таймерів, модулів безперебійного живлення та системи контролю процесів розпалювання.

Особливу увагу приділено вдосконаленню паливних трактів котла: у систему блокувань інтегровано контроль арматури на подачу пари до розпилу мазуту, що забезпечує повніше згоряння палива та зниження димності. Модернізовано запальну систему — запальники типу *Hegwein* із системою контролю полум'я *Durag* забезпечують стабільний запуск як газового, так і мазутного факела. Додано резервне живлення та резервне джерело газу для забезпечення безперервності пуску навіть за аварійних умов.

Модернізована система блокувань забезпечує комплексний контроль усіх етапів пуску котла, виключає неправильні дії персоналу та підвищує рівень технічної і екологічної безпеки установки.

**Ключові слова:** водогрійний котел, система блокувань, реле, таймер, запальник, *Durag*, *Hegwein*, стійка безперебійного живлення, контролер *Siemens*, безпека, модернізація.

## ABSTRACT

### **Gryshchuk O. M. Modernization of the automatic protection system for water heating boilers – Manuscript.**

Qualifying master's thesis on specialty 174 " Automation, computer-integrated technologies and robotics". – V.I. Vernadskyi Taurida National University, Kyiv, 2025.

The project is dedicated to the modernization of the interlocking system of a hot-water boiler, taking into account modern requirements for industrial safety, energy efficiency, and technological reliability. The work analyzes the existing relay-based interlocking scheme, identifies its strengths, and justifies the feasibility of preserving the hardware logic while integrating new European components—AC relays, electronic timers, uninterruptible power supply modules, and advanced ignition control systems.

Particular attention is given to improving the boiler's fuel systems: the interlocking algorithm now includes control of the steam supply valves used for mazut atomization, ensuring more complete fuel combustion and reduced smoke formation. The ignition system has been modernized: Hegwein igniters equipped with Durag flame control provide stable ignition for both gas and mazut operation. A backup power supply and an auxiliary gas source are added to ensure uninterrupted ignition even under emergency conditions.

The modernized interlocking system provides comprehensive control over all stages of boiler startup, prevents incorrect operator actions, and increases the overall technical and environmental safety of the installation.

Keywords: water heating boiler, interlock system, relay, timer, igniter, Durag, Hegwein, uninterruptible power supply, Siemens controller, safety, modernization.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1 Система блокувань.....	9
Призначення системи блокувань - запобігання неправильним діям персоналу.....	10
1.2 Класифікація систем блокувань та вибір елементної бази .....	12
1.3 Релейні блокування.....	26
1.4 Висновки до розділу 1 .....	28
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДНИЦЬКО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ .....	30
2.1 Магістралі котла.....	30
2.2 Технічне обслуговування систем котла.....	34
2.4 Висновки до розділу 2 .....	45
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ .....	47
3.1 Стійка безперебійного живлення .....	47
3.2 Модернізація системи блокувань.....	53
3.4 Висновки до розділу 4.....	77
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	80
4.1 Техніка безпеки при монтажних роботах .....	80
4.2 Техніка безпеки газового і мазутного господарства .....	82
4.3 Техніка безпеки та охорона праці при висотних роботах.....	87
4.4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях. ....	90
4.5 Висновки до розділу 4.....	92
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ .....	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	98

## ВСТУП

Сучасні водогрійні котельні установки працюють в умовах підвищених вимог до промислової безпеки, надійності та ефективності, що зумовлено зростанням енергетичних навантажень, необхідністю дотримання екологічних норм та прагненням підприємств до стабільної безперервної роботи технологічного обладнання. У цих умовах особливого значення набувають системи блокувань котлів, які забезпечують коректність і безпечність усіх пускових операцій, попереджають неправильні дії персоналу та мінімізують імовірність виникнення аварійних ситуацій.

Наявні релейні схеми блокувань, які ще називають «захистами першого порядку (основні захисти мають другий порядок і вступають у дію після стабілізації котла)», що застосовувалися на котлах багато років, мають високий рівень надійності, однак значна частина їх апаратної бази морально та фізично застаріла: використовуються радянські реле, електроконтактні манометричні прилади, кабелі з деградованою ізоляцією та іскробезпечні елементи паливних трактів. У таких умовах модернізація системи блокувань стає не просто бажаною, а необхідною для забезпечення довготривалої безаварійної роботи обладнання.

Основою проєкту модернізації є впровадження сучасних європейських компонентів — реле змінного струму з підвищеною комутаційною надійністю, електронних таймерів з високою точністю витримки часу, промислової стійки безперебійного живлення, системи контролю полум'я Durag та запальних пристроїв Hegwein. Ці рішення дозволяють підвищити швидкодію та чутливість блокувальної логіки, забезпечити стабільний розпал пальників у газовому й мазутному режимах та виключити можливість неправильного запуску котла.

Особливе місце в модернізації займає перенесення окремих функцій, які раніше відносилися до аварійного захисту, у систему блокувань — контроль тиску газу, протоку води на вході й виході котла, положення

газової, мазутної та парової арматури. Такий підхід дозволяє перевірити безпечність умов пуску до моменту подачі палива, що підвищує рівень вибухопожежної безпеки і знижує навантаження на модулі аварійного вимкнення.

Модернізація охоплює також паливні тракти котла: оновлено газопровідну і мазутну арматуру, запроваджено контроль подачі пари на розпилення мазуту, що забезпечує тонкодисперсний факел та повне згоряння палива без надмірної димності. Окремо розглянуто можливість роботи пальників у змішаному режимі — коли частина пальників працює на газі, а інша на мазуті, з жорстким апаратним взаємним блокуванням видів палива для кожного окремого пальника.

Автоматизація системи захисту котла доповнена впровадженням програмованого контролера Siemens, який не втручається у жорстку релейну логіку блокувань, але забезпечує широкі можливості діагностики, реєстрації параметрів, побудови алгоритмів технологічного захисту та підвищення загального рівня надійності системи.

Окрему увагу у роботі приділено питанням охорони праці — безпеці монтажу релейних шаф, роботам на газових і мазутних магістралях, правилам виконання робіт на висоті, вимогам до обслуговування електрообладнання та паливних систем. Усі ці аспекти є невід'ємною частиною комплексного підходу до модернізації котельного обладнання.

Реалізація проєкту вимагає значної технічної підготовки, глибокого аналізу існуючої інфраструктури та професійної взаємодії спеціалістів різних напрямів — теплотехніків, електриків, автоматників, спеціалістів з промислової безпеки. Проте досягнутий результат забезпечує не лише підвищення технічної надійності котла, але й суттєве зростання енергоефективності, зменшення експлуатаційних витрат, підвищення рівня екологічності та створення резерву на десятиліття безпечної експлуатації.

**Об'єкт дослідження:** система блокувань водогрійного котла та суміжні технологічні елементи.

**Предмет дослідження:** модернізація релейної бази, оновлення датчиків, арматури та паливних трактів, інтеграція системи безперебійного живлення і контролера технологічного захисту.

**Методи дослідження:** аналіз технічної документації, оцінка стану обладнання, моделювання алгоритмів блокувань, техніко-економічне порівняння сучасних і застарілих компонентів, експертна діагностика паливних систем.

**Практична цінність:** впровадження модернізованої системи блокувань забезпечує безпечний, стабільний і технологічно контрольований пуск котла, знижує ймовірність аварій, оптимізує процеси згоряння та продовжує термін служби обладнання.

**Елемент наукової новизни:** системне поєднання релейної безпеки з сучасними європейськими електронними компонентами та інтеграція частини функцій захисту у блокувальну логіку, що формує новий рівень технологічної дисципліни й промислової безпеки.

## РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Система блокувань

Безпечна та надійна експлуатація водогрійних котлів є критично важливою складовою сучасних теплогенеруючих систем, що використовуються у промисловості, житлово-комунальному секторі, об'єктах інфраструктури та індивідуальних енергетичних установках. Враховуючи постійне зростання енергетичних потреб і тенденцію до підвищення ефективності теплогенерації, питання захисту обладнання та забезпечення його безаварійної роботи набувають особливої актуальності. Водогрійні котли є джерелом підвищеної небезпеки, оскільки працюють під тиском і нагрівають теплоносії до високих температур. Будь-яка аварія в такій системі може спричинити суттєві матеріальні збитки, тривалі перерви у теплозабезпеченні, викиди шкідливих продуктів горіння, а також становити загрозу життю та здоров'ю персоналу.

В умовах модернізації теплоенергетики та зростання вимог до екологічної та виробничої безпеки особливе значення мають системи автоматичного блокування котлів. Їх функція полягає у своєчасному виявленні небезпечних станів, запобіганні розвитку аварійних ситуацій та ініціюванні автоматичного зупинення обладнання. Захисні блокування — це комплекс інженерних рішень, що охоплюють датчики параметрів, логічні схеми автоматики, виконавчі пристрої та алгоритми дій. Вони забезпечують стабільну роботу котла навіть у випадку виникнення непередбачуваних технологічних відхилень або відмов окремих елементів системи [7].

Окрему актуальність тема набуває у зв'язку з курсом України на інтеграцію в європейський енергоринок, що передбачає приведення нормативної та технічної бази до вимог стандартів EN та директив ЄС, зокрема PED (Pressure Equipment Directive) та директиви з промислової безпеки SEVESO. Це стимулює впровадження сучасних автоматизованих

систем контролю та захисту, що відповідають найкращим міжнародним практикам.

Крім того, суттєвий вплив має людський фактор. Незважаючи на високий рівень підготовки операторів котельних установок, практичний досвід свідчить, що частина аварій спричиняється помилками персоналу або його несвоєчасною реакцією на аварійну ситуацію. Автоматичні блокування виключають подібні ризики завдяки швидкодії, точності та об'єктивності.

На сучасному етапі розвитку технологій особливої уваги потребує впровадження інтелектуальних систем діагностики, дистанційного моніторингу, самодіагностики сенсорів і алгоритмів безпечної деградації обладнання. Такий підхід дозволяє не лише забезпечувати аварійний захист, а й прогнозувати можливі відмови, підвищуючи ресурс та економічну ефективність котельних агрегатів.

Отже, дослідження та розроблення систем блокування водогрійних котлів є важливим напрямом підвищення енергоефективності, техногенної безпеки та надійності теплопостачальних систем. Практична значущість теми полягає в можливості застосування напрацьованих рішень для модернізації існуючих котельень, проектування нових енергооб'єктів та адаптації автоматизованих систем керування до сучасних нормативних вимог.

Призначення системи блокувань - запобігання неправильним діям персоналу.

Система блокувань водогрійного котла виконує не лише функцію технологічного захисту при відхиленнях робочих параметрів, але в першу чергу призначена для виключення можливості неправильних або несвоєчасних дій персоналу під час розтопки котла. Початкові етапи запуску теплогенеруючої установки є найбільш відповідальними та потенційно небезпечними, оскільки саме в цей період всі системи ще не перейшли у стабільний режим роботи, температура та циркуляція теплоносія не встановлені, а газо-мазутна арматура тільки переходить у робочий стан.

У традиційних котельних установках історично значна частина операцій на етапі пуску виконувалась вручну. Це включало відкриття запірної та запобіжної арматури, контроль тяги, перевірку циркуляції води та закритість топки, запалювання пальників тощо. Такий підхід був критично залежним від кваліфікації операторів і створював ризики помилок через людський фактор. Досвід експлуатації показує, що саме на етапі розтопки котлів найчастіше виникають аварійні ситуації, пов'язані з вибухом газоповітряної суміші, перегрівом елементів котла, відсутністю необхідної циркуляції води або передчасною подачею палива [19].

Система блокувань практично усуває можливість виконання оператором неправильної послідовності дій. Вона забезпечує, щоб кожен наступний етап пуску котла міг бути ініційований лише після успішного завершення попереднього, підтвердженого сигналами від датчиків контролю. Наприклад, запуск пальника стає можливим тільки після перевірки наявності тяги, достатнього рівня води, відповідного тиску у системі, готовності системи вентиляції та продувки топки. Таким чином, оператор не може подати паливо у котел без створення безпечних умов для запалювання. Важливо підкреслити, що система блокувань запобігає не лише свідомим порушенням встановленого регламенту персоналом, але й випадковим помилкам або недостатній увазі працівників. Навіть за умови високого рівня підготовки персоналу, психологічні фактори, зокрема, стресові ситуації або неуважність можуть призвести до фатальних наслідків. Автоматизована система блокує можливість виконання потенційно небезпечних операцій і забезпечує чітке дотримання алгоритму запуску.

Додатково слід відзначити, що системи блокувань дозволяють стандартизувати процедуру розтопки котла незалежно від індивідуальних навичок конкретного оператора. Це особливо актуально в умовах сучасних котелень, де персонал може мати різний рівень підготовки або змінюватися залежно від графіку роботи. Автоматизована система гарантує, що котел

кожного разу запускається за одними й тими ж правилами, що підвищує стабільність та надійність технологічного процесу.

Таким чином, роль системи блокувань полягає не лише у фіксації аварійних параметрів і ініціюванні аварійного зупину котла, а насамперед у забезпеченні правильності дій персоналу під час підготовки котла до роботи та розтопки. Це дозволяє значною мірою зменшити ймовірність аварій, пов'язаних з порушенням технологічної дисципліни, забезпечити безпечну експлуатацію котельного обладнання та продовжити термін його служби.

Завдяки такому підходу сучасні водогрійні котли не лише відповідають нормативним вимогам з безпеки, але й досягають вищого рівня експлуатаційної культури, де людський фактор практично виключений із критично важливих операцій.

## **1.2 Класифікація систем блокувань та вибір елементної бази**

Система блокувань водогрійного котла структурно поділяється на два основних функціональних контури: блокування самого котла та блокування запальника. Такий поділ зумовлений технологічною послідовністю виконання операцій під час розтопки та особливостями безпечного формування факела. Запальник у системі теплогенерації виконує критично важливу роль, оскільки саме він забезпечує безпечне та контрольоване займання основного пальника. Відповідно, його робота регламентується окремим комплексом умов, що повинні бути виконані перед подачею палива. Система блокувань котла забезпечує дотримання обов'язкових технологічних вимог перед запуском. Першочергово перевіряється, що топка знаходиться у безпечному стані та повністю провітрена. Провітрювання необхідне для видалення будь-яких залишків газоповітряних чи паливних сумішей, які можуть утворювати вибухонебезпечний об'єм. Тільки після підтвердження достатньої вентиляції та наявності розрахункової тяги допускається подальший перехід до етапу розпалювання [30]. Другою фундаментальною

умовою є наявність гарантованого потоку води через котел. Циркуляція теплоносія виключає можливість локального перегріву теплопередавальних поверхонь, запобігає руйнуванню трубного пучка та забезпечує безпечний тепловий режим при нагріванні. Робота запальника також входить до переліку обов'язкових умов запуску: основний пальник не може бути запущений без надійного джерела займання, що підтверджено системою контролю полум'я.

Окрема система блокувань запальника спрямована на створення безпечних умов саме на етапі запалювання. Перед його розпалом автоматика повинна підтвердити, що вся газова та мазутна арматура, яка належить основному пальнику, знаходиться у закритому стані. Це унеможливорює передчасну подачу палива в топку та формування небезпечних концентрацій горючої суміші. Лише після цього здійснюється провітрювання топкового простору, аналогічне режиму перед запуском основного пальника, що також є обов'язковою умовою безпечної експлуатації. Після завершення вентиляційного циклу запальник переводиться в режим розпалювання: подається паливо, формуються умови для займання, і лише після стабільного підтвердження наявності полум'я запускається логічний дозвіл на відкриття паливної арматури основного пальника.

Таким чином, система блокувань будується за принципом послідовної перевірки виконання кожного етапу перед переходом до наступного. Жодна операція не може бути здійснена без підтвердження попередньої, що виключає помилки персоналу, несвоєчасні команди, а також небезпечні перевищення технологічних параметрів. Подібна логіка усуває людський фактор на критичних фазах запуску котла та забезпечує безумовне дотримання регламентованої послідовності дій. У результаті система блокувань виконує функцію технологічного контролю дисципліни запуску, гарантує безпечне проведення процесу розтопки та запобігає формуванню аварійних ситуацій у топці та паливній системі.

Вибір елементної бази:

Під час вибору елементної бази для контролю розрідження у топці в контурі «провітрювання топки» доцільно відштовхуватися від того історичного рішення, яке десятиліттями застосовувалося у котельних установках, і далі замінити його на сучасний європейський, доступний і легко сервісований аналог. У радянських та пострадянських системах функцію контролю розрідження часто виконував електроконтактний мановакуумметр із переднім круглим покажчиком і контактною групою, чії сухі контакти під'єднувалися до вторинного показуючого (віддаленого) приладу або до кола сигналізації та блокування. Типовим представником є серія ЕКМ/ЕКМВ: електроконтактні манометри, вакуумметри та мановакуумметри, призначені не лише для індикації тиску/розрідження, а й для керування зовнішніми електричними ланцюгами — у тому числі колами блокувань розтопки. Для нас важливо, що у варіанті мановакуумметра (наприклад, ЕКМВ-1У з діапазоном від  $-1$  до  $+0,6$  кгс/см<sup>2</sup>) контактна група налаштовується на верхню та нижню уставки, тому на виході ми маємо дискретний сигнал «умови провітрювання виконано/не виконано», який легко заводиться на сигнальний щит або вторинний панельний індикатор у приміщенні чергового персоналу. Опис серії ЕКМ/ЕКМВ як окремих «показуючих електроконтактних приладів» із функцією дистанційного керування колами сигналізації/автоматики у відкритих джерелах збережений і нині, що дозволяє однозначно ототожнити технологічну роль старого вузла у схемі блокування провітрювання топки [24].

Для подальшої модернізації, де очікується підвищена повторюваність уставок, коректне відпрацювання дрібних перепадів тиску в зоні вентиляції топкового простору та повна сумісність із сучасною апаратурою керування, доречним є перехід на європейський диференційний/вакуумний пресостат або сенсорно-комутуючий модуль, сертифікований для HVAC/аераулічних застосунків. Практичною заміною радянського електроконтактного мановакуумметра є механічний диференційний пресостат KIMO/Sauer mann Si-DPMS, Рисунок 1.1, із робочими діапазонами, що перекривають зони

малих розріджень, характерні для провітрювання топки (наприклад, 20–200 Па, 50–500 Па, 200–1000 Па тощо). Апарат забезпечує просте встановлення уставки, має документовані діапазони та стандартну для котельних потреб функцію двопозиційного контролю тиску, завдяки чому сигнал «провітрювання виконано» стає стабільним і відтворюваним, незалежно від суб'єктивного читання стрілки механічного приладу.



Рис 1.1 Пресостат Si-DPMS

Альтернативно, за потреби у підвищеній функціональності або вбудованій індикації, можна застосувати європейські рішення AFRISO або WIKA. Для двопозиційного контролю тяги підходить, наприклад, AFRISO DS 01 — діафрагмовий диференційний/вакуумний вимикач з регульованою уставкою, зображений на Рисунку 1.2, розрахований на нейтральні гази (повітря топкового об'єму) і призначений саме для двоточкового керування.

Для випадків, коли доцільно мати й цифрове відображення  $\Delta p$  на щиті, у WİKA доступні моделі серії A2G (зокрема A2G-40/45), які розроблені для вентиляції та кондиціонування і поєднують вимірювання диференційного тиску з комутацією порогів, що зручно інтегрується в існуючі шафи КВПіА. Обидві лінійки документовані виробниками, мають актуальні листи даних і займатимуть місце «прямого» аналога — замість стрілочного ЕКМВ ми отримуємо компактний пресостат/датчик з контактами, що безпосередньо беруть участь у логіці блокування «провітрювання топки».



Рис 1.2 Діафрагмовий диференційний/вакуумний вимикач з регульованою уставкою AFRISO DS 01

Окремо слід зафіксувати часову умову, без якої сама наявність розрідження не гарантує безпечного видалення залишків горючих сумішей. Провітрювання топки у нашому алгоритмі має тривати не менше 10 хвилин із підтвердженим розрідженням у заданому діапазоні [36]. Для формування такого інтервалу необхідний промисловий електронний таймер із діапазоном налаштування щонайменше до 10 хв та універсальним живленням. Практичним вибором, який легко знайти на ринку ЄС, є Finder 80.01 (серія

80), показаний на Рисунку 1.3: багатофункційний, багатонапруговий модульний таймер на DIN-рейку (ширина 17,5 мм) з часовими шкалами від часток секунди до 24 год. В офіційній інструкції прямо наведено, як виставити 10 хвилин (приклад: «T = 10 min: set A = 20 m and B = 10»), що спрощує налаштування для персоналу та унеможливорює помилку інтерпретації шкал. Наявність декількох функцій (on-delay, interval тощо) дозволяє організувати саме той режим, який потрібен для логічного «витримай 10 хв при наявному розрядженні, потім — дозвіл на перехід до розпалювання».



Рис 1.3 Багатофункційний, багатонапруговий модульний таймер Finder 80.01

Як альтернативу або для панельного виконання з квадратною передньою панеллю 48×48 мм можна використати Omron H3CR-A — твердотільний багаторежимний таймер із множиною часових діапазонів, де передбачена і шкала ×10 min; цей апарат широко представлений у дистриб'юторів та має докладні каталоги і специфікації, включно з прикладами роботи у межах 10–20 хв. У разі потреби модульного рішення зі ще ширшим набором функцій і діапазоном до сотень годин підійде Schneider Electric Zelio RE17 (наприклад, RE17RMMW/RE17RMMU), що також має суцільний діапазон встановлення від секунд до 100 год і без проблем реалізує

10-хвилинну витримку на DIN-рейці у шафі керування. Усі три лінійки — Finder, Omron і Schneider — добре документовані, легко закуповуються і забезпечують повторюваність часового інтервалу, необхідного регламентом провітрювання.

Порівняльно зі старим рішенням на ЕКМВ, перехід на будь-який із зазначених європейських пресостатів/датчиків диференційного тиску та сучасний електронний таймер дає нам низку практичних вигод. По-перше, відтворюваність і стабільність уставок: у механічних електроконтактних приладах похибка «стрілка-контакт» і вібрації топкових вентиляторів часто спричиняли дрібне «дрижання» контактів, тоді як сучасний пресостат має чітку гістерезу і паспортні допуски, розраховані саме на низькі перепади тиску у повітроводах і топках. По-друге, зручність сервісу: заміна мембрани, трубних штуцерів і налаштування діапазону в сучасних апаратах задокументовані й не потребують доступу до рухомої системи стрілочного механізму. По-третє, інтеграція з АСУ ТП: сухі контакти або транзисторні виходи сенсорів WIKA/AFRISO/KIMO легко вводяться у ПЛК/логічні реле без перетворень, а цифрові індикатори (де потрібні) дають оператору відразу числове значення  $\Delta p$ , знімаючи суб'єктивність читання шкали. Нарешті, вбудоване або зовнішнє релейне часове реле дозволяє реалізувати «жорстку» 10-хвилинну витримку провітрювання, чітко зафіксовану у програмі, що виводить з рівняння людський фактор: аж до логіки «є розрідження у заданому вікні — пішов зворотний відлік; пропало розрідження — таймер обнуляється».

Підсумовуючи, базовий радянський вузол «електроконтактний мановакуумметр ЕКМВ + вторинна індикація на щиті» коректно та безболісно замінюється парою «європейський диференційний пресостат/датчик (AFRISO/WIKA/KIMO-Sauer mann із діапазоном у зоні 20–500 Па залежно від аеродинаміки котла) + електронний таймер 10 хв на DIN-рейку (Finder 80.01 або Omron H3CR/Schneider RE17)». Таке рішення зберігає первісну ідеологію блокування провітрювання, але піднімає точність,

відмовостійкість і зручність експлуатації до сучасного рівня й легко верифікується за відкритими паспортами й інструкціями виробників, що спростить постачання, монтаж і подальшу атестацію [50].

У традиційних схемах контролю наявності потоку води в системі водогрійного котла широко застосовувалася нормалізована камерна діафрагма у комплекті з диференційним перетворювачем тиску типу «Сапфір-22» та вторинним показуючим приладом панельного виконання. Діафрагма встановлювалася у трубопроводі циркуляційного контуру, створюючи визначений перепад тиску пропорційно до витрати теплоносія. Перетворювач «Сапфір-22» реєстрував величину цього перепаду і перетворював її у стандартизований електричний сигнал, який подавався на вторинний прилад, що забезпечував відображення значення і формування дискретного сигналу у схемі блокувань. Така комбінація була типовою для радянських систем автоматики котлів, оскільки забезпечувала надійну роботу, механічну простоту первинного елемента, а також можливість контролю як оператором, так і релейною логікою.

Проте, незважаючи на загальну надійність і значне поширення, дана технологія має низку обмежень, які проявляються у сучасних умовах експлуатації. Діафрагма потребує точного монтажу та регулярного контролю чистоти, оскільки навіть невелике засмічення імпульсних ліній призводить до спотворення сигналу. Аналоговий перетворювач тиску, яким є «Сапфір-22», з часом піддається дрейфу калібрування, а контактні виходи панельних приладів мають чутливість до вібрацій та зношування механічної частини. В умовах підвищених вимог до точності та відмовостійкості систем автоматизації ці фактори стають критично важливими.

Сучасне рішення передбачає застосування компактних європейських електронних сенсорів витрати або диференційного тиску, спеціально розроблених для контролю циркуляції у теплообмінних та котельних системах. Замість класичної діафрагми можуть використовуватися як сучасні варіанти пластинчастих обмежувачів потоку у комбінації з електронними

сенсорами, так і роторні або турбінні витратоміри для води. Найбільш поширеним і технологічно прийнятним рішенням є застосування електронних датчиків диференційного тиску з вбудованим релейним виходом або аналоговим сигналом, які одночасно виконують роль і контролю величини витрати, і формування команди на блокування у разі падіння потоку нижче допустимого рівня [12].

На практиці для таких задач часто застосовуються датчики європейського виробництва WIKA, AFRISO або Danfoss. Наприклад, сучасні диференційні сенсори серії WIKA A2G або AFRISO Delta-line дозволяють контролювати мінімальний перепад тиску на ділянці трубопроводу з високою точністю і відтворюваністю. Деякі моделі оснащені локальною цифровою індикацією, що замінює собою функцію вторинного показуючого приладу і дозволяє оператору відразу оцінити поточний стан системи. Ще один практичний варіант — датчики Danfoss серії MBS, Рисунок 1.4, з релейним виходом, які можуть встановлюватися безпосередньо на трубопроводі і мають високий ступінь захисту від гідравлічних ударів та вібрації.



Рис 1.4 Датчики Danfoss серії MBS

Таке рішення дозволяє повністю замінити громіздку і фізично вразливу систему «діафрагма — імпульсні лінії — аналоговий перетворювач — вторинний прилад» простим і надійним вузлом, який займає мінімум місця, не потребує частого обслуговування та забезпечує стабільний контроль циркуляції. Важливо підкреслити, що вибрані сучасні аналоги не лише відтворюють функцію контролю потоку, а й розширюють її: дають можливість точного налаштування уставок, підтримують цифровий протокол або стандартні сигнали автоматизації, мають заводську калібровку і паспортизовані метрологічні характеристики, що спрощує їх введення в експлуатацію у складі котельної установки.

У результаті модернізації контроль потоку води у котлі з категорії «потенційно небезпечного вузла, що потребує постійної уваги персоналу» переходить у клас стабільних автоматизованих процесів. Сучасні європейські датчики дозволяють забезпечити гарантію мінімального потоку незалежно від зовнішніх умов та факторів зношування обладнання, що повністю відповідає вимогам до надійності та безпеки сучасних водогрійних котлів.

У традиційних котельних установках процес запалювання основного пальника здійснювався за допомогою простих електродних запальників, що подавали іскрову дугу у паливно-повітряну суміш у топці. Така схема була технологічно доступною, достатньо надійною на своєму етапі розвитку теплотехніки та не вимагала надмірної складності у схемах керування. Проте з розвитком вимог до безпеки та підвищенням стандартів експлуатації котельних агрегатів виявилися характерні недоліки цих систем. Електродні запальники мали обмежений ресурс, потребували частого сервісу, були чутливі до забруднення електродів продуктами згоряння та не забезпечували повністю автоматичного контролю процесу займання. Крім того, у більшості випадків відсутність комплексної інтеграції із сучасними системами контролю полум'я та керування паливною арматурою створювала ризики небажаних затримок, пропусків або повторних спроб запалювання, що є неприпустимим у сучасній практиці експлуатації котлів.

Сучасна інженерна практика передбачає заміну електродних запальників на автоматичні газові запальники серії Hegwein, які виконують функцію надійного стабілізованого джерела займання та інтегруються у систему безпеки котельного обладнання. Запалювальні пристрої Hegwein, показаний на Рисунку 1.5, працюють у поєднанні з апаратурою контролю й автоматизації DURAG, яка формує повноцінний комплекс безпечного запуску котла. У структурі цієї системи присутні контролер, датчик наявності полум'я та модуль керування електромагнітними клапанами подачі палива. Така комбінація дозволяє не лише створити надійний факел запальника, а й забезпечити безумовне підтвердження його стійкого горіння до моменту подачі палива на основний пальник [3].

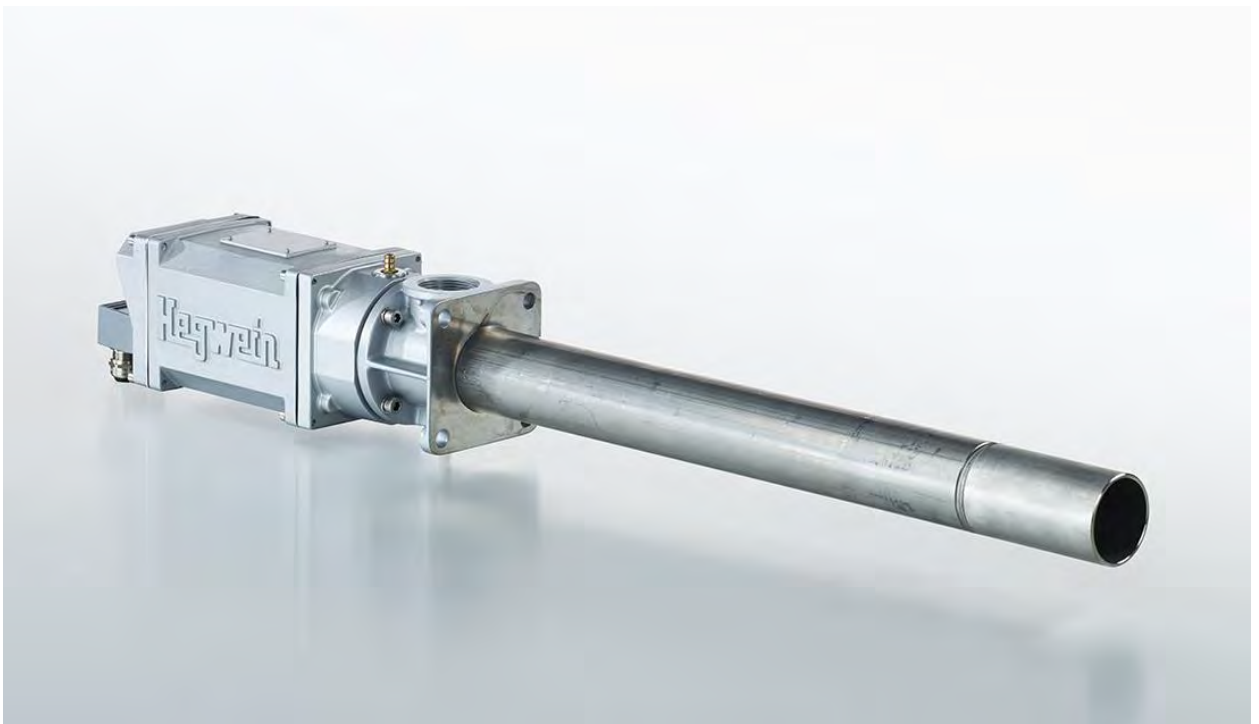


Рис1.5 Запалювальниц пристрій Hegwein

Контролер системи DURAG, Рисунок 1.6, виконує логіку запуску відповідно до алгоритму безпечного розпалювання: ініціює продувку топки, забезпечує подачу газу на запальник, запускає вузол високовольтного запалювання, а після підтвердження стабільного полум'я формує дозвіл на відкриття електромагнітних клапанів основного пальника. Датчик полум'я,

що входить у комплект, працює за принципом оптичного детектування випромінювання факела та відрізняється високою чутливістю, що дозволяє однозначно фіксувати наявність або відсутність полум'я навіть при низьких теплових навантаженнях у камері згоряння. Завдяки цьому виключається ситуація, коли паливо може подаватися без джерела займання.



Рис 1.6 Контролер системи DURAG

Система керування запальником Hegwein у зв'язці з апаратурою DURAG повністю відповідає сучасним вимогам до автоматичного захисту теплотехнічних установок, оскільки інтегрує в собі механізм контролю, захисту, блокування та автоматичної зупинки у разі невдалого розпалу чи гасіння полум'я. З технічної точки зору вона поєднує в собі функції, які раніше виконувалися окремими приладами: іскровий запалювач, система підтвердження горіння, блок керування клапанами та релейно-логічні елементи блокування. У результаті значно зменшується кількість апаратури, підвищується надійність, скорочується обсяг обслуговування, а процес розпалу набуває повністю автоматизованого характеру [28].

Таке технічне рішення дозволяє не лише підвищити рівень безпеки, а й забезпечити стабільність та повторюваність процесів, що є особливо важливим для об'єктів безперервного теплопостачання. Запальники Hegwein у поєднанні з комплексом DURAG відкривають можливість безперервної діагностики стану полум'я, ведення журналів подій, а також інтеграції із

сучасними системами диспетчеризації та автоматизованими системами керування технологічними процесами. У підсумку така модернізація переводить котел у категорію обладнання з повною автоматизацією розпалювання, де роль персоналу зводиться до контролю і спостереження, а критичні технологічні операції виконуються системою із гарантованим рівнем точності і безпеки.

Система контролю полум'я та автоматичного запалювання на базі обладнання DURAG і HEGWEIN є одним з ключових елементів безпечної роботи котла, оскільки саме вона забезпечує гарантований розпал, підтвердження горіння та негайне блокування подачі палива у випадку втрати факела. Комплекси цього типу застосовуються на сучасних промислових котлах завдяки високій швидкодії, стійкості до завад та здатності працювати в умовах інтенсивного теплового випромінювання і значної запиленості повітря топки. Надійність функціонування цих систем безпосередньо визначає ступінь техногенної безпеки об'єкта, тому їх технічне обслуговування має бути систематичним, регламентованим і структурованим [48].

Обслуговування пристроїв HEGWEIN передбачає перевірку працездатності електродів та, у відповідних конфігураціях, іонізаційних датчиків або фотодетекторів, стану високовольтного ступеня запалювання, справності кабельних з'єднань і цілісності ізоляції. Електроди, які працюють в умовах високотемпературного середовища та впливу продуктів згоряння, підлягають регулярному огляду та очищенню від нагару і оксидних нашарувань. Навіть незначне збільшення опору або зміна геометрії робочої зони електрода здатне призвести до нестабільності іскрового розряду. Тому під час регламентних робіт здійснюється очистка робочої поверхні, перевіряється відстань між електродами та їх правильне позиціонування відносно сопла запальника та топкового простору. За необхідності виконується заміна електродів, при цьому забороняється самовільне їх

“виправлення” чи зміна форми, оскільки це може вплинути на концентрацію електричного поля та напрямок іскрового розряду [15].

Окреме значення має перевірка високовольтного трансформатора запальника, кабелів і контактів, що піддаються термічному старінню і можуть втрачати діелектричні властивості при навантаженні. При появі слідів пробою, тріщин ізоляції, локального перегріву або механічного пошкодження кабель негайно замінюється. Стан роз'ємів контролюється особливо ретельно, оскільки зниження контактного тиску або окиснення контактів можуть призвести до нестабільного запуску або відсутності розряду.

Комплекси DURAG, що відповідають за детекцію полум'я, також підлягають детальному обслуговуванню. Під час робіт перевіряється чистота вікна фотодатчика, правильність орієнтації пристрою щодо факела, стійкість до паразитних відбиттів та сторонніх випромінювань. Світлочутливі системи, особливо працюючи в умовах високотемпературного випромінювання, можуть поступово змінювати чутливість, що потребує контролю і, за необхідності, коригування параметрів. Стан кабельних траєкторій, екранування і заземлення ліній зв'язку також є критичними факторами — будь-які електромагнітні перешкоди або обриви сигнального проводу здатні призвести до хибного сигналу про втрату полум'я, що автоматично активує блокування котла. Саме тому перевірка цілісності та опору ізоляції проводів, а також якість кабельних введів, є обов'язковою процедурою [8].

Функціональна перевірка систем DURAG і HEGWEIN включає імітацію умов втрати полум'я та контроль реакції системи. У процесі такої перевірки фіксується час від моменту втрати факела до моменту закриття відсічної арматури. Це час повинен відповідати паспортним характеристикам та забезпечувати негайне переведення пальникового обладнання у безпечний стан. Будь-яке відхилення, затримка або коливання сигналів не допускаються та вимагають негайного технічного втручання — налаштування, калібрування або заміни елемента.

Окремою частиною регламенту є перевірка функції повторного розпалу. У сучасних системах допускається автоматична спроба перезапалювання лише за умови контролю всіх параметрів безпеки та відсутності ознак накопичення неконсистентної газоповітряної суміші у топці. З огляду на це проводиться тестування обмеження кількості спроб запалювання, перевірка журналу виникнення збоїв, а також контроль логіки взаємодії запальника, газової арматури і системи блокувань [29]. Таким чином виключається можливість багаторазових небезпечних розпалів без продувки.

Регулярність обслуговування системи визначається умовами експлуатації, проте навіть при відсутності видимих відхилень вона повинна проходити планові профілактичні перевірки, очищення та налаштування. Це забезпечує стабільність горіння, точність детекції і загальну надійність котельного агрегату.

### **1.3 Релейні блокування**

У сучасній практиці автоматизації теплотехнічних об'єктів активно просувається тенденція до переходу від класичних релейних схем на програмовані логічні контролери. Проте в контексті системи блокувань котла, яка виконує функцію суворої послідовності операцій розпалювання та запобігання небезпечним діям персоналу або технічних відмов, повна заміна релейної логіки на контролер не є доцільною. Система блокувань є порівняно невеликим вузлом у загальній структурі автоматики котла, але її роль є критичною. Вона фактично виконує роль «охоронця алгоритму» запуску, регламентуючи кожен крок послідовності: провітрювання топки, перевірку розрідження, підтвердження циркуляції теплоносія, формування стабільного полум'я запальника та лише після цього дозвіл на відкриття основної паливної арматури. Усі ці дії повинні відпрацьовуватися однаково що у штатних, що у позаштатних умовах, без допуску змін логіки або помилок у програмному забезпеченні.

Релейна схема у даному випадку забезпечує саме ту жорстку, фізично захищену логіку, яка неможлива для ненавмисної модифікації. Вона не залежить від можливих помилок програмування, збоїв прошивки, некоректного оновлення програмного забезпечення або потенційного впливу стороннього втручання. Працюючи на рівні фізичних електричних сигналів і механічного перемикачів контактів, релейна система не допускає ситуацій, коли контролер пропустить аварійний стан через збій у програмі чи помилку у коді. В умовах високої небезпеки та регламентованих процесів, де навіть одноразове порушення алгоритму може призвести до вибуху паливно-повітряної суміші або руйнування котельного обладнання, така жорсткість є не просто перевагою, а необхідністю [33].

Важливо також враховувати, що сама система блокувань не є складною з точки зору логічних операцій. Вона не виконує оптимізацій, не потребує складних математичних функцій і не передбачає адаптивності алгоритмів. Це фундаментальна схема «дозволів і заборон», де кожен параметр або умова чітко визначає, чи можна перейти до наступного кроку. Простота логіки була і залишається ключовим інструментом безпеки: чим менше рівнів абстракції між датчиком та виконавчим елементом, тим менша ймовірність помилки. Релейні блоки тут виступають прямою фізичною реалізацією алгоритму, що гарантує повторюваність і відмово стійкість [14].

Контролери, безперечно, мають місце у сучасних котельних, і їх застосування доцільне для систем вищого рівня: диспетчеризації, ведення архівів, діагностики, автоматичного налаштування режимів та моніторингу змінних параметрів процесу. Однак передача критичних блокувальних функцій у чисто програмне середовище створює зайві ризики. У випадку апаратного реле кожна несправність має конкретний фізичний характер, діагностується однозначно і, як правило, проявляється у вигляді елементарного розриву ланцюга, що автоматично веде до безпечної зупинки. Натомість у програмованих контролерах несправності можуть мати

прихований характер, а їх причини — бути невидимими для оператора аж до моменту виникнення аварійної ситуації.

Зважаючи на це, збереження релейної логіки у схемі блокувань котла є не консервативним рішенням, а обґрунтованим і технічно правильним підходом, що відповідає найвищим вимогам промислової безпеки. Контролер може працювати вище у ієрархії — координуючи роботу обладнання, записуючи параметри, підвищуючи ефективність і комфорт експлуатації. Але базова, критично важлива функція забезпечення правильності та безпечності послідовності пуску залишається за класичною релейною схемою, яка виключає двозначність, забезпечує фізичний захист логіки і мінімізує будь-які ризики, пов'язані з людським фактором чи програмними помилками.

#### **1.4 Висновки до розділу 1**

Виконані у межах модернізації роботи дозволили сформувані принципово нову, високоінженерну систему блокувань котла, яка ґрунтується на жорсткій апаратній логіці та забезпечує повну детермінованість усіх умов пуску. Центральним результатом стало те, що блокування котла тепер працює не як формальний набір контактних перевірок, а як послідовний, непорушний алгоритм, що фізично контролює готовність кожного елемента до безпечного розпалювання. Провітрювання топки, наявність водяного потоку, підтвердження закриття газової, мазутної та водяної арматури, контроль розрідження — усі ці параметри стали обов'язковими етапами, що не допускають жодних відхилень. Завдяки такому підходу пуск котла більше не залежить від стану програмних систем чи людського фактору, а виконується виключно за наявності реальних, фізично підтверджених умов.

Водночас модернізована система блокувань запальника отримала завершену, самостійну структуру, яка гарантує, що полум'я запальника виникає тільки у суворо контрольованих умовах. Запальник не може увімкнутися до моменту, поки не підтверджено закриття всіх паливних

здвижок, достатній тиск газу або резервного балонного живлення, готовність системи розпилення мазуту та повне завершення провітрювання топки. Після появи полум'я його стабільність перевіряється незалежним датчиком, і лише після цього система дозволяє подачу газу або мазуту на основний пальник. Таким чином забезпечується повна відповідність процесу розпалювання вимогам вибухопожежної безпеки: у котлі ніколи не може з'явитися паливо без гарантованого пускового факела.

Важливим підсумком є також те, що заміна старої вимірювальної апаратури на сучасні датчики європейського виконання суттєво підвищила точність, швидкодію та надійність усіх блокувальних умов. Відмова від електроконтактних манометрів, від діафрагменних перетворювачів радянського типу та від нечутливих фоторезисторних датчиків полум'я дала можливість побудувати систему, у якій кожен контрольований параметр є реальним технологічним сигналом, а не наближеним або випадковим значенням. Нові датчики тиску, розрідження, потоку та полум'я забезпечують стабільні покази незалежно від температури, вібрацій, старіння чи умов довготривалої експлуатації. Це створює основу для стабільної роботи релейної логіки, адже блокування отримують достовірну інформацію й виконують свої функції безпомилково.

Таким чином, модернізована система блокувань котла та запальника являє собою послідовну, логічно завершену та технічно безпечну структуру, що гарантує однозначність процесу пуску та захищає установку від будь-яких помилкових дій. Замінена вимірювальна база забезпечила високий рівень точності й надійності, а сама система стала повністю відповідати сучасним вимогам промислової теплотехніки. Отриманий результат демонструє, що грамотне поєднання сучасних датчиків та класичної релейної логіки дозволяє створити максимально безпечний і стабільний алгоритм роботи котла незалежно від умов експлуатації та стану зовнішніх систем.

## РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДНИЦЬКО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Магістралі котла

Для магістралей підведення палива та води до водогрійних котлів доцільно виконати заміну арматури за принципом «один в один» по функціях, але з переходом на сучасні європейські вироби, які мають чинні сертифікації, кращу герметичність та ресурс. На газовій нитці основними робочими запірними органами варто прийняти повнопрохідні кульові крани у зварному або фланцевому виконанні, сертифіковані для природного газу, з вогнестійким виконанням за API 607/ISO 10497 та антистатичним захистом. Типовим рішенням, яке без проблем стає на місце старих засувок і «клинових» затворів, є кульові крани Broen Ballomax Gas, такі як на Рисунку 2.1, у діапазоні DN50–DN150 з приєднаннями під фланець або для вварювання в нитку; повнопрохідна геометрія зберігає пропускну здатність магістралі, а герметичність класу А по ISO 5208 усуває характерні підтікання старих вузлів. На великих діаметрах доцільно одразу замовляти комплект із редуктором та ручним колом або з електроприводом під блокування, щоб мінімізувати час відсікання при аварійній зупинці; при цьому механічний запірний кран лишається базовим, а привід працює як виконавчий модуль, який можна від'єднати для регламентних робіт [45].



Рис 2.1 Кульовий кран Broen Ballomax Gas

Окремо від ізоляційних кранів на газі в обв'язці кожного котла повинна зберігатися пара швидкодіючих автоматичних запірних клапанів відповідно до EN 161, які виконують функцію негайного відсікання палива при будь-якій відмові або при спрацюванні блокувань. З практичної точки зору доцільно перейти на двоклапанні комбінації типу DUNGS DMV-D потрібного розміру з інтегрованим фільтром та можливістю під'єднання системи перевірки герметичності між клапанами, або на еквівалентні модулі Elster Kromschroder серії BVG у парі з системою перевірки VNC/VPS. Такі вузли напряму інтегруються з комплексом розпалювання та контролю полум'я, дають чітку відсічку при зникненні напруги чи сигналу дозволу, забезпечують необхідну швидкодію і ресурс спрацювань, а також дозволяють без зайвих перехідників стати на місце застарілої двоклапанної збірки [27].

На мазутній нитці, де робоче середовище має більшу в'язкість і часто підвищену температуру, базовим ізоляційним органом краще приймати сталеві фланцеві засувки клинового типу PN25/PN40 або високоякісні металосідельні дискові затвори у виконанні для високотемпературних рідких вуглеводнів. Практичний варіант — засувки ZETKAMA, зображений на Рисунку 2.2, типового ряду 215 або їхній сучасний еквівалент від європейських виробників у стандарті EN 1984, що забезпечують повнопрохідність магістралі та низьке гідравлічне падіння тиску, а також допускають обслуговування ущільнювальних поверхонь без демонтажу ділянки трубопроводу. Для діаметрів DN100 і більше бажано комплектувати привідним редуктором, щоб зменшити час і зусилля для відсікання. Як швидкодійний відсічний орган безпосередньо перед пальниковим колектором доцільно застосовувати спеціалізовані електромагнітні клапани для важких пальних олив у високотемпературному виконанні: практичну надійність показують італійські лінійки ODE або німецькі промислові серії, що мають виконання для паливних олив з температурою до 120–150 °С, латунно- або сталеві корпуси з нержавіючими внутрішніми деталями, ущільнення FKM/FPM і робочі тиски до 10–16 бар. Такий відсічний клапан працює в парі із ручним фланцевим запірним органом: ручна арматура забезпечує механічну ізоляцію нитки на час сервісу, а соленоїд — негайне відсікання за сигналом блокувань [39].



Рис 2.2 Засувка ZETKAMA

Водяні магістралі котла логічно переводити на сучасну запірну арматуру з низьким опором і достатньою герметичністю в закритому стані. Для основних вводів і перемичок із великою витратою добре працюють двосторонньо-ексцентрикові дискові затвори KSB ISORIA або VAG EKN у фланцевому/ міжфланцевому виконанні PN16/PN25, які легко стають замість старих чавунних засувок, зменшують масу та габарити вузлів і забезпечують зручність сервісу завдяки змінним ущільнювальним кільцям. На ділянках, де потрібна повна прохідність і традиційна ремонтпридатність, доречно лишити клинові засувки типу AVK серії 06/30 або еквівалент із гумовим клином, корозійностійким шпинделем та покриттям епоксі, що відповідає вимогам питної/технічної води. На живильних і байпасних лініях меншого діаметра зручно ставити кульові крани з повним проходом у сталевому або

латунному корпусі зі статичним захистом і можливістю встановлення сервоприводу для дистанційного керування — це спрощує реалізацію програмного закриття на час розтопки і опресування [47].

Під час підбору заміни важливо зберегти гідравліку нитки та місця розташування арматури, тому рекомендується орієнтуватися на ті ж діаметри DN та класи тиску PN, що були в проекті, з перевіркою наявного монтажного простору й відстаней між фланцями. Для газу бажано підтвердити відповідність кульових кранів вимогам EN 331, а для автоматичних запірних клапанів — EN 161; для водяної арматури — відповідність EN 1074 та класи герметичності за ISO 5208 [46]. Додатково до механічної заміни арматури слід передбачити адаптери під існуючі приводи або поставку нових редукторів/електроприводів із кінцевими вимикачами, щоб без доробок включити їх у наявну релейну логіку блокувань. Такий підхід дозволяє в одному технологічному вікні замінити зношені вузли на сучасні, підняти загальну надійність відсічення палива і теплоносія та зберегти сувору, апаратно реалізовану релейну послідовність пуску і зупинки, що вже довела свою безпечність у цій котельні.

## **2.2 Технічне обслуговування систем котла**

Технічне обслуговування газової та мазутної відсічної арматури є ключовим елементом забезпечення безпеки котельної установки, оскільки саме ці пристрої виконують функцію негайного перекриття подачі палива у випадку відхилення параметрів процесу або втрати живлення системи керування. Вибухопожежна небезпека природного газу та високий енергетичний потенціал мазуту зумовлюють необхідність підтримання відсічної арматури у технічно бездоганному стані, адже навіть короткочасне запізнення в її роботі може призвести до неконтрольованого викиду палива та утворення вибухонебезпечної суміші у топці чи поблизу обладнання.

Періодичне обслуговування газовідсічних клапанів передбачає перевірку їх герметичності у закритому стані, працездатності виконавчого

механізму та відповідності часу закривання нормативним вимогам. У сучасних системах використовується швидкодіюча арматура з електромагнітним або електроприводним виконавчим механізмом, що повинна забезпечувати як миттєву реакцію на команду блокування, так і стабільність роботи у режимі тривалого очікування. Під час обслуговування виконується перевірка механічного ходу штока, відсутності корозійних пошкоджень, перевірка чистоти ущільнюючих поверхонь та стану пружних елементів, що відповідають за надійну посадку запірного органу у сідло. Особлива увага приділяється електричній частині: перевіряється опір та ізоляція обмотки, якість клемних з'єднань, відсутність перегріву та слідів просідання напруги під час спрацювання. На сучасних газових клапанах окремо перевіряється й датчик кінцевого положення, який фіксує фактичне закриття клапана і передає сигнал контролю у систему блокувань.

Аналогічним чином проводиться технічне обслуговування мазутновідсічної арматури, яка за своїм призначенням і принципом дії виконує ті самі функції, однак працює у складніших умовах. Висока температура мазуту, наявність в'язких фракцій та продуктів полімеризації вимагають ретельнішої уваги до чистоти внутрішніх каналів і стану ущільнень. Регламент обслуговування включає обов'язкову перевірку стану фільтраційних елементів, промивку та очищення місць контакту запірного органу з корпусом, а також огляд нагрівальних елементів, якщо вони передбачені конструкцією. У разі виявлення навіть незначних ознак утворення відкладень або лакоподібної плівки проводиться профілактичне очищення, оскільки накопичення відкладень може призвести до затримки при закритті клапана або до порушення герметичності.

Не менш важливим аспектом є підтримання працездатності пружинних та поворотних механізмів приводу — в обох випадках, як газова, так і мазутна арматура завжди повинна переходити у положення «закрито» при зникненні керуючого сигналу або напруги живлення. Ця властивість є основою принципу fail-safe, і кожне технічне обслуговування повинно

завершуватися перевіркою правильності такого переходу. Виконується контроль реальної швидкості закриття шляхом імітації аварійного відключення: система повинна негайно подати команду на відсічення, і клапан зобов'язаний відпрацювати команду без інерційних затримок. За результатами випробувань складається акт, а час закривання звіряється із паспортними даними [26].

Також під час регламентних робіт перевіряється стан термоізоляції, що запобігає раптовому охолодженню або перегріву корпусу арматури, цілісність сигнальних кабелів, маркування трубопроводів, а також справність ручних відсікаючих засувок, що встановлюються перед та після електромагнітної арматури. Ручні запірні органи повинні бути здатними забезпечити механічну ізоляцію лінії для проведення ремонту та тестування, і їх працездатність також контролюється під час технічного обслуговування.

Усі зазначені дії в комплексі забезпечують здатність системи відсікання палива підтримувати проектну швидкість та надійність навіть після тривалого періоду експлуатації в умовах періодичного теплового навантаження, вібрацій і зміни режимів. Такий підхід гарантує, що у надзвичайній ситуації обладнання відреагує негайно, виключаючи можливість накопичення неконтрольованої кількості палива в котлі або трубопроводі, а отже — повністю підтримує критичні функції безпеки, покладені на систему блокувань та захистів [2].

Технічне обслуговування водонапірної арматури котельної установки є важливою складовою забезпечення надійної та безпечної експлуатації обладнання, оскільки саме стан запірно-регулюючих елементів водяного контуру визначає стабільність циркуляції теплоносія, рівномірність тепловідведення та захист котла від перегріву. У випадку водогрійних котлів безперервний рух води через теплообмінні поверхні є критичною умовою роботи, а будь-яке порушення циркуляції неминуче призводить до локальних перегрівів, утворення парових пробок і перевищення допустимих термічних напружень. Таким чином, стан і правильність функціонування водонапірної

арматури безпосередньо впливають як на технологічну надійність, так і на ресурс котельного агрегату.

Регламент обслуговування запірно-регулюючої водяної арматури включає перевірку працездатності засувок, дискових затворів або кульових кранів, що встановлені на подаючому та зворотному трубопроводах котла, а також проміжних клапанів і контрольних вузлів. При цьому основна увага приділяється стану ущільнювальних елементів, легкості ходу шпинделя або осі, відсутності підclinювань та герметичності у закритому стані. У випадку використання фланцевих засувок або затворів перевіряється цілісність прокладок, стан шпинделя, плавність відкриття та повнота закриття. Для кульових кранів контролюється чистота посадкових поверхонь, відсутність твердих частинок у внутрішній порожнині та відсутність механічного люфту в осі повороту запірної частини [9].

Особливої уваги потребують приводи арматури, які забезпечують автоматизоване відкривання та закривання водяних ліній згідно з алгоритмом блокувань. Перевіряється механічна цілісність приводу, правильність передачі зусилля, а також стан кінцевих вимикачів, які сигналізують про досягнення запірним органом крайніх положень. При будь-яких ознаках нерівномірності руху, надмірних вібрацій, шуму при роботі або уповільненого спрацювання привід підлягає очищенню, регулюванню або заміні. Також контролюється стан кріпильних елементів та положення арматури на трубопроводі, що запобігає додатковим механічним навантаженням та втраті герметичності.

Окремим елементом технічного обслуговування є перевірка відповідності фактичної роботи арматури алгоритмічним вимогам системи блокувань. Перед пуском котла система повинна забезпечити підтвердження повного закриття водяної арматури, а після завершення провітрювання — її гарантоване відкриття. Таким чином, обслуговування включає імітацію умов запуску, перевірку правильності послідовності рухів арматури та діагностику

відповідних сигналів зворотного зв'язку. За необхідності проводиться чистка та регулювання датчиків положення [38].

Надзвичайно важливою є профілактика відкладень, корозії та обростання внутрішніх поверхонь арматури мінеральними солями або продуктами корозії трубопровідної системи. У випадку інтенсивного водного каменеутворення проводиться хімічне або механічне очищення внутрішніх поверхонь. При ознаках корозійного ураження арматура підлягає ремонту або заміні, оскільки корозія може призвести до втрати герметичності, неповного закриття або руйнування вузла.

Систематичний огляд водонапірної арматури завершується перевіркою працездатності ручних запірних органів, які використовуються під час ремонту, промивки та діагностики. У випадку запірних елементів із ручним приводом перевіряється легкість ходу, відсутність течі по сальниках та загальна справність механізму.

Таким чином, технічне обслуговування водонапірної арматури забезпечує безперервність циркуляції теплоносія, стійкість теплового режиму котла та надійне відпрацювання алгоритму блокувань. Регулярне виконання регламентних дій дозволяє запобігати аварійним зупинкам, знижує ризик теплових пошкоджень і подовжує загальний термін служби котельного обладнання, забезпечуючи стабільну роботу системи в межах нормативних вимог і проєктних характеристик [22].

Насосне обладнання є ключовою ланкою забезпечення надійної та стабільної роботи водогрійного котла, оскільки саме воно забезпечує безперервний протік теплоносія через теплообмінні поверхні та підтримує необхідний гідравлічний режим у системі. Будь-яке порушення в роботі циркуляційних насосів безпосередньо впливає на тепловий стан котла, викликає нерівномірність теплопередачі, локальні перегріву та може призвести до аварійної зупинки обладнання. З цієї причини технічне обслуговування насосів має систематичний і регламентований характер і здійснюється відповідно до норм експлуатації теплотехнічних установок.

Обслуговування починається з огляду механічної частини насосів. Перевіряється стан корпусу, фланцевих з'єднань, ущільнень та опорних вузлів. Виявлення вібрацій, сторонніх шумів, підтікання води або змащувальних матеріалів є підставою для негайного технічного втручання. Для насосів із механічними торцевими ущільненнями особливу увагу приділяють відсутності мікропротікань, які можуть свідчити про початок зносу або порушення прилягання ущільнюючих поверхонь. Навіть незначна теча у цьому вузлі здатна з часом призвести до аварійного виходу з ладу насоса.

Важливою складовою технічного обслуговування є перевірка стану підшипникових вузлів. Підшипники працюють у режимі тривалої динамічної навантаження, і їхній стан визначає плавність обертання та рівень шуму і вібрацій насоса. Періодична перевірка температури підшипників, прослуховування та аналіз їх ходу дозволяють своєчасно виявляти початкові ознаки втоми матеріалу. При наявності ознак підвищеного нагріву, зміни шуму або вібрацій проводиться заміна підшипників і відновлення мастила, якщо конструкція передбачає його використання.

Двигуни насосів підлягають окремому контролю, зокрема перевірці стану електричних обмоток, ізоляції, клемних коробок та системи охолодження. Важливим є також регламентний контроль температури корпусу двигуна під час роботи, правильності напрямку обертання, а також відсутності перевантаження. Перевіряється робота пускової арматури, контакторів та теплових реле, що контролюють струмові навантаження та запобігають перегріву обмоток. Теплові реле регулюються у відповідності до паспортного струму двигуна, а їхня робота перевіряється шляхом імітації перевантаження на холостому ході або під час контрольних випробувань.

Не менш важливим елементом є перевірка гідравлічної частини системи — правильність відкриття і закриття арматури перед насосом і після нього, стан зворотних клапанів, запобігання гідроударам при зупинці та запуску. Зворотні клапани повинні забезпечувати повне запобігання

зворотному руху теплоносія і перевіряються на герметичність і відсутність заклинювання. При наявності автоматизованої схеми перемикання робочого і резервного насосів перевіряється коректність алгоритму — резервний насос повинен автоматично вводиться в роботу у разі відмови або зупинки основного, а також періодично запускатися з метою запобігання застою і заклинювання механічних елементів.

Стан кабельних трас, клемних з'єднань, розподільних коробок та елементів кріплення також перевіряється під час обслуговування. Особливу увагу приділяють відсутності перегріву клем, корозійних проявів, ослаблення контактів та пошкодження ізоляції. Кабельні введення повинні бути герметичними та захищеними від впливу вологи та температурних коливань.

Усі проведені операції супроводжуються реєстрацією у журналі технічного обслуговування. Фіксуються дані щодо температури корпусу насоса та двигуна, вібрації, напруги і струму живлення, частоти аварійних відключень та планових замін вузлів [42]. Такий підхід забезпечує можливість аналізу технічного стану насосного обладнання у динаміці та своєчасного прогнозування необхідності профілактичних ремонтів або заміни елементів.

Завдяки систематичному виконанню зазначених заходів забезпечується безперебійна робота насосів, стабільність циркуляційного контуру котла та необхідний рівень теплової безпеки. Це, у свою чергу, гарантує виконання умов алгоритму блокувань і стабільність теплового режиму всієї котельної установки.

### **2.3 Релейна база**

У системі блокувань котельного обладнання особливу увагу приділено вибору релейної апаратури, оскільки саме реле виконують роль фізичних логічних елементів, що забезпечують жорстку послідовність операцій пуску та захисту. Для даного проєкту прийнято рішення застосовувати сучасні промислові реле на напругу живлення 220 В змінного струму, що

відповідають європейським стандартам та мають підвищену надійність, стабільність характеристик і великий механічний ресурс. Застосування саме зміннострумового керування відповідає традиційній архітектурі релейної автоматики котлів, де ключові кола блокувань історично формувалися на напрузі 220 В, що дає змогу інтегрувати сучасні компоненти без зміни логіки системи [37].

Основним критерієм вибору реле стало використання апаратури з трьома незалежними перемикальними контактами, оскільки така контактна структура дозволяє реалізувати одразу декілька функцій від одного виконавчого елемента: формування дозволу на продовження алгоритму пуску, апаратне дублювання аварійних сигналів та організацію системи індикації стану без встановлення додаткових допоміжних елементів. Кожна контактна група побудована за принципом «загальна точка — нормально замкнутий — нормально розімкнутий контакт», що забезпечує одночасне отримання сигналу логічного дозволу та контролю стану обриву або аварійного спрацювання.

Вибрані реле належать до промислової серії RIFLINE Complete виробництва Phoenix Contact, яка традиційно застосовується у теплотехнічному обладнанні, системах керування котельними агрегатами та охоронних схемах технологічної безпеки. Для реалізації блокувань використовується модель RIF-3-RSC-230AC/3x21, Рисунок 2.3, що має котушку на 230 В змінного струму та три перекидні контакти з комутаційною здатністю, достатньою для роботи з індуктивними навантаженнями типу магнітних пускачів, електромагнітних клапанів та сигнальних кол. Дане реле оснащується світловою індикацією увімкнення котушки, а також механічним індикатором положення якоря, що значно полегшує діагностику стану релейної логіки у процесі експлуатації та під час регламентних перевірок. Конструктивне виконання передбачає установку у розетку для монтажу на DIN-рейку, що дозволяє замінювати реле у разі потреби без демонтажу та розпаювання кіл керування, мінімізуючи час простою системи.

Котушка реле має підвищену стійкість до перепадів напруги, що важливо в умовах промислової експлуатації, де можливі короткочасні коливання електроживлення. Контактна система виконана з матеріалів, що забезпечують високий ресурс та низький перехідний опір, що на пряму впливає на надійність релейної логіки, особливо під час часто повторюваних операцій блокування та підтвердження станів обладнання. Завдяки трьом незалежним перемикальним групам дане реле дозволяє побудувати схему блокувань таким чином, що навіть при локальному виході з ладу одного елемента система зберігатиме контрольований стан та фіксуватиме аварію апаратно [43].

Таким чином, застосування реле Phoenix Contact RIF-3-RSC-230AC/3x21 забезпечує необхідний рівень функціональної безпеки, механічної надійності та оперативності технічного обслуговування. Вибір цього типу реле є технічно обґрунтованим, відображає сучасний підхід до модернізації котельної автоматики та дозволяє реалізувати жорстку, апаратно захищену логіку блокувань без компромісів у частині надійності й технологічної дисципліни.



Рис 2.3 Реле RIF-3-RSC-230AC/3x21

Надійність роботи котла у значній мірі визначається станом релейної шафи, яка виконує функцію апаратного ядра системи блокувань. Саме у цій шафі формуються логічні сигнали, що визначають послідовність підготовки, пуску та зупинки котельної установки. З огляду на те, що застосовані реле живляться змінним струмом 220 В та відповідають за комутацію критично важливих ланцюгів безпеки, технічне обслуговування релейної шафи повинно проводитися системно, планово і з особливою увагою до фізичного стану контактних груп, клемних з'єднань, таймерних модулів та допоміжних елементів логіки [23].

Регламентні роботи передбачають візуальний огляд, очищення і діагностику релейних модулів. Реле, що працюють у середовищі котельні, піддаються впливу теплових коливань, підвищеної вологості та іноді слабого запилення, що вимагає періодичної перевірки корпусів, контрольної індикації, стану пружинних та гвинтових клемних з'єднань. Особливу увагу необхідно приділяти стану контактів, адже часті цикли комутації індуктивних навантажень, характерні для електромагнітних клапанів газового та мазутного трактів, сприяють поступовому зносу контактних поверхонь. У разі виявлення навіть мінімального почорніння, зміни кольору пластин або слідів локального перегріву виконується заміна реле на новий модуль, оскільки допустити контактний опір у системі блокувань неможливо — це може спричинити затримки спрацювання або некоректні сигнали блокування.

У структурі релейної логіки особливу роль відіграють електронні таймери, які визначають контрольні інтервали провітрювання топки, затримки між етапами запуску та витримку часу перед формуванням дозволу на подачу палива. Електронні таймери, як правило, встановлюються на DIN-рейку аналогічно до реле, та мають власні клеми живлення і контактні виходи. Технічне обслуговування цих модулів передбачає перевірку точності відпрацювання встановлених часових параметрів, перевірку коректності спрацювання їхніх релейних виходів, а також контроль індикаторів роботи та

стану живлення. У разі виявлення нестабільності роботи таймера проводиться його заміна без спроб ремонту, оскільки від точності витримки часу залежить дотримання умов вибухопожежної безпеки [31].

Також в межах обслуговування релейної шафи здійснюється перевірка затягування контактних гвинтів, перевірка цілісності клемних рядів, стану ізоляційних прокладок та маркування проводів. Правильна маркування є критично важливою, оскільки система блокувань є апаратною і пошук несправностей повинен здійснюватися максимально швидко. Особливе місце займає перевірка ланцюгів живлення, а також апаратів керування і сигналізації, що ідентифікують стан ключових етапів пуску і блокування.

Окремо у регламент технічного обслуговування входить перевірка відповідності фактичної роботи системи алгоритмічній логіці. Це означає, що під час профілактичних оглядів можуть моделюватися окремі пускові умови — наприклад, перевірка того, що система не дозволяє пуск без підтвердженого протоку води, без встановленого часу провітрювання топки, або при імітації сигналу низького газового тиску. Такі імітаційні перевірки дозволяють підтвердити, що релейні рішення не лише механічно справні, але й алгоритмічно коректні та відпрацьовують задачі у відповідності до проєктної логіки.

Завершальним етапом регламенту є ведення оперативного журналу, в якому фіксуються виконані профілактичні дії, параметри тестів, факт заміни реле чи таймерів, визначені тенденції по зносу контактних груп, а також рекомендації щодо подальшої експлуатації. Такий журнал дозволяє оцінювати динаміку стану релейної системи і своєчасно планувати заміну модулів до моменту втрати їхньої працездатності [4].

Таким чином, технічне обслуговування релейної шафи є невід'ємним елементом забезпечення безпечної і безперервної роботи котельної установки. Його регулярне виконання не лише гарантує коректність апаратної логіки і надійність комутаційних елементів, але й забезпечує

відповідність модернізованої системи найвищим вимогам промислової експлуатації і безпеки.

## 2.4 Висновки до розділу 2

Проведений аналіз стану паливних, водяних і повітряних магістралей котельної установки підтвердив, що їх модернізація є не лише доцільною, але й технологічно необхідною умовою безпечної експлуатації котла. Газові лінії, які часто десятиліттями працюють під змінним тиском і в умовах циклічного навантаження, втрачають герметичність у фланцевих з'єднаннях, отримують корозійні пошкодження, а встановлена на них арматура морально і фізично застаріває. Мазутні трубопроводи, що працюють при нагріванні до високих температур і мають значне внутрішнє відкладення органічних фракцій, з часом втрачають прохідність, а їхні задвижки перестають забезпечувати чітке перекриття та герметичність. Водяні та повітряні магістралі також схильні до зношування, гідроударів, накипу й корозії, що призводить до відхилень у протоках, зниження швидкодії та підвищення ризику аварійних режимів. Тому модернізація цих систем — заміна старих труб, оновлення відсічної арматури, застосування ущільнень нового покоління, переведення частини магістралей на більш стійкі матеріали — є об'єктивною потребою, яка прямо впливає на рівень безпеки та економічність котла.

Не менш важливою складовою є регулярне технічне обслуговування трубопроводів. Магістралі, що транспортують газ, мазут, воду та повітря, мають властивість деградувати поступово, і перші ознаки зношення нерідко залишаються прихованими до моменту виникнення несправності, яка вже створює загрозу для обладнання та персоналу. Планове технічне обслуговування дозволяє своєчасно виявляти ослаблення фланців, зміщення задвижок, зниження пропускної здатності, розвиток корозії, забруднення мазутних ліній і розбалансування повітряних трактів. Окрім підтримання працездатності, регулярне обслуговування істотно продовжує ресурс

магістралей, знижує ризики позаштатних ситуацій і забезпечує стабільність теплотехнічного процесу, який залежить від точності подачі палива й води.

У контексті модернізації системи блокувань важливо підкреслити, що саме релейна база стала фундаментом безпечної та незалежної логіки пуску котла. Вибір релейної архітектури обґрунтований її фізичною прозорістю, апаратною незмінністю та повною відсутністю залежності від програмних алгоритмів, які потенційно можуть бути спотворені, змінені або пошкоджені під час аварійних подій. Реле працюють у чітко визначених фізичних станах — «ввімкнено» або «вимкнено» — і будь-яка помилка у ланцюзі моментально стає зрозумілою персоналу, що є вирішальним фактором у питаннях вибухопожежної безпеки. Електронні системи, хоча й мають значні діагностичні можливості, залишаються залежними від програмного забезпечення, джерел живлення та умов експлуатації. Тому у критичних фазах — передпуск, розпал, підтвердження полум'я, подача палива — релейна логіка забезпечує найвищий рівень надійності та повторюваності.

Таким чином, модернізація магістралей у поєднанні з їх регулярним технічним обслуговуванням та використанням релейної апаратної логіки у системі блокувань формує цілісну і надзвичайно стійку структуру безпеки котельної установки. Оновлені трубопроводи гарантують правильну і передбачувану подачу всіх робочих середовищ, технічне обслуговування забезпечує їх стабільний стан протягом усього життєвого циклу, а релейні блокування забезпечують апаратну неможливість порушення алгоритму пуску. У результаті котел отримує надійну, довговічну та інженерно вивірену систему, здатну працювати безпечно в умовах будь-яких виробничих навантажень.

## РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Стійка безперебійного живлення

Для забезпечення безперервної роботи системи автоматизації, блокувань та допоміжних механізмів котельної установки у випадку повного зникнення електроживлення необхідно передбачити застосування промислової стійкової системи резервного живлення, здатної формувати синусоїдальну напругу 220 В змінного струму з вихідним струмом на рівні 50–60 А. Наявність такого обладнання дозволяє забезпечити підтримання живлення критичних технологічних систем упродовж необхідного часу, не допускаючи неконтрольованого зупинення процесу, спотворення сигналів, втрати логічного контролю чи відмови засобів безпеки [17].

У якості базового рішення доцільно прийняти промислову онлайн-систему безперебійного живлення у стійковому виконанні, наприклад лінійку високопродуктивних UPS Eaton серії 93PS або APC Schneider Electric Galaxy показана на Рисунку 3.1 з трифазним живленням та можливістю підключення зовнішніх акумуляторних модулів, які дозволяють сформувати необхідний резерв енергії. Дані системи призначені для енергетичних об'єктів, промислових підприємств та критичних інженерних інфраструктур, що підтверджується їхнім виконанням у металевому шафовому корпусі, можливістю роботи в умовах підвищеної температури та наявністю повноцінної системи діагностики, контролю температури батарей та автоматичного тестування стану елементів живлення.



Рис 3.1 UPS Eaton серії 93PS

Онлайн-топология подвійного перетворення забезпечує подачу чистої стабілізованої напруги з правильною синусоїдою незалежно від якості вхідної мережі. Це особливо важливо в умовах промислового оточення, де можливі як глибокі просадки напруги, так і короточасні перенапруги чи спотворення форми хвилі. Наявність стабільного та чистого живлення має ключове значення для коректної роботи релейної автоматики, системи контролю полум'я, електронних модулів газового тракту, електромагнітних клапанів та вимірювальних перетворювачів. Завдяки використанню даного класу UPS система не лише забезпечує резервування, але й виконує функцію фільтрації електромережі, запобігаючи проникненню перешкод та імпульсних наведень у кола керування котла.

З огляду на розрахункове навантаження близько 50–60 ампер, вихідна потужність резервного модуля має складати орієнтовно 12–15 кВА з можливістю підключення акумуляторних батарей достатньої ємності для забезпечення гарантованого резервного живлення протягом регламентованого періоду. Як правило, для даної категорії обладнання використовується батарейний масив на базі свинцево-кислотних або літєвих акумуляторних модулів промислового виконання. Кожен акумулятор має власний захист і систему контролю температури, що унеможливорює тепловий розбіг і підвищує загальний ресурс [41].

Системи даного класу, на відміну від побутових або офісних UPS, розраховані на тривалу безперервну роботу, допускають паралельне підключення додаткових модулів та розширенням по ємності батарейного блоку. Важливо, що така система живлення є інтегрованою частиною загальної архітектури безпеки котельного обладнання. У випадку повної втрати мережі електроживлення UPS бере на себе підтримання роботи блокувальної логіки, модулів контролю полум'я, аварійних клапанів, електроніки запальника та всіх допоміжних систем, що дозволяє котлу перейти у безпечний стан і утримувати його необмежений час до відновлення живлення або прибуття обслуговуючого персоналу.

Таким чином, впровадження промислової стійкової системи безперебійного живлення із вихідною напругою 220 В та струмом 50–60 А забезпечує комплексний рівень надійності котельного господарства. Це рішення виключає ризик втрати керування, несанкціонованого відкриття арматури, зависання електронних систем або переходу котла в невизначений стан при зникненні електроенергії. Вибране обладнання відповідає сучасним стандартам енергетичної безпеки та гарантує стабільну роботу котельного устаткування в аварійних умовах, виконуючи одну з ключових функцій — підтримання технологічної дисципліни і захисту від людського фактора та зовнішніх електричних збурень.

Застосування промислової стійки безперебійного живлення у даному проєкті продиктоване не лише необхідністю забезпечення роботи системи блокувань та автоматики, але й безпосередньою вимогою підтримання працездатності всієї системи паливної та гідравлічної арматури котла. Газові та мазутні клапани, а також запірно-регулююча водопровідна арматура, що забезпечує циркуляцію та безпечне теплове розвантаження котла, повинні діяти виключно у визначеній логіці навіть у випадку повного зникнення електроживлення зовнішньої мережі. Це означає, що система живлення повинна гарантувати два ключові режими: негайне закриття паливної арматури при аварійній втраті керуючих сигналів, а також підтримання

функціонування насосів, електромагнітних клапанів та допоміжних механізмів у тих випадках, коли параметри технологічного процесу дозволяють безпечну роботу котла [10].

У разі виникнення ситуації, коли зовнішня електромережа зникає, паливна арматура повинна перейти у безпечний стан однозначним механічно-електричним способом, без будь-якої затримки або залежності від дій персоналу. Це правило є базовою вимогою вибухобезпечної та протипожежної автоматики. Однак просте аварійне закриття всіх клапанів у момент зникнення напруги не завжди є оптимальним сценарієм для котельної установки. При певних режимах експлуатації, особливо у період зниження навантаження, критично важливо підтримувати циркуляцію теплоносія для запобігання локального перегріву, термічних напружень у трубних пучках та утворення парових пробок. Також існує необхідність забезпечення функціонування частини клапанів, запірної арматури та систем контролю для гарантованого повернення котла у безпечний стан [11].

Саме з цієї причини UPS-система на 220 В зі значною потужністю виступає ключовим елементом інженерної безпеки. У штатному режимі арматура живиться від зовнішньої мережі, а система безперебійного живлення працює в режимі кондиціонування напруги та постійної готовності. У момент пропадань напруги UPS бере на себе навантаження без будь-яких провалів, забезпечуючи як знеструмлення паливної арматури, якщо вимога безпеки цього потребує, так і подальше живлення тих вузлів, що повинні продовжувати роботу при допустимих параметрах системи. Таким чином, арматура не переходить у неконтрольований стан, а працює відповідно до сценарію, визначеного системою блокувань: якщо хоча б один критичний захисний параметр виходить за допустимі межі, UPS забезпечує енергетичний ресурс для гарантованого закриття клапанів та безпечного зупинення котла; якщо ж параметри залишаються у номінальних границях, а захисти не спрацьовують, автоматизація дозволяє продовження циркуляції теплоносія, відведення залишкової теплоти і підтримання стану готовності .

Такий підхід не допускає ані хаотичного закриття арматури, ані небезпечного продовження горіння без контролю. Він відповідає принципу «безпечного зупину» — обладнання або продовжує працювати у контрольованих межах, або гарантовано переводиться у захищений стан. Саме тому наявність промислового джерела безперебійного живлення є елементом не резервного комфорту, а обов'язковим технічним компонентом системи, що забезпечує виконання функцій вибухобезпеки, теплового захисту і технологічної дисципліни. У кінцевому підсумку UPS не є лише джерелом автономної енергії — він виступає важливим елементом безпеки, який забезпечує правильну поведінку газової, мазутної та водопровідної арматури котла в умовах екстремальних режимів та не допускає неконтрольованого розвитку аварійної ситуації.

Стійка безперебійного живлення, впроваджена для живлення системи блокувань, автоматики та виконавчих механізмів котла, належить до обладнання підвищеної відповідальності, від надійності якого безпосередньо залежить безпека функціонування теплотехнічної установки. Сам факт використання UPS у промисловій котельні означає, що дана система бере на себе функцію гарантування коректної роботи алгоритмів безпеки незалежно від стану зовнішнього електроживлення. Тому технічне обслуговування UPS має системний, превентивний характер і повинно виконуватись у суворій відповідності до регламентів виробника та режимів експлуатації.

Основна мета обслуговування полягає у забезпеченні постійної готовності резервного живлення, підтриманні нормативних параметрів напруги, струму заряду та ємності батарей, а також у контролі вентиляції, температурного режиму і чистоти електронних модулів. Оскільки безперебійне живлення функціонує у режимі подвійного перетворення енергії, з постійною роботою інверторних та зарядних каскадів, будь-які відхилення у роботі системи можуть призвести до затримки перемикання або часткового падіння напруги на критичних вузлах автоматики, що є неприпустимим у контексті функціональної безпеки котла.

Регулярному контролю підлягає стан акумуляторних батарей, оскільки вони є основним енергетичним резервом системи. У процесі експлуатації електрохімічні характеристики акумуляторів неминуче змінюються: поступово зростає внутрішній опір, знижується можлива ємність і збільшується чутливість до температурних впливів. Через це періодичні тестові цикли розряду та повторного заряду є критично важливими. Ці цикли забезпечують перевірку реальної автономної здатності UPS, виявляють деградацію окремих елементів батарейного блоку і дозволяють завчасно виконати їхню заміну до того, як фактична аварія могла б проявитися під час реального зникнення електроживлення. У більшості сучасних промислових UPS інтегровані автоматизовані системи контролю стану батарей, проте відповідальний персонал зобов'язаний контролювати результати цих перевірок і фіксувати їх у журналі технічного обслуговування [1].

Окремого значення набуває контроль температурного режиму роботи стійки. Нагрів силових модулів, інверторів і особливо батарей значно впливає на їхній ресурс. Тому регулярна перевірка роботи систем вентиляції, стану повітряних каналів, рівня запиленості шафи та відсутності локальних зон перегріву є обов'язковою процедурою. У разі виявлення ознак порушення вентиляції проводиться очищення фільтруючих елементів або, якщо це передбачено конструкцією, відновлення прохідності вентиляційних отворів. Важливим елементом є контроль надійності контактних з'єднань у силових і сигнальних колах UPS, оскільки навіть незначне ослаблення клемних з'єднань при високих струмах може призвести до перегріву і втрати працездатності агрегату.

Регулювання та діагностика зарядного блоку входять до обов'язкових регламентних процедур, оскільки саме він визначає правильність зарядних параметрів і тривалість вискоексплуатаційного ресурсу акумуляторів. Контроль якості вихідної напруги, параметрів інвертора, стабільності частоти та рівня синусоїдальності струму є складовою перевірки при планових роботах. Особлива увага приділяється поведінці системи в момент переходу з

мережевого живлення на акумуляторний режим: переключення повинно бути повністю безперервним, без найменших пауз, просядок або динамічних провалів, що могли б вплинути на релейну автоматику та мікропроцесорні елементи керування пальниковим обладнанням.

Слід зазначити, що технічне обслуговування UPS не обмежується лише суто електротехнічними аспектами. Воно включає також ведення журналів, фіксацію параметрів у часовій динаміці, планування дат наступної діагностики та заміни батарей, перевірку справності систем сигналізації та оповіщення про відмови, а також навчання персоналу діям при переході на резервне живлення. Формування культури експлуатаційної дисципліни у роботі з системами безперебійного живлення є такою ж важливою складовою надійності, як і правильність технічних дій.

Таким чином, технічне обслуговування промислової стійки безперебійного живлення є комплексним процесом, який забезпечує гарантовану готовність системи живлення блокувань у будь-яких умовах. Його систематичне виконання гарантує, що навіть у випадку раптової втрати зовнішнього енергопостачання алгоритми безпеки котла залишаться працездатними, зможуть коректно відпрацювати послідовність зупинки або запуску обладнання та виключать розвиток аварійних ситуацій.

### **3.2 Модернізація системи блокувань**

У зв'язку з модернізацією релейної бази та впровадженням промислової системи безперебійного живлення виникає необхідність перегляду принципів формування та розподілу функцій між системою блокувань і системою технологічних захистів. Традиційно в старих котельних схемах низка критичних параметрів, зокрема контроль подачі газу та контроль потоку теплоносія, відносилися саме до контурів захисту. Це стало наслідком історичного підходу, коли апаратна база була обмежена, а засоби автоматизації працювали за принципом мінімально необхідного набору блокувань та розширеної аварійної логіки. Однак з появою сучасного

обладнання, зокрема нових промислових реле та безперебійної системи живлення, логічним і технічно виправданим є перенесення ряду критичних умов у контур апаратних блокувань, Рисунки 3.2, 3.3, 3.4.

Особливо це стосується системи контролю подачі газу. За наявності оновленої релейної бази, де кожен елемент логіки має жорстко фіксовану комутаційну функцію, а також системи живлення, здатної підтримувати роботу автоматики навіть у разі зникнення зовнішньої напруги, відпадає необхідність розглядати контроль подачі газу як параметр, що активує лише аварійне відключення. Натомість ситуація потребує чіткої, однозначної релейної реалізації — подача газу має контролюватися на етапі допуску до розпалу та під час усіх стадій роботи котла. Це дозволяє зробити логіку поведінки системи більш передбачуваною, виключити затримки аварійних відключень та забезпечити узгодженість між підтвердженням умов пуску та безпосередньою роботою паливної арматури. Таким чином, функція контролю газопостачання переходить зі сфери «реакції на аварію» у сферу «попередження аварії», тобто з системи захистів у систему блокувань [18].

Аналогічна логіка застосовується і до контролю циркуляції теплоносія. Історично контроль потоку був зосереджений лише на вході котла, що дозволяло зафіксувати факт наявності загальної циркуляції. Проте практика експлуатації модернізованих котлів, особливо з підвищеною тепловою напруженістю та більшими тепловими навантаженнями, демонструє, що тільки вхідного контролю недостатньо. При окремих гідравлічних несправностях може виникати ситуація, коли протікання теплоносія присутнє на вході, але відсутнє або недостатнє на виході. Це створює небезпеку утворення внутрішніх застійних зон, локального перегріву та потенційного пошкодження котла. Тому в оновленій системі контроль потоку повинен бути реалізований як на подаючому трубопроводі, так і на зворотному. Наявність двох незалежних точок контролю дозволяє апаратно виключити будь-які ситуації з протіканням теплоносія через можливі внутрішні течі, підсоси, часткові закупорювання або аномальні циркуляційні режими. Як і у

випадку з подачею газу, цей параметр переводиться із рівня реагування на аварію в рівень апаратного блокування, запобігаючи взагалі можливості запуску котла при гідравлічній нестабільності.

Таким чином, у комплексі модернізаційних заходів перенос функцій контролю подачі газу і подвійного контролю потоку теплоносія із системи технологічних захистів у систему блокувань є не просто доцільним, а й необхідним. Це рішення відповідає сучасним принципам безпеки, згідно з якими критичні параметри повинні перевірятися до моменту допуску котла у роботу, а не лише відслідковуватись постфактум під час аварійної події. Результатом є система з підвищеним рівнем надійності, прогнозованості роботи та відповідності стандартам безпечної експлуатації теплотехнічного обладнання.

З урахуванням впроваджених змін та переходу до сучасної релейної бази з резервованим живленням, алгоритм блокувань набуває розширених повноважень щодо безпосереднього керування паливною арматурою. На цьому етапі система блокувань не лише формує послідовність умов для пуску, а й здійснює пряму команду на роботу газовідсічного клапана (ГВК) та мазутновідсічного клапана (МВК). Це означає, що блокування тепер контролює відчинення та зачинення основних відсікаючих пристроїв паливоподачі, забезпечуючи повну синхронізацію дій автоматики з підтвердженими параметрами безпеки та режиму роботи котла. Власне релейна схема стає первинним та жорстким елементом логіки, на основі якої формується дозвіл на подачу палива, а не лише засобом комутації сигналів.

У той же час дублювання функцій, необхідне для гарантування найвищого рівня надійності, залишається у системі технологічних захистів. Принцип роботи змінюється лише у напрямку розташування резервного каналу: замість паралельного виконання тієї ж логіки захистів у загальній схемі, тепер дублюючий контроль подачі палива подається безпосередньо на вихідний захисний модуль. Це дозволяє виключити дублювання логічних вузлів у релейній частині, уникнути конфліктних керуючих сигналів та

зберегти однозначність алгоритму. Захисний модуль, таким чином, стає остаточним фізичним "сторожем", який переконується у коректності команд і, в разі невідповідності або аварійного стану, примусово розриває живлення відсічної арматури незалежно від стану інших ланцюгів. Така структурна побудова гарантує функціональне резервування на апаратному рівні, але без надмірного дублювання логіки.

Аналогічний підхід застосовується і до системи контролю потоку води через котел. Якщо раніше контроль руху теплоносія на вході котла був прив'язаний переважно до захисної частини, то в сучасній реалізації він входить до складу блокувань, тобто перевіряється до моменту запуску палинкового обладнання. При цьому додатково введений контроль потоку на виході котла, що забезпечує повне виключення внутрішніх паразитних течій, часткового теплового застою або нерівномірного розподілу теплоносія. Система захистів, у свою чергу, зберігає дублюючий канал, але він також тепер діє як кінцевий захисний бар'єр — через вихідний відсічний модуль, а не шляхом втручання у внутрішню логіку релейної схеми.

Такий принцип структурного розділення дозволяє з одного боку забезпечити максимально жорстку та послідовну логіку блокувань, а з іншого — залишити незалежну захисну надбудову, що не дублює внутрішній алгоритм, а страхує його на випадок будь-яких зовнішніх або внутрішніх відхилень. Результатом є система, де блокування виконують роль «керівного мозку», а захист — роль «останньої лінії безпеки», яка активується лише в разі неможливості або некоректності реакції основного алгоритму [32].

Таким чином, котельна автоматика стає структурно впорядкованою: блокувальна логіка управляє процесом, захист перевіряє кінцевий результат дії і, у разі потреби, миттєво блокує подачу енергоносіїв. Такий підхід не лише відповідає сучасним принципам функціональної безпеки, а й значно підвищує технологічну дисципліну роботи обладнання та спрощує технічне обслуговування, діагностику і введення в експлуатацію системи.

### **Контроль тиску газу**

У межах модернізації системи автоматики котла принциповою зміною є переведення контролю тиску газу з контуру технологічних захистів у контур системи блокувань. Такий підхід повністю відповідає сучасній концепції превентивного управління безпекою, коли основна перевірка критично важливих параметрів виконується до моменту подачі палива й запуску обладнання, а не лише в процесі його роботи. Історично контроль тиску газу у старих схемах розглядався як елемент захисту: система реагувала на надмірне підвищення або зниження тиску шляхом аварійного відключення паливної арматури вже після початку роботи котла. Така логіка була характерною для періоду, коли апаратна база автоматизації була обмеженою, а функціонал блокувань часто зводився до мінімально необхідного переліку умов.

Сучасні вимоги до безпеки котельних установок, а також оновлення релейної бази і наявність гарантованого резервного живлення дозволяють і вимагають перенести функцію контролю тиску газу у більш жорсткий та детермінований контур — у систему блокувань. Це означає, що пуск котла може відбутися лише за умови, що тиск газу знаходиться у нормативному діапазоні, визначеному технічною документацією на котельну установку та пальникове обладнання. При виході тиску за встановлені межі вже на етапі підготовки до запуску система автоматично блокує подачу палива, не допускаючи формування потенційно небезпечної ситуації. Такий принцип усуває сценарії, коли котел може запуститися при нестабільному або критично низькому тиску газу, що в окремих випадках здатне призвести до зриву полум'я, неповного згоряння, утворення вибухонебезпечної суміші або повторного спалаху.

Після запуску і переходу котла у робочий режим контроль тиску газу продовжує здійснюватися системою блокувань. Це забезпечує уніфікацію логіки, її прозорість та послідовність: будь-яке відхилення тиску у бік зменшення або підвищення негайно фіксується, і, якщо параметри перестають відповідати встановленим межам, сформований блокувальний

сигнал примусово переводить котел у безпечний стан шляхом закриття відсічних клапанів. При цьому дублююча лінія контролю тиску газу, як і у випадку інших критичних параметрів, залишається в контурі технологічних захистів, однак її роль полягає вже не у паралельному дублюванні всієї логіки, а у контролі кінцевого результату — через вихідний захисний модуль, що виконує функцію «останнього бар'єру безпеки».

Такий розподіл обов'язків між блокуваннями і захистами дозволяє побудувати систему за принципом структурної ієрархії: блокування запобігають виникненню небезпечного режиму, а захисти гарантують, що навіть у разі відмови будь-якого з елементів алгоритму паливоподача буде припинена, і обладнання перейде у безпечний стан. Введення контролю тиску газу до складу блокувальної логіки забезпечує апаратну дисципліну процесу, виключає людський фактор, і робить поведінку котельної установки прогнозованою у всіх режимах. Крім того, це значно спрощує алгоритми налаштування, пусконаладження і технічної діагностики, оскільки всі критичні параметри перевіряються до моменту запуску пального обладнання, а не в процесі аварійного відпрацювання.

Таким чином, переведення контролю тиску газу з системи захистів у систему блокувань є технічно обґрунтованим кроком, що підвищує рівень безпеки, надійності та керованості котельної установки, відповідає сучасним стандартам експлуатації теплотехнічного обладнання і створює базу для впровадження комплексного апаратного керування критичними режимами роботи котла.

### **Зміна у мазутній магістралі**

Одним із критичних функціональних завдань системи блокувань є запобігання можливості одночасної подачі газу та мазуту на один і той самий пальник. Конструктивно пальникові пристрої водогрійних котлів, як правило, допускають роботу на двох видах палива, проте розраховані на одночасне використання лише одного енергоносія. Навіть короткочасне накладання двох паливних потоків у зоні горіння створює високий ризик

неконтрольованого розширення факела, порушення стехіометричних умов горіння, ударного займання або вибухового спалаху суміші. Саме тому принципова вимога промислової теплотехніки полягає в жорсткій генерації взаємно виключних сигналів на газову та мазутну арматуру кожного окремого пальника.

У модернізованій системі блокувань реалізовано апаратну міжпаливну блокаду, яка забезпечує повне виключення можливості помилкового або аварійного подання сигналу на відкриття газової та мазутної арматури одночасно. Для кожного пальника використовується логічна схема взаємного блокування, яка апаратно контролює, що відкриття однієї паливної лінії фізично блокує можливість подання команди на відкриття іншої. Релейна логіка виконує функцію «жорсткої заборони», не дозволяючи навіть короткочасного накладання сигналів. У системі не допускаються програмні пріоритети без фізичного блокування, що повністю виключає людський фактор або збої електронних контролерів.

При цьому важливо підкреслити, що вимога взаємного блокування діє лише в межах одного пальника, а не в межах котла загалом. Сучасна практика роботи теплових установок передбачає можливість гібридного режиму, коли частина пальників працює на газі, а інша — на мазуті. Такий режим може застосовуватися як у період сезонного перемикання виду палива, так і з метою оптимізації витрат, підтримання температурного режиму або забезпечення гарантованої наявності енергоносія у випадку нестабільності газопостачання. Вказаний підхід дозволяє здійснювати поступовий перехід між видами палива та підтримувати безперервність теплопостачання об'єкта.

Алгоритм блокувань, таким чином, виконує дві ключові функції: гарантує безкомпромісну ізоляцію паливних трактів кожного пальника окремо та одночасно допускає незалежне керування групами пальників у межах котла. Контроль здійснюється не лише за електричними сигналами на виконавчі механізми, але й за фактичними станами арматури через сигнали

зворотного зв'язку. Це означає, що дозвіл на роботу формується лише після підтвердження реального закриття альтернативної паливної арматури, а не тільки на основі командного сигналу. При виявленні невідповідності між командою та фактичним станом клапана система автоматично переходить у блокувальний режим, виключаючи пальник з роботи та віддаючи команду на безпечний стан.

Завдяки такому підходу забезпечується функціональна безпека пальникової системи на рівні промислових стандартів, виключається ймовірність змішування паливних потоків і створюються умови для контрольованої експлуатації котельної установки у змішаному паливному режимі. Таким чином, модернізована схема блокувань не лише відповідає вимогам вибухопожежної безпеки, а й забезпечує гнучкість режимів роботи котла, що є важливим фактором у сучасних умовах експлуатації теплових об'єктів.

Однією з важливих змін, реалізованих у процесі модернізації системи автоматики котельної установки, є інтеграція контролю подачі пари на розпилення мазуту у алгоритм блокувань. У традиційних схемах управління роботою мазутних пальників система блокувань відстежувала лише параметри, безпосередньо пов'язані з подачею рідкого палива: стан мазутної арматури, тиск палива та наявність циркуляції. При цьому подача пари на форсунку розглядалася як допоміжний процес і не контролювалася у межах блокувальної логіки — пара просто подавалася на форсунки перед та під час розпалу, без підтвердження фактичної готовності системи та без контролю положення запірної арматури на паровій лінії.

Такий підхід історично був пов'язаний із простотою схем керування та обмеженою апаратною базою, однак на практиці призводив до помітних експлуатаційних недоліків. У випадку недостатнього тиску пари або неповного відкриття парової арматури процес диспергування мазуту порушувався: краплі палива збільшувалися у розмірі, а розпил ставав нерівномірним. Як наслідок, згоряння мазуту відбувалося не повністю,

підвищувалася димність факела, зростали втрати тепла на механічну неповноту згоряння, утворювалися відкладення на поверхнях нагріву, а екологічні показники установки погіршувалися. У деяких випадках слабка подача пари призводила до нестабільності факела і ризику зриву горіння, що створювало потенційно небезпечні умови експлуатації.

У модернізованій системі ці недоліки усунуті шляхом повної інтеграції контролю подачі пари на форсунки до алгоритму блокувань. Відтепер система не лише перевіряє стан мазутної арматури, але й керує запірно-регулюючими задвижками на паровій лінії. Пуск пальника у мазутному режимі дозволяється лише після підтвердження фактичного відкриття парової арматури та виходу системи розпилення на робочі параметри. Сигнал на сушильне та розпалювальне обладнання формується тільки після фіксації повної готовності паропостачання, що виключає можливість подачі мазуту без стабільного розпилювального потоку [49].

Крім того, у модернізованій схемі регулятор співвідношення «пар–мазут» активується не автономно, а лише після подачі дозволу від системи блокувань. Це означає, що система автоматичного регулювання процесу згоряння вступає в роботу тільки після того, як блокувальна логіка підтвердить виконання всіх умов, включаючи коректне положення парових задвижок і стабільність гідравлічного тракту мазутопостачання. Таким чином, система згоряння стає структурно захищеною від будь-яких позапланових або небезпечних режимів, що могли виникнути у випадку втрати пари або некоректного положення запірної арматури.

Результатом впроваджених рішень є принципово вищий рівень технологічної дисципліни та якості процесу згоряння. Мазутний факел стає стабільнішим, димність зменшується, теплотехнічні параметри котла набувають передбачуваності, а ризик утворення відкладень суттєво знижується. Система блокувань, доповнена контролем парового розпилення, фактично стає гарантією повного і якісного спалювання мазуту, що

відповідає сучасним вимогам ефективності, екологічності та безпечної експлуатації промислових котлів.

Процес тонкодисперсного розпилення мазуту паром має фундаментальне термодинамічне значення, оскільки саме розмір крапель, рівномірність їхнього розподілу у об'ємі факела та стабільність форсації визначають швидкість випаровування, інтенсивність змішування палива з окиснювальним середовищем та повноту подальшого згорання. За термодинамічною природою, рідке вуглеводне паливо перш ніж вступити у реакцію згорання, повинно перейти у газову фазу, і лише після цього його молекули вступають у хімічну взаємодію з киснем повітря. Чим менший розмір крапель та стабільніший їх розпил, тим швидше і рівномірніше відбувається випаровування, а відповідно — тим повніше та інтенсивніше йде процес окислення.

Правильно організований паровий розпил створює стійку конусну або факельну структуру з великою сумарною поверхнею випаровування, що різко збільшує швидкість масообміну між паливом і повітрям. У системах без жорсткого контролю подачі пари великі краплі мазуту випаровуються повільно, що призводить до неповного згорання, появи твердих частинок та продуктів термічного розкладання у вигляді диму і сажі. Натомість стабільний дрібнодисперсний характер розпилу забезпечує майже миттєвий перехід частинок палива у парову фазу, фактично переводячи процес горіння у режим, близький до газового. Це дозволяє наблизити мазутний факел за теплотехнічними характеристиками до газового полум'я: реакції відбуваються рівномірніше, зона горіння стає компактнішою, інтенсивність тепловіддачі в об'ємі топки підвищується і регулюється передбачувано.

З термодинамічної точки зору, тонкий розпил підвищує ступінь використання ентальпії палива. Продукти згорання мають вищу температуру і нижчу частку механічної неповноти згорання, оскільки зменшується частка енергії, яка витрачається на нагрівання і довипаровування великих крапель та нагрівання продуктів їх термічного розпаду. Одночасно з цим знижується

поверхневий тепловий вплив на стінки топки, а тепловий потік розподіляється рівномірніше, що знижує термічні напруження у зоні екранних труб та конвективних поверхонь нагріву.

Слід окремо відзначити вплив якісного розпилення на кінетичні параметри горіння. Диспергована топка характеризується підвищеною швидкістю фронту полум'я, стабільністю турбулентних завихрень у зоні факела та скороченням часу перебування реагуючих газів у зоні високих температур. Це означає, що тепло виділяється швидше, тепловий ККД котла підвищується, а утворення побічних продуктів горіння — зменшується. Зокрема, поліпшені умови окиснення знижують концентрацію чадного газу та вуглеводневих залишків, а оптимізація температурного профілю зменшує формування оксидів азоту, що важливо з точки зору екологічних норм.

Комплексно це приводить до того, що забезпечення гарантованої подачі пари на розпилення мазуту через систему блокувань не є лише питанням безпеки або технологічної дисципліни — це принципово важливий термодинамічний фактор, який визначає ефективність і економічність роботи котла, тривалість експлуатації його теплообмінних поверхонь та відповідність нормам шкідливих викидів. Стабільний і дрібнодисперсний розпил створює умови максимально близькі до газового факела, забезпечуючи високий коефіцієнт використання палива, чистоту продуктів згоряння та довготривалу роботу котла без інтенсивного шлакоутворення і закоксування.

Незважаючи на істотне покращення умов сумішоутворення при використанні пари для розпилення мазуту, ініціація горіння цієї паливної суміші, як і раніше, здійснюється виключно за допомогою запальника. Це є принциповим конструктивним та технологічним рішенням, що гарантує контрольований і стабільний початок процесу згоряння. Паро-мазутна суміш, навіть за умов оптимальної дисперсності і повноцінної турбулентної стабілізації у факельній зоні, не запалюється самовільно, а вимагає первинного підпалювального джерела з гарантованими характеристиками температури та енергії запалення. Таким чином виключається можливість

випадкового або неконтрольованого займання, що могло б виникнути у разі наявності локальних гарячих точок чи залишкового теплового випромінювання в топковому просторі.

Запуск мазутного пальника, як і у випадку роботи на газі, відбувається через запальник, що є невід'ємною частиною циклу блокувань. Спочатку формується стійке полум'я запальника, яке перевіряється системою контролю полум'я, після чого, за умови підтвердження стабільності горіння, подається дозвіл на основне паливо. Таким чином, незалежно від виду палива, процес запуску завжди має однакову структуру: продувка — підтвердження закриття арматури — включення лінії для забезпечення сумішоутворення — запуск запальника — підтвердження факела — подача палива на основний пальник. Внесення пари до логіки блокувань не порушує цілісності алгоритму, а лише доповнює його новою контрольною змінною, що забезпечує коректні стартові умови для формування стабільного та повного згоряння [35].

Така організація процесу є критично важливою не тільки з точки зору безпеки, але й з позицій термодинаміки та експлуатаційної надійності. Вибухобезпечність процесу пуску забезпечується саме завдяки тому, що мить займання завжди визначається апаратним запуском запальника, а не станом середовища в топці. Це створює повністю замкнений і незмінний цикл блокувань, у якому кожний етап підтверджується окремим контрольним сигналом, а будь-яка спроба обійти логіку або порушення однієї із умов неминуче призведе до блокування пуску та скидання алгоритму на початкову стадію.

Таким чином, навіть після модернізації мазутної системи із додаванням контролю лінії пари, принципи безпеки залишаються непорушними. Запальник і надалі виконує роль єдиного допустимого джерела ініціації горіння, а система блокувань залишається замкненою, послідовною і жорстко детермінованою. Це гарантує не лише відповідність вимогам промислової безпеки, але й повну технологічну дисципліну процесу, яка унеможливорює

відхилення від розробленого алгоритму запуску та забезпечує однаковість умов при кожному пуску, незалежно від людського фактору.

У практиці експлуатації промислових водогрійних котлів передбачаються ситуації, коли подача природного газу на запальник може бути тимчасово недоступною — як унаслідок аварійних обставин на газопроводі, так і під час виконання ремонтних або регламентних робіт на газовій лінії. Для забезпечення гарантованої можливості розпалу мазутного факела у таких умовах передбачено альтернативне джерело підведення газу до запальника у вигляді резервного газового балона зі зрідженим або стисненим паливним газом. Конструктивно резервна газова лінія інтегрована у схему подачі палива до запальника і включається в роботу лише у випадках відсутності основного газового живлення, що дозволяє зберігати штатну логіку запуску та однотипність режимів роботи автоматики.

Сутність цього технічного рішення полягає в тому, що навіть за повної відсутності тиску газу у магістральній лінії котел зберігає здатність до розпалу в мазутному режимі без порушення алгоритму блокувань і без переходу на небезпечні або нестандартні методи запуску. Запальник, як і в штатному режимі, є єдиним дозволеним джерелом займання, а запуск від резервного газового балона не змінює принципової структури блокувальної логіки — система як і раніше формує підтвердження стійкого полум'я на запальнику, і лише після цього дозволяє подачу мазуту до основного пального. Таким чином, реалізується безальтернативний, жорстко заданий технологічний алгоритм, який гарантує непорушність принципу контрольованого запалювання незалежно від умов паливостачання.

Важливо відзначити, що резервна подача газу є не “обхідним шляхом”, а штатним елементом системи безпеки та забезпечення технологічної готовності котла. Перемикання на резервний балон виконується строго відповідно до регламенту: з попереднім відключенням основної лінії, перевіркою герметичності, скиданням надлишкового тиску, заповненням лінії газом та підтвердженням готовності запальника. При цьому усі

блокувальні схеми залишаються активними, і будь-яке відхилення від нормальних умов роботи (незалежно від джерела газу) призводить до автоматичної зупинки процесу розпалювання.

Завдяки такій організації резервування забезпечується можливість надійного пуску котла навіть у випадках припинення газопостачання, що має особливе значення для підприємств із безперервним теплотехнічним циклом або критичними споживачами тепла. При цьому дотримання незмінної логіки блокувань та використання запальника як єдиного першого джерела факела гарантує збереження максимально високого рівня вибухопожежної безпеки. Незалежно від ситуації, запуск мазутного режиму здійснюється лише через контрольований канал розпалювання, і система ніколи не допускає подачу рідкого палива без попередньої фіксації стійкого полум'я на запальнику — навіть у режимі резервного газопостачання.

#### Новий алгоритм блокувань

У результаті виконаної модернізації логіка роботи системи блокувань зберегла свою класичну послідовність, притаманну промисловим котельним установкам, проте була доповнена розширеним спектром контрольованих параметрів, що раніше виконувалися у межах системи технологічних захистів. Алгоритм роботи системи блокувань можна описати як жорстку технологічну послідовність, спрямовану на забезпечення гарантованої безпеки під час кожного запуску котла.

Пусковий цикл традиційно починається з провітрювання топки, яке триває не менше десяти хвилин і має на меті повне видалення можливих газоповітряних сумішей, що могли накопичитися в топковому просторі у період зупинки. Даний етап є ключовим для забезпечення вибухопожежної безпеки та створює базові умови для подальшого розпалювання. Під час провітрювання здійснюється підтвердження повного закриття газової, мазутної та водопровідної арматури, що унеможлиблює неконтрольовану подачу будь-якого енергоносія до моменту завершення продувки топкового простору.

Після завершення встановленого часу провітрювання система автоматично формує дозвіл на відкривання водопровідної арматури. На цьому етапі здійснюється перехід від умовного «сухого» режиму підготовки до режиму теплогідравлічної готовності, під час якого підтверджується забезпечення циркуляції теплоносія через котел. Система контролю протоку оцінює наявність фактичного руху води, причому тепер контроль виконується як на вході, так і на виході з котла, що унеможлиблює приховані течії, локальні застійні зони та внутрішні аномалії циркуляції. Лише при підтвердженні реального протоку теплоносія система переходить до наступного етапу.

На основі підтвердження наявності протоку формується дозвіл на подачу газу на запальник. Запальний пристрій розпочинає роботу, і система контролю полум'я фіксує стійке горіння запальника. У момент стабільного запалення формується команда на подачу газу до основних пальників, що забезпечує плавний та безпечний перехід установки до режиму горіння з подальшим регулюванням теплового навантаження.

Таким чином, сама послідовність дій алгоритму не зазнала жодних змін — було збережено історично відпрацьовану логіку підготовки, запуску та контролю. Єдиним принциповим оновленням є перенесення частини контрольних функцій з системи захистів у систему блокувань. Це дозволило перетворити низку аварійних алгоритмів на алгоритми попередження, не порушуючи при цьому нормативно визначених правил експлуатації котельного обладнання. Після впровадження модернізації котел як і раніше проходить ті самі етапи контролю, що й раніше, проте критичні умови тепер перевіряються до запуску, а не в момент відхилення параметрів під час роботи. З огляду на це, дана технологічна зміна є коректною та виправданою, не суперечить вимогам безпечної експлуатації й відповідає концепції сучасних теплотехнічних систем, де пріоритет має превентивна безпека замість реактивної.

### **М'який пуск**

Однією з ключових характеристик модернізованої системи блокувань котла є відсутність можливості так званого «м'якого пуску» після аварійного припинення горіння або втрати одного з контрольованих параметрів. Під цим терміном у практиці експлуатації котлів розуміють спробу повторного розпалу без повного повернення системи у вихідний стан, без обов'язкового провітрювання топки та без перевірки всіх умов запуску. Така практика є потенційно небезпечною, оскільки в разі зупинки пальника, пов'язаної з коливанням тиску, нестабільністю полум'я або навіть короточасним порушенням циркуляції теплоносія, в топковому просторі може залишатися частково незгоріле паливо або локальні гарячі осередки, здатні створити вибухонебезпечну суміш при повторній подачі газу чи мазуту.

У новій архітектурі блокувальної логіки котла кожен пуск розглядається як незалежний технологічний цикл, повністю відокремлений від попереднього. Це означає, що після будь-якого відключення пальника система автоматично повертається у початковий стан, в якому необхідно знову виконати усі умови запуску: забезпечити встановлений регламентом час провітрювання топки, переконатися в повному закритті усіх видів паливної арматури, підтвердити стабільний протік теплоносія на вході й виході котла, перевірити наявність нормованих параметрів тиску газу, а також готовність системи розпалювання. Лише після виконання всієї цієї послідовності допускається подача газу на запальник і подальший вихід на стійке горіння основних пальників.

Така організація процесу унеможливорює сценарії часткового або несанкціонованого запуску, коли оператор, намагаючись скоротити час простою, намагається обійти окремі етапи або прискорити послідовність дій. В умовах теплотехнічних систем подібні "спрощення" є однією з основних причин вибухонебезпечних подій, оскільки відсутність попереднього повного продування топки не гарантує, що у камері не залишилися продукти неповного згоряння або газоповітряна суміш. Власне тому у сучасній практиці індустріальної автоматики режим «м'якого пуску» взагалі не

розглядається як допустимий, і впроваджена алгоритмічна жорсткість є прямим продовженням цього принципу.

Додатково важливо зазначити, що подібний підхід гарантує технологічну дисципліну не лише у штатних умовах, але й у ситуаціях, коли відмова була спричинена зовнішніми чинниками, наприклад короткочасним зникненням живлення або флуктуаціями напруги в мережі. Завдяки наявності системи безперебійного живлення і апаратної релейної логіки навіть за умов раптового знеструмлення котла під час роботи, система не спробує розпалити пальник без попередньої повної перевірки умов запуску. Це виключає некеровані цикли спроби автозапуску, здатні створити небезпечні перехідні стани.

Нарешті, варто підкреслити, що відсутність м'якого пуску також забезпечує стабільність термічного режиму котла. Різкі переходи між режимами, без дотримання технологічно необхідних пауз і продувок, спричиняють термічні напруження, що значно скорочують ресурс поверхонь нагріву та можуть сприяти утворенню мікротріщин. Повний алгоритмічний цикл з продувкою, повторним підтвердженням протоку та контрольованим розпалом знімає цю проблему, продовжуючи строк служби обладнання.

Таким чином, сувора заборона «м'якого пуску» і запровадження обов'язкового повного циклу перезапуску після будь-якого відключення є не лише вимогою вибухопожежної безпеки, але й необхідним технічним заходом, що підвищує надійність роботи котла, забезпечує довговічність його елементів та виключає вплив людського фактора на критичні етапи роботи установки.

### **Заміна старих кабелів на нові**

Одним із ключових елементів модернізації системи автоматики та блокувань котельної установки є повна заміна застарілих кабельних ліній на нові, відповідні сучасним вимогам до експлуатації обладнання підвищеної відповідальності. Кабельні траси, прокладені десятки років тому, не лише втратили частину своїх електричних характеристик через природне старіння

ізоляції та металеві жили, але й не відповідають сучасним стандартам щодо вогнестійкості, електромагнітної сумісності, захисту від зовнішніх впливів та механічної міцності. З огляду на критичність функцій, які виконують ці кабельні лінії — передача сигналів безпеки, керуючих імпульсів та живлення ключових елементів автоматики — їхній технічний стан є надзвичайно важливим для надійності роботи котла.

Старі кабелі, як правило, мали гумову або поліетиленову ізоляцію, яка з часом деградує під впливом температурних коливань, вологості, пари та змін навантаження. Таке старіння проявляється у формі мікротріщин, втраті еластичності та погіршенні діелектричних властивостей ізоляційного шару. Як наслідок, збільшується ризик міжжилних пробоїв, витоку струму на землю та виникнення паразитних наводок, які можуть призводити до хибних спрацьовувань або, навпаки, відсутності сигналу там, де він є критичним. У системах, що відповідають за безпеку та блокування, такі відмови є неприпустимими.

Нові кабелі, які встановлюються під час модернізації, мають ізоляцію із сучасних матеріалів, зокрема ПВХ, сшитого поліетилену або спеціалізованих жаростійких полімерів, залежно від місця прокладання. Вони характеризуються підвищеною стійкістю до механічних пошкоджень, впливу високих температур, ультрафіолетового випромінювання, масла та вологи. Важливо також, що сучасні кабелі мають покращені показники електромагнітної сумісності — екрановані та парно скручені жили зменшують рівень наведень та перешкод, що особливо важливо для ланцюгів датчиків полум'я, контролю протоку, розрідження та сигналів керування паливною арматурою.

Заміна кабельних мереж передбачає не лише фізичне прокладання нових ліній, а й аудит існуючих трас, перевірку правильності їх маркування, оновлення кабельних журналів та відновлення схем комутації. Це дозволяє уникнути прихованих дефектів, які могли бути накопичені протягом попередніх періодів експлуатації, та забезпечує можливість однозначної

ідентифікації кожної лінії під час профілактики та аварійної діагностики. Усі кінцеві з'єднання виконуються у відповідності до сучасних вимог: застосовуються клемні ряди, сертифіковані наконечники, маркувальні втулки та герметизовані вводи. У місцях високої температури використовуються жаростійкі кабельні канали або металеві рукави, що захищають кабелі від перегріву та механічних пошкоджень.

Окремо слід наголосити, що модернізація кабельних трас має не лише технічний, а й експлуатаційний ефект. Нові кабелі гарантують стабільність передаваних сигналів, відсутність помилкових збуджень та втрат сигналу, стабільність роботи релейної логіки і блокувань навіть у разі несприятливих зовнішніх умов. Це підвищує загальну надійність системи та виключає ймовірність аварійних зупинок, викликаних суто електротехнічними факторами, що має принципове значення для підприємств, де котли забезпечують теплопостачання критичних технологічних процесів.

Таким чином, заміна старих кабелів на сучасні є не просто частиною електромонтажних робіт, а стратегічним заходом, спрямованим на забезпечення довготривалої безаварійної експлуатації котла, підвищення рівня промислової безпеки та відповідності обладнання актуальним технічним нормам і правилам. Цей елемент модернізації логічно доповнює оновлення релейної бази, впровадження сучасної системи блокувань і безперебійного живлення, формуючи комплексну інженерну платформу для стабільної та безпечної роботи котельної установки.



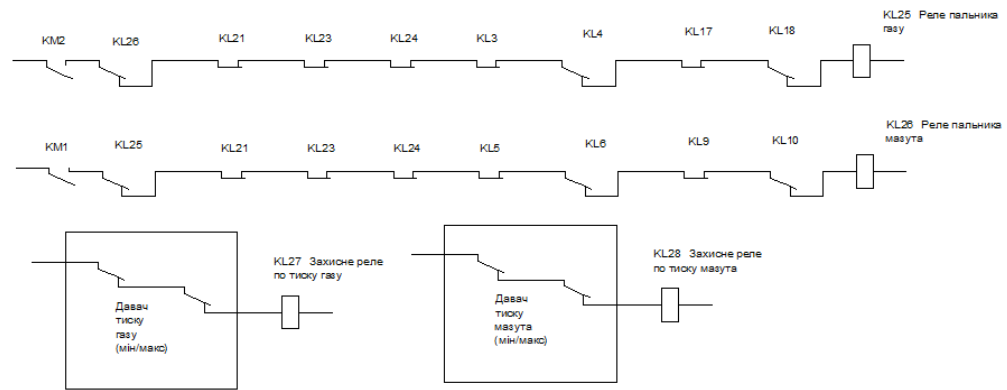


Рис 3.4 Нова принципальна схема блокувань, пальникові реле.

### 3.3 Контролер системи захистів

Незважаючи на принципову орієнтацію модернізованої системи блокувань на релейну апаратну базу, що забезпечує жорстку детермінованість і абсолютну передбачуваність алгоритму пуску, доцільність застосування контролера у системі технологічних захистів залишається беззаперечною. Це пояснюється різною природою завдань, які вирішують блокування та захист: перші повинні гарантовано не допустити небезпечного режиму, тоді як другі — виявити відхилення під час роботи котла та виконати швидке, координаційно правильне аварійне відпрацювання.

Релейна логіка є ідеальною основою для формування незмінного циклу пуску котла, оскільки вона виключає будь-які варіації, які можуть виникнути у програмованих системах, та повністю ізолює алгоритм від людського фактора. Усі стартові умови — провітрювання, контроль арматури, протік, тиск, парове розпилення, робота запальника — повинні підтверджуватися на рівні апаратної комутації. Саме так реалізуються найвищі вимоги до вибухопожежної безпеки. Будь-яка програмна гнучкість у цих вузлах є потенційною загрозою, тому блокувальна логіка повинна залишатися виключно апаратною.

Водночас система захистів виконує принципово інші функції — вона аналізує параметри, що змінюються в реальному часі: температуру, тиск, розрідження, різницю тисків, витрату, стан теплоносія, рівні аварійного перевантаження та інші динамічні параметри, які потребують швидкого порівняння, перевірки та фіксації. На відміну від блокувань, які діють лінійно, захисти повинні працювати у багатофакторному полі, із можливістю запису аварійних подій, фіксації тенденцій, ведення часу спрацювання, аналізу історії та контролю складних алгоритмів відсікання. Саме тому впровадження контролера для системи захистів є технічно виправданим і необхідним.

Контролер забезпечує гнучкість у діагностиці, можливість адаптації до різних типів датчиків, реалізацію складних логічних залежностей та наявність резервних гілок контролю. Він також дозволяє реалізувати надбудову над апаратною частиною — журнал подій, реєстрацію аварійних ситуацій, дистанційний моніторинг, погодинний контроль тенденцій параметрів та автоматичне оповіщення персоналу. Ці функції є надзвичайно важливими для ведення технічного обліку та прогнозування стану обладнання, але вони не повинні втручатися в жорстку схему блокувань. Таким чином, архітектура системи управління набуває оптимальної комбінованої структури: релейна база забезпечує непорушність алгоритму пуску, а контролер відповідає за багатофакторний аналіз під час роботи котла, швидке реагування на аварійні відхилення та формування сигналів аварійного відключення через захисний модуль. Система захистів залишається незалежною від блокувань, але працює паралельно, доповнюючи апаратну частину своїми аналітичними та діагностичними можливостями.

Таке розмежування функцій не лише підвищує загальну надійність котельної установки, але й відповідає принципам сучасної теплотехнічної безпеки: все, що визначає допустимість пуску — апаратне, все, що аналізує поведінку котла в реальному часі — електронне. Технічна модернізація

спрямована не на повну заміну реле електронікою, а на раціональний вибір: що можна переводити на програмовану логіку, а що повинно залишатися незмінним у вигляді апаратних блокувань.

У якості мікропроцесорної основи для реалізації системи технологічних захистів після модернізації доцільно застосувати сучасний промисловий контролер Siemens LOGO! 8 серії 0BA8, Рисунок 3.5, який широко використовується у теплотехнічних установках завдяки своїй надійності, компактності та високій швидкодії при обробці аварійних сигналів. Контролер цього типу оптимально підходить для структур, де ключові логічні блокування реалізовані виключно на апаратному рівні, а електроніка виконує функцію надбудови, що забезпечує аналіз динамічних параметрів, ведення журналів подій та формування узагальнених аварійних дій. LOGO! 8 не заміщує релейної логіки, а працює паралельно, виконуючи роль інтелектуального захисного елемента, що постійно контролює теплотехнічний стан котла.

Контролер Siemens LOGO! 8 має необхідний набір дискретних входів для підключення датчиків тиску, розрідження, потоку, температурних аварійних контактів та станів арматури. Завдяки високій чутливості та короткому часовому циклу опитування входів він здатний практично миттєво фіксувати відхилення та подавати відповідний сигнал на захисний вихідний модуль, що відсікає подачу палива у разі неприпустимих умов. Контролер забезпечує стабільну роботу в умовах коливань напруги, підвищеної температури в шафі керування та наявності зовнішніх електромагнітних перешкод, що є типовими для середовища котельні [5].

Завдяки вбудованому годиннику реального часу контролер здатний вести журнал аварійних подій з прив'язкою до часу, що суттєво спрощує діагностику, аналіз причин відхилень та подальші профілактичні роботи. Це особливо важливо у випадках, коли нештатні режими проявляються періодично або мають короткочасний характер. Наявність внутрішньої пам'яті дозволяє зберігати поточні стани системи, історію тривоги та

фіксувати динаміку параметрів, що суттєво підвищує рівень технічної культури експлуатації котла. Контролер також підтримує можливість підключення модулів розширення, що дозволяє збільшувати кількість входів або виходів у разі розширення функцій системи захистів.

Важливо підкреслити, що Siemens LOGO! 8 використовується виключно у системі технологічних захистів і не впливає на жорстку структуру блокувань, реалізованих на релейній базі. Таким чином дотримується ключовий принцип функціональної безпеки: усі умови пуску повинні бути апаратно незмінними й не залежати від роботи електроніки, тоді як усі аварійні стани, що виникають під час роботи, можуть бути оперативно розпізнані й правильно оброблені контролером. Це дозволяє досягти оптимального балансу між стабільністю апаратної логіки і гнучкістю програмованої обробки аварійних даних.

Завдяки простоті програмування Siemens LOGO! 8 може бути швидко адаптований до специфіки конкретної котельної установки, а зміна логіки захистів при введенні нового обладнання або датчиків не потребує складних втручань у релейні кола. Контролер дозволяє створити структурно завершену цифрову надбудову над котлом, не руйнуючи основної філософії безпеки, яка базується на неможливості обійти апаратні блокування. Саме тому вибір Siemens LOGO! 8 є технічно та експлуатаційно обґрунтованим рішенням у рамках модернізації системи захистів, забезпечуючи підвищену надійність та контрольований рівень інтеграції електроніки в роботу теплотехнічної установки.



Рис 3.5 Контролер Siemens LOGO! 8

### 3.4 Висновки до розділу 4

Модернізація системи безперебійного живлення стала одним із ключових елементів оновлення котельної установки, оскільки саме від стабільності електроживлення залежить працездатність релейних схем, запальника, відсічної арматури та насосного обладнання. Встановлення промислової стійки безперебійного живлення з вихідною напругою 220 В змінного струму великої потужності забезпечило повну незалежність критичних систем від зовнішніх коливань електромережі. У випадку короткочасного або тривалого зникнення напруги всі виконавчі механізми зберігають працездатність, що виключає ризики неконтрольованого закриття або, навпаки, неконтрольованого залишення у відкритому стані газових, мазутних та водяних задвижок. Така схема живлення є базовою вимогою сучасної вибухопожежної безпеки, оскільки дозволяє системі не тільки безпечно перевести котел у резерв, але й завершити всі алгоритмічні дії блокувань у штатному режимі незалежно від зовнішніх обставин.

Модернізація запальника стала фундаментальним кроком у підвищенні надійності пускових процесів. Стара система електродного підпалу, що мала низьку повторюваність і залежала від чистоти поверхонь та механічної стабільності електродів, була повністю замінена на високотехнологічний німецький комплекс Hegwein з контролем полум'я DURAG. Завдяки цьому процес розпалювання став значно точнішим, швидшим і стабільнішим, а контроль полум'я — об'єктивним та нечутливим до освітленості, температури топки чи старіння елементів. Комплекс DURAG–Hegwein забезпечує завершений цикл контролю: від генерації іскрової енергії до підтвердження стійкого факела, і саме цей комплекс тепер задає темп усьому блоку пускових блокувань. Його висока чутливість дозволяє миттєво виявляти відхилення, що різко підвищує загальний рівень пожежної безпеки.

Оновлення мазутного тракту стало критично важливим для підвищення якості та повноти згоряння рідкого палива. Раніше система блокувань контролювала лише сам мазут, тоді як подача пари на розпилення залишалась поза контролем, що часто призводило до неповного випаровування мазуту, утворення димності та підвищених викидів незгорілих частинок. Після модернізації контроль парової задвижки був інтегрований у структуру блокувань, що дозволило зробити процес пуску мазутного факела повторюваним та передбачуваним. Таке рішення забезпечило термодинамічно правильне формування тонкодисперсної суміші, яка швидко випаровується та згорає практично повністю. Це суттєво знизило навантаження на поверхні нагріву котла, зменшило кількість відкладень та підвищило ресурс обладнання [21].

Одним із важливих висновків модернізації стало перенесення низки контрольних функцій зі старої системи технологічного захисту до системи блокувань. До блокувань були інтегровані контроль тиску газу, підтвердження станів відсічної арматури, контроль потоку води як на вході, так і на виході котла, контроль парових ліній, а також умови роботи запальника. Такий перехід дозволив сформувати єдину, логічно завершену

апаратну структуру пуску, у якій кожна змінна є фізичною та достовірною. Це дало змогу усунути раніше існуючу надмірну розділеність між системами захисту і блокувань, що нерідко призводила до дублювання сигналів, некоректних інтерпретацій та неоднозначності в роботі пускової логіки.

Паралельно з апаратною модернізацією до системи технологічних захистів був інтегрований контролер Siemens, який виконує суто аналітичні та реєстраційні функції, не втручаючись у блокувальну частину. Особливістю цього підходу є принципове розділення архітектури: контролер не впливає на допуск до пуску, але збирає і аналізує дані про температури, тиски, розрідження, протоки та аварійні події. Він формує історію змін технологічного процесу, фіксує відхилення та видає команду аварійного відключення лише на вихідний модуль, не впливаючи на внутрішню релейну логіку. Такий підхід поєднує традиційну фізичну безпеку з сучасними можливостями діагностики та забезпечує оптимальний баланс між апаратною незмінністю та цифровою інтелектуальністю системи.

У сукупності всі ці рішення суттєво підвищили технічний рівень котельної установки. Блокувальна частина стала жорсткою, прозорою та гарантовано безпечною; системи запалювання та мазутного розпилення — стабільними й повторюваними; живлення — безперервним і захищеним від зовнішніх факторів; а система захистів — інтелектуальною та високоінформативною. Такий комплекс дозволив створити цілісну й сучасну архітектуру, здатну забезпечувати безаварійну роботу котла протягом усього життєвого циклу [13].

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Техніка безпеки при монтажних роботах

Монтаж релейних систем у котельних установках належить до категорії робіт підвищеної небезпеки, оскільки виконується в середовищі з наявністю електричних мереж, газопроводів, мазутних ліній, циркуляційних насосів, високих температур та потенційно вибухонебезпечних зон. Тому організація робіт з монтажу релейних шаф, підключення котушок реле, таймерів, керуючих ланцюгів, силових контактів та сигнальних кабелів вимагає суворого дотримання норм техніки безпеки, що спрямовані на виключення ураження електричним струмом, іскроутворення, коротких замикань, помилкових запусків механізмів і небезпечних ситуацій, пов'язаних із помилковим поданням команд на виконавчі механізми котла.

Першою фундаментальною вимогою є повне знеструмлення всіх кіл, що підлягають монтажу або комутації [44]. Усі джерела живлення повинні бути відключені на головних автоматах, а керуючі кола — розімкнуті шляхом вилучення плавких вставок або демонтажу клемних перемичок. На вимикачах встановлюються заборонні плакати та виконується блокування, що унеможливує випадкове включення енергоживлення сторонніми особами. Контроль відсутності напруги здійснюється за допомогою справних вимірювальних приладів, а повторна перевірка виконується безпосередньо перед проведенням робіт, що відповідає практиці безпечної експлуатації електроустановок понад 1000 В і нижче 1000 В.

У процесі монтажу релейної шафи особливу увагу приділяють організації робочого місця. Монтажники повинні працювати у сухих умовах, без можливості потрапляння на обладнання вологи, пари або агресивних речовин, які можуть спричинити пробій ізоляції або пошкодження контактів. Роботи в зоні котла дозволяється виконувати лише після його повного охолодження та продувки, що виключає можливість термічних опіків та

впливу гарячих поверхонь. У разі виконання монтажу у період експлуатації установки повинна бути забезпечена фізична ізоляція робочої зони з попереджувальними знаками та бар'єрами.

Не менш важливим є контроль стану інструменту і застосування лише справних ізольованих інструментів, придатних для робіт на електрообладнанні. Використання саморобних викруток, пошкоджених кліщів або інструменту з тріщинами є неприпустимим. Монтаж проводів виконується у захисних рукавичках, при цьому уникнення контакту оголених жил із проводами під потенціалом є обов'язковою вимогою. Перед підключенням кожного проводу здійснюється його візуальна перевірка, перевірка маркування і відповідності схемі монтажу.

Одним із найнебезпечніших факторів при монтажі релейних систем є можливість помилкової подачі напруги на виконавчі механізми котла — електромагнітні клапани газу, приводи задвижок, пускачі насосів. Навіть коротке подання сигналу може призвести до відкриття газової арматури, запуску насоса або подачі мазуту в топку, що при відсутності готовності системи створює реальну вибухонебезпечну ситуацію. З цієї причини всі лінії керування під час монтажу повинні бути фізично від'єднані, а кінцеві пристрої — заблоковані механічно або електрично. Кожне з'єднання перевіряється омметром, щоб виключити помилкове замикання або неправильну полярність [6].

Монтування релейної бази пов'язане також із ризиком утворення іскри при знятті ізоляції, затягуванні клем або обрізанні кабелів. Особливо небезпечними є роботи поблизу газових ліній або мазутних резервуарів, де наявність вибухонебезпечної суміші може призвести до займання. Тому монтаж у зоні паливної системи допускається лише після перевірки відсутності витоків газу та парів мазуту. Усі з'єднання газопроводів повинні бути герметичними, а в приміщенні має забезпечуватися достатня вентиляція.

Додаткову увагу приділяють статичній електриці — синтетичний одяг, не заземлені монтажні стілки або пластикові кабельні канали можуть створити небезпечний заряд. Для уникнення цього монтажники повинні бути оснащені антистатичними браслетами або мати контакт із заземленими конструкціями. Уся релейна шафа перед введенням у експлуатацію перевіряється на наявність надійного захисного заземлення, що гарантує відведення потенційних наводок та запобігає ураженню струмом під час пробою.

Завершальним етапом безпечного виконання робіт є перевірка правильності підключення кожного проводу і кожного реле перед подачею напруги. Після завершення монтажу живлення подається поетапно: спочатку на допоміжні кола, потім на схеми керування, і лише після повної перевірки — на силові виконавчі механізми. Така поетапність виключає можливість раптового запуску обладнання та дозволяє виявити помилки монтажу без ризику аварійної ситуації. Усі випробування виконуються у присутності відповідального інженера та з використанням апаратних блокувань, що унеможливають небажаний вплив людського фактору.

## **4.2 Техніка безпеки газового і мазутного господарства**

Роботи на газових магістралях котельних установок належать до категорії найбільш небезпечних технологічних операцій, оскільки пов'язані із можливістю утворення вибухонебезпечних газоповітряних сумішей, виникненням іскрових розрядів, неконтрольованим відкриванням газової арматури, а також з ризиком резонансних вибухів у закритих топкових просторах. Газові трубопроводи у котельні є об'єктами підвищеної відповідальності, тому будь-які роботи на них — монтажні, налагоджувальні, ремонтні або діагностичні — виконуються лише за умов суворого дотримання вимог техніки безпеки, спрямованих на усунення можливості займання газу, витoku, пошкодження обладнання або несанкціонованого доступу до запірної арматури [25].

Перед початком робіт газопровід має бути повністю ізольований від джерела живлення газом. Вимкнення магістралі здійснюється шляхом поетапного перекриття запірних клапанів, після чого проводиться дегазація лінії шляхом контрольованого стравлювання залишкового газу у безпечну зону. Трубопровід вважається безпечним до робіт лише після того, як тиск у ньому знижено до атмосферного, а аналізатор газу підтвердив відсутність вибухонебезпечної концентрації. Особливо важливо, що продування газопроводу виконується тільки через спеціалізовані продувні свічки, які виведені на безпечну висоту або за межі котельні, оскільки стравлювання у приміщення є категорично неприпустимим.

Роботи безпосередньо на трубопроводі допускаються лише у середовищі, вільному від джерел відкритого полум'я, іскроутворення та статичних заряджень. Всі електричні інструменти, що використовуються під час монтажу, повинні бути вибухозахищеного виконання або живитися через понижувальні трансформатори з вихідною напругою, безпечною для запалювання. Освітлення робочої зони здійснюється лампами в вибухозахищених корпусах, а переносні світильники повинні мати сітки й бути з'єднані з захисним заземленням. Особлива увага приділяється стану вентиляції приміщення — перед початком будь-яких робіт здійснюється перевірка повітрообміну та включення примусової вентиляції для усунення можливих залишкових парів.

У процесі монтажу або демонтажу арматури небезпечними є операції відкручування різьбових з'єднань, зняття фланців, заміна прокладок і усунення корозійних пошкоджень. Кожна з таких операцій може спричинити раптовий витік газу, особливо у випадку, якщо запірна арматура перекрита не повністю або не тримає тиск через зношеність ущільнюючих поверхонь. Тому виконання робіт дозволяється лише під постійним контролем приладів для визначення концентрації газу, а персонал повинен знаходитися у засобах індивідуального захисту, включаючи антистатичний спецодяг, захисні щитки, рукавиці та ізолюючі інструменти.

Монтажники мають уникати будь-яких ударних операцій — застосування молотків, зубил, різких ривків ключами, оскільки механічні удари по трубопроводу або арматурі можуть призвести до мікротріщин у металевих стінках або викликати збудження коливань, які, у випадку наявності газу в трубі, здатні створити умовно небезпечні локальні концентрації. Усі фланцеві з'єднання затягуються рівномірно, хрестоподібно, з контролем моменту затягування. Заміну прокладок виконують лише спеціалізованими матеріалами, які відповідають температурним і тисковим характеристикам газопроводу.

Надзвичайно важливим аспектом є організація захисту від статичної електрики, оскільки газоповітряні суміші з відносно низькою енергією запалювання можуть спалахнути від мікроіскри, утвореної на синтетичному одязі або не заземленому інструменті. Для цього у місці робіт встановлюють переносні заземлювачі, а персонал використовує антистатичні браслети або постійно тримає контакт із заземленими металоконструкціями.

Після завершення монтажних робіт проводиться повна перевірка герметичності трубопроводу. Газопровід заповнюється газом під контрольованим тиском, після чого всі різьбові й фланцеві з'єднання перевіряються за допомогою газоаналізаторів або спеціальних індикаторних рідин. Будь-який, навіть мізерний витік, вважається критичним і вимагає негайного усунення. Лише після підтвердження абсолютної герметичності та стабільності тиску газопровід допускається до експлуатації, а система автоматичних блокувань і захистів може бути уведена в роботу.

Таким чином, техніка безпеки при роботі з газовими магістралями є комплексним набором заходів, спрямованих на усунення будь-якої можливості утворення вибухонебезпечної суміші чи неконтрольованого витоку газу. Дотримання цих вимог дозволяє виконувати роботи на газовій системі без ризику аварійних ситуацій, забезпечує збереження обладнання та гарантує безпеку персоналу і об'єкта в цілому. Правильно організовані заходи безпеки формують культуру монтажу та обслуговування газових

систем, яка є фундаментально важливою у контексті модернізації котельного обладнання та забезпечення його довготривалої безаварійної експлуатації.

Роботи на мазутних магістралях котельних установок також належать до категорії робіт підвищеної небезпеки, хоча характер ризиків і відмінний від ризиків, пов'язаних з газовими трубопроводами. Мазут, на відміну від природного газу, не утворює вибухонебезпечних сумішей у газовій фазі за нормальних умов, проте має низку специфічних небезпек: високу температуру нагріву при транспортуванні, ризик розбризкування гарячого палива, можливість займання мазутного туману, наявність залишкового тиску у лініях, значний ризик опіків, а також небезпеку проникнення мазуту на гарячі поверхні котла чи електрообладнання. Тому техніка безпеки при монтажі, ремонті та обслуговуванні мазутних магістралей потребує не менш суворого дотримання технічних регламентів, ніж при роботі з газовими лініями [16].

Перед початком будь-яких робіт мазутна магістраль повинна бути повністю знебарвлена (звільнена від робочого середовища), а котел — переведений у холодний або теплий резерв залежно від необхідності. Мазутні трубопроводи, як правило, мають температури 70–110 °С, що забезпечує зниження його в'язкості та нормальний тиск подачі до форсунок. Тому перед монтажем магістраль має охолонути до безпечної температури, яка виключає можливість опіків і розбризкування гарячого палива при розбиранні з'єднань. Перевірка залишкового тиску у системі виконується шляхом плавного відкривання технологічних дренажів, причому персонал має використовувати захисні щитки, термостійкі рукавиці та робочий одяг, який захищає від гарячих бризок.

Усі монтажні роботи проводяться лише після перекриття основних та резервних мазутних задвижок. Особливу небезпеку становлять залишки палива всередині трубопроводу, які, при неакуратному демонтажі фланця або різьбового з'єднання, можуть раптово витекти та спричинити опіки або займання. Мазут, що пролився, особливо у вигляді крапельного туману або

плівки на металевих поверхнях, може спалахнути у разі контакту з гарячими стінками топки або електричними елементами. Саме тому робоча зона повинна бути очищена від джерел відкритого полум'я, а самі трубопроводи — протерті, позбавлені залишків мазуту та захищені від контакту з гарячими поверхнями котла.

Під час роботи на мазутній системі особливо важливо уникати будь-яких ударів по трубопроводах, арматурі та форсунковим лініям. Метал, що тривалий час працював у гарячому режимі, може мати знижену механічну міцність, а різкі ударні дії можуть викликати тріщини або деформації. Навіть невелика тріщина у магістралі при подальшому нагріванні та створенні робочого тиску може призвести до викиду гарячого мазуту, що є надзвичайно небезпечним. Механічний вплив на форсунки, парові лінії розпилення та зворотні клапани також суворо обмежується.

Монтажники повинні враховувати, що мазут у трубопроводах може знаходитися у стані часткової кристалізації або мати залишкову в'язкість, що ускладнює видалення залишків при ремонті. Спроби «продавити» такі залишки механічними методами або нагріванням небезпечні, оскільки локальне перегрівання може викликати спалах мазутного туману. Усі роботи з прочищення та гідравлічного промивання повинні виконуватися тільки за допомогою спеціальних інструментів і технологічних процедур, що виключають контакт гарячих поверхонь із паливом.

Окрему увагу приділяють електробезпеці, оскільки мазутні трубопроводи часто прокладаються поряд із силовими кабелями або проходять через приміщення з електрообладнанням. Витік мазуту на електричні контакти або релейну апаратуру може призвести до короткого замикання або загоряння. Тому перед демонтажем арматури обов'язково перевіряється цілісність кабельних трас, а у зоні робіт встановлюється тимчасове укриття для захисту електрообладнання від можливих бризок.

Після завершення монтажних робіт необхідно провести комплексну перевірку на герметичність мазутопроводу. Тестування здійснюється

холодним способом, тобто без підігріву мазуту, що дозволяє виявити можливі підтікання без ризику термічного займання. Лише після повного усунення всіх дефектів трубопровід переводиться у гарячий режим. Підвищення температури мазуту повинно здійснюватися поступово під наглядом відповідального персоналу, який контролює тиск, стан фланцевих з'єднань та показники циркуляційних насосів. У разі виявлення запаху гарячого палива або появи бризок відразу проводиться аварійне перекриття магістралі.

Таким чином, техніка безпеки при роботі з мазутними магістралями базується на комплексі заходів, що запобігають опікам, займанням мазутного туману, витокам гарячого палива та контакту мазуту з електротехнічними елементами або гарячими поверхнями котла. Дотримання цих вимог гарантує безпечне виконання монтажних і ремонтних робіт та забезпечує довготривалу і безаварійну експлуатацію паливної системи котла.

#### **4.3 Техніка безпеки та охорона праці при висотних роботах**

Роботи на висоті під час монтажу, ремонту або технічного обслуговування обладнання котельні є одним із найбільш небезпечних видів діяльності, оскільки пов'язані з ризиком падіння працівника, падіння інструменту або матеріалів, порушення рівноваги на нестійких конструкціях, а також із додатковими факторами, характерними для котельних установок — підвищеною температурою, обмеженими просторами, наявністю трубопроводів та кабельних трас. Тому техніка безпеки при роботі на висоті вимагає не лише використання індивідуальних засобів захисту, але й правильної організації робочого місця, контролю середовища та дотримання технологічної дисципліни.

Перед допуском працівників до роботи на висоті проводиться обов'язкове оцінювання стану опорних поверхонь, на яких виконуватимуться роботи. Металеві галереї, перехідні містки, платформи обслуговування пальникових пристроїв, балки підвісного обладнання та фланцеві поверхні

трубопроводів повинні бути перевірені на міцність, відсутність корозійних пошкоджень, дефектів зварних швів та сторонніх предметів, що можуть спричинити втрату стійкості. У котельнях часто зустрічаються ділянки з високими температурами металу, тому окремо перевіряється, чи не є робоча площадка перегрітою або деформованою внаслідок тривалої дії температури. Персонал, що виконує роботи на висоті, повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту — касками, страхувальними поясами, антиковзним взуттям та комплектами страховочних фалів, які закріплюються лише за конструкції, здатні витримувати навантаження у разі падіння. Важливо, що всі засоби захисту проходять періодичну перевірку та не повинні мати видимих ознак зношення, прорізів, потертостей або корозії металевих елементів. Використання старих або несправних поясів є категорично неприпустимим.

Під час виконання робіт працівники повинні мати стійку опору під ногами, а рухи — бути розміреними та контрольованими. Будь-яке різке переміщення, спроби дотягнутися до вузла, що розміщений поза зоною доступності, або використання нестійких предметів як підставки створюють ризик падіння. Усі необхідні вузли, інструменти та матеріали повинні бути розташовані у легкодоступних місцях, а інструмент — закріплений так, щоб він не міг випасти з рук або скотитися з робочої поверхні. Падіння інструменту з висоти може становити небезпеку навіть для працівників, що перебувають на нижчих рівнях котельні, де часто розміщені газові лінії, електричні шафи або циркуляційні насоси [40].

Особливої уваги потребують роботи на висоті, що виконуються поблизу гарячих елементів котла — верхніх колекторів, газоходів, перегрівників, поверхонь топки або гарячих трубопроводів. Висока температура може вплинути на стійкість металевих майданчиків, а також викликати опіки у разі випадкового дотику. Тому перед початком робіт проводиться перевірка температури опорних площадок, а також оцінюється

можливість організації додаткових захисних щитів або теплоізоляційних ковдр.

Роботи на висоті у котельні часто виконуються за умов обмеженої видимості — через наявність пари, неосвітлених ділянок, складної конфігурації трубопроводів та конструкцій. Усі такі місця повинні бути додатково освітлені переносними вибухозахищеними світильниками, що забезпечують рівномірне освітлення без тіней, які можуть спричинити дезорієнтацію працівника. Забороняється виконувати будь-які роботи при недостатньому освітленні або у стані втоми.

Під час монтажу релейних та кабельних систем, що часто виконуються на висоті, існує додатковий ризик переплутування кабелів або їхнього натягування з вини незручного доступу. Тому усі роботи проводяться у такій послідовності, щоб працівник завжди мав дві точки стійкості — одну ногу та одну руку або дві ноги на опорній поверхні при вільній одній руці. Важливою умовою безпеки є заборона носіння інструментів у руках під час переміщення по висоті — для цього використовуються монтажні сумки та страховочні троси для підйому інструменту.

У разі роботи удвох або у групі встановлюється чітке правило: жоден працівник не переміщується по висоті без попередження інших. Будь-яка дія — переміщення, підйом інструменту, подавання матеріалів — повинна бути узгоджена, щоб уникнути випадкових поштовхів, зіткнень або втрати рівноваги.

Окремо регламентуються умови проведення робіт на висоті у період підвищеної вологості, наявності пари або конденсату. Волога поверхня металу значно знижує коефіцієнт тертя і спричиняє ковзання навіть у спеціальному взутті. Тому роботи у таких умовах або відкладаються, або проводяться лише після висушування площадок та їхньої перевірки на відсутність слизьких ділянок.

Таким чином, техніка безпеки при роботі на висоті у котельні є складною системою організаційних, технічних та індивідуальних заходів,

спрямованих на запобігання падінню працівників, ураженню інструментами, взаємній небезпеці при групових роботах та ризику контакту з гарячими поверхнями. Строге дотримання цих вимог дозволяє виконувати висотні монтажні роботи в умовах, де будь-яка помилка може мати незворотні наслідки, забезпечуючи безпечну експлуатацію котельного обладнання та збереження здоров'я персоналу [34].

#### **4.4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.**

Безпечна експлуатація енергетичного обладнання та надійність технологічних процесів визначаються не лише якістю технічних рішень, а й комплексом організаційних та профілактичних заходів, які формують загальну систему охорони праці. У сучасних умовах модернізації теплоенергетичних об'єктів, переходу на нові системи керування та впровадження автоматизованих захистів особливого значення набуває побудова цілісного підходу до управління ризиками, здатного забезпечити стабільну роботу обладнання незалежно від зміни режимів, зовнішніх чинників чи людського фактору. Це стосується як основних агрегатів, так і допоміжних систем, включно з живильними насосами, турбогенераторним комплексом, мережевими елементами та системами контролю й керування.

Охорона праці базується на превентивному підході: усі дії мають бути спрямовані на попередження виникнення небезпечних та шкідливих факторів ще до того, як вони стануть ризиком для персоналу або обладнання. Це передбачає чітке дотримання нормативної документації, забезпечення належного стану технологічних приміщень, регулярне проведення інструктажів, підтримання засобів захисту у робочому стані та суворе дотримання технологічної дисципліни. Особлива увага приділяється обладнанню, яке працює під тиском та високими температурами, а також системам, що містять легкозаймисті або вибухонебезпечні середовища. У ході модернізації необхідно враховувати вимоги щодо захисту електрообладнання, наявності аварійних вимикачів, систем сигналізації,

заземлення та правильного вибору матеріалів, що відповідають умовам експлуатації.

Забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях є невід'ємною частиною експлуатації будь-якої енергетичної установки. Аварійні стани можуть виникати раптово через відмови обладнання, падіння напруги, порушення циркуляції робочих середовищ, розгерметизацію трубопроводів, перегрів окремих вузлів або зовнішні фактори. Тому система реагування повинна бути здатна швидко локалізувати небезпеку, мінімізувати втрати та виключити поширення аварії на сусідні агрегати. Саме для цього впроваджуються автоматичні блокування, дублювання критичних ланок керування, надійні алгоритми зупинки та переведення обладнання у безпечний режим, а також засоби резервного живлення, що дають змогу підтримувати мінімальний рівень функціонування життєво важливих систем до моменту усунення відмови [20].

Важливою частиною системи безпеки є правильна організація роботи персоналу. Працівники повинні мати відповідну кваліфікацію, знати характеристики обладнання, правила роботи з ним, порядок виконання пускових і зупинних операцій, а також бути підготовленими до дій у непередбачуваних ситуаціях. Персонал має чітко розуміти межі відповідальності, мати доступ до актуальних інструкцій та схем, а також регулярно проходити навчання з відпрацюванням дій у разі аварії та тренуваннями за сценаріями, які імітують можливі загрози. Високий рівень підготовки дозволяє мінімізувати вплив людського фактору, який часто є ключовим елементом у ланцюгу розвитку аварій.

Технічні засоби захисту відіграють не менш важливу роль. До них належать пожежогасіння, системи вентиляції, прилади контролю параметрів, газоаналізатори, автоматичні відсікаючі клапани, системи централізованої сигналізації, теплові та димові датчики, а також механізми аварійного відключення. Надійність цих елементів визначає здатність технологічного об'єкта протистояти зовнішнім і внутрішнім загрозам. Під час модернізації

обладнання здійснюється заміна застарілих вузлів, впроваджуються сучасні системи з підвищеною точністю вимірювання, покращеною чутливістю та більшим спектром параметрів, що дозволяє не лише фіксувати відхилення, а й аналізувати їх динаміку, прогнозувати розвиток несправностей та своєчасно усувати їх до виникнення аварійних режимів.

Система безпеки у надзвичайних ситуаціях передбачає створення детальних планів локалізації та ліквідації аварій, визначення відповідальних осіб, підготовку шляхи евакуації, наявність засобів індивідуального захисту та налагоджену взаємодію з аварійними службами. Такі плани повинні регулярно переглядатися, враховувати зміни у технологічній схемі, модернізацію обладнання та результати аналізу попередніх інцидентів. Впровадження нових систем керування чи захистів потребує внесення відповідних змін до інструкцій, табличних схем, аварійних алгоритмів та навчальних програм для персоналу.

Таким чином, охорона праці та забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях становлять комплексний процес, який охоплює інженерні, організаційні, інформаційні та управлінські аспекти. Вони визначають рівень надійності роботи об'єкта, його здатність протистояти аварійним чинникам, мінімізувати вплив небезпечних ситуацій та забезпечувати безпечні умови праці. Системний підхід до безпеки, інтеграція сучасних технологій та компетентний персонал дозволяють гарантувати високу ефективність функціонування енергетичної установки та її стійкість до будь-яких позаштатних впливів.

#### **4.5 Висновки до розділу 4**

Проведений аналіз умов виконання монтажних робіт у котельні під час модернізації системи блокувань та технологічних захистів підтвердив, що роботи з релейною апаратурою, газовими і мазутними магістралями, а також роботи на висоті належать до категорії підвищеної небезпеки і вимагають суворого дотримання технологічної дисципліни та правил охорони праці. Усі

ці види діяльності пов'язані з впливом небезпечних та шкідливих виробничих факторів — ураженням електричним струмом, можливістю займання й вибуху, опіками гарячим паливом, ризиком падіння працівників чи інструменту, а також впливом високих температур та обмежених робочих просторів.

У випадку монтажу релейних схем ключовою вимогою безпеки є повне знеструмлення всіх ланцюгів, що підлягають роботам, перевірка відсутності напруги та ізоляція виконавчих механізмів, які можуть випадково отримати керуючий сигнал. Апаратні блокування газових і мазутних клапанів повинні бути фізично зафіксовані в закритому положенні, а всі роботи — виконуватися лише на сухих, провітрюваних ділянках із використанням ізольованого інструменту. Це дозволяє усунути ризик подання помилкових команд на арматуру котла та виключає іскроутворення в зоні монтажу.

При роботі на газових магістралях найвищою небезпекою є можливість утворення вибухонебезпечної газоповітряної суміші. Тому всі операції проводяться тільки після повного перекриття газових задвижок, дегазації трубопроводу та контролю концентрації газу аналізаторами. Важливим є використання інструменту вибухозахищеного виконання, заборона ударних робіт, організація ефективної вентиляції та постійний контроль герметичності з'єднань. Будь-який витік газу, навіть мінімальний, є критичним і потребує негайного усунення.

Роботи на мазутних магістралях мають інший характер небезпек, пов'язаний із високою температурою палива, ризиком опіків та ймовірністю займання мазутного туману на гарячих поверхнях. Тому монтаж допускається лише після охолодження трубопроводів, зниження тиску та відведення залишків палива. Особлива увага приділяється запобіганню розбризкуванню мазуту, уникненню ударів по гарячих трубопроводах та захисту електрообладнання від можливих витоків. Контроль герметичності після виконання робіт є обов'язковим етапом перед заповненням системи паливом.

Роботи на висоті становлять самостійний небезпечний комплекс, оскільки поєднують ризик падіння з додатковими факторами котельні — високими температурами, вузькими металевими майданчиками, наявністю трубопроводів, кабелів і рухомих механізмів. Висотні роботи виконуються лише при використанні справних страхувальних поясів, надійних точок анкерування та антиковзного взуття. Переміщення по висоті повинно бути плавним і координованим, із суворою заборонаю роботи на слизьких, перегрітих або корозійно пошкоджених площадках.

Узагальнюючи все викладене, можна стверджувати, що дотримання вимог техніки безпеки є критично важливим фактором успішної модернізації котельної установки. Кожен із розглянутих напрямів робіт має власні специфічні ризики, але їх об'єднує спільна вимога — чітка процедура допуску, суворий контроль середовища та ретельна організація робочого місця. Лише системне виконання регламентів забезпечує безпечне проведення монтажу, зберігає життя та здоров'я персоналу й гарантує, що модернізоване обладнання працюватиме стабільно, безаварійно та відповідно до сучасних стандартів промислової безпеки.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У ході виконання магістерської роботи була проведена комплексна технічна модернізація системи блокувань і технологічних захистів водогрійного котла, що дозволило суттєво підвищити рівень безпеки, надійності та ефективності його експлуатації. Аналізуючи роботу котла в початковій конфігурації, встановлено, що наявна апаратура, сформована переважно на базі застарілих радянських датчиків і релейних схем, значною мірою втратила точність, стабільність та відповідність сучасним нормативним вимогам. Особливо критичними були фактори низької точності вимірювань, повільної реакції, відсутності контролю додаткових параметрів і значний вплив людського фактора, що створювали реальні передумови до аварійних ситуацій.

У рамках модернізації виконано повну ревізію логіки пуску котла, яка була побудована на принципі апаратної незмінності та повної детермінованості. Релейна система блокувань переосмислена, розширена та реалізована на сучасній європейській електромеханічній базі, що забезпечує максимальну стійкість до зовнішніх впливів, механічну надійність і захищеність від програмних збоїв. Реалізовано повний контроль закриття газових, мазутних і водопровідних задвижок, багатоетапне підтвердження провітрювання топки, перевірку потоку води як на вході, так і на виході котла, контроль тиску газу, стану парових ліній, готовності запальника та відсутності взаємного відкриття паливних арматур. На рівні блокувань сформовано жорстку, закриту, фізично підтверджувану структуру, що виключає будь-які ризики помилкового пуску.

Паралельно з апаратною логікою було впроваджено електронний контур технологічних захистів на основі контролера Siemens LOGO! 8, який працює незалежно від релейних блокувань і виконує аналітичні функції: збір аварійних параметрів, моніторинг температурних, тискових і гідравлічних величин, ведення журналів подій та формування команд аварійного

відключення. Такий розподіл ролей між апаратною і електронною частинами забезпечив оптимальне співвідношення жорсткого технічного захисту та сучасної діагностики, що дозволяє експлуатуючому персоналу отримувати достовірну інформацію про стан обладнання і точно ідентифікувати причини можливих порушень.

Суттєва увага у роботі була приділена модернізації паливної системи, зокрема заміні застарілого комплексу запалювання на високонадійні системи DURAG–Hegwein, які забезпечують стабільне формування факела, точний контроль наявності полум'я та високу повторюваність процесу розпалу. Важливим досягненням стало включення у блокувальну логіку контролю пари для розпилення мазуту, що дозволило повністю усунути проблему неповного згоряння, димності й утворення твердих відкладень. Розкрито термодинамічні переваги тонкодисперсного розпилу, що підвищує якість горіння й зменшує теплові навантаження на поверхні нагріву.

Комплекс модернізацій охопив також заміну старих кабельних трас, оновлення електромонтажної інфраструктури, підбір сучасної водопровідної, газової та мазутної арматури, впровадження промислових джерел безперебійного живлення та розробку заходів із техніки безпеки при виконанні монтажних, електротехнічних, висотних і паливних робіт. У роботі детально описано організацію безпечного ремонту газових і мазутних магістралей, виконання робіт у зоні підвищених температур та вимоги до персоналу, що працює на висоті. Це забезпечує не лише технічну завершеність модернізації, але й практичну готовність підприємства до її впровадження.

Загалом результати дослідження доводять, що на основі сучасних технологічних рішень можливо створити багаторівневу систему безпеки котельної установки, яка поєднує високу надійність апаратних блокувань із гнучкістю та аналітичною точністю електронної системи захистів. Запропонована модернізована структура забезпечує стабільність пуску, економічність роботи, відповідність сучасним стандартам промислової

безпеки та значне продовження терміну експлуатації котла. Таким чином, впроваджені рішення не лише підвищують рівень технологічної безпеки, але й формують підґрунтя для подальшої автоматизації, енергоефективності та підвищення культури експлуатації котельних установок.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Магістерська дисертація (розділ автоматики: захист та блокування енергетичного котла ТГМП-314А). КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/51734/3/Steza\\_magistr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/51734/3/Steza_magistr.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).
2. Магістерська дисертація (АСУ ТП котла КВГМ-180, функції захисту та блокування). КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/ddf2d5dc-3354-49af-84a5-2022be200c7b/download>(дата звернення: 21.11.2025).
3. Магістерська дисертація (АСУ ТП котла КВГМ-180, блокування видачі сигналів у котельну автоматику). КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/52499/1/Olefir\\_magistr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/52499/1/Olefir_magistr.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).
4. Магістерська дисертація (блокування видачі керуючих впливів при відмові датчиків). КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/51644/1/Magistr\\_Tkachenko.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/51644/1/Magistr_Tkachenko.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).
5. Магістерська дисертація (функції захисту та блокування, барабан котла, регулювання рівня). КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/52616/1/Khodyrieva\\_magistr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/52616/1/Khodyrieva_magistr.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).
6. Магістерська дисертація (функції блокування та зупинки роботи котла, блокування включення механізмів). КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/52443/1/Stelmakh\\_magistr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/52443/1/Stelmakh_magistr.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).
7. Дипломний проєкт (попереджувальна сигналізація та блокування в АСУ ТП котла-утилізатора). КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/59341/1/Burbela\\_bakalavr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/59341/1/Burbela_bakalavr.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).

8. Енергетичні котельні установки : методичні вказівки (теплоенергетика, експлуатаційні режими, вимоги безпеки). КПІ ім. ІгоряСікорського,2016.URL:[https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/17521/1/kotelnii\\_ustanovky\\_01\\_2016.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/17521/1/kotelnii_ustanovky_01_2016.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).

9. Теплопостачання (в т.ч. вимоги до автоматики котлів, “ставлять на захист”, організація експлуатації). ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. URL:<https://eprints.kname.edu.ua/63390/1/%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D1%8F%D0%B2%D1%96%D0%BD%D0%B0%2C%20%D0%9C%D1%96%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%BA%D0%BE%2C%2011%D0%9B%2C%202022%2C%20pdf.pdf> (дата звернення: 21.11.2025).

10. Розрахунково-пояснювальна записка (модернізація системи управління парового котла ДВКР 10-13; логіка керування/блокувань). ХНУМГ ім.О.М.Бекетова,2021.URL:[https://eprints.kname.edu.ua/69548/1/%D0%A1%D0%86%D0%9D%D0%96\\_20211\\_%D0%9F%D0%97\\_%D0%94%D0%B5%D0%B3%D1%82%D1%8F%D1%80%D1%8C%D0%BE%D0%B2\\_%D0%94.%D0%92..pdf](https://eprints.kname.edu.ua/69548/1/%D0%A1%D0%86%D0%9D%D0%96_20211_%D0%9F%D0%97_%D0%94%D0%B5%D0%B3%D1%82%D1%8F%D1%80%D1%8C%D0%BE%D0%B2_%D0%94.%D0%92..pdf) (дата звернення: 21.11.2025).

11. IEC 61511-1:2016 Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector – Part 1. IEC Webstore.URL:<https://webstore.iec.ch/en/publication/24241> (дата звернення: 21.11.2025).

12. IEC 61511 Series (IEC 61511:2025 SER) сторінка серії стандартів SIS (актуально для життєвого циклу SIS/інтерлоків). IEC Webstore, 2025. URL: <https://webstore.iec.ch/en/publication/5527> (дата звернення: 21.11.2025).

13. NFPA 85 Boiler and Combustion Systems Hazards Code – офіційна сторінка NFPA (вимоги до BMS/логіки блокувань котлів). URL: <https://www.nfpa.org/product/nfpa-85-code/p0085code> (дата звернення: 21.11.2025).

14. NFPA 85 Standard Development (опис призначення NFPA 85 для запобігання вибухам/імплізіям; застосовність до котлів). URL: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-85-standard-development/85>(дата звернення: 21.11.2025).

15. Siemens – Safety Integrated (overview) офіційний опис підходу до інтегрованої функційної безпеки (F-CPU, F-I/O, safety communication). SiemensIndustrySupport,2025.URL:<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109747812/safety-integrated-safety-in-factory-automation> (дата звернення: 21.11.2025).

16. Safety Programming Guideline for SIMATIC S7-1200/1500 (офіційний PDF-гайд з програмування safety-логіки/інтерлоків). Siemens, 2020. URL:<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid%3A1a7ce755-79a1-494e-ae14-5e5f72c29205/safety-programming-guideline-for-simatic-s7-1200-and-1500.pdf> (дата звернення: 21.11.2025).

17. SIMATIC Safety – Configuring and Programming (офіційний посібник Siemens по налаштуванню та програмуванню safety-систем). URL:[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/126/54110126/att\\_896015/v1/ProgFAILenUS\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/126/54110126/att_896015/v1/ProgFAILenUS_en-US.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).

18. Configuration of a fail-safe system with SIMATIC S7-1500 (офіційна документація Siemens TIA Portal / fail-safe architecture). URL:[https://docs.tia.siemens.cloud/r/simatic\\_s7\\_1500\\_et\\_200mp\\_manual\\_collection\\_itit\\_20/basic-information/automation-system/system-overview/configuration/configuration-of-a-fail-safe-system-with-simatic-s7-1500](https://docs.tia.siemens.cloud/r/simatic_s7_1500_et_200mp_manual_collection_itit_20/basic-information/automation-system/system-overview/configuration/configuration-of-a-fail-safe-system-with-simatic-s7-1500) (дата звернення: 21.11.2025).

19. Emerson – Ovation educational services catalog (boiler control, troubleshooting strategies) (дотичне до філософії керування/інтерлоків вOvationDCS).Emerson,2025.URL:<https://www.emerson.com/documents/automation/2025-emerson-eu-syss-educational-services-catalog-en-11531078.pdf> (дата звернення: 21.11.2025).

20. Phoenix Contact – Functional safety in accordance with IEC 61511 (пояснення IEC 61508/61511, життєвий цикл безпеки; релевантно для SIS/блокувань).URL:<https://www.phoenixcontact.com/enpc/industries/functional-safety/functional-safety-in-the-process-industry> (дата звернення: 21.11.2025).

21. Phoenix Contact – Functional Safety from Phoenix Contact (огляд компонентів:safetyrelays/контролери/архітектура).URL:<https://dss.phoenixcont>

[act.it/common/assets/images/SITO%20DSS/Functional\\_Safety\\_from\\_Phoenix\\_Contact.pdf](https://www.phoenixcontact.com/act.it/common/assets/images/SITO%20DSS/Functional_Safety_from_Phoenix_Contact.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).

22. Phoenix Contact – Safety switches (компоненти для реалізації ланцюгів блокувань, дверей, позицій, EN ISO 14119). URL: <https://www.phoenixcontact.com/en-pc/products/safety-relay-modules-and-sensors/safety-switches> (дата звернення: 21.11.2025).

23. DNV – IEC 61511 functional safety training (структура стандарту/життєвого циклу; корисно для “теорії” розділу блокувань). URL: <https://www.dnv.com/training/iec-61511-functional-safety-training-for-the-process-industry-sector/> (дата звернення: 21.11.2025).

24. TÜV SÜD – IEC 61511 training program (офіційний опис застосування IEC61511 для SIS). URL: <https://www.tuvsud.com/enid/services/training/instructor-led-courses/functional-safety/functional-safety-based-on-safety-instrumented-systems-for-the-process-industry-sector---iec-61511> (дата звернення: 21.11.2025).

25. Siemens SITRAIN – IEC 61511 Functional safety for the process industry (навчальний опис: risk analysis, SRS, lifecycle, proof tests). URL: <https://www.sitrain-learning.siemens.com/pt/rw16253/IEC-61511-Functional-safety-for-the-process-industry> (дата звернення: 21.11.2025).

26. Kromschöder (Honeywell) – Combustion Systems Standards and Codes 101 (огляд норм і підходів до безпеки систем горіння; інтерлок-філософія). URL: <https://docuthek.kromschroeder.com/download.php?doc=63780&lang=de> (дата звернення: 21.11.2025).

27. PLCnext Engineer – Safety-related IEC 61131-3 programming (огляд дисципліни safety-програмування, релевантно до реалізації інтерлоків у ПЛК). URL: <https://engineer.plcnext.help/latest/iecprogramming.htm> (дата звернення: 21.11.2025).

28. ABB – Process automation / safety solutions (overview) (загальна платформа для реалізації міжблокувань/ захистів). URL: <https://new.abb.com/process-automation> (дата звернення: 21.11.2025).

29. Schneider Electric – Industrial automation / safety solutions (компонентитাপідходидосafety/interlock).URL:<https://www.se.com/ww/en/work/solutions/for-business/industrial-automation/> (дата звернення: 21.11.2025).
30. Yokogawa – Safety Instrumented Systems / ProSafe (платформа SIS для технологічноїбезпеки).URL:<https://www.yokogawa.com/solutions/products-platforms/safety-system/> (дата звернення: 21.11.2025).
31. Emerson – Burner Management (overview) (підхід до BMS і пов’язанихінтерлоків/блокуваньукотлах).URL:<https://www.emerson.com/en-us/automation/solutions/burner-management> (дата звернення: 21.11.2025).
32. Honeywell – Flame safeguard / burner safety products (виробнича база для розділу “реалізація блокувань” у котлах).URL:<https://process.honeywell.com/us/en/products/flame-safeguard> (дата звернення: 21.11.2025).
33. Power Engineering – water/boiler automation articles (архів теми котлів) (джерело оглядових статей про практику блокувань/безпеки котлів).URL: <https://www.power-eng.com/> (дата звернення: 21.11.2025).
34. Power Technology – features (power plants, boiler safety, automation) (оглядові матеріали про автоматизацію/безпеку енергетичних об’єктів). URL: <https://www.power-technology.com/> (дата звернення: 21.11.2025).
35. Applied Thermal Engineering (журнал) (наукові статті по котлах, пусках/режимах, безпеці та керуванню; використовується для обґрунтуванняінтерлоків).URL:<https://www.sciencedirect.com/journal/applied-thermal-engineering> (дата звернення: 21.11.2025).
36. Магістерська дисертація (Автоматизація технологічних процесів, АСУ ТЕЦ; функції керування/захисту/блокувань). КПІ ім. Ігоря Сікорського,2022.URL:[https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/51644/1/Magistr\\_Tkachenko.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/51644/1/Magistr_Tkachenko.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).
37. Магістерська дисертація (АСУ ТП котла КВГМ-180; “блокування видачі сигналів” в основну котельну автоматику). КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/52499/1/Olefir\\_magistr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/52499/1/Olefir_magistr.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).

38. Магістерська дисертація (АСУ ТП котла КВГМ-180; повна автоматизація пуску/режимів; вимоги безпеки). КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/ddf2d5dc-3354-49af-84a5-2022be200c7b/download> (дата звернення: 21.11.2025).

39. Дипломний проєкт (контроль та регулювання тиску пари барабанного котла ДКВр-10-13ГМ; АСУ ТП, сигналізація /обмеження/ блокування). КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/53126/1/Sirenko\\_bakalavr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/53126/1/Sirenko_bakalavr.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).

40. Дипломний проєкт (АСУ з переліком захистів: рівні у барабані котла/деаераторі/конденсаторі; міжблокування, аварійне відключення). КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/61442/1/Stolbov\\_bakalavr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/61442/1/Stolbov_bakalavr.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).

41. Дипломний проєкт (попереджувальна сигналізація та блокування; посилення на ДСТУ EN 61140:2015). КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/59341/1/Burbela\\_bakalavr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/59341/1/Burbela_bakalavr.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).

42. Дипломний проєкт (охорона праці/котельня; згадування блокування, нормативів). КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/59357/1/Vysotina\\_bakalavr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/59357/1/Vysotina_bakalavr.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).

43. Дипломний проєкт (захист від перевищення температури/тиску; інформаційні функції; блокування). КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/57086e9e-a1ec-4214-b3c6-4ada43423e06/download> (дата звернення: 21.11.2025).

44. Дипломний проєкт (електробезпека, базові НД; в тексті — “блокування” як захід безпеки). КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/59339/1/Agarkova\\_bakalavr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/59339/1/Agarkova_bakalavr.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).

45. Комп'ютерно-інтегроване управління (у тексті прямо згадується “автоматичне блокування (закриття) ...”). НТУ «ХПІ», 2024

(репозитарій).URL:<https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/9c300e04-c47a-438c-b52e-ab62366a2abf/content> (дата звернення: 21.11.2025).

46. Стаття про критичні інциденти/кібервплив на АСУ; у тексті згадується “автоматичне скидання блокування”. НТУ «ХПІ», 2018.URL: [https://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPIPress/37307/1/vestnik\\_KhPI\\_2018\\_16\\_Hrudzynskiy\\_Deiki\\_pytannia.pdf](https://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPIPress/37307/1/vestnik_KhPI_2018_16_Hrudzynskiy_Deiki_pytannia.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).

47. Текст лекцій “Автоматизація технологічних процесів і виробництв” (є формулювання про системи автоматичного блокування, що не допускають хибних команд). НТУ«ХПІ». URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/bitstreams/57bfbcc2-936a-4681a859be17967a9573/download> (дата звернення: 21.11.2025).

48. Наукова публікація/матеріали (АСУ ТП котелень/об’єктів ТЕЦ згадуються як типові нестационарні об’єкти; корисно для розділу “пуски/блокування/послідовності”). Львівська політехніка.URL:<https://ena.lpnu.ua/bitstreams/310e12a9-3eea-4a84-b58e-bb9de6e69880/download> (дата звернення: 21.11.2025).

49. Про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів (нормативна база для експлуатаційної дисципліни/допусків/режимів, що напряму пов’язано з міжблокуваннями та захистами). Законодавство України, ВРУ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1143-06> (дата звернення: 21.11.2025).

50. Про затвердження Правил введення в роботу технічно переоснащених або заміненних складових частин об’єктів діючих електричних мереж (формальна частина “введення після модернізації”, випробування/приймання). Законодавство України, ВРУ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1370-11> (дата звернення: 21.11.2025).