

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Кафедра нафтогазової інженерії і технологій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи бакалавра
на тему: «Підвищення надійності та екологічної безпеки блоку одоризації
ГРС шляхом впровадження автоматизованого моніторингу витоків»

Виконав: студент групи НІТ 2022-1

Олександр ДІДЕНКО

Керівник: Володимир КОТУХ

Рецензент: Катерина ПАЛЄЄВА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Інститут _____ Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури _____

Кафедра _____ Нафтогазової інженерії та технології _____

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ бакалавр _____

Спеціальність _____ 185 – Нафтогазова інженерія та технології _____

ЗАТВЕРДЖУЮ:

В.о. завідувача кафедри
нафтогазової інженерії
та технологій

 Роман ТКАЧЕНКО
«20» червня 2026 р.

Завдання

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студента _____ Діденка Олександра Володимировича _____

1. Тема роботи Підвищення надійності та екологічної безпеки блоку одоризації ГРС шляхом впровадження автоматизованого моніторингу витоків
затверджена наказом по університету від «22» травня 2026 р. № 440-03
2. Термін подання студентом закінченої роботи 17.06.2026 р.
3. Вихідні дані до роботи: типова технологічна схема блоку одоризації газорозподільної станції, нормативні вимоги до процесу одоризації природного газу та характеристики сучасних засобів автоматизації; технічні характеристики PLC-контролера, датчиків тиску, витрати, рівня, температури та газоаналізаторів .
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):
1 Аналіз предметної області (теоретичні основи одоризації природного газу; аналіз надійності та ризиків витоків); 2 Технологічна частина (проекткування автоматизованої системи моніторингу; реалізація системи автоматизації; оцінка ефективності запропонованого рішення); 3 Охорона праці.
5. Графічний матеріал (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
титольний слайд; актуальність роботи; мета, об'єкт, предмет та завдання роботи; аналіз предметної області; базова схема блоку одоризації; запропонована система та технічні засоби автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту; схема підключення датчиків та виконавчих пристроїв до PLC; алгоритм роботи системи. SCADA/HMI; оцінка ефективності; охорона праці; висновки

6. Консультанти розділів роботи

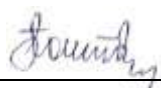
Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Технологічна частина	доц. Котух В. Г.		
Охорона праці	доц. Абракітов В. Е.		

7. Дата видачі завдання «25» травня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Найменування етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	25.05.2026	
2	Аналіз предметної області	25-27.05.2026	
3	Проектування автоматизованої системи моніторингу	28-31.05.2026	
4	Реалізація системи автоматизації	01-06.06.2026	
5	Оцінка ефективності запропонованого рішення	07-08.06.2026	
6	Виконання розділу з охорони праці	09-11.06.2026	
7	Оформлення пояснювальної записки	12-13.06.2026	
8	Оформлення графічного матеріалу	14-15.06.2026	
9	Рецензування кваліфікаційної роботи бакалавра	16.06.2026	
10	Здача закінченої кваліфікаційної роботи в ЕК	17.06.2026	

Керівник


 (підпис)

(Володимир КОТУХ)

(прізвище та ініціали)

Студент-бакалавр


 (підпис)

(Олександр ДІДЕНКО)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 67 стор., 12 табл., 6 рис., 33 джерела.

Бакалаврська робота присвячена розробленню автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту в блоці одоризації газорозподільної станції.

Метою роботи є підвищення надійності та екологічної безпеки блоку одоризації шляхом впровадження засобів автоматизованого контролю технологічних параметрів та раннього виявлення витоків одоранту.

У роботі проведено аналіз процесу одоризації природного газу, досліджено джерела виникнення витоків одоранту та їх вплив на безпеку й довкілля. Виконано аналіз ризиків, визначено критичні точки системи та розроблено автоматизовану систему моніторингу на базі PLC ОВЕН СПК110, датчиків контролю технологічних параметрів і SCADA-системи.

Розроблено структурну схему системи, алгоритм роботи контролера та схему підключення датчиків. Виконано оцінку ефективності запропонованого рішення та розглянуто питання охорони праці й пожежної безпеки.

ГРС, ОДОРИЗАЦІЯ, ОДОРАНТ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, PLC, SCADA, ГАЗОАНАЛІЗАТОР, МОНІТОРИНГ ВИТОКІВ, ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	10
1.1 Теоретичні основи одоризації природного газу	10
1.2 Аналіз надійності та ризиків витоків	16
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	24
2.1 Проєктування автоматизованої системи моніторингу	24
2.2 Реалізація системи автоматизації	33
2.3 Оцінка ефективності запропонованого рішення.....	41
3 ОХОРОНА ПРАЦІ	51
3.1 Завдання з охорони праці	51
3.2 Аналіз умов праці на об'єкті	52
3.3 Організація безпечних та нешкідливих умов праці на робочому місці.....	55
3.4 Заходи щодо поліпшення умов праці і підвищення безпеки працюючих	59
3.5 Пожежна безпека.....	61
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- AI – аналоговий вхід PLC;
- DI – дискретний вхід PLC;
- DO – дискретний вихід PLC;
- FMEA – Failure Mode and Effects Analysis;
- FT – Flow Transmitter (датчик витрати);
- GAS – газоаналізатор;
- H₂S – сірководень;
- HAZOP – Hazard and Operability Study;
- HMI – Human Machine Interface;
- LT – Level Transmitter (датчик рівня);
- PLC – Programmable Logic Controller (програмований логічний контролер);
- PT – Pressure Transmitter (датчик тиску);
- SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition;
- THT (TGT) – тетрагідротіофен;
- VOC – леткі органічні сполуки;
- ГРС – газорозподільна станція.

ВСТУП

Природний газ є одним із основних енергоносіїв у світі та відіграє важливу роль у забезпеченні енергетичної безпеки держави. В Україні природний газ широко використовується в промисловості, комунальному господарстві та побуті для виробництва теплової енергії, приготування їжі та забезпечення гарячого водопостачання [1, 2]. Надійність функціонування систем транспортування та розподілу природного газу є важливою умовою безперебійного енергозабезпечення споживачів.

Разом із тим природний газ належить до потенційно небезпечних речовин. Неконтрольовані витoki газу можуть призводити до утворення вибухонебезпечних газоповітряних сумішей, виникнення пожеж та аварійних ситуацій. Крім безпосередньої загрози для життя і здоров'я людей, витoki природного газу супроводжуються викидами метану в атмосферу. Метан є одним із найбільш активних парникових газів, який суттєво впливає на зміну клімату та процеси глобального потепління [3]. Тому забезпечення герметичності газорозподільних систем та своєчасне виявлення витоків є важливим завданням сучасної газової галузі.

Особливістю природного газу є відсутність кольору та запаху, що ускладнює виявлення його витоків без застосування спеціальних технічних засобів. Для підвищення безпеки експлуатації систем газопостачання до природного газу додають спеціальні пахучі речовини – одоранти, які мають різкий характерний запах і дозволяють виявити витік газу на ранній стадії [4]. Відповідно до вимог нормативних документів процес одоризації є обов'язковим елементом технології підготовки природного газу перед його подачею споживачам [4, 5].

Процес одоризації здійснюється на газорозподільних станціях за допомогою спеціальних установок дозування. Блок одоризації забезпечує введення розрахункової кількості одоранту в потік природного газу залежно від його витрати. Від точності дозування та надійності роботи обладнання

безпосередньо залежить можливість своєчасного виявлення витоків газу, а також дотримання вимог промислової та екологічної безпеки [5].

Водночас самі одоранти належать до хімічно активних речовин і при витоках можуть негативно впливати на довкілля та здоров'я персоналу. Пари меркаптанів та інших одоруючих речовин здатні викликати подразнення слизових оболонок, органів дихання та шкіри. Крім того, витoki одоранту призводять до втрат реагенту, погіршення якості одоризації природного газу та зниження ефективності роботи обладнання [6].

Аналіз експлуатації існуючих блоків одоризації показує, що значна частина обладнання працює за схемами з обмеженим рівнем автоматизації, де контроль технологічних параметрів значною мірою залежить від дій оперативного персоналу. Такий підхід не завжди забезпечує своєчасне виявлення витоків одоранту та оперативне реагування на аварійні ситуації. У зв'язку з цим актуальним напрямом розвитку газорозподільної інфраструктури є впровадження сучасних систем автоматизованого моніторингу, побудованих на базі датчиків контролю технологічних параметрів, програмованих логічних контролерів (PLC) та SCADA-систем.

Використання автоматизованих систем дозволяє здійснювати безперервний контроль рівня, тиску, витрати та концентрації парів одоранту, оперативно виявляти відхилення від нормального режиму роботи, формувати попереджувальні та аварійні сигнали, а також забезпечувати архівування технологічних даних і дистанційний контроль роботи обладнання [7–9]. Це сприяє підвищенню надійності функціонування блоку одоризації, зниженню ризику аварійних ситуацій та покращенню екологічних показників роботи газорозподільної станції.

Метою роботи є підвищення надійності та екологічної безпеки блоку одоризації газорозподільної станції шляхом розроблення системи автоматизованого моніторингу витоків одоранту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати принцип роботи блоку одоризації газорозподільної станції;
- дослідити можливі джерела та причини виникнення витоків одоранту;
- оцінити технологічні та екологічні ризики, пов'язані з витоками одоранту;
- проаналізувати сучасні методи контролю та виявлення витоків;
- розробити структурну схему автоматизованої системи моніторингу;
- обґрунтувати вибір датчиків та технічних засобів автоматизації;
- розглянути принципи функціонування PLC та SCADA-систем у складі запропонованого рішення;
- оцінити ефективність впровадження автоматизованої системи моніторингу.

Об'єкт дослідження – блок одоризації газорозподільної станції.

Предмет дослідження – система автоматизованого моніторингу витоків одоранту в блоці одоризації газорозподільної станції.

Під час підготовки кваліфікаційної роботи використовувався сервіс ChatGPT (OpenAI) як допоміжний інструмент для опрацювання інформації, удосконалення структури матеріалу, мовного редагування тексту та покращення формулювання окремих фрагментів. Усі технічні рішення, інженерні розрахунки, аналіз отриманих результатів, вибір технічних засобів автоматизації та остаточне оформлення роботи виконані автором самостійно.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Теоретичні основи одоризації природного газу

1.1.1 Призначення та роль одоризації природного газу

Природний газ є одним із основних енергоносіїв, який широко використовується в промисловості, комунальному господарстві та побуті. Основним компонентом природного газу є метан, який у чистому вигляді є безбарвним і практично не має запаху. Через це своєчасне виявлення витоків природного газу без застосування спеціальних заходів є ускладненим [4].

Витоки природного газу можуть призводити до утворення вибухонебезпечних газоповітряних сумішей, виникнення пожеж, а також становити загрозу для життя і здоров'я людей. Для забезпечення безпечної експлуатації систем газопостачання природний газ підлягає одоризації, тобто введенню до його складу спеціальних речовин із різким характерним запахом – одорантів [4, 5].

Відповідно до вимог ДСТУ ISO/TR 16922:2015 одоризація є одним із основних заходів безпеки під час транспортування та розподілу природного газу. Завдяки наявності характерного запаху користувачі можуть виявити витік газу ще до досягнення небезпечної концентрації в повітрі [4].

Процес одоризації здійснюється на газорозподільних станціях за допомогою спеціальних установок дозування. Блок одоризації забезпечує введення необхідної кількості одоранту в потік природного газу залежно від його витрати. Від точності дозування залежить ефективність виявлення витоків і дотримання вимог промислової безпеки [5].

Сучасні тенденції розвитку газотранспортної галузі передбачають широке впровадження автоматизованих систем контролю та диспетчеризації технологічних процесів. Зокрема, на газорозподільних станціях активно впроваджуються автоматизовані установки одоризації, що забезпечують підвищення точності дозування та надійності контролю технологічних параметрів [10].

1.1.2 Основні типи одорантів природного газу

Для забезпечення безпечної експлуатації систем газопостачання до природного газу додають спеціальні речовини – одоранти, які мають різкий характерний запах та дозволяють своєчасно виявляти витіки газу. Вибір одоранту визначається його фізико-хімічними властивостями, інтенсивністю запаху, стабільністю під час транспортування газу, токсичністю та сумісністю з матеріалами газотранспортної системи [4].

Найбільш поширеними одорантами є меркаптани (тіоли) – органічні сполуки, до складу яких входить сірковмісна функціональна група – SH. Для меркаптанів характерний дуже різкий і стійкий запах, який людина здатна відчувати навіть за надзвичайно низьких концентрацій. Саме тому вони широко використовуються для одоризації природного газу в багатьох країнах світу [6].

До найбільш поширених представників цієї групи належать етилмеркаптан (C_2H_5SH), трет-бутилмеркаптан (C_4H_9SH) та суміші природних меркаптанів. Основними перевагами меркаптанів є висока ефективність одоризації, добрі показники змішування з природним газом та відносно невеликі витрати реагенту. Разом із тим ці речовини характеризуються певною токсичністю, а також можуть викликати корозійні процеси за наявності вологи та окремих домішок у газі [11].

Іншим поширеним одорантом є тетрагідротіофен (ТГТ, ТНТ), який являє собою циклічну сіркоорганічну сполуку з хімічною формулою C_4H_8S . Тетрагідротіофен має характерний запах, високу хімічну стабільність та добру стійкість до окиснення. На відміну від меркаптанів, він менше піддається адсорбції на внутрішній поверхні трубопроводів, що забезпечує більш стабільне збереження одоруючих властивостей газу під час його транспортування на значні відстані [4, 12].

У деяких випадках для одоризації використовують комбіновані суміші, до складу яких входять меркаптани, тетрагідротіофен та інші сіркоорганічні сполуки. Використання сумішей дозволяє поєднати переваги окремих

компонентів та забезпечити стабільні одоруючі властивості природного газу за різних умов експлуатації газорозподільних систем [12].

Незважаючи на важливу роль одорантів у забезпеченні безпеки газопостачання, ці речовини потребують особливих заходів контролю під час зберігання та дозування. Пари меркаптанів і тетрагідротіофену можуть викликати подразнення слизових оболонок, головний біль, нудоту та інші негативні реакції організму при тривалому впливі високих концентрацій [5]. Крім того, витоки одоранту призводять до локального забруднення довкілля та погіршення санітарно-гігієнічних умов праці персоналу.

1.1.3 Технологічна схеми блоку одоризації ГРС

Процес одоризації природного газу здійснюється на газорозподільних станціях (ГРС) шляхом введення визначеної кількості одоранту в потік природного газу. Для цього використовуються спеціальні установки одоризації, які забезпечують зберігання, дозування та подачу одоранту до газопроводу. Відповідно до вимог нормативних документів система одоризації повинна забезпечувати стабільне дозування одоранту незалежно від режиму роботи газорозподільної станції [4, 5].

Базова схема блоку одоризації до впровадження засобів автоматизації наведена на рисунку 1.1. Вона складається з п'яти основних функціональних блоків: резервуара одоранту, насоса-дозатора, трубопроводу подачі одоранту, вузла візуального контролю оператором та локальної системи сигналізації.

Резервуар одоранту (LT) призначений для зберігання запасу рідкого одоранту, необхідного для забезпечення безперервної роботи установки. Контроль рівня одоранту в резервуарі здійснюється оператором шляхом періодичного візуального огляду або за допомогою локального механічного показника рівня. Передача інформації про рівень одоранту до диспетчерського пункту відсутня, що ускладнює оперативний контроль стану обладнання [1].



Рисунок 1.1 – Функціональна схема блоку одоризації газорозподільної станції до впровадження автоматизованої системи моніторингу

Насос-дозатор забезпечує подачу одоранту до потоку природного газу в кількості, що відповідає встановленій нормі одоризації. Для контролю технологічного процесу використовуються локальні прилади вимірювання витрати (FT – Flow Transmitter) та тиску (PT – Pressure Transmitter). Керування насосом здійснюється вручну оператором шляхом його увімкнення та вимкнення. Регулювання продуктивності насоса також виконується вручну, що може призводити до відхилень від заданого режиму дозування [6].

Трубопровід подачі одоранту забезпечує транспортування реагенту від резервуара та насоса-дозатора до точки введення в газопровід. У базовому варіанті експлуатації контроль герметичності трубопроводу здійснюється лише під час планових оглядів. Автоматичні засоби контролю витоків та сигналізації про розгерметизацію відсутні, що підвищує ризик втрат одоранту та виникнення аварійних ситуацій [5].

Контроль працездатності обладнання покладається на оперативний персонал. Оператор періодично перевіряє рівень одоранту, стан насоса-дозатора та показники локальних приладів контролю. Отримані дані заносяться до експлуатаційної документації вручну. Такий підхід

характеризується значною залежністю від людського фактора та не забезпечує безперервного моніторингу технологічного процесу [2].

Для попередження персоналу про аварійні стани використовується локальна сигналізація у вигляді сигнальних ламп або звукових сирен. Сигнали формуються безпосередньо на місці встановлення обладнання і не передаються до централізованих систем диспетчерського контролю. Крім того, відсутня функція архівування аварійних подій, що ускладнює аналіз причин виникнення відмов та несправностей [6].

1.1.4 Вимоги до безпеки та екології

Експлуатація блоків одоризації газорозподільних станцій пов'язана з використанням хімічно активних та потенційно небезпечних речовин, тому до таких об'єктів висуваються підвищені вимоги щодо промислової, пожежної та екологічної безпеки. Основні вимоги до проектування, експлуатації та технічного обслуговування обладнання газорозподільних станцій визначаються Правилами безпеки систем газопостачання, державними будівельними нормами та санітарними вимогами щодо охорони праці [1, 2, 5].

Одоранти, які застосовуються для надання природному газу характерного запаху, переважно належать до сіркоорганічних сполук. Найбільш поширеними серед них є меркаптани та тетрагідротіофен. Незважаючи на відносно невеликі концентрації, що використовуються під час одоризації газу, ці речовини можуть негативно впливати на організм людини при тривалому або інтенсивному впливі. Пари одорантів здатні викликати подразнення слизових оболонок очей та органів дихання, головний біль, запаморочення та погіршення самопочуття персоналу [4].

З метою забезпечення безпечних умов праці в приміщеннях, де розташовані установки одоризації, повинні бути передбачені ефективна припливно-витяжна вентиляція, засоби контролю загазованості, аварійна сигналізація та необхідні засоби індивідуального захисту персоналу.

Працівники, які обслуговують обладнання, повинні проходити відповідне навчання та інструктаж з питань безпечної роботи з хімічними речовинами [5].

Важливим аспектом експлуатації блоків одоризації є контроль концентрації парів одоранту в повітрі робочої зони. Перевищення допустимих концентрацій може створювати небезпечні умови для персоналу та свідчити про наявність витоків у технологічному обладнанні. Тому на сучасних об'єктах газової інфраструктури застосовуються стаціонарні газоаналізатори та системи автоматичного моніторингу повітряного середовища [6].

Окрім впливу на персонал, витoki одорантів можуть призводити до негативних екологічних наслідків. Потрапляння сіркоорганічних сполук у довкілля супроводжується появою стійкого неприємного запаху, локальним забрудненням атмосферного повітря та погіршенням санітарного стану прилеглих територій. Навіть незначні витoki одоранту часто викликають численні звернення населення через характерний запах, що може помилково сприйматися як витік природного газу [4].

Особливу увагу під час експлуатації блоку одоризації необхідно приділяти забезпеченню герметичності резервуарів, трубопроводів та насосного обладнання. Для запобігання аварійним ситуаціям система повинна бути оснащена засобами контролю тиску, рівня та витрати одоранту. Також повинні передбачатися запобіжні пристрої для захисту обладнання від надлишкового тиску та розгерметизації [1, 2].

Незважаючи на важливість процесу одоризації для забезпечення безпеки газопостачання, існуючі системи контролю часто базуються на періодичних оглядах обладнання персоналом. Такий підхід має низку суттєвих недоліків. По-перше, одоранти є токсичними та екологічно небажаними речовинами у випадку витоків. По-друге, обладнання працює з агресивними хімічними середовищами, що прискорює зношування окремих елементів системи. По-третє, незначні витoki можуть тривалий час залишатися непоміченими через відсутність безперервного контролю. Крім того, людський фактор не дозволяє

гарантувати постійний моніторинг стану обладнання та оперативне реагування на відхилення від нормального режиму роботи [6].

1.2 Аналіз надійності та ризиків витоків

1.2.1 Джерела можливих витоків одоранту

Надійність роботи блоку одоризації газорозподільної станції значною мірою визначається герметичністю його технологічного обладнання. Витоки одоранту можуть призводити до погіршення якості одоризації природного газу, втрат реагенту, виникнення небезпечних умов праці та негативного впливу на довкілля [5].

Основними джерелами можливих витоків одоранту в блоці одоризації є резервуар для зберігання одоранту, насос-дозатор, трубопроводи подачі одоранту, запірно-регулююча арматура та різьбові або фланцеві з'єднання трубопроводів [1].

Найбільш поширеними місцями виникнення витоків є з'єднання трубопроводів та арматури. У процесі експлуатації ущільнювальні елементи піддаються старінню, механічному зношуванню та впливу агресивних компонентів одоранту. У результаті можуть утворюватися незначні розгерметизації, які тривалий час залишаються непоміченими через відсутність постійного контролю. Особливу небезпеку становлять приховані витоки в різьбових та фланцевих з'єднаннях, які можуть поступово збільшуватися в процесі роботи обладнання [4].

Важливим джерелом потенційних витоків є насос-дозатор, який працює в умовах постійного контакту з одорантом та циклічних змін тиску. Найбільш вразливими елементами насоса є ущільнення валів, мембрани, прокладки та штуцерні з'єднання. У процесі тривалої експлуатації можливе їхнє зношування або пошкодження, що призводить до втрати герметичності та витоків одоранту. Крім того, несправність насоса може спричинити порушення режиму дозування та зниження ефективності одоризації природного газу [6].

Резервуар для зберігання одоранту також належить до потенційно небезпечних елементів системи. Причинами витоків можуть бути корозійні пошкодження стінок резервуара, порушення герметичності люків, штуцерів і технологічних патрубків. Ризик виникнення витоків зростає зі збільшенням терміну експлуатації обладнання та недостатньою якістю технічного обслуговування [1].

Джерелом втрат одоранту можуть бути також трубопроводи його подачі до точки введення в газопровід. Основними причинами розгерметизації трубопроводів є механічні пошкодження, корозія, вібраційні навантаження, дефекти монтажу та старіння ущільнювальних матеріалів. Незважаючи на невеликі об'єми транспортування одоранту, навіть незначні пошкодження трубопроводів можуть призводити до тривалих витоків і забруднення довкілля [11].

Окрему групу ризиків становлять помилки експлуатаційного персоналу. Неправильне виконання операцій із заповнення резервуара, заміни обладнання, проведення ремонтних робіт або технічного обслуговування може спричинити випадкове розгерметизування системи та втрати одоранту. Тому під час експлуатації блоку одоризації важливе значення має дотримання технологічних регламентів і вимог промислової безпеки [5].

Аналіз конструкції блоку одоризації показує, що найбільш критичними елементами з точки зору виникнення витоків є насос-дозатор, резервуар одоранту, з'єднання трубопроводів та запірна арматура. Саме ці вузли потребують постійного контролю технічного стану та оснащення сучасними засобами автоматизованого моніторингу. Впровадження систем безперервного контролю дозволяє своєчасно виявляти витoki, скорочувати втрати одоранту та підвищувати загальний рівень безпеки експлуатації газорозподільної станції.

1.2.2 Екологічні та технологічні наслідки витоків одоранту

Витоки одоранту належать до небажаних явищ під час експлуатації газорозподільних станцій, оскільки вони негативно впливають як на довкілля,

так і на ефективність функціонування технологічного обладнання. Незважаючи на відносно невеликі обсяги речовини, що використовуються для одоризації природного газу, її втрати можуть призводити до суттєвих екологічних, економічних та виробничих наслідків [4].

Одним із основних наслідків витоків є забруднення атмосферного повітря парами одоранту. Більшість одоруючих речовин належать до сіркоорганічних сполук, які мають дуже інтенсивний та стійкий запах. Навіть незначні концентрації меркаптанів або тетрагідротіофену можуть відчуватися людиною на значній відстані від місця витoku, що викликає дискомфорт для персоналу та населення, яке проживає поблизу газорозподільних об'єктів [4].

Потрапляння парів одоранту в атмосферу супроводжується локальним погіршенням якості повітря. Хоча концентрації таких речовин зазвичай не досягають рівня гострої токсичності, їх тривалий вплив може негативно позначатися на самопочутті людини. Найбільш характерними наслідками є подразнення слизових оболонок очей і дихальних шляхів, головний біль, нудота, запаморочення та зниження працездатності персоналу [13].

Крім впливу на довкілля, витoki одоранту призводять до прямих матеріальних втрат. Одоранти є спеціалізованими хімічними реагентами, вартість яких значно перевищує вартість звичайних технологічних рідин. Навіть незначні, але тривалі витoki можуть призводити до додаткових витрат на поповнення запасів одоранту та збільшення експлуатаційних витрат газорозподільного підприємства [6].

Особливо небезпечним наслідком витоків є порушення нормального процесу одоризації природного газу. У разі втрати частини одоранту фактична концентрація пахучої речовини в потоці газу може зменшуватися нижче нормативного рівня. Це знижує ефективність виявлення витоків природного газу споживачами та підвищує ризик виникнення аварійних ситуацій. Таким чином, навіть незначні втрати одоранту можуть опосередковано впливати на загальний рівень безпеки систем газопостачання [4].

Витоки також негативно впливають на технічний стан обладнання. Постійне потрапляння одоранту на поверхні насосів, трубопроводів, арматури та допоміжного обладнання може сприяти прискореному старінню ущільнювальних матеріалів, виникненню корозійних процесів та погіршенню експлуатаційних характеристик окремих вузлів. У результаті збільшується ймовірність виникнення вторинних несправностей та аварійних відмов обладнання [11].

Додаткову небезпеку становлять витoki одоранту в закритих приміщеннях. У разі недостатньої вентиляції можливе накопичення парів одоранту в повітрі робочої зони, що створює несприятливі умови праці для обслуговуючого персоналу. Саме тому нормативними документами передбачено використання систем вентиляції, газового контролю та аварійної сигналізації на об'єктах одоризації природного газу [4].

В таблиці 1.1 наведено аналіз впливу витоків одоранту на безпеку, довкілля та роботу технологічного обладнання.

Таблиця 1.1 – Вплив витоків одоранту на безпеку, довкілля та роботу технологічного обладнання

Наслідок витoku	Вплив
Забруднення повітря	Погіршення якості атмосферного повітря
Неприємний запах	Скарги населення та персоналу
Втрата одоранту	Економічні збитки
Порушення одоризації	Зниження безпеки газопостачання
Накопичення парів	Ризик для здоров'я персоналу
Пошкодження обладнання	Зростання витрат на ремонт

1.2.3 Методи оцінки ризику витоків одоранту

Під час експлуатації блоку одоризації газорозподільної станції існує ймовірність виникнення відмов окремих елементів обладнання, які можуть призводити до витоків одоранту, порушення процесу одоризації та погіршення рівня промислової безпеки. Для оцінки можливих небезпек і визначення найбільш критичних елементів системи застосовуються різні методи аналізу

ризиків, серед яких найбільш поширеними є FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) та HAZOP (Hazard and Operability Study) [14].

Метод HAZOP базується на детальному дослідженні можливих відхилень технологічного процесу від нормального режиму роботи та аналізі їх наслідків. Даний метод широко використовується під час проєктування складних технологічних об'єктів нафтогазової галузі, проте його застосування потребує значного обсягу вихідної інформації та участі групи експертів [15].

Для аналізу ризиків блоку одоризації в даній роботі використано метод FMEA, який дозволяє визначити потенційні відмови обладнання, встановити їх причини та оцінити можливі наслідки для технологічного процесу. Основною перевагою FMEA є простота застосування та можливість ранжування елементів системи за рівнем критичності [16].

Аналіз конструкції блоку одоризації показав, що найбільш вразливими елементами системи є резервуар одоранту, насос-дозатор, трубопроводи подачі одоранту та запірно-регулююча арматура (в табл. 1.2). Ці елементи можуть призводити до найбільших втрат одоранту та створювати загрозу для персоналу і довкілля.

1.2.4 Критичні точки системи одоризації

На основі аналізу конструкції блоку одоризації та результатів оцінки ризиків можна визначити найбільш критичні точки системи, в яких існує підвищена ймовірність виникнення витоків одоранту. Саме ці елементи потребують постійного контролю технічного стану та оснащення сучасними засобами моніторингу [4].

Однією з найбільш критичних ділянок є насос-дозатор. Під час роботи насос перебуває під впливом змінних навантажень, вібрацій та перепадів тиску, що прискорює зношування ущільнювальних елементів. Пошкодження ущільнень або штуцерних з'єднань може призвести до витoku одоранту та порушення процесу його дозування. Крім того, відмова насоса безпосередньо впливає на ефективність одоризації природного газу [5].

Таблиця 1.2 – Результати FMEA-аналізу основних елементів блоку одоризації

Елемент системи	Можлива відмова	Причина відмови	Наслідки	Рівень ризику
Резервуар одоранту	Розгерметизація	Корозія, механічне пошкодження	Значний витік одоранту, забруднення довкілля	Високий
Насос-дозатор	Пошкодження ущільнень	Зношування деталей, старіння матеріалів	Витік одоранту, порушення дозування	Високий
Трубопровід подачі	Порушення герметичності	Корозія, вібрації, дефекти монтажу	Втрата одоранту, погіршення умов праці	Середній
Запірна арматура	Негерметичність клапанів	Зношування ущільнень	Локальний витік одоранту	Середній
Датчик рівня	Відмова вимірювання	Електрична несправність	Помилки контролю запасу одоранту	Низький
Газоаналізатор	Відмова датчика	Пошкодження сенсора	Несвоєчасне виявлення витоку	Високий

До критичних точок також належать запірні та регулювальні клапани. У процесі експлуатації можливе поступове зношування ущільнювальних поверхонь, що призводить до виникнення негерметичності. Незважаючи на відносно невеликі обсяги витоків, такі дефекти можуть тривалий час залишатися непоміченими та спричиняти постійні втрати одоранту [1].

Особливу увагу необхідно приділяти фланцевим, різбовим та штуцерним з'єднанням трубопроводів. Статистика експлуатації промислових трубопровідних систем свідчить, що саме з'єднання є одними з найпоширеніших джерел локальних витоків робочого середовища. Причинами розгерметизації можуть бути послаблення кріплень, старіння прокладок, механічні навантаження та температурні деформації [6].

До числа найбільш відповідальних елементів системи належить резервуар для зберігання одоранту. Пошкодження корпусу резервуара, корозійне руйнування металу або порушення герметичності технологічних патрубків можуть спричинити значні втрати одоранту та створити небезпеку забруднення довкілля. Хоча ймовірність таких відмов є відносно невеликою, їх наслідки можуть бути найбільш серйозними [4].

Критично важливою є також зона введення одоранту в газопровід. Порушення герметичності в місці врізки дозувальної лінії або відмова елементів вузла дозування можуть призвести до некоректної подачі одоранту в потік природного газу. У результаті можливе відхилення концентрації одоранту від нормативних значень, що негативно впливатиме на безпеку експлуатації систем газопостачання [5].

Проведений аналіз показує, що найбільшу увагу під час експлуатації блоку одоризації необхідно приділяти контролю стану насоса-дозатора, резервуара одоранту, трубопровідних з'єднань та запірної арматури. Саме ці вузли характеризуються найбільшою ймовірністю виникнення витоків або найбільш тяжкими наслідками їх виникнення. Для підвищення надійності роботи обладнання доцільним є впровадження автоматизованої системи моніторингу, яка забезпечуватиме безперервний контроль технологічних параметрів і своєчасне виявлення аварійних ситуацій.

Висновки до розділу 1

У першому розділі проведено аналіз процесу одоризації природного газу та особливостей роботи блоку одоризації газорозподільної станції. Розглянуто призначення одоризації, основні типи одорантів та їх фізико-хімічні властивості.

Проаналізовано існуючу технологічну схему блоку одоризації та встановлено, що контроль технологічних параметрів у базовому варіанті значною мірою залежить від дій оперативного персоналу. Виявлено відсутність безперервного контролю рівня одоранту, тиску, витрати та концентрації його парів.

Проведено аналіз можливих джерел витоків одоранту, визначено основні екологічні та технологічні наслідки їх виникнення. За допомогою методу FMEA встановлено найбільш критичні елементи системи: резервуар одоранту, насос-дозатор, трубопроводи подачі та запірну арматуру.

На підставі проведеного аналізу обґрунтовано необхідність впровадження автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту для підвищення надійності роботи блоку одоризації та рівня промислової й екологічної безпеки.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Проєктування автоматизованої системи моніторингу

2.1.1 Загальна концепція системи

Проведений у першому розділі аналіз показав, що існуючі блоки одоризації газорозподільних станцій характеризуються недостатнім рівнем автоматизації та значною залежністю від дій обслуговуючого персоналу. Контроль рівня одоранту, параметрів його подачі та стану обладнання в більшості випадків здійснюється локально або шляхом періодичних оглядів, що не дозволяє своєчасно виявляти витoki та інші відхилення від нормального режиму роботи [1, 5].

Для усунення виявлених недоліків у даній роботі пропонується впровадження автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту, яка забезпечує безперервний контроль технологічних параметрів, автоматичне виявлення аварійних ситуацій та передачу інформації оператору в режимі реального часу.

Основними завданнями системи є:

- контроль рівня одоранту в резервуарі;
- контроль тиску та витрати одоранту в дозувальній лінії;
- контроль концентрації парів одоранту в зоні розташування обладнання;
- виявлення аварійних режимів роботи;
- формування попереджувальних та аварійних повідомлень;
- архівування технологічної інформації;
- забезпечення дистанційного моніторингу роботи блоку одоризації.

Для реалізації зазначених функцій запропоновано використати трирівневу структуру автоматизації, яка включає польовий рівень, рівень керування та диспетчерський рівень [10].

Польовий рівень представлений комплексом первинних перетворювачів і датчиків, які здійснюють безпосереднє вимірювання технологічних параметрів. До їх складу входять датчики тиску, витрати, рівня та газоаналізатори для контролю концентрації парів одоранту. Отримані дані надходять до контролера за допомогою стандартних промислових сигналів 4–20 мА [17].

Рівень керування реалізовано на базі програмованого логічного контролера (PLC). Контролер виконує збір і обробку інформації від датчиків, аналізує поточний стан технологічного процесу, формує сигнали керування виконавчими механізмами та реалізує алгоритми аварійного захисту. У випадку перевищення допустимих значень контрольованих параметрів PLC формує відповідні попередження або аварійні сигнали [18].

Верхній рівень системи представлений SCADA-системою та операторською панеллю HMI. Цей рівень забезпечує візуалізацію технологічного процесу, відображення поточних значень параметрів, архівування даних, формування трендів та журналів подій. Крім того, оператор отримує можливість дистанційного контролю стану блоку одоризації та оперативного реагування на аварійні ситуації [9].

Запропонована структура автоматизації дозволяє реалізувати принцип безперервного моніторингу критичних точок системи одоризації, визначених у першому розділі роботи. Особливу увагу приділено контролю насоса-дозатора, резервуара одоранту, трубопроводу подачі та зон можливих витоків. Використання автоматизованого контролю дозволяє суттєво скоротити час виявлення несправностей, зменшити втрати одоранту та підвищити рівень промислової й екологічної безпеки газорозподільної станції.

2.1.2 Вибір технічних засобів автоматизації

Для реалізації автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту необхідно забезпечити безперервний контроль технологічних параметрів, збір та обробку інформації, формування аварійних повідомлень, а також передачу

даних до системи диспетчерського контролю. З цією метою було обрано комплекс технічних засобів автоматизації, до складу якого входять програмований логічний контролер, вимірювальні перетворювачі, газоаналізатори, операторська панель та допоміжне обладнання [10].

Центральним елементом системи є програмований логічний контролер ОВЕН СПК110. Контролер забезпечує збір інформації від польових датчиків, виконання алгоритмів контролю та керування, формування аварійних повідомлень і передачу даних на верхній рівень системи. ОВЕН СПК110 підтримує промислові протоколи обміну даними, має достатню кількість входів і виходів для реалізації поставлених задач та дозволяє виконувати візуалізацію технологічного процесу без використання додаткових обчислювальних пристроїв [18].

Для приймання аналогових сигналів від датчиків використовується модуль аналогових входів ОВЕН МВ110-8А. Модуль забезпечує підключення вимірювальних приладів зі стандартним вихідним сигналом 4–20 мА, який є найбільш поширеним у промислових системах автоматизації завдяки високій завадостійкості та надійності передачі інформації на значні відстані [19].

Контроль тиску одоранту в лінії подачі здійснюється за допомогою датчика тиску WIKA S-10. Даний прилад характеризується високою точністю вимірювання та стійкістю до впливу агресивних середовищ. Контроль тиску дозволяє своєчасно виявляти порушення роботи насоса-дозатора, засмічення трубопроводів або можливі приховані витоки одоранту [20].

Для вимірювання витрати одоранту обрано електромагнітний витратомір Siemens SITRANS F M. Прилад забезпечує високоточне вимірювання малих витрат рідини та дозволяє контролювати відповідність фактичного дозування одоранту встановленим технологічним вимогам. Отримані дані використовуються для оцінювання ефективності роботи системи дозування та виявлення можливих відхилень у її роботі [21].

Контроль рівня одоранту в резервуарі здійснюється за допомогою радарного датчика рівня VEGA VEGAPULS C 23. Основною перевагою даного

датчика є безконтактний принцип вимірювання, що виключає вплив агресивного середовища на чутливий елемент приладу. Використання датчика дозволяє контролювати запас одоранту та своєчасно формувати попередження про необхідність його поповнення [22].

Для раннього виявлення витоків одоранту передбачено використання двох стаціонарних газоаналізаторів Crowcon Xgard Bright, які встановлюються в зоні резервуара та насосного агрегату. Саме ці вузли були визначені як найбільш критичні за результатами аналізу ризиків, проведеного в першому розділі роботи. Газоаналізатори здійснюють безперервний контроль концентрації парів одоранту в повітрі та дозволяють виявляти навіть незначні витoki на ранній стадії їх виникнення [23].

Для контролю температурного режиму роботи системи використовується датчик температури ОВЕН ДТС125Л. Контроль температури є важливим для забезпечення стабільності фізико-хімічних властивостей одоранту, оскільки при низьких температурах можуть змінюватися характеристики його випаровування та дозування [6].

Живлення обладнання здійснюється від джерела живлення Mean Well HDR-60-24, яке забезпечує стабілізовану напругу 24 В постійного струму для всіх елементів системи автоматизації. Дане джерело живлення широко використовується в промислових системах керування завдяки високій надійності та тривалому терміну експлуатації [24].

Для локальної візуалізації технологічних параметрів та взаємодії оператора із системою використовується панель оператора ОВЕН СП307. Панель забезпечує відображення поточних значень контрольованих параметрів, повідомлень про аварії та стан обладнання, що дозволяє оперативно реагувати на зміни технологічного процесу [25].

Усі елементи системи розміщуються в шафі автоматизації зі ступенем захисту не нижче IP54, що відповідає умовам експлуатації обладнання на газорозподільних станціях [1].

Для контролю технологічного процесу в системі передбачається використання таких типів датчиків:

- датчик тиску (PT), призначений для контролю тиску одоранту та виявлення прихованих витоків або несправностей насоса;
- витратомір (FT), який забезпечує контроль фактичної витрати одоранту та точності його дозування;
- датчик рівня (LT), призначений для контролю запасу одоранту в резервуарі та попередження його повного спорожнення;
- газоаналізатори (GAS-1, GAS-2), які забезпечують раннє виявлення витоків парів одоранту;
- датчик температури (T), що контролює температурний режим роботи системи;
- аварійні контакти та кнопки аварійного відключення, які забезпечують додатковий рівень безпеки під час експлуатації обладнання.

Перелік обраних технічних засобів автоматизації та їх основні характеристики наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні засоби автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту

№	Найменування	Модель	Основні характеристики	Кількість	Призначення
1	PLC-контролер	ОВЕН СПК110	Ethernet, RS-485, Linux PLC	1	Збір та обробка сигналів
2	Модуль аналогових входів	ОВЕН MB110-8A	8 аналогових входів, 4–20 мА	1	Приймання сигналів від датчиків
3	Датчик тиску (PT)	WIKA S-10	0–16 бар, 4–20 мА	1	Контроль тиску одоранту
4	Витратомір (FT)	Siemens SITRANS F M	0–100 л/год, 4–20 мА	1	Контроль витрати одоранту

№	Найменування	Модель	Основні характеристики	Кількість	Призначення
5	Датчик рівня (LT)	VEGA VEGAPULS C 23	0–15 м, 4–20 мА	1	Контроль рівня одоранту в резервуарі
6	Газоаналізатор (GAS)	Crowcon Xgard Bright	0–100 ppm, 4– 20 мА	2	Виявлення витоків одоранту
7	Датчик температури (T)	ОВЕН ДТС125Л	–40...+80 °С	1	Контроль температури одоранту
8	Джерело живлення	Mean Well HDR-60-24	24 В DC, 60 Вт	1	Живлення обладнання
9	Панель оператора (HMI)	ОВЕН СП307	7", Ethernet, RS-485	1	Локальна візуалізація
10	Шафа автоматизації	IP54	Металева шафа керування	1	Розміщення обладнання

Обраний комплекс технічних засобів забезпечує виконання всіх функцій автоматизованого моніторингу витоків одоранту, дозволяє здійснювати безперервний контроль технологічних параметрів, своєчасно виявляти аварійні ситуації та забезпечувати оперативне реагування персоналу. Використання стандартних промислових інтерфейсів та уніфікованих сигналів забезпечує можливість інтеграції системи в існуючі комплекси диспетчеризації газорозподільних станцій.

2.1.3 Структурна схема системи

Структурна схема автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту наведена на рисунку 2.1. Система побудована за принципом централізованого збору та обробки інформації із використанням програмованого логічного контролера (PLC), який здійснює контроль технологічних параметрів, керування виконавчими механізмами та передачу даних до системи диспетчерського контролю.

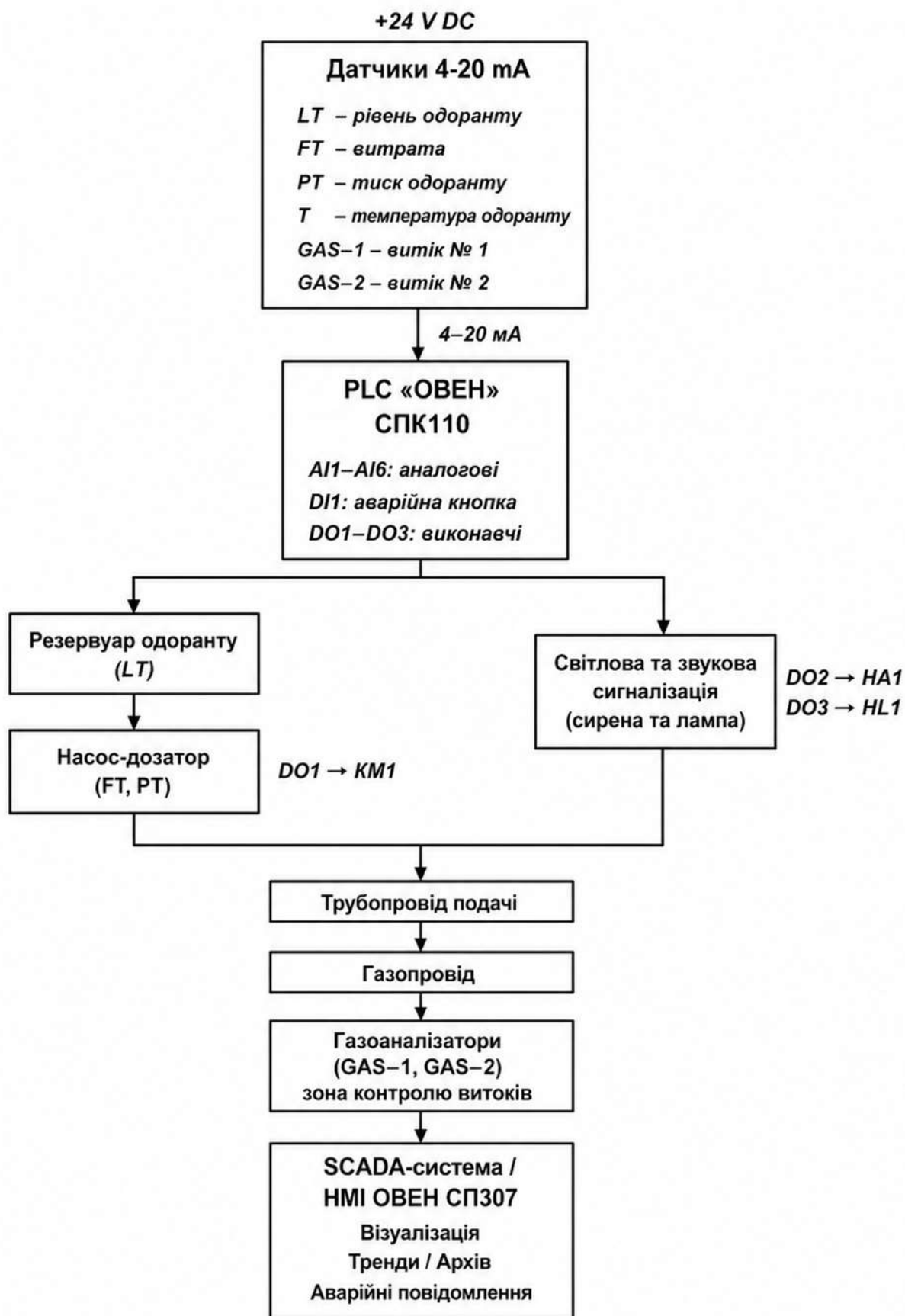


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи автоматизованого контролю та моніторингу блоку одоризації ГРС

У резервуарі зберігається запас одоранту, необхідний для забезпечення процесу одоризації природного газу. Для контролю кількості одоранту використовується датчик рівня LT, сигнал від якого надходить на аналоговий вхід AI1 контролера. Додатково в резервуарі встановлено датчик температури T, сигнал якого подається на аналоговий вхід AI6 контролера. Контроль температури дозволяє оцінювати умови зберігання одоранту та забезпечувати стабільність процесу дозування.

Подача одоранту до газопроводу здійснюється насосом-дозатором. Для контролю роботи насоса використовуються датчик тиску PT та витратомір FT, сигнали від яких надходять відповідно на аналогові входи AI2 та AI3 контролера. Отримана інформація використовується для оцінки працездатності системи дозування, виявлення можливих відхилень технологічного процесу та непрямих ознак витоків одоранту. На структурній схемі для спрощення сприйняття всі первинні вимірювальні перетворювачі об'єднані в один блок датчиків.

Центральним елементом системи є програмований логічний контролер ОВЕН СПК110 [18]. Основними функціями контролера є приймання та обробка аналогових сигналів від датчиків, аналіз поточного стану технологічного процесу, формування керуючих впливів на виконавчі механізми, а також передача даних до системи SCADA/HMI. Контролер забезпечує безперервний моніторинг роботи блоку одоризації, реєстрацію аварійних подій та підтримку дистанційного контролю технологічного процесу.

Керування насосом-дозатором здійснюється через дискретний вихід DO1 контролера та магнітний контактор KM1. У процесі роботи PLC контролює значення рівня, тиску, витрати та сигнали від газоаналізаторів. У разі виникнення аварійної ситуації або перевищення допустимих значень параметрів контролер може автоматично зупинити насос для запобігання подальшому розвитку аварії.

Для контролю можливих витоків одоранту в зоні розташування технологічного обладнання встановлено два газоаналізатори GAS-1 та GAS-2. Сигнали від них надходять на аналогові входи AI4 та AI5 контролера. Газоаналізатори забезпечують безперервний контроль концентрації парів одоранту в повітрі та дозволяють своєчасно виявляти навіть незначні витoki.

Візуалізація технологічного процесу здійснюється за допомогою SCADA-системи та операторської панелі OVEN СП307. Основними функціями SCADA/HMI є відображення мнемосхеми процесу, моніторинг поточних значень технологічних параметрів, відображення стану виконавчих механізмів, ведення архівів даних, побудова трендів та реєстрація аварійних повідомлень. Використання SCADA-системи дозволяє зменшити вплив людського фактора та підвищити рівень експлуатаційної безпеки об'єкта [9].

Для оповіщення персоналу про виникнення аварійних ситуацій передбачено світлову та звукову сигналізацію. Керування сиреною та сигнальною лампою здійснюється через дискретні виходи DO2 та DO3 контролера. Одночасно з активацією сигналізації інформація про аварію відображається на екрані SCADA/HMI та заноситься до журналу подій. Після усунення причин спрацювання оператор має можливість виконати квітування аварії через інтерфейс HMI або за допомогою відповідних органів керування.

2.2 Реалізація системи автоматизації

2.2.1 Схема підключення датчиків та виконавчих пристроїв до PLC

Для забезпечення автоматизованого контролю роботи блоку одоризації всі вимірювальні прилади та виконавчі механізми підключаються до програмованого логічного контролера OVEN СПК110. Передача інформації від датчиків до контролера здійснюється за допомогою уніфікованого аналогового сигналу 4–20 мА, що забезпечує високу завадостійкість та надійність роботи системи в промислових умовах [19].

Схема підключення датчиків та виконавчих пристроїв до PLC наведена на рисунку 2.2.

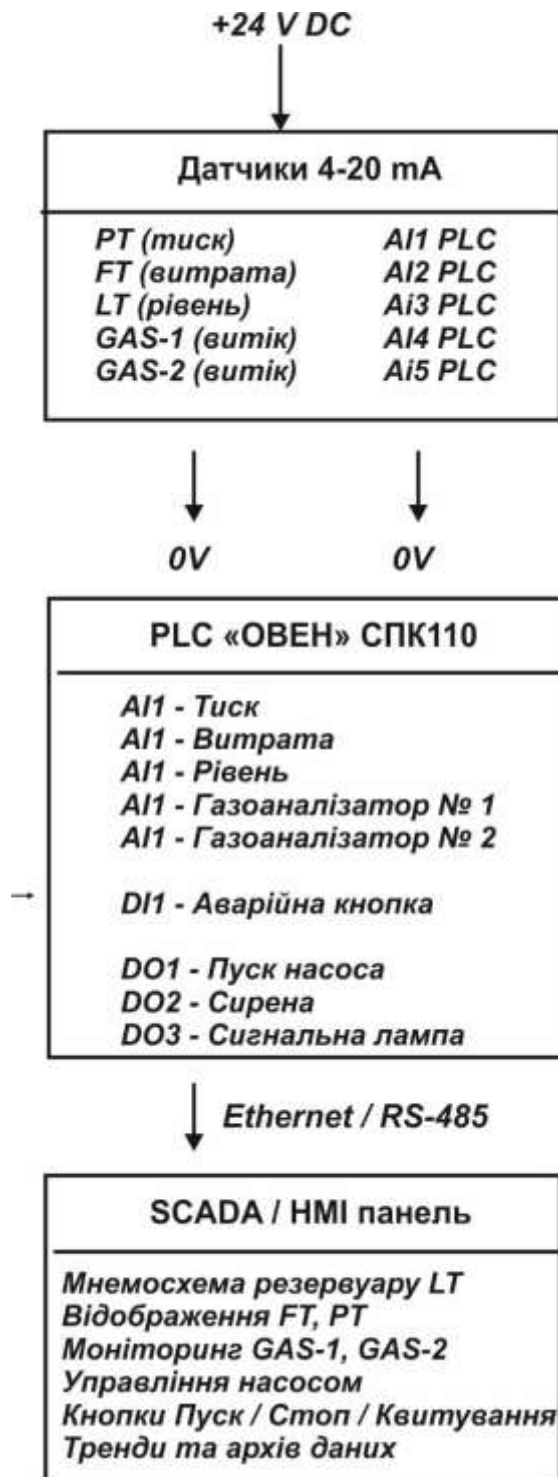


Рисунок 2.2 – Схема підключення датчиків та виконавчих пристроїв до PLC

До аналогових входів контролера підключені датчик рівня одоранту LT, датчик тиску PT, витратомір FT та два газоаналізатори GAS-1 і GAS-2.

Отримані сигнали надходять до контролера, де виконуються їх масштабування, обробка та порівняння із заданими уставками.

Для реалізації функцій аварійного захисту використовується кнопка аварійного відключення SB1, яка підключена до дискретного входу DI1. При натисканні кнопки контролер негайно переводить систему в аварійний режим та відключає насос-дозатор.

Керування виконавчими пристроями здійснюється через дискретні виходи контролера. Вихід DO1 використовується для керування магнітним контактором KM1 насоса-дозатора. Виходи DO2 та DO3 призначені для керування звуковою сиреною HA1 та сигнальною лампою HL1 відповідно.

У разі виникнення аварійної ситуації контролер формує відповідні сигнали керування, активує світлову та звукову сигналізацію, а також передає інформацію до SCADA-системи для відображення оператору та архівування подій.

Таблиця адресації вхідних сигналів PLC наведена в таблиці 2.2, а вихідних сигналів – у таблиці 2.3.

Таблиця 2.2 – Вхідні сигнали PLC

Адреса PLC	Позначення	Контрольований параметр	Тип сигналу
AI1	LT	Рівень одоранту в резервуарі	4–20 мА
AI2	PT	Тиск одоранту	4–20 мА
AI3	FT	Витрата одоранту	4–20 мА
AI4	GAS-1	Концентрація парів одоранту	4–20 мА
AI5	GAS-2	Концентрація парів одоранту	4–20 мА
AI6	T	Температура одоранту	4–20 мА
DI1	SB1	Аварійне відключення	Дискретний

Таблиця 2.3 – Вихідні сигнали PLC

Адреса PLC	Позначення	Функція
DO1	KM1	Керування насосом-дозатором
DO2	HA1	Керування звуковою сигналізацією
DO3	HL1	Керування світловою сигналізацією

2.2.2 Алгоритм роботи PLC

Для забезпечення надійної та безпечної роботи блоку одоризації в програмованому логічному контролері ОВЕН СПК110 реалізовано алгоритм автоматичного контролю технологічних параметрів та керування виконавчими пристроями. Основною функцією PLC є безперервний збір інформації від датчиків, аналіз поточного стану системи, формування керуючих впливів та передача даних до SCADA-системи [18].

Блок-схема алгоритму роботи контролера наведена на рисунку 2.3.

Після подачі живлення контролер виконує ініціалізацію програмного забезпечення, перевіряє працездатність входів і виходів та переходить у режим циклічного опитування датчиків. У процесі роботи здійснюється безперервний контроль рівня одоранту в резервуарі, тиску та витрати в лінії подачі, а також концентрації парів одоранту в контрольованих зонах.

Під час кожного циклу опитування PLC виконує масштабування сигналів 4–20 мА у відповідні фізичні величини та порівнює отримані значення з установленими пороговими значеннями. На основі результатів аналізу контролер визначає поточний режим роботи системи.

У роботі системи передбачено три основні режими функціонування: нормальний режим, режим попередження та аварійний режим.

Нормальний режим відповідає штатній роботі обладнання. Усі контрольовані параметри знаходяться в межах допустимих значень, насос-дозатор працює відповідно до заданого режиму, а система SCADA відображає поточний стан обладнання без повідомлень про несправності. Інформація про параметри процесу архівується для подальшого аналізу.

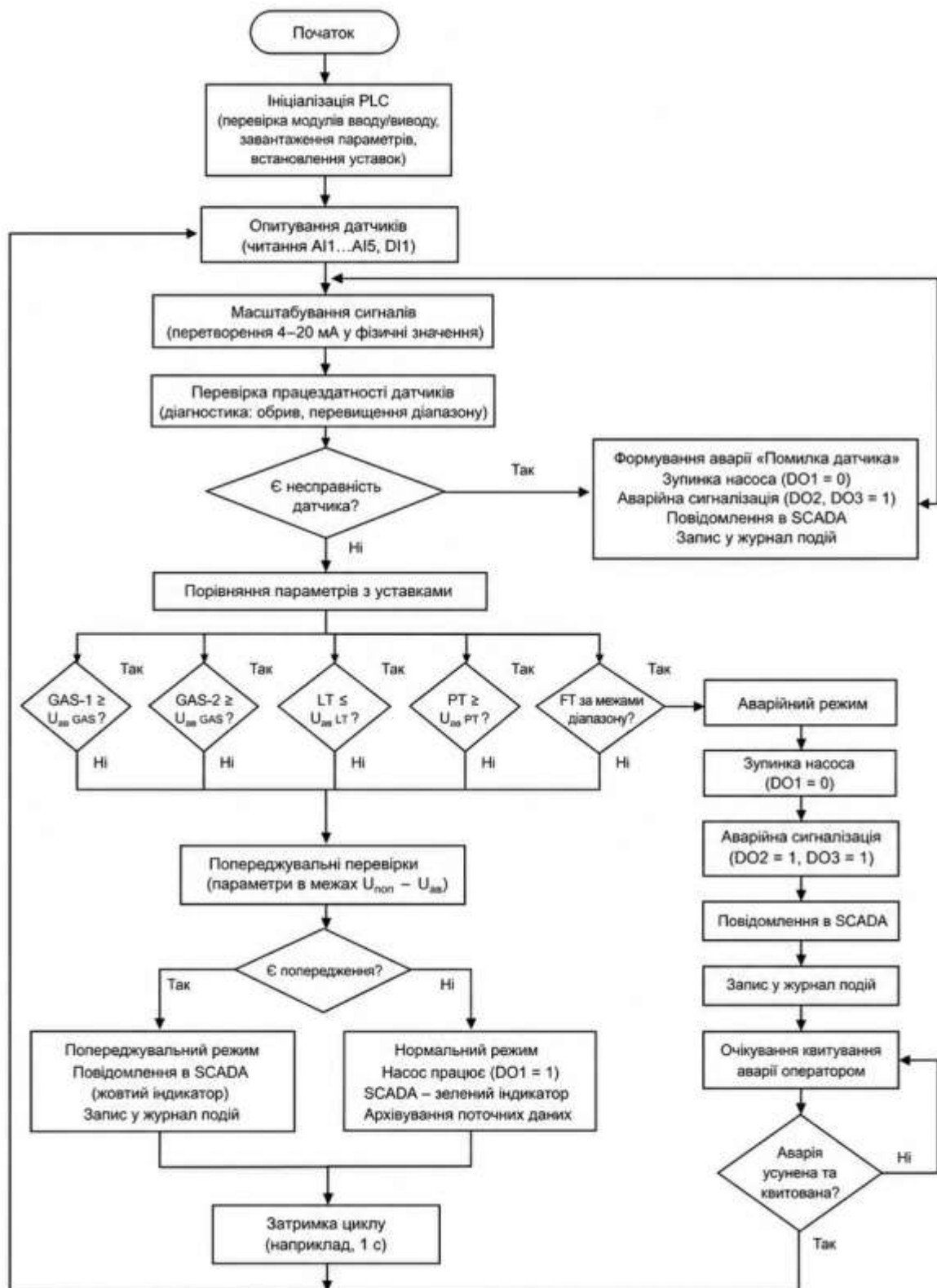


Рисунок 2.3 – Блок-схема алгоритму роботи PLC

Режим попередження активується у випадку наближення одного або декількох параметрів до критичних значень. Наприклад, причиною переходу в цей режим може бути зниження рівня одоранту в резервуарі, підвищення

тиску в дозувальній лінії або збільшення концентрації парів одоранту до попереджувального рівня. У цьому випадку PLC передає відповідне повідомлення до SCADA-системи, а оператор отримує попередження про необхідність перевірки стану обладнання. Насос-дозатор продовжує роботу, оскільки безпосередньої загрози для безпеки ще немає.

Аварійний режим активується при досягненні або перевищенні критичних значень контрольованих параметрів. До таких ситуацій належать перевищення допустимої концентрації парів одоранту, аварійно низький рівень одоранту в резервуарі, критичне підвищення тиску в системі або натискання кнопки аварійного відключення. У цьому випадку PLC формує сигнал аварії, вимикає насос-дозатор через вихід DO1 та активує світлову і звукову сигналізацію через виходи DO2 і DO3. Одночасно інформація про аварію передається до SCADA-системи та записується до журналу подій.

Після усунення причини аварії оператор може виконати квітування аварійного повідомлення через інтерфейс HMI або SCADA. Повторний запуск насоса можливий лише після підтвердження нормалізації всіх контрольованих параметрів.

2.2.3 Реалізація SCADA/HMI

Для забезпечення централізованого контролю та візуалізації роботи блоку одоризації в проєкті передбачено використання SCADA-системи та операторської панелі OVEN СП307. Основним призначенням SCADA є відображення технологічного процесу в режимі реального часу, реєстрація аварійних подій, архівування даних та надання оператору можливості оперативного контролю стану обладнання [9, 25].

Обмін даними між програмованим логічним контролером OVEN СПК110 та SCADA-системою здійснюється через промислову мережу Ethernet із використанням стандартних протоколів передачі даних. Контролер передає поточні значення технологічних параметрів, стан виконавчих механізмів та повідомлення про аварійні ситуації.

Головним екраном системи є мнемосхема технологічного процесу, на якій відображаються резервуар одоранту, насос-дозатор, трубопровід подачі та контрольовані параметри системи (рис. 2.4). Оператор має можливість у режимі реального часу контролювати рівень одоранту, тиск, витрату та концентрацію парів одоранту в зоні розташування обладнання.

На мнемосхемі передбачено кольорову індикацію стану технологічного обладнання. Нормальний режим роботи відображається зеленим кольором, режим попередження – жовтим, а аварійний стан – червоним. Такий підхід дозволяє швидко оцінити поточний стан системи та своєчасно реагувати на можливі відхилення від нормального режиму роботи.

Крім поточного моніторингу параметрів, SCADA-система забезпечує ведення архівів технологічних даних. Архівування інформації дозволяє аналізувати роботу обладнання за тривалий період часу, виявляти тенденції зміни параметрів та виконувати профілактичне обслуговування обладнання на основі фактичного технічного стану. У разі виникнення аварійних ситуацій SCADA-система формує відповідні повідомлення, які відображаються в журналі аварій та супроводжуються світловою і звуковою сигналізацією. Оператор отримує інформацію про тип аварії, час її виникнення та поточний стан обладнання. Усі аварійні події автоматично архівуються для подальшого аналізу та оцінки роботи системи.

Важливою функцією системи є реєстрація та відображення аварійних повідомлень. При виникненні аварійної ситуації PLC формує відповідний сигнал, який передається до SCADA. Оператор отримує повідомлення із зазначенням типу аварії, часу її виникнення та поточного стану системи. Одночасно вмикається світлова та звукова сигналізація.

Для кожної аварійної події передбачено можливість квітування після усунення причини її виникнення. Усі аварійні повідомлення автоматично заносяться до журналу подій, що дозволяє проводити подальший аналіз роботи системи та оцінювати ефективність заходів щодо підвищення безпеки.

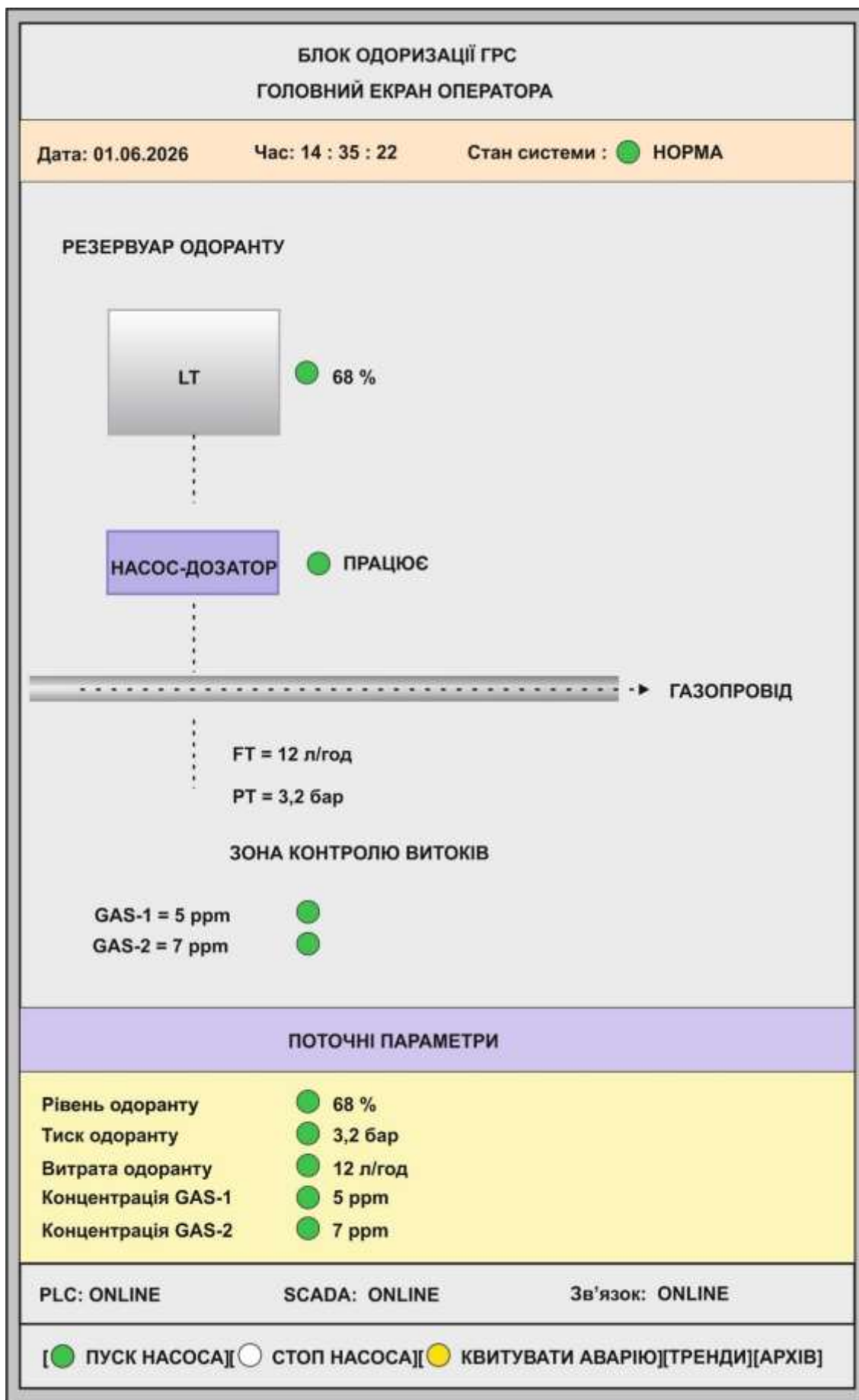


Рисунок 2.4 – Мнемосхема оператора SCADA-системи блоку одоризації ГРС

Використання SCADA/HMI забезпечує підвищення оперативності контролю технологічного процесу, зменшує вплив людського фактора та дозволяє своєчасно реагувати на виникнення аварійних ситуацій. Це сприяє підвищенню надійності роботи блоку одоризації та зниженню ризику витоків одоранту.

2.2.4 Інтеграція системи автоматизації з технологічним обладнанням

Розроблена система автоматизації інтегрується з основним технологічним обладнанням блоку одоризації газорозподільної станції та забезпечує безперервний контроль параметрів процесу, автоматичне керування виконавчими механізмами й оперативне інформування персоналу про виникнення аварійних ситуацій.

Основним керуючим пристроєм системи є програмований логічний контролер ОВЕН СПК110, до якого підключені всі первинні вимірювальні перетворювачі та виконавчі механізми. Датчики рівня (LT), тиску (PT), витрати (FT) та газоаналізатори (GAS-1, GAS-2) формують стандартні аналогові сигнали 4–20 мА, які надходять на аналогові входи контролера. PLC виконує масштабування отриманих сигналів у фізичні величини та здійснює їх подальшу обробку відповідно до закладеного алгоритму роботи [18].

Керування насосом-дозатором здійснюється через дискретний вихід контролера та магнітний контактор КМ1. У процесі роботи PLC аналізує поточні значення технологічних параметрів та визначає необхідність запуску або зупинки обладнання. У випадку виникнення аварійної ситуації контролер автоматично відключає насос-дозатор, запобігаючи подальшим втратам одоранту та розвитку аварійної ситуації.

Система також взаємодіє із засобами світлової та звукової сигналізації. При перевищенні допустимих значень контрольованих параметрів PLC формує сигнали керування на виконавчі пристрої сигналізації, забезпечуючи своєчасне оповіщення обслуговуючого персоналу.

Важливою складовою системи є інтеграція контролера із SCADA/HMI. Усі технологічні параметри, повідомлення про несправності та аварійні події передаються до SCADA-системи, де відображаються на мнемосхемі оператора. Крім поточного моніторингу, система забезпечує ведення архівів, формування журналу подій та реєстрацію аварійних повідомлень [9].

Запропонована система дозволяє значно скоротити час виявлення витоків одоранту та реагування на аварійні ситуації порівняно з традиційним візуальним контролем. Автоматичний моніторинг забезпечує своєчасне виявлення відхилень технологічних параметрів, зменшує втрати одоранту та підвищує рівень безпеки персоналу.

Використання стандартних промислових протоколів зв'язку та уніфікованих сигналів створює можливість подальшої інтеграції розробленої системи до загальної системи диспетчерського контролю газорозподільної станції. Це дозволяє реалізувати централізований моніторинг технологічного обладнання та підвищити ефективність експлуатації об'єкта в цілому.

2.3 Оцінка ефективності запропонованого рішення

2.3.1 Порівняння базового та модернізованого варіантів блоку одоризації

Одним із основних критеріїв оцінки ефективності запропонованої системи автоматизації є порівняння характеристик базового та модернізованого варіантів блоку одоризації газорозподільної станції. Аналіз виконано з урахуванням особливостей експлуатації обладнання, способів контролю технологічних параметрів та можливостей виявлення аварійних ситуацій.

У базовому варіанті блоку одоризації контроль технологічних параметрів здійснюється переважно вручну або за допомогою локальних приладів. Контроль рівня одоранту в резервуарі, тиску та витрати виконується оператором під час періодичних обходів обладнання. Виявлення витоків одоранту також залежить від візуального контролю та органолептичного

визначення запаху, що значно збільшує час реагування на аварійні ситуації. Відсутність централізованого моніторингу не дозволяє здійснювати постійний контроль стану обладнання та своєчасно виявляти приховані несправності.

Додатковим недоліком базового варіанта є відсутність автоматичної реєстрації аварійних подій та архівування технологічних параметрів. У результаті аналіз причин виникнення аварійних ситуацій ускладнюється, а ефективність профілактичного обслуговування обладнання знижується.

У модернізованому варіанті реалізовано автоматизовану систему моніторингу на базі програмованого логічного контролера ОВЕН СПК110 та SCADA-системи. Усі основні технологічні параметри безперервно контролюються за допомогою датчиків рівня, тиску, витрати та газоаналізаторів. Отримані дані надходять до PLC, де виконуються їх обробка, аналіз та формування керуючих впливів.

Використання газоаналізаторів забезпечує автоматичне виявлення витоків одоранту на ранніх стадіях їх виникнення. При перевищенні встановлених порогових значень контролер автоматично формує аварійне повідомлення, активує світлову та звукову сигналізацію, а також виконує аварійне відключення насоса-дозатора. Це дозволяє мінімізувати втрати одоранту та знизити ризик розвитку аварійної ситуації.

Важливою перевагою модернізованої системи є можливість дистанційного моніторингу через SCADA/HMI. Оператор отримує доступ до поточних параметрів процесу, журналу подій, аварійних повідомлень та архівів даних у режимі реального часу. Завдяки цьому значно зменшується вплив людського фактора на процес експлуатації обладнання та підвищується оперативність прийняття рішень.

Порівняльна характеристика базового та модернізованого варіантів блоку одоризації наведена в таблиці 2.4.

Проведений аналіз свідчить, що впровадження автоматизованої системи моніторингу дозволяє суттєво підвищити ефективність контролю технологічного процесу одоризації природного газу. Безперервний моніторинг

параметрів, автоматичне виявлення витоків та можливість дистанційного контролю забезпечують підвищення надійності роботи обладнання, зменшення ризику аварійних ситуацій та покращення екологічних показників роботи газорозподільної станції.

Таблиця 2.4 – Порівняння базового та модернізованого варіантів блоку одоризації

Показник	Базовий варіант	Модернізований варіант
Контроль рівня одоранту	Візуальний	Автоматичний
Контроль тиску	Локальний	Безперервний
Контроль витрати	Локальний	Безперервний
Контроль витоків	Відсутній	Автоматичний
Реєстрація аварій	Відсутня	Автоматична
Архівування даних	Відсутнє	Передбачене
Дистанційний моніторинг	Відсутній	Реалізований
Час реагування на аварію	Залежить від оператора	Автоматичний
Рівень безпеки	Середній	Підвищений
Екологічна безпека	Обмежена	Підвищена

2.3.2 Розрахунок зменшення втрат одоранту

Для кількісної оцінки ефективності запропонованої системи автоматизації виконаємо розрахунок можливого зменшення втрат одоранту внаслідок скорочення часу виявлення витоків. Розрахунок проведено для типового режиму роботи газорозподільної станції середньої продуктивності.

Метою розрахунку є порівняння втрат одоранту до та після впровадження автоматизованої системи моніторингу витоків.

Для розрахунку приймаються такі вихідні дані:

- витрата природного газу: $Q_{\text{газ}} = 10000 \text{ м}^3/\text{год}$;
- норма одоризації природного газу: $k = 20 \text{ мг}/1000 \text{ м}^3$ (нормативна довідкова величина);
- інтенсивність умовного витоку одоранту через нещільність з'єднання:
 $Q_{\text{вит}} = 0,5 \text{ г}/\text{год}$.

Значення інтенсивності витоку прийнято на основі інженерного припущення для малих витоків через фланцеві з'єднання та ущільнення обладнання і використовується виключно для порівняльної оцінки ефективності системи.

Витрата одоранту визначається за формулою:

$$Q_{од} = \frac{Q_{газ} \cdot k}{1000}, \text{ мг/год},$$

де $Q_{од}$ – витрата одоранту, мг/год;

$Q_{газ}$ – витрата природного газу, м³/год;

k – норма одоризації, мг/1000 м³.

Підставляючи вихідні дані, отримуємо:

$$Q_{од} = \frac{10000 \cdot 20}{1000} = 200 \text{ мг/год}.$$

Добова витрата одоранту становить:

$$Q_{доба} = Q_{од} \cdot 24, \text{ мг/доб};$$

де $Q_{доба}$ – добова витрата, мг/добу.

$$Q_{доба} = 200 \cdot 24 = 4800 \text{ мг/добу} = 4,8 \text{ г/добу}.$$

Для оцінки втрат одоранту при виникненні витоку використовується залежність:

$$M = Q_{вит} \cdot t, \text{ г},$$

де M – маса втрат, г;

$Q_{вит}$ – інтенсивність витоку, г/год;

t – час виявлення витоку (час, протягом якого відбувається втрата одоранту), год.

У базовому варіанті системи виявлення витоку залежить від періодичного контролю оператором. Для розрахунку приймається середній час виявлення витоку: $t_{\text{баз}} = 10$ год. Тоді втрати одоранту складуть:

$$M_{\text{баз}} = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ г.}$$

У модернізованому варіанті виявлення витоку здійснюється автоматично за допомогою газоаналізаторів та PLC. Час реагування приймається рівним: $t_{\text{авт}} = 0,1$ год (6 хв). Тоді втрати одоранту становитимуть:

$$M_{\text{баз}} = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ г;}$$

Економія одоранту при одному випадку витоку визначається як:

$$\Delta M = M_{\text{баз}} - M_{\text{авт}}, \text{ г;}$$

$$\Delta M = 5 - 0,05 = 4,95 \text{ г.}$$

Отримані результати свідчать про суттєве скорочення втрат одоранту після впровадження автоматизованої системи моніторингу.

Для наочності результати розрахунку наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Порівняння втрат одоранту при виникненні витоку

Показник	Базовий варіант	Автоматизований варіант
Час виявлення витоку, год	10	0,1
Інтенсивність витоку, г/год	0,5	0,5
Втрати одоранту, г	5,0	0,05
Зменшення втрат, г	—	4,95

З аналізу таблиці видно, що використання автоматизованої системи моніторингу дозволяє скоротити втрати одоранту майже у 100 разів. Це підтверджує ефективність застосування засобів автоматизації для контролю стану блоку одоризації та своєчасного виявлення витоків.

2.3.3 Оцінка техніко-економічної ефективності

Для оцінки економічної доцільності впровадження автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту виконаємо розрахунок річного економічного ефекту від скорочення втрат одоранту.

Оскільки фактичні експлуатаційні дані конкретної газорозподільної станції є обмеженими, економічна оцінка виконана за укрупненими техніко-економічними показниками та умовно-розрахунковими значеннями, характерними для ГРС середньої продуктивності. Метою розрахунку є порівняльна оцінка ефективності запропонованого рішення та визначення тенденції зміни техніко-економічних показників після впровадження системи автоматизованого моніторингу витоків одоранту.

Згідно з результатами попереднього розрахунку, економія одоранту при одному випадку витoku становить: $\Delta M = 8,95$ г.

Для оцінки річного економічного ефекту приймаємо такі вихідні дані:

- кількість випадків витоків протягом року: $N = 30$ випадків/рік;
- вартість одоранту: $C = 50$ грн/г.

Річний економічний ефект визначається за формулою:

$$E = \Delta M \cdot N \cdot C, \text{ грн/рік,}$$

де E – економія, грн/рік;

ΔM – економія з одного випадку, г;

N – кількість витоків за рік;

C – вартість 1 г одоранту, грн.

Підставляючи вихідні дані, отримаємо:

$$E = 4,95 \cdot 30 \cdot 50 = 7425 \text{ грн/рік.}$$

Для впровадження системи необхідно придбати та встановити комплекс технічних засобів автоматизації. Орієнтовна вартість обладнання наведена в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Орієнтовна вартість впровадження системи автоматизації

Найменування	Вартість, грн
Датчики контролю параметрів	35 000
PLC-контролер ОВЕН СПК110	25 000
SCADA/HMI	20 000
Монтаж та налагодження	20 000
Разом	100 000

Термін окупності визначається за формулою:

$$T = \frac{K}{E}, \text{ років,}$$

де Т – термін окупності, років;

К – капітальні витрати, грн; К = 100000 грн;

Е – річний економічний ефект, грн/рік.

$$T = \frac{100000}{7425} = 13,47 \approx 13,5 \text{ років,}$$

Результати розрахунків свідчать, що прямий економічний ефект від скорочення втрат одоранту є відносно невеликим, а термін окупності системи перевищує 13 років. Проте при оцінці ефективності систем автоматизації газорозподільних станцій необхідно враховувати не лише прямі економічні показники, але й непрямі переваги.

До основних додаткових ефектів від впровадження системи належать:

- підвищення рівня промислової безпеки;
- зменшення ймовірності аварійних ситуацій;
- скорочення часу виявлення витоків одоранту;
- зниження витрат на ремонт обладнання;
- зменшення екологічного навантаження на довкілля;
- зниження впливу людського фактора на технологічний процес.

Отже, робимо висновок, що незважаючи на відносно тривалий термін прямої економічної окупності, впровадження автоматизованої системи

моніторингу витоків одоранту є технічно та економічно доцільним завдяки суттєвому підвищенню рівня безпеки та надійності роботи блоку одоризації.

Для наочного порівняння результатів впровадження автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту в таблиці 2.7 наведено основні техніко-економічні показники базового та модернізованого варіантів блоку одоризації.

Таблиця 2.7 – Порівняльний аналіз техніко-економічної ефективності базового та модернізованого варіантів блоку одоризації

Показник	Базовий варіант (до автоматизації)	Модернізований варіант (після автоматизації)
Час виявлення витoku, год	10	0,1
Втрати одоранту, г	5,0	0,05
Економічні витрати, грн/випадок	250	2,5

Результати порівняння додатково представлені у вигляді діаграми на рисунку 2.5.

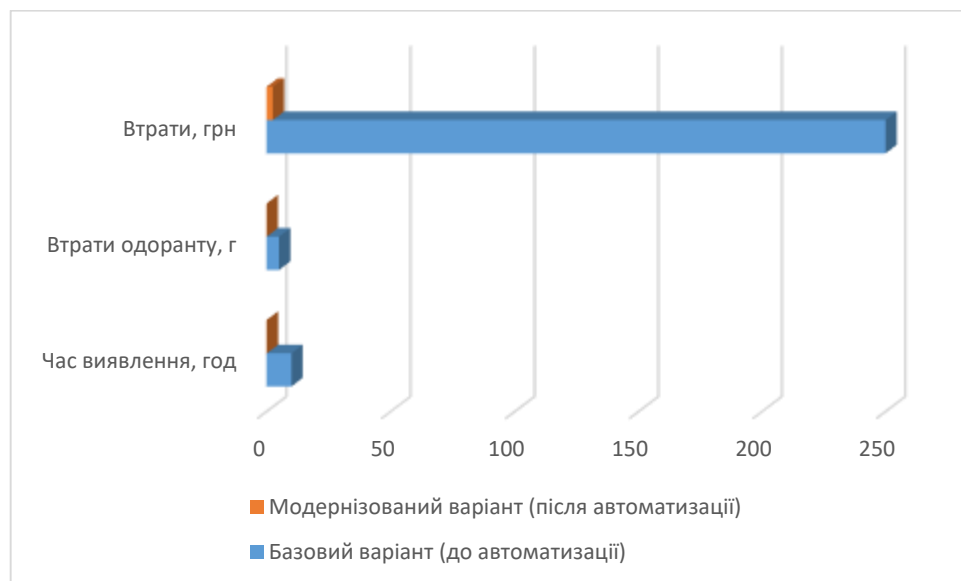


Рисунок 2.5 – Діаграма порівняння техніко-економічних характеристик базового та модернізованого варіантів блоку одоризації

Аналіз отриманих результатів показує суттєве підвищення ефективності роботи блоку одоризації після впровадження автоматизованої системи моніторингу. Час виявлення витoku скорочується з 10 годин до 0,1 години, що

забезпечує значне зменшення втрат одоранту. При однаковій інтенсивності витоку втрати одоранту знижуються з 5 г до 0,05 г, тобто майже у 100 разів. Відповідно зменшуються й прямі економічні витрати, пов'язані з втратами одоранту. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованого технічного рішення та доцільність впровадження автоматизованого моніторингу на газорозподільних станціях.

2.3.4 Оцінка впливу на безпеку та екологічність

Однією з основних переваг впровадження автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту є підвищення рівня промислової безпеки та зменшення негативного впливу на довкілля. На відміну від традиційних систем контролю, де виявлення несправностей значною мірою залежить від своєчасності дій оператора, запропонована система забезпечує безперервний автоматичний моніторинг технологічного процесу.

Використання датчиків тиску, витрати, рівня та газоаналізаторів дозволяє своєчасно виявляти відхилення технологічних параметрів від встановлених значень. При виникненні аварійної ситуації програмований логічний контролер автоматично формує сигнал тривоги, активує світлову та звукову сигналізацію, а також виконує аварійне відключення насоса-дозатора. Це дає можливість значно скоротити час реагування на небезпечні ситуації та мінімізувати наслідки можливих витоків одоранту.

Важливим результатом впровадження системи є зниження ризику виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних із розгерметизацією обладнання, відмовою насоса-дозатора або пошкодженням трубопроводів подачі одоранту. Завдяки автоматичному контролю та реєстрації параметрів забезпечується своєчасне виявлення несправностей ще на початковій стадії їх розвитку.

Екологічний ефект від впровадження системи полягає у зменшенні викидів одоранту в атмосферне повітря. Меркаптани, які найчастіше використовуються як одоранти природного газу, мають різкий запах і можуть негативно впливати на умови праці персоналу та стан довкілля при тривалому

впливі. Скорочення часу виявлення витоків дозволяє значно зменшити обсяги таких викидів та запобігти поширенню забруднюючих речовин за межі виробничого майданчика.

Додатковою перевагою є зменшення впливу людського фактора на процес контролю блоку одоризації. Оператор отримує інформацію про стан обладнання в режимі реального часу через SCADA-систему, що дозволяє оперативно приймати рішення та здійснювати контроль роботи установки без необхідності постійних обходів технологічного обладнання.

Результати проведеного аналізу свідчать, що впровадження автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту забезпечує підвищення рівня промислової безпеки, зменшення ймовірності аварійних ситуацій, скорочення втрат одоранту та покращення екологічних показників роботи газорозподільної станції. Таким чином, запропоноване рішення є ефективним не лише з технічної точки зору, але й з позиції забезпечення безпечної та екологічно відповідальної експлуатації об'єкта.

Висновки до розділу 2

У другому розділі розроблено автоматизовану систему моніторингу витоків одоранту для блоку одоризації газорозподільної станції. Запропоновано структуру системи, яка включає польовий рівень вимірювання, програмований логічний контролер ОВЕН СПК110 та SCADA/HMI-рівень візуалізації.

Обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації, зокрема датчиків тиску, витрати, рівня, температури та газоаналізаторів для контролю концентрації парів одоранту. Розроблено структурну схему системи, схему підключення датчиків і виконавчих пристроїв, а також алгоритм роботи PLC.

Виконано оцінку ефективності запропонованого рішення. Результати розрахунків показали суттєве скорочення часу виявлення витоків, зменшення втрат одоранту та підвищення рівня безпеки експлуатації блоку одоризації. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження автоматизованої системи моніторингу.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Завдання з охорони праці

Охорона праці є важливою складовою забезпечення безпечної експлуатації об'єктів газорозподільної інфраструктури. Особливу увагу питанням безпеки необхідно приділяти під час експлуатації блоків одоризації газорозподільних станцій, оскільки дане обладнання працює з природним газом та одорантами, які належать до потенційно небезпечних речовин. Витоки природного газу можуть призводити до виникнення пожеж і вибухів, а витоки одоранту – до забруднення довкілля та негативного впливу на здоров'я обслуговуючого персоналу [1, 2].

Об'єктом дослідження в даній роботі є блок одоризації газорозподільної станції, оснащений автоматизованою системою моніторингу витоків одоранту на базі програмованого логічного контролера та SCADA-системи. Робота персоналу пов'язана з обслуговуванням технологічного обладнання, виконанням періодичних оглядів, контролем параметрів процесу та проведенням профілактичних робіт.

Під час експлуатації блоку одоризації на працівників можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, серед яких найбільш суттєвими є:

- можливі витоки природного газу та одоранту;
- підвищена пожежна та вибухова небезпека;
- наявність обладнання, що працює під тиском;
- токсичний вплив парів одоранту на організм людини;
- небезпека ураження електричним струмом під час обслуговування засобів автоматизації;
- несприятливі метеорологічні умови при виконанні робіт на відкритих технологічних майданчиках;
- психофізіологічні навантаження, пов'язані з необхідністю контролю безперервного технологічного процесу.

Основною метою даного розділу є аналіз умов праці персоналу, який обслуговує блок одоризації, а також розробка заходів щодо забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці при експлуатації автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз умов праці на об'єкті дослідження;
- визначити основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори;
- оцінити ризики, пов'язані з витоками одоранту та природного газу;
- розглянути заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації обладнання автоматизації;
- обґрунтувати використання засобів колективного та індивідуального захисту;
- розробити заходи щодо підвищення рівня промислової безпеки та покращення умов праці персоналу;
- проаналізувати вимоги пожежної безпеки для блоку одоризації газорозподільної станції.

Виконання зазначених завдань дозволить оцінити рівень безпеки робочих місць, визначити ефективність запропонованих технічних рішень та обґрунтувати доцільність впровадження автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту з точки зору охорони праці та промислової безпеки.

3.2 Аналіз умов праці на об'єкті

Об'єктом аналізу є блок одоризації газорозподільної станції, оснащений автоматизованою системою моніторингу витоків одоранту. Основним призначенням блоку є дозоване введення одоранту в потік природного газу для забезпечення можливості своєчасного виявлення витоків газу за характерним запахом. Технологічне обладнання включає резервуар для зберігання одоранту, насос-дозатор, трубопроводи подачі, запірну арматуру, контрольно-вимірювальні прилади та засоби автоматизації.

Робота обслуговуючого персоналу полягає у контролі технологічних параметрів, проведенні планових оглядів обладнання, технічному обслуговуванні систем автоматизації та ліквідації можливих несправностей. Значна частина обладнання розташовується на відкритих майданчиках або в окремих технологічних приміщеннях, що впливає на умови праці персоналу.

Відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці» [27], НПАОП 0.00-1.76-15 «Правила безпеки систем газопостачання» [5] та ДБН В.2.5-20:2018 «Газопостачання» [1], під час експлуатації блоку одоризації необхідно враховувати наявність небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть негативно впливати на безпеку працівників.

До основних небезпечних виробничих факторів належать:

- витоки природного газу та одоранту;
- можливість виникнення пожежі або вибуху;
- наявність обладнання, що працює під надлишковим тиском;
- рухомі елементи насосного обладнання;
- небезпека ураження електричним струмом під час експлуатації засобів автоматизації.

Особливу небезпеку становлять можливі витоки одоранту. Незважаючи на відносно невеликі обсяги його використання, меркаптани мають різкий специфічний запах та можуть викликати подразнення слизових оболонок, дихальних шляхів і шкіри при підвищених концентраціях. Тривалий вплив парів одоранту може погіршувати самопочуття працівників та знижувати працездатність.

До шкідливих виробничих факторів належать:

- підвищена або знижена температура довкілля;
- підвищена вологість повітря;
- шум від роботи насосного обладнання;
- наявність парів одоранту в повітрі робочої зони;
- психофізіологічні навантаження, пов'язані з необхідністю постійного контролю технологічного процесу.

Вплив зазначених факторів значною мірою залежить від технічного стану обладнання, рівня автоматизації технологічного процесу та організації виробничого контролю.

Для оцінки умов праці доцільно виконати класифікацію небезпечних і шкідливих виробничих факторів, наведену в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори блоку одоризації

Виробничий фактор	Характер впливу	Можливі наслідки
Витік природного газу	Вибухо- та пожежонебезпечний	Пожежа, вибух
Витік одоранту	Хімічний	Подразнення дихальних шляхів, погіршення самопочуття
Обладнання під тиском	Механічний	Розгерметизація, травмування персоналу
Електрообладнання	Електричний	Ураження електричним струмом
Насосне обладнання	Механічний	Травмування рухомими частинами
Шум	Фізичний	Підвищена втомлюваність, зниження працездатності
Несприятливі погодні умови	Фізичний	Погіршення умов праці

Застосування автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту дозволяє суттєво знизити вплив більшості зазначених небезпечних факторів. Завдяки безперервному контролю технологічних параметрів та автоматичному формуванню аварійних повідомлень забезпечується своєчасне виявлення несправностей і зменшується ймовірність виникнення аварійних ситуацій.

3.3 Організація безпечних та нешкідливих умов праці на робочому місці

Безпечна експлуатація блоку одоризації газорозподільної станції забезпечується комплексом організаційних та технічних заходів, спрямованих на запобігання виробничому травматизму, професійним захворюванням та аварійним ситуаціям. Особливістю даного об'єкта є використання природного газу та одорантів, що вимагає підвищеної уваги до питань промислової, екологічної та пожежної безпеки.

Відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці» [27], НПАОП 0.00-1.76-15 «Правила безпеки систем газопостачання» [5] та НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» [28], до обслуговування обладнання допускаються особи, які пройшли відповідне навчання, інструктажі з охорони праці, перевірку знань та медичний огляд.

Для забезпечення безпечних умов праці на робочому місці оператора та обслуговуючого персоналу передбачаються такі організаційні заходи:

- проведення вступного, первинного, повторного та позапланового інструктажів з охорони праці;
- періодичне навчання персоналу правилам безпечної експлуатації газового обладнання;
- контроль технічного стану обладнання та засобів автоматизації;
- проведення планово-попереджувальних ремонтів;
- ведення журналів обліку робіт та аварійних подій;
- контроль виконання вимог виробничих інструкцій.

Важливим елементом підвищення безпеки є впровадження автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту. На відміну від традиційного візуального контролю, система забезпечує безперервне спостереження за станом технологічного обладнання та оперативне виявлення аварійних ситуацій.

До технічних заходів безпеки належать:

- автоматичний контроль рівня одоранту в резервуарі;
- безперервний контроль тиску та витрати одоранту;
- контроль концентрації парів одоранту за допомогою газоаналізаторів;
- автоматичне відключення насоса-дозатора при виникненні аварійної ситуації;
- світлова та звукова сигналізація при перевищенні встановлених порогових значень;
- передача інформації про стан обладнання до SCADA-системи;
- архівування технологічних параметрів та аварійних повідомлень.

Для захисту працівників від впливу шкідливих виробничих факторів необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту відповідно до [29].

Персонал, який виконує роботи на блоці одоризації, повинен бути забезпечений:

- спеціальним одягом та спеціальним взуттям;
- захисними рукавицями;
- захисними окулярами;
- фільтрувальними респіраторами при роботі з одорантом;
- касками під час виконання ремонтних робіт;
- діелектричними рукавичками та інструментом при роботі з електрообладнанням.

З метою забезпечення електробезпеки всі металеві неструмовідні частини обладнання повинні бути заземлені. Електротехнічне обладнання шафи автоматизації повинно відповідати вимогам чинних нормативних документів, а його обслуговування має виконуватися персоналом, який має відповідну групу допуску з електробезпеки.

Особливу увагу необхідно приділяти контролю повітря робочої зони. Для своєчасного виявлення витоків одоранту в зоні резервуара та насосного агрегату встановлюються стаціонарні газоаналізатори, сигнали від яких надходять до PLC та SCADA-системи. У разі перевищення допустимої

концентрації парів одоранту система автоматично формує аварійне повідомлення та вмикає світлову і звукову сигналізацію.

3.3.1 Розрахунок захисного заземлення шафи автоматизації

Для забезпечення електробезпеки персоналу та надійної роботи засобів автоматизації необхідно передбачити захисне заземлення металевого корпусу шафи автоматизації, в якій розміщені PLC-контролер ОВЕН СПК110, модулі вводу-виводу, джерело живлення та комутаційне обладнання.

Захисне заземлення призначене для зниження напруги дотику до безпечних значень у випадку пошкодження ізоляції та появи напруги на металевих частинах обладнання. Відповідно до вимог ПУЕ для електроустановок напругою до 1000 В опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом.

Для розрахунку приймаємо вертикальний сталевий заземлювач із такими параметрами:

- довжина електрода: $l = 3$ м;
- діаметр електрода: $d = 0,016$ м;
- питомий опір ґрунту: $\rho = 100$ Ом м;
- глибина закладання верхнього кінця електрода: $t = 0,8$ м.

Опір одиночного вертикального заземлювача визначається за формулою:

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \left[\ln\left(\frac{2l}{d}\right) + \frac{1}{2} \ln\left(\frac{4t+l}{4t-l}\right) \right],$$

де R_1 – опір одного вертикального заземлювача, Ом;

ρ – питомий опір ґрунту, Ом·м;

l – довжина електрода, м;

d – діаметр електрода, м;

t – глибина залягання верхнього кінця електрода, м.

Підставляючи вихідні дані, отримаємо:

$$R_1 = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 3}{0,016} \right) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4 \cdot 0,8 + 3}{4 \cdot 0,8 - 3} \right) \right] \approx 31 \text{ Ом.}$$

Отримане значення перевищує нормативне, тому необхідно застосувати групове заземлення.

Кількість вертикальних електродів визначається за формулою:

$$n = \frac{R_1}{R_{\text{доп}} \cdot \eta},$$

де n – кількість електродів;

$R_{\text{доп}}$ – допустимий опір заземлення, Ом;

η – коефіцієнт використання електродів.

Підставляємо значення:

$$n = \frac{31}{4 \cdot 0,8} = 9,7.$$

Приймаємо $n = 10$ вертикальних електродів.

Еквівалентний опір групового заземлювача становитиме:

$$R = \frac{R_1}{n \cdot \eta};$$

$$R = \frac{31}{10 \cdot 0,8} = 3,88 \text{ Ом.}$$

Оскільки $R=3,88 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$ умова виконується, а прийнята конструкція заземлення забезпечує необхідний рівень електробезпеки.

Отже, для забезпечення електробезпеки шафи автоматизації блоку одоризації достатньо застосувати контур захисного заземлення, що складається з десяти вертикальних сталевих електродів довжиною 3 м, з'єднаних між собою сталеву смугою. Розрахунковий опір заземлювального пристрою не перевищує нормативного значення, що забезпечує безпечну експлуатацію електротехнічного обладнання та захист персоналу від ураження електричним струмом.

3.4 Заходи щодо поліпшення умов праці і підвищення безпеки працюючих

Підвищення рівня безпеки праці на об'єктах газорозподільної інфраструктури є одним із пріоритетних завдань, оскільки експлуатація обладнання пов'язана з наявністю вибухонебезпечних середовищ, використанням одорантів та роботою обладнання під тиском. Ефективним способом зниження виробничих ризиків є впровадження сучасних засобів автоматизації, які забезпечують безперервний контроль технологічних параметрів та своєчасне виявлення небезпечних ситуацій.

У межах даної роботи запропоновано впровадження автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту на базі програмованого логічного контролера ОВЕН СПК110, газоаналізаторів та SCADA-системи. Реалізація даного рішення дозволяє значно підвищити рівень безпеки праці персоналу та покращити умови експлуатації блоку одоризації.

До основних заходів щодо підвищення безпеки працюючих належать:

- автоматизація контролю технологічних параметрів;
- безперервний моніторинг концентрації парів одоранту;
- автоматичне формування аварійних повідомлень;
- автоматичне відключення насоса-дозатора при аварійних ситуаціях;
- дистанційний контроль технологічного процесу через SCADA-систему;
- архівування аварійних подій та технологічних параметрів.

Одним із найбільш ефективних заходів є встановлення стаціонарних газоаналізаторів у місцях найбільш ймовірного виникнення витоків одоранту. До таких місць належать резервуар для зберігання одоранту, насос-дозатор, фланцеві з'єднання та ділянки трубопроводів. Безперервний контроль концентрації парів одоранту дозволяє виявляти витoki на ранніх стадіях та своєчасно вживати заходів щодо їх усунення.

Важливим напрямком підвищення безпеки є зменшення впливу людського фактора на процес контролю обладнання. У традиційних системах значна частина контролю виконується оператором під час періодичних обходів. Запропонована система автоматизації забезпечує цілодобовий моніторинг параметрів та автоматичне формування сигналів тривоги, що дозволяє значно скоротити час реагування на аварійні ситуації.

Для підвищення рівня електробезпеки необхідно забезпечити:

- надійне захисне заземлення обладнання;
- використання автоматичних вимикачів та пристроїв захисного відключення;
- регулярний контроль стану електричних мереж;
- перевірку опору ізоляції електрообладнання;
- проведення періодичних випробувань засобів електрозахисту [30].

З метою покращення умов праці персоналу необхідно забезпечити належний технічний стан обладнання шляхом проведення планово-попереджувальних ремонтів та періодичних оглядів. Особлива увага повинна приділятися стану ущільнень, фланцевих з'єднань, трубопроводів та запірної арматури, оскільки саме ці елементи є потенційними джерелами витоків одоранту.

Важливим профілактичним заходом є систематичне навчання персоналу та проведення тренувань щодо дій у разі виникнення аварійних ситуацій. Працівники повинні знати порядок користування засобами індивідуального захисту, правила роботи з одорантом та алгоритм дій при спрацюванні аварійної сигналізації.

Для узагальнення запропонованих заходів складено таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Заходи щодо підвищення безпеки праці на блоці одоризації

Небезпечний фактор	Запропонований захід	Очікуваний результат
Витоки одоранту	Встановлення газоаналізаторів	Своєчасне виявлення витоків
Людський фактор	Впровадження PLC та SCADA	Скорочення часу реагування
Відмова обладнання	Автоматична сигналізація та захист	Зниження ризику аварій
Ураження електричним струмом	Захисне заземлення та електрозахист	Підвищення електробезпеки
Недостатня підготовка персоналу	Навчання та інструктажі	Підвищення кваліфікації працівників

3.5 Пожежна безпека

Блок одоризації газорозподільної станції належить до потенційно небезпечних виробничих об'єктів, оскільки його експлуатація пов'язана з використанням природного газу та одорантів. Наявність горючих речовин, обладнання під тиском та електротехнічних засобів створює потенційну небезпеку виникнення пожежі або вибуху. Тому забезпечення належного рівня пожежної безпеки є важливою умовою безпечної експлуатації блоку одоризації.

Основними причинами виникнення пожеж та аварійних ситуацій на об'єктах газопостачання можуть бути:

- витоки природного газу;
- витоки одоранту через пошкодження трубопроводів або ущільнень;
- порушення герметичності обладнання;
- несправність електрообладнання;
- виникнення іскри в зоні можливого скупчення горючих газів;
- порушення правил проведення ремонтних та вогневих робіт;
- накопичення статичної електрики.

Відповідно до вимог Кодексу цивільного захисту України [31], ДБН В.2.5-20:2018 «Газопостачання» [1], НПАОП 0.00-1.76-15 «Правила безпеки систем газопостачання» [5] та Правил пожежної безпеки в Україні [32] експлуатація обладнання повинна здійснюватися із дотриманням комплексу організаційних і технічних заходів, спрямованих на попередження пожеж та мінімізацію їх наслідків.

Для забезпечення пожежної безпеки блоку одоризації передбачаються такі технічні заходи:

- використання герметичного технологічного обладнання;
- автоматичний контроль витоків одоранту за допомогою газоаналізаторів;
- застосування вибухозахищеного електрообладнання;
- захисне заземлення металевих конструкцій та обладнання;
- використання кабельної продукції, що не поширює горіння;
- автоматичне відключення насоса-дозатора при виникненні аварійної ситуації;
- світлова та звукова сигналізація при перевищенні допустимих концентрацій парів одоранту.

Важливим елементом системи пожежної безпеки є впровадження автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту. Завдяки безперервному контролю концентрації парів одоранту система дозволяє своєчасно виявляти порушення герметичності обладнання та оперативно інформувати персонал про виникнення небезпечної ситуації. У разі спрацювання аварійної сигналізації контролер автоматично виконує відключення насоса-дозатора та передає повідомлення до SCADA-системи [33].

Для ліквідації можливих осередків займання об'єкт повинен бути забезпечений первинними засобами пожежогасіння. Рекомендований перелік засобів пожежогасіння наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Первинні засоби пожежогасіння блоку одоризації

Найменування	Кількість	Призначення
Вогнегасник порошковий ВП-5	2	Гасіння електрообладнання та горючих речовин
Вогнегасник вуглекислотний ВВК-3,5	1	Гасіння електроустановок під напругою
Ящик з піском	1	Локалізація невеликих осередків займання
Пожежний щит	1	Розміщення первинних засобів пожежогасіння

У разі виникнення пожежі персонал повинен діяти відповідно до затверджених інструкцій з пожежної безпеки. Насамперед необхідно повідомити пожежно-рятувальну службу, зупинити технологічний процес, відключити електроживлення обладнання (за відсутності загрози для життя), організувати евакуацію персоналу та розпочати гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі виконано аналіз умов праці персоналу, який обслуговує блок одоризації газорозподільної станції. Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з використанням одорантів, електротехнічного обладнання та можливими аварійними ситуаціями.

Розглянуто заходи щодо забезпечення безпечних та нешкідливих умов праці, вимоги до використання засобів індивідуального захисту, вентиляції та систем аварійної сигналізації. Виконано розрахунок захисного заземлення шафи автоматизації, який підтвердив відповідність проєктного рішення вимогам електробезпеки.

Запропоновані заходи з охорони праці та пожежної безпеки забезпечують безпечну експлуатацію обладнання та сприяють зниженню ризику виникнення аварійних ситуацій.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі вирішено актуальне завдання підвищення надійності та екологічної безпеки блоку одоризації газорозподільної станції шляхом розроблення автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту.

У результаті виконання роботи:

- проаналізовано технологічний процес одоризації природного газу та особливості функціонування блоку одоризації ГРС;
- досліджено основні джерела виникнення витоків одоранту та визначено критичні точки системи;
- виконано аналіз ризиків виникнення витоків із застосуванням методу FMEA;
- розроблено структурну схему автоматизованої системи моніторингу витоків одоранту;
- обґрунтовано вибір програмованого логічного контролера, датчиків та засобів візуалізації;
- розроблено алгоритм функціонування системи автоматичного контролю та аварійної сигналізації;
- виконано оцінку ефективності запропонованого рішення, яка підтвердила скорочення часу виявлення витоків та зменшення втрат одоранту;
- розроблено заходи з охорони праці та пожежної безпеки під час експлуатації автоматизованої системи.

Впровадження запропонованої системи дозволяє підвищити надійність роботи блоку одоризації, зменшити вплив людського фактора, покращити екологічні показники та підвищити рівень промислової безпеки газорозподільної станції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-20:2018. Газопостачання. Київ : Мінрегіон України, 2018. 109 с.
2. Кодекс газорозподільних систем : затв. Постановою НКРЕКП №2494 від 30.09.2015 р. (зі змінами).
3. IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva : Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023. 184 p.
4. ДСТУ ISO/TR 16922:2015. Природний газ. Одорування. Загальні вимоги (ISO/TR 16922:2013, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 26 с.
5. НПАОП 0.00-1.76-15. Правила безпеки систем газопостачання. Київ : Держгірпромнагляд України, 2015. 84 с.
6. Mokhatab S., Poe W., Mak J. Handbook of Natural Gas Transmission and Processing. 5th ed. Amsterdam : Elsevier, 2024. 1390 p.
7. ANSI/ISA-5.1-2022. Instrumentation Symbols and Identification. Research Triangle Park : ISA, 2022.
8. IEC 61511-1:2016. Functional Safety – Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector. Geneva : IEC, 2016.
9. Boyer S. SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition. 5th ed. Research Triangle Park : ISA, 2022. 392 p.
10. IEC 61131-3:2013. Programmable Controllers – Part 3: Programming Languages. Geneva : IEC, 2013.
11. GPSA Engineering Data Book. 15th ed. Tulsa : Gas Processors Suppliers Association, 2022.
12. EN ISO 13734:2013. Natural Gas – Organic Compounds Used as Odorants. Geneva : International Organization for Standardization, 2013.
13. ATSDR. Toxicological Profile for Organic Sulfur Compounds. Atlanta : U.S. Department of Health and Human Services, 2023.
14. ISO 31000:2018. Risk Management – Guidelines. Geneva : ISO, 2018.

15. IEC 61882:2016. Hazard and Operability Studies (HAZOP Studies) – Application Guide. Geneva : IEC, 2016.
16. IEC 60812:2018. Failure Modes and Effects Analysis (FMEA and FMECA). Geneva : IEC, 2018.
17. Bolton W. Programmable Logic Controllers. 7th ed. Oxford : Newnes, 2021. 352 p.
18. ОВЕН СПК110. Керівництво з експлуатації. Київ : ОВЕН Україна, 2024.
19. ОВЕН MB110-8A. Керівництво з експлуатації. Київ : ОВЕН Україна, 2024.
20. WIKA S-10. Technical Data Sheet. Klingenberg : WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG, 2024.
21. Siemens SITRANS F M. Technical Documentation. Munich : Siemens AG, 2024.
22. VEGA VEGAPULS C 23. Operating Instructions. Schiltach : VEGA Grieshaber KG, 2024.
23. Crowcon Xgard Bright. Technical Manual. Abingdon : Crowcon Detection Instruments Ltd, 2024.
24. Mean Well HDR-60-24. Installation Manual. New Taipei City : Mean Well Enterprises Co., Ltd., 2024.
25. ОВЕН СП307. Керівництво з експлуатації. Київ : ОВЕН Україна, 2024.
26. Stouffer K., Pillitteri V., Lightman S. Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security. NIST Special Publication 800-82 Rev. 3. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2023.
27. Закон України «Про охорону праці» №2694-XII від 14.10.1992 р. (зі змінами).
28. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.

29. НПАОП 0.00-7.17-18. Мінімальні вимоги безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці : затв. наказом Міністерства соціальної політики України від 29.11.2018 № 1804.

30. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Харків : Форт, чинна редакція.

31. Кодекс цивільного захисту України № 5403-VI від 02.10.2012 р. (зі змінами).

32. Правила пожежної безпеки в Україні : Наказ МВС України №1417 від 30.12.2014 р. (зі змінами).

33. ДСТУ EN ІЕС 60079-10-1:2022. Вибухонебезпечні середовища. Частина 10-1. Класифікація зон. Газові вибухонебезпечні середовища.