

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

**ОРГАНІЗАЦІЙНІ ТА ТЕХНІЧНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ
СИСТЕМ ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ
ТА КОНДИЦІЮВАННЯ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, галузі знань 19 – Архітектура та будівництво, освітня програма «Цивільна інженерія»)

**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025**

УДК 697:62-192

Організаційні та технічні методи діагностики систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціювання : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, галузі знань 19 – Архітектура та будівництво, освітня програма «Цивільна інженерія») / С. В. Романенко, С. В. Павловський, О. М. Міланко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 76 с.

Автори:

ст. викл. С. В. Романенко,
канд. техн. наук, доц. С. В. Павловський,
канд. техн. наук, доц. О. М. Міланко

Рецензент

Р. Б. Ткаченко, кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

*Рекомендовано кафедрою теплогазопостачання і вентиляції,
протокол № 5 від 12.12.2024*

© С. В. Романенко, С. В. Павловський, О. М. Міланко, 2025
© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025

ЗМІСТ

Вступ	4
Лекція 1 Нормативно-правова база.....	4
Питання для самоконтролю.....	7
Лекція 2 Класифікація систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціювання.....	7
Питання для самоконтролю.....	17
Лекція 3 Організаційні аспекти діагностики.....	18
Питання для самоконтролю.....	19
Лекція 4 Методи діагностики тепlopостачальних систем.....	20
Питання для самоконтролю.....	28
Лекція 5 Діагностика систем газопостачання.....	29
Питання для самоконтролю.....	42
Лекція 6 Діагностика систем вентиляції.....	43
Питання для самоконтролю.....	50
Лекція 7 Діагностика систем кондиціювання повітря.....	50
Питання для самоконтролю.....	57
Лекція 8 Інструментальні методи діагностики.....	57
Питання для самоконтролю.....	61
Лекція 9 Експлуатаційний контроль і моніторинг.....	62
Питання для самоконтролю.....	64
Лекція 10 Прогнозування технічного стану систем.....	64
Питання для самоконтролю.....	70
Лекція 11 Комплексна діагностика та забезпечення безпеки.....	70
Питання для самоконтролю.....	73
Список рекомендованих джерел.....	74

ВСТУП

Сучасні системи теплогазопостачання, вентиляції та кондиціювання відіграють ключову роль у створенні комфортних і безпечних умов для життєдіяльності людини, забезпеченні енергоефективності будівель та безперервності технологічних процесів. Їхня надійна робота безпосередньо залежить від своєчасного контролю технічного стану, виявлення прихованих дефектів і запобігання аваріям. Саме тому зростає значення дисципліни «Організаційні та технічні методи діагностики систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціювання», яка формує у студентів знання та навички щодо сучасних методів моніторингу, випробувань і аналізу стану інженерних мереж.

У процесі вивчення дисципліни розглядаються як теоретичні основи організації діагностичних робіт, так і практичні методи інструментального контролю. Значна увага приділяється нормативно-правовій базі, методам оцінювання енергоефективності, технічного ресурсу обладнання та прогнозування його роботи. Особливе місце займають питання безпеки проведення діагностичних робіт та інтеграції сучасних інформаційних технологій (систем автоматизованого моніторингу, «цифрових двійників» тощо) у процесі діагностики.

Таким чином, опанування цієї дисципліни забезпечує набуття майбутніми фахівцями комплексного уявлення про організаційні та технічні аспекти діагностики інженерних систем, що є необхідною умовою для підвищення їх ефективності, надійності та безпеки.

Лекція 1 Нормативно-правова база

Системи теплогазопостачання, вентиляції та кондиціювання є обов'язковою складовою інженерного обладнання будівель і споруд. Вони забезпечують комфортні умови для перебування людей, підтримують технологічні процеси, гарантують безпеку та енергоефективність експлуатації об'єктів. Проте ефективність роботи таких систем безпосередньо залежить від

своєчасного контролю їх технічного стану, діагностики прихованих дефектів та прогнозування ресурсу обладнання. Саме тому дисципліна «Організаційні та технічні методи діагностики систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування» займає важливе місце у підготовці майбутніх фахівців.

Одним із ключових завдань дисципліни є ознайомлення з нормативною базою, яка регулює проєктування, експлуатацію, обслуговування та діагностику інженерних систем.

Нормативна база в Україні

В Україні основним документом є ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування, який визначає вимоги щодо проєктування та експлуатації систем опалення, вентиляції та кондиціонування. У документі регламентуються параметри мікроклімату, розрахункові температури, вимоги щодо вентиляції, рівнів шуму та вібрацій, а також умови безпеки обладнання. Наразі готується оновлена редакція – ДБН В.2.5-67:2025, яка враховує сучасні тенденції енергоефективності та гармонізацію з європейськими директивами.

Крім того, широко застосовуються національні стандарти, гармонізовані з європейськими, зокрема:

- ДСТУ EN 1886 – визначає механічні характеристики центральних кондиціонерів;
- ДСТУ EN 12599 – описує процедури випробувань і методи вимірювання під час введення систем у експлуатацію;
- ДСТУ Б EN ISO 7730 та ДСТУ Б EN 15251 – встановлюють критерії теплового комфорту і параметри внутрішнього мікроклімату.

Додатково діють нормативні акти щодо енергоефективності будівель, теплоізоляції конструкцій, пожежної та вибухової безпеки, а також охорони праці при обслуговуванні систем.

Нормативна база в Європі

У країнах ЄС вимоги до систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування визначаються шляхом поєднання директив і гармонізованих стандартів, головними серед яких є такі:

1. Директива (EU) 2024/1275 щодо енергетичної ефективності будівель,
 2. Директива (EU) 2023/1791, яка встановлює нові норми енергоефективності, у тому числі для систем охолодження, вентиляції та теплових насосів.

Європейські стандарти (EN, ISO, CEN/CENELEC) регламентують процедури діагностики та експлуатації, серед яких особливо важливими є:

1. EN ISO 52120 – стандарти щодо автоматизації та управління системами HVAC.

2. Стандарти щодо енергоефективності обладнання, що входять до пакету Ecodesign та Energy Labelling.

3. Вимоги до якості внутрішнього повітря (Indoor Air Quality), які встановлюють мінімальні показники вентиляції та допустимі концентрації забрудників у приміщеннях.

Європейська практика передбачає також поступовий перехід до концепції будівель з майже нульовим рівнем енергоспоживання (NZEB), що вимагає інтеграції сучасних систем автоматизованого моніторингу, використання відновлюваних джерел енергії та підвищених стандартів контролю.

Таблиця 1.1 – Відмінності й подібності між нормативною базою України та Європейського Союзу у сфері теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування

Напрямок	Україна (ДБН, ДСТУ)	ЄС (Директиви, EN/ISO)
1	2	3
Опалення, вентиляція, кондиціонування	ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» (оновлення 2025). Встановлює мінімальні параметри мікроклімату, вимоги до вентиляції, рівнів шуму й безпеки	Директива (EU) 2024/1275 про енергоефективність будівель; EN ISO 52120 (автоматизація HVAC); вимоги IAQ (Indoor Air Quality)
Енергоефективність	Закони та нормативи щодо енергоефективності будівель; ДСТУ Б EN 15251 (критерії внутрішнього середовища).	Директива (EU) 2023/1791, концепція NZEB (будівлі з майже нульовим споживанням енергії). Обов'язкове використання відновлюваних джерел і систем моніторингу

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Вентиляція та якість повітря	Вимоги ДБН до природної, механічної та комбінованої вентиляції; ДСТУ EN 12599 (випробування вентиляційних систем)	Стандарти IAQ визначають мінімальні показники повітрообміну залежно від призначення приміщень, допустимі рівні CO ₂ , вологість, концентрацію забруднювачів
Випробування та діагностика	ДСТУ EN 1886 (механічні характеристики кондиціонерів), ДСТУ EN 12599 (методи вимірювань і випробувань)	Гармонізовані стандарти EN/ISO щодо процедур вимірювань, тестування HVAC-обладнання; вимоги Ecodesign (екодизайн) до обладнання
Безпека	Вимоги пожежної, вибухової безпеки, охорона праці при експлуатації систем	Європейські стандарти безпеки + екологічні вимоги (обмеження викидів хладагентів, шуму, енергетичне маркування обладнання)

Питання для самоконтролю

1. Яке значення має нормативно-правова база у забезпеченні ефективної експлуатації систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування?
2. Назвіть основні українські нормативні документи, що регулюють проєктування, експлуатацію та діагностику систем ТГВК.
3. Які європейські стандарти та директиви застосовуються у сфері контролю якості та безпеки систем теплогазопостачання та вентиляції?
4. Чим відрізняються державні нормативні акти від галузевих стандартів у сфері теплогазопостачання і вентиляції?
5. Як нормативна база впливає на методи організаційної та технічної діагностики систем ТГВК?

Лекція 2 Класифікація систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування

Загальні характеристики систем ТГВК

Системи теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування (ТГВК) забезпечують комфортні та безпечні умови перебування людей у будівлях, а також підтримку нормальної роботи технологічного обладнання. Кожна

система має своє призначення, структуру та особливості експлуатації, що визначають її ефективність і надійність.

Системи теплопостачання забезпечують подачу теплової енергії для опалення приміщень, гарячого водопостачання та технологічних процесів. До основних елементів таких систем належать котли, теплові пункти, трубопроводи, теплообмінники та системи регулювання. Ефективність роботи оцінюють за температурою теплоносія, тепловтратами та коефіцієнтом корисної дії джерел тепла. Для стабільної роботи необхідно регулярно контролювати тиск і температуру, проводити профілактичне обслуговування котлів і труб, а також очищати теплообмінники.

Системи теплопостачання:

1. **Призначення:** забезпечують подачу теплової енергії для опалення приміщень, гарячого водопостачання та технологічних потреб.

2. **Основні елементи:** джерела тепла (котли, теплові пункти), трубопроводи, теплообмінники, системи регулювання.

3. **Характерні показники:** температура теплоносія, тепловтрати, коефіцієнт корисної дії джерела тепла, енергоефективність мережі.

4. **Особливості експлуатації:** потребує регулярного контролю тиску та температури, профілактичного обслуговування котлів і труб, своєчасної очистки теплообмінників.

Системи газопостачання призначені для доставки природного або зрідженого газу до споживачів для опалення, приготування їжі та технологічних потреб. Основними елементами є газопроводи різного тиску, редуктори, лічильники, запірна арматура та детектори витоку газу. Основні показники роботи – тиск і витрата газу, герметичність мереж, безпека експлуатації. Експлуатація таких систем потребує регулярного контролю герметичності, перевірки роботи регуляторів тиску та наявності сигналізації при витоку газу.

Системи газопостачання:

1. **Призначення:** доставка природного або зрідженого газу до споживачів для опалення, приготування їжі та технологічних процесів.
2. **Основні елементи:** газопроводи різного тиску, редуктори, лічильники, запірна арматура, детектори витоку газу.
3. **Характерні показники:** тиск і витрата газу, герметичність мереж, безпека експлуатації.
4. **Особливості експлуатації:** вразливі до корозії, потребують контролю герметичності і роботи регуляторів тиску, обов'язкова наявність сигналізації при витоку газу.

Вентиляційні системи забезпечують подачу свіжого повітря, видалення відпрацьованого повітря та підтримку необхідної вологості й концентрації шкідливих речовин. Вони включають повітрозабірні пристрої, канали подачі та відведення повітря, вентилятори, фільтри та системи регулювання повітряного потоку. Основними показниками є обсяг повітря, кратність повітрообміну, температура, вологість та якість повітря. Для забезпечення належної роботи необхідно регулярно очищати фільтри, перевіряти вентилятори та контролювати потік повітря й тиск у системі.

Вентиляційні системи:

1. **Призначення:** забезпечують подачу свіжого повітря, видалення відпрацьованого повітря та підтримку необхідної вологості й концентрації шкідливих речовин.
2. **Основні елементи:** повітрозабірні пристрої, канали для подачі та відведення повітря, вентилятори, фільтри, системи регулювання повітряного потоку.
3. **Характерні показники:** обсяг повітря, кратність повітрообміну, температура та вологість, якість повітря.
4. **Особливості експлуатації:** необхідно регулярно чистити фільтри, перевіряти працездатність вентиляторів, контролювати потік повітря і тиск у системі.

Кондиціонерні системи підтримують комфортну температуру, вологість та чистоту повітря у приміщеннях, а також охолоджують технологічне обладнання. Вони складаються з компресорів, конденсаторів, випарників, контурів холодоагенту, повітряних каналів і внутрішніх блоків. Основні показники роботи – температура, вологість, продуктивність охолодження або обігріву та енергоефективність. Для надійної експлуатації необхідно стежити за герметичністю холодоагенту, очищенням фільтрів, а також проводити профілактику компресорів та насосів.

Кондиціонерні системи:

1. Призначення: підтримка комфортної температури, вологості та чистоти повітря в приміщеннях, а також охолодження технологічного обладнання.

2. Основні елементи: компресори, конденсатори, випарники, фреонові або водяні контури, повітряні канали та внутрішні блоки.

3. Характерні показники: температура, вологість, продуктивність охолодження/обігріву, енергоефективність.

4. Особливості експлуатації: необхідно стежити за герметичністю холодоагенту, очищенням фільтрів, профілактикою компресорів та насосів.

Таким чином, усі системи ТГВК є взаємопов'язаними і доповнюють одна одну, забезпечуючи ефективне функціонування будівель та комфортні умови для людей. Своєчасна діагностика та правильна експлуатація цих систем підвищують їх надійність, енергоефективність та безпеку.

Залежно від організації джерела тепла та схеми розподілу теплової енергії розрізняють два основні види теплопостачання: централізоване та децентралізоване.

Централізоване теплопостачання

Це система, у якій тепла енергія виробляється централізовано на міських або районних котельнях і передається споживачам через теплові мережі. Основні елементи системи включають: котельні, теплові мережі, теплові пункти, трубопроводи та регулююче обладнання.

Перевагами централізованого теплопостачання є:

- економія на встановленні обладнання у кожному приміщенні;
- централізований контроль і управління тепловими потоками;
- підвищена надійність та стабільність постачання тепла.

До недоліків можна віднести:

- складність реконструкції або модернізації системи;
- залежність від роботи централізованого джерела;
- можливі великі втрати тепла при транспортуванні на великі відстані.

Децентралізоване теплопостачання

Ця система передбачає виробництво теплової енергії безпосередньо на об'єкті споживача, наприклад через локальні котельні або індивідуальні теплові пункти. Основними елементами системи є котли або теплові агрегати на об'єкті, теплообмінники, локальні трубопроводи та системи регулювання.

Перевагами децентралізованого теплопостачання є:

- незалежність від централізованих джерел тепла;
- можливість використання альтернативних або відновлюваних джерел енергії;
- гнучкість у плануванні та регулюванні теплових потоків.

До недоліків можна віднести:

- вищі витрати на встановлення та обслуговування обладнання;
- потреба в регулярному технічному обслуговуванні;
- складність забезпечення оптимальної енергоефективності при великій кількості об'єктів.

Таким чином, вибір виду теплопостачання залежить від масштабів об'єкта, доступності централізованих джерел, енергетичних потреб та економічної доцільності. У практичній експлуатації важливо правильно поєднувати елементи системи та забезпечувати їх ефективну діагностику для підтримки надійності та безпеки теплопостачання.

Системи газопостачання забезпечують доставку природного або зрідженого газу до споживачів для опалення, гарячого водопостачання, приготування їжі та технологічних процесів. Ефективність і безпека роботи цих систем є критично важливими для забезпечення нормальної експлуатації будівель та промислового обладнання.

Система газопостачання складається з наступних основних елементів:

1. **Газопроводи різного тиску** – високого, середнього та низького, що забезпечують транспортування газу від джерела до споживачів.
2. **Редуктори та регулятори тиску** – підтримують безпечний рівень тиску газу на різних ділянках системи.
3. **Лічильники газу** – фіксують обсяг спожитого газу для розрахунків та контролю.
4. **Запірна арматура** – дозволяє перекривати подачу газу на окремих ділянках у разі аварії або проведення ремонтних робіт.
5. **Детектори витоку газу та сигналізаційні системи** – підвищують безпеку експлуатації, своєчасно сповіщаючи про аварійну ситуацію.

Система газопостачання працює за принципом транспортування газу від джерела до споживача під контролем тиску та обсягу. Газ подається від газопостачальної станції або резервуара до споживача по газопроводах різного тиску: високого, середнього або низького.

На шляху руху газу встановлюються редуктори та регулятори тиску, які забезпечують безпечне та стабільне його надходження. Це дозволяє підтримувати необхідний тиск у системі навіть при зміні витрати газу та запобігати аварійним ситуаціям, пов'язаним з перевищенням допустимого тиску.

Для контролю обсягу спожитого газу використовуються лічильники, які дозволяють точно вести облік і здійснювати розрахунки. Крім того, система обладнується запірною арматурою, що дозволяє перекривати подачу газу на окремих ділянках для технічного обслуговування або в разі аварії.

Сучасні системи газопостачання зазвичай оснащуються детекторами витоку газу та сигналізаційними системами, які забезпечують раннє сповіщення про можливі витoki або перевищення допустимих параметрів. Це підвищує безпеку експлуатації та дозволяє оперативно вживати заходів для запобігання аварій.

Експлуатація систем газопостачання вимагає особливої уваги до безпеки та надійності роботи. Основні аспекти включають:

1. Контроль герметичності газопроводів. Регулярна перевірка на наявність протікань газу дозволяє уникнути аварій і забезпечує безпечну експлуатацію будівлі.

2. Перевірка роботи регуляторів та лічильників газу. Некоректна робота регуляторів може призвести до перепаду тиску, що знижує ефективність системи та підвищує ризик аварії.

3. Попередження корозії та механічних пошкоджень. Газопроводи потребують захисту від зовнішніх впливів, включаючи корозію, удари та інші механічні ушкодження.

4. Своєчасне виявлення дефектів і неполадок. Регулярна діагностика і профілактичне обслуговування забезпечують стабільну роботу системи та продовжують її експлуатаційний термін.

5. Забезпечення безпеки персоналу та мешканців. Використання детекторів витоку газу та сигналізаційних систем дозволяє вчасно реагувати на небезпечні ситуації та запобігати аваріям.

Системи вентиляції та кондиціонування забезпечують подачу свіжого повітря, видалення відпрацьованого та підтримку оптимальних температурних і вологісних умов у приміщеннях. Вони необхідні як для комфорту людей, так і для нормальної роботи технологічного обладнання.

Вентиляція поділяється на два основні типи – природну та примусову.

Природна вентиляція забезпечує рух повітря через приміщення за рахунок різниці тиску та температури між внутрішнім і зовнішнім середовищем.

Переваги: проста конструкція, низькі експлуатаційні витрати, відсутність електроживлення.

Недоліки: нестабільна продуктивність залежно від погодних умов, складно контролювати кратність повітрообміну.

Примусова вентиляція здійснюється за допомогою вентиляторів і систем повітропроводів, що забезпечує подачу та видалення повітря з приміщень.

Переваги: стабільна подача повітря, можливість регулювання обсягів і напрямку потоків, контроль якості повітря.

Недоліки: потребує електроживлення та регулярного технічного обслуговування.

Основні елементи вентиляційних систем: повітрозабірні пристрої, канали для подачі і відведення повітря, вентилятори, фільтри та системи регулювання потоку повітря.

Кондиціонування забезпечує підтримку комфортної температури, вологості та чистоти повітря. Залежно від призначення і масштабу приміщень, кондиціонери поділяються на кілька типів:

Спліт-системи складаються з внутрішнього та зовнішнього блоків і призначені для обслуговування одного приміщення.

Переваги: відносно низька вартість, простота монтажу, економія електроенергії.

Мультиспліт-системи. Один зовнішній блок обслуговує кілька внутрішніх блоків у різних приміщеннях.

Переваги: економія зовнішнього простору та енергії, централізований контроль.

Централізовані системи кондиціонування призначені для великих будівель і комплексів, обладнані повітряними каналами, чилерами та центральними блоками управління.

Переваги: висока продуктивність, можливість централізованого контролю параметрів повітря, оптимальна вентиляція великих приміщень.

Ефективна та безпечна робота вентиляційних і кондиціонерних систем залежить від регулярного технічного обслуговування, контролю параметрів і своєчасного виявлення дефектів. Основні аспекти експлуатації включають:

I. Очищення фільтрів та вентиляційних каналів:

1. Фільтри затримують пил, пилок, дрібні частинки та інші забруднення, що потрапляють у повітря.

2. Засмічені фільтри знижують продуктивність системи, підвищують енергоспоживання та погіршують якість повітря.

3. Регулярне очищення або заміна фільтрів дозволяє підтримувати нормальний повітрообмін і забезпечує комфортні умови в приміщенні.

II. Перевірка роботи вентиляторів і насосів:

1. Вентилятори відповідають за подачу свіжого повітря та видалення відпрацьованого, а насоси – за циркуляцію холодо- або теплоносія в системах кондиціонування.

2. Поломка або зниження продуктивності цих елементів призводить до порушення мікроклімату та зменшення ефективності системи.

3. Регулярне технічне обслуговування включає перевірку працездатності, змащування механізмів та заміну зношених деталей.

III. Контроль параметрів повітря:

1. Важливими показниками є температура, вологість, швидкість та напрямок повітряного потоку.

2. Системи вентиляції та кондиціонування повинні підтримувати встановлені норми, щоб забезпечити комфорт людей і безпеку технологічного обладнання.

3. Використання датчиків та автоматичних систем регулювання дозволяє оперативно підтримувати необхідні параметри повітря.

IV. Профілактика та ремонт центрального обладнання:

1. Для централізованих систем кондиціонування та вентиляції важливо регулярно обслуговувати чилери, компресори, теплообмінники та регулятори повітряних потоків.

2. Своєчасне виявлення та усунення несправностей запобігає аваріям, продовжує термін служби обладнання та підвищує енергоефективність.

V. Забезпечення енергоефективності та економії ресурсів:

1. Оптимальна експлуатація дозволяє знизити витрати електроенергії та теплоносія.

2. Використання сучасних автоматизованих систем управління та контролю дозволяє підвищити ефективність роботи і мінімізувати витрати на обслуговування.

Таким чином, системи вентиляції та кондиціонування потребують комплексного підходу до експлуатації: регулярний контроль і обслуговування обладнання, очищення фільтрів, перевірка параметрів повітря та своєчасна профілактика несправностей забезпечують надійну роботу, комфорт та безпеку приміщень.

Системи теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування є складними технічними комплексами. Під час експлуатації вони піддаються різноманітним механічним, фізичним та експлуатаційним впливам, що може призводити до виникнення дефектів. Виявлення вразливих місць є важливим етапом діагностики та профілактичного обслуговування.

Найпоширеніші проблеми в системі теплопостачання:

1. Протікання труб і з'єднань, що призводить до втрат теплоносія та зниження ефективності системи.

2. Зношення котлів і теплообмінників, яке з часом знижує їх ККД і може спричиняти локальні перегріви або корозію металевих елементів.

3. Неправильне регулювання тиску та температури, що викликає нерівномірний нагрів, підвищене енергоспоживання та можливі аварійні ситуації.

Вразливі місця систем газопостачання:

1. Виток газу через корозію, порушення герметичності або несправність арматури, які становлять серйозну небезпеку для людей і будівлі.

2. Несправні регулятори тиску, що можуть спричиняти перепади тиску та знижувати ефективність роботи споживачів.

3. Поломка лічильників та сигналізаційних систем, що призводить до некоректного обліку та зниження рівня безпеки.

Вразливі місця вентиляційних і кондиціонерних систем:

1. Засмічення фільтрів і каналів, яке знижує продуктивність системи, погіршує якість повітря та підвищує енергоспоживання.

2. Поломка вентиляторів і насосів, що призводить до порушення повітрообміну та температурного режиму.

3. Неправильна робота систем регулювання повітряних потоків, яка створює дискомфорт для людей і нестабільні умови експлуатації обладнання.

4. Пошкодження чилерів і теплообмінників, що знижує ефективність охолодження або обігріву та підвищує ризик аварій.

Для забезпечення надійної та безпечної роботи систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування особливо важливим є своєчасне виявлення дефектів та проведення профілактичних заходів. Основні заходи включають:

1. Регулярну діагностику всіх елементів систем ТГВК для виявлення потенційних проблем.

2. Контроль герметичності, тиску та температури в мережах для запобігання аварійним ситуаціям.

3. Своєчасне очищення, заміна або ремонт зношених деталей та вузлів.

4. Використання автоматизованих систем контролю для раннього виявлення відхилень і забезпечення безпечної експлуатації.

Питання для самоконтролю

1. Які основні завдання виконують системи теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування в будівлях і промислових об'єктах?

2. У чому полягають відмінності між централізованим і децентралізованим теплопостачанням? Назвіть основні переваги та недоліки кожного виду.

3. Які основні елементи складають систему газопостачання та як вони забезпечують безпечну та стабільну роботу системи?

4. Назвіть типи вентиляційних і кондиціонерних систем та опишіть їх основні особливості й призначення.

5. Які вразливі місця та потенційні дефекти характерні для систем ТГВК і які профілактичні заходи дозволяють запобігти аваріям і підтримувати їх ефективну роботу?

Лекція 3 Організаційні аспекти діагностики

Діагностика систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціювання (ТГВК) є обов'язковою складовою їх ефективною та безпечною експлуатації. Вона спрямована на своєчасне виявлення відхилень у роботі обладнання, попередження аварійних ситуацій та підтримання стабільних параметрів роботи систем. Ефективність діагностичних заходів значною мірою залежить від чіткої організації робіт, послідовності етапів та належного документування результатів.

Діагностичні заходи проводяться на різних рівнях:

- попередній рівень передбачає візуальний огляд і фіксацію очевидних несправностей;
- технічний рівень базується на інструментальних вимірюваннях параметрів (тиску, температури, витрати теплоносія, герметичності з'єднань);
- аналітичний рівень включає аналіз отриманих даних, визначення причин відхилень і прогнозування можливих відмов;
- комплексний рівень завершується формуванням висновків щодо працездатності системи та рекомендацій з ремонту чи модернізації.

Етапи діагностики охоплюють підготовчий (збір вихідних даних про систему), проведення огляду та вимірювань, обробку результатів і складання висновків у вигляді технічного звіту.

Організація діагностичних робіт базується на принципах плановості, відповідальності та комплексності. Усі системи ТГВК обстежуються відповідно

до графіків, затверджених експлуатаційною організацією. За кожен систему закріплюються відповідальні особи чи спеціалізовані служби, які забезпечують її безпечний технічний стан.

Діагностика може бути плановою (регламентною) – за встановленими строками, або позаплановою – у разі виникнення несправностей чи аварійних ситуацій. У процесі обстежень взаємодіють різні підрозділи: інженерні служби, ремонтні бригади та лабораторії технічного контролю.

Документальне оформлення результатів діагностики є важливою складовою організаційного процесу. Воно включає:

- акти перевірки, де фіксуються виявлені несправності;
- журнали обліку, у яких систематизуються відомості про технічний стан обладнання та виконані роботи;
- діагностичні карти, що дозволяють стандартизувати оцінку стану систем;
- звіти, які узагальнюють результати діагностики для керівництва або контролюючих органів.

Наявність такої документації забезпечує прозорість технічного контролю, підвищує рівень безпеки та дозволяє ефективно планувати ремонтні заходи.

Планово-попереджувальне обслуговування (ППР) є основним організаційним інструментом підтримання працездатності систем ТГВК. Воно передбачає регулярні регламентні огляди, поточні та капітальні ремонти, заміну вузлів із підвищеним зносом, а також налагодження систем автоматики. Важливою складовою ППР є підготовка персоналу, проведення інструктажів та перевірка знань правил технічної експлуатації.

Завдяки системі ППР зменшується кількість аварійних випадків, продовжується термін служби обладнання, підвищується його енергоефективність і забезпечується безпека персоналу та користувачів.

Питання для самоконтролю

1. Які основні рівні діагностики систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування і в чому їх відмінність?
2. Які етапи охоплює процес діагностики та яку роль відіграє підготовчий етап?
3. Як організовуються діагностичні роботи у експлуатаційних організаціях та які форми діагностики застосовуються?
4. Які документи оформлюються за результатами діагностики та яку функцію вони виконують у системі технічного контролю?
5. У чому полягає суть планово-попереджувального обслуговування (ППР) і яке його значення для забезпечення надійності та безпеки роботи систем ТГВК?

Лекція 4 Методи діагностики тепlopостачальних систем

Діагностика тепlopостачальних систем є важливим етапом забезпечення їх надійної та ефективної роботи. Своєчасне виявлення несправностей дозволяє запобігти аварійним ситуаціям, знизити втрати теплової енергії та оптимізувати витрати на експлуатацію. У практиці технічного контролю застосовується комплекс методів, серед яких найбільш поширеними є гідравлічні випробування, тепловізійний контроль, вимірювання робочих параметрів та методи виявлення тепловтрат.

Гідравлічні випробування є одним з основних методів діагностики тепlopостачальних систем. Їх основне завдання – перевірка міцності, герметичності та надійності трубопроводів і обладнання, що працюють під тиском.

Робочі трубопроводи повинні витримувати тиск, який перевищує робочий на 25–50 %, але не менше ніж на 0,2–0,3 МПа. Під час випробування падіння тиску за певний проміжок часу (зазвичай 10–30 хв) не повинно перевищувати встановлених норм (наприклад, не більше 0,02 МПа). Візуально перевіряється

відсутність протікань, запотівання, розривів у зварних та різьбових з'єднаннях, арматурі й приладах.

Для проведення гідравлічних робіт застосовуються:

- **гідравлічні насоси** (ручні або електричні), що забезпечують створення необхідного тиску;
- **манометри** високої точності для контролю параметрів тиску;
- **запірна арматура та перехідні пристрої** для підімкнення випробувального обладнання до системи;
- за необхідності – **ємності для заповнення водою** і допоміжні засоби для видалення повітря з трубопроводів.

З метою забезпечення надійного та сталого функціонування систем теплопостачання і теплоспоживання суб'єкти господарювання до початку опалювального періоду мають проводити гідравлічні випробування теплових мереж.

Гідравлічні випробування теплових мереж – щорічний і обов'язковий захід, передбачений Правилами підготовки теплових господарств до опалювального періоду. Правила поширюються на суб'єктів господарювання, які здійснюють діяльність з виробництва, постачання, транспортування теплової енергії та надання послуг з теплопостачання (опалення і гарячого водопостачання). Також документ обов'язковий до виконання споживачами теплової енергії незалежно від організаційно-правових форм та форм власності. Правила встановлюють єдиний порядок підготовки теплових господарств до опалювального періоду.

Гідравлічні випробування – це метод діагностики, який дає змогу виявити і ліквідувати зношені ділянки мереж та запобігти появі пошкоджень під час майбутнього опалювального періоду. Наразі це дієвий запобіжний захід, який дозволяє заздалегідь виявляти критичні місця тепломереж. Адже справний стан трубопроводів є запорукою безпеки мереж та безаварійного проходження опалювального періоду.

Гідравлічних випробувань проводяться в такому порядку:

1. Підготовчий етап – система заповнюється водою, з неї видаляється повітря, перевіряється справність арматури.
2. Підняття тиску – насосом поступово створюється випробувальний тиск, що перевищує робочий.
3. Витримування під тиском – система перебуває під навантаженням визначений час (не менше 10 хв).
4. Оцінювання стану системи – проводиться візуальний огляд усіх ділянок трубопроводу, арматури та обладнання.
5. Фіксування результатів – у разі відсутності дефектів складається акт гідравлічних випробувань.

Випробування проводяться з квітня по вересень поетапно в різних районах міст. Передбачено, що на окремих ділянках тестування можуть тривати близько двох тижнів. На цей час відповідні теплові пункти відключаються, а подача гарячого водопостачання тимчасово припиняється. У разі виявлення пошкоджень, одразу після випробування теплових мереж мають проводитись ремонтні роботи.

Початок і тривалість пробного пуску тепломереж встановлюються графіком (теплопостачальної організації, надавача послуг), який доводиться до відома споживачів не пізніше ніж за три доби до початку робіт. Якщо термін проведення гідравлічних випробувань продовжується, інформування населення здійснюється за аналогічним принципом. Крім цього, графіки проведення гідравлічних випробувань мають бути розміщені на офіційних вебсайтах теплопостачальних підприємств.

Відповідно до Правил підготовки теплових господарств до опалювального періоду всі планові роботи на устаткуванні джерел теплової енергії, теплових мереж, теплових пунктів, системах опалення, вентиляції та гарячого водопостачання повинні бути завершені до 1 жовтня. Також до цього

часу мають бути усунуті всі порушення і дефекти, виявлені у період підготовки до опалювального періоду.

Для прикладу, представники Держенергонагляду в межах своєї компетенції беруть участь у моніторингу щодо проведення гідравлічних випробувань теплових мереж.

Тепловізійний контроль є сучасним методом діагностики теплопостачальних систем, що ґрунтується на фіксації інфрачервоного випромінювання від поверхні об'єктів. Застосування тепловізорів дозволяє виявляти дефекти без зупинки системи та втручання в її роботу, що робить метод одним із найефективніших та безпечних у практиці технічної експлуатації.

Будь-яке тіло з температурою вище абсолютного нуля випромінює інфрачервоне випромінювання. Тепловізор перетворює це випромінювання на видиме зображення – термограму, де різні кольори відповідають певним температурним діапазнам. На термограмі можна визначити зони підвищеної чи зниженої температури, що сигналізують про можливі дефекти.

Основні завдання тепловізійного контролю

1. Виявлення ділянок підвищених тепловтрат у трубопроводах і теплових камерах.
2. Визначення місць пошкодження або неякісного монтажу теплоізоляції.
3. Локалізація витоків теплоносія без необхідності розкриття ґрунту чи конструкцій.
4. Діагностика роботи обладнання (насосів, котлів, арматури) шляхом визначення аномального нагріву чи охолодження окремих елементів.
5. Моніторинг стану теплових мереж у період пікових навантажень.

У практиці діагностики теплопостачальних систем ключову роль відіграє правильний вибір обладнання для тепловізійного контролю. Сучасний ринок пропонує різні типи тепловізорів – від базових портативних до високоточних

професійних та стаціонарних систем, які інтегруються в автоматизовані комплекси моніторингу.

Портативні тепловізори

Найбільш поширені прилади для експлуатаційних організацій. Вони відзначаються компактністю, простотою у використанні та достатньою точністю для щоденного технічного контролю:

1. Flir E6-XT: робочий діапазон від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+550\text{ }^{\circ}\text{C}$, роздільна здатність 240×180 пікселів, точність $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Важливою особливістю є технологія MSX, яка накладає інфрачервоне зображення на візуальне фото, що дає змогу чітко ідентифікувати дефекти.

2. Testo 865s: температурний діапазон від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+280\text{ }^{\circ}\text{C}$, роздільна здатність 160×120 пікселів. Технологія IFOV Warner мінімізує похибки вимірювань. Прилад оптимально підходить для щоденного контролю тепломереж і будівельних конструкцій.

Професійні тепловізори

Застосовуються у випадках, коли потрібна висока точність і детальна діагностика об'єктів. Вони мають кращу роздільну здатність та широкий діапазон вимірювань:

1. Fluke Ti480 PRO: матриця 640×480 пікселів, діапазон від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$, висока чутливість $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$. Прилад здатний автоматично передавати дані у хмарні сервіси та використовуватися для моніторингу критично важливих теплових вузлів.

2. Testo 890: має аналогічну роздільну здатність (640×480 пікселів), робочий діапазон від $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, можливість виконання панорамних знімків. Використовується на промислових підприємствах та для огляду великих площ теплових мереж.

Стаціонарні тепловізійні системи

Таке обладнання застосовується для безперервного контролю стану обладнання в котельнях, теплових пунктах, насосних станціях.

Прикладом є Flir A400/A700, які можуть інтегруватися з системами SCADA. Вони автоматично відслідковують температурні аномалії та формують сигнали тривоги. Це дає змогу своєчасно реагувати на відхилення й попереджувати аварії.

Програмне забезпечення

Не менш важливою складовою є спеціальні програми для обробки даних. Найбільш поширені – Flir Tools, Testo IRSOFT, Fluke SmartView. Вони дозволяють:

- зберігати та аналізувати термограми;
- формувати технічні звіти;
- інтегрувати результати у внутрішні бази даних підприємства;
- порівнювати зміни температурних характеристик у динаміці.

Перевагами тепловізійного обстеження є:

- **безконтактність** – відсутність необхідності демонтажу або втручання у роботу системи;
- **оперативність** – швидке отримання результатів під час обстеження;
- **висока точність локалізації дефектів**, включаючи приховані пошкодження;
- **можливість профілактичного контролю** та раннього виявлення проблем до їх переростання в аварійні ситуації.

Точність результатів залежить від погодних умов (температура навколишнього середовища, вітер, опади). Для коректного аналізу необхідна різниця температур між об'єктом і середовищем не менше 10–15 °C. Метод вимагає спеціальної підготовки персоналу для правильної інтерпретації термограм.

Контроль температурних і тискових характеристик є одним із найважливіших методів діагностики теплопостачальних систем. Від точності

цих параметрів залежить стабільність роботи обладнання, комфорт споживачів та економічність експлуатації.

Завданням вимірювань є:

- визначення температури теплоносія на подачі та звороті;
- контроль перепаду тиску у різних ділянках мережі;
- виявлення гідравлічних дисбалансів, засмічення або витоків;
- перевірка роботи циркуляційних насосів;
- співставлення фактичних параметрів із проєктними та

нормативними.

Для вимірювання параметрів використовуються:

- термометри, термопари – для вимірювання температури теплоносія;
- манометри – для контролю тиску в трубопроводах і насосах;
- датчики з електронним виходом – для постійного моніторингу

параметрів у режимі реального часу;

- витратоміри – для визначення кількості теплоносія та розрахунку теплової потужності.

Проведення вимірювання здійснюється в чотири етапи:

1. Підготовка: перевірка приладів, вибір контрольних точок.

2. Фіксація параметрів: одноразові або тривалі заміри в робочих режимах.

3. Аналіз: порівняння отриманих даних із нормами та проєктними значеннями.

4. Висновки: визначення причин відхилень та розробка рекомендацій з усунення несправностей.

Періодичність:

- планові вимірювання – щосезонно, перед запуском системи в опалювальний режим;
- поточний контроль – регулярно під час експлуатації, особливо на великих об'єктах;
- позапланові вимірювання – після аварій, скарг споживачів чи проведення ремонтних робіт.

Регулярний контроль температури та тиску дозволяє підтримувати оптимальний режим роботи системи; підвищувати енергоефективність; своєчасно виявляти аварійні стани; знижувати експлуатаційні витрати та продовжувати ресурс обладнання.

Ефективність систем тепlopостачання значною мірою залежить від рівня тепловтрат. Надмірні втрати призводять до зниження ККД обладнання, перевитрати палива та підвищення собівартості теплової енергії, тому діагностика тепловтрат є ключовим етапом обстеження.

Основні джерела тепловтрат:

- неякісна теплоізоляція трубопроводів і арматури;
- інфільтрація повітря через нещільності огорожувальних конструкцій;
- старіння та пошкодження обладнання;
- витоки теплоносія в мережах;
- нераціональні режими роботи систем.

До методів виявлення тепловтрат відносять тепловізійний контроль, контактні вимірювання температури, аналіз теплового балансу, газоаналізаторний метод, гідравлічні випробування.

Тепловізійний метод ґрунтується на фіксації інфрачервоного випромінювання, що дозволяє побудувати теплову карту об'єкта. Він дозволяє:

- виявляти дефекти теплоізоляції;
- локалізувати «містки холоду» та витоки теплоносія;
- визначати перегріви або охолоджені ділянки.

Переваги методу: безконтактність, швидкість, наочність.

Недоліки: чутливість до зовнішніх умов (температури навколишнього середовища).

Контактні вимірювання температури здійснюються термометрами, термопарами або електронними датчиками безпосередньо на трубопроводах та обладнанні. Вони дозволяють:

- уточнити локальні перепади температур;

- оцінити ефективність теплоізоляції;
- контролювати подачу та зворот теплоносія.

Перевага – точність вимірювань, недолік – потреба у фізичному доступі до об'єкта.

Аналіз теплового балансу ґрунтується на порівнянні поданої теплової енергії з фактичним споживанням. Він дозволяє оцінити сумарні тепловтрати мережі і окремих об'єктів. Перевага – системний підхід, недолік – не визначає точне місце втрат.

Газоаналізаторний метод використовується на котлах та теплогенераторах для контролю складу димових газів (O_2 , CO_2 , CO) та їх температури. Це дозволяє оцінити ефективність згоряння палива і втрати тепла через димові гази. Перевага – кількісна оцінка ККД, обмеження – застосовується лише для котельного обладнання.

Гідравлічні випробування спрямовані на виявлення витоків теплоносія. Система заповнюється водою і випробовується під підвищеним тиском, при цьому контролюється падіння тиску та наявність протікань. Перевага – точне визначення місць пошкодження труб та арматури, періодичність – перед початком опалювального сезону, після ремонту або аварій.

Питання для самоконтролю

1. Які основні джерела тепловтрат у системах тепlopостачання, і як вони впливають на ефективність роботи системи?
2. У чому полягає суть тепловізійного контролю, які його переваги та обмеження?
3. Як контактні вимірювання температури допомагають виявляти дефекти і що є їхніми перевагами та недоліками?
4. Що дає аналіз теплового балансу та газоаналізаторний метод у діагностиці тепловтрат?
5. Яке призначення гідравлічних випробувань у виявленні тепловтрат і коли їх проводять?

Лекція 5 Діагностика систем газопостачання

Системи газопостачання посідають важливе місце у забезпеченні житлових будинків, промислових підприємств та об'єктів інфраструктури паливом для опалення, приготування їжі та виробничих потреб. Висока енергоефективність газу поєднується з підвищеними вимогами до безпеки його транспортування і використання, адже навіть незначні порушення герметичності або несправності обладнання можуть призвести до аварійних ситуацій.

Діагностика систем газопостачання має на меті своєчасне виявлення витоків, пошкоджень трубопроводів, несправностей арматури та інших дефектів, що впливають на безпечну й ефективну експлуатацію мереж. Вона включає застосування різних методів – від простих візуальних оглядів і використання мильного розчину до сучасних приладів: газоаналізаторів, акустичних сенсорів, ультразвукових детекторів.

Особливе значення має регулярність і системність таких перевірок, оскільки безперервний контроль дозволяє попереджати аварії, зменшувати втрати газу та забезпечувати стабільну роботу всієї системи. Таким чином, діагностика є ключовим елементом у структурі технічного обслуговування та безпечної експлуатації газових мереж.

Виявлення витоків газу є ключовим завданням у процесі діагностики систем газопостачання. Навіть невелика негерметичність може стати причиною аварії, створити вибухонебезпечну концентрацію газу або призвести до значних економічних втрат, тому пошук витоків завжди розглядається як один із першочергових етапів технічного обслуговування.

Для цього застосовують різні методи, які відрізняються точністю, вартістю та сферою використання. У практиці найпоширенішими є такі:

1. Візуально-простий метод (мильний розчин).

Найпростіший і найдоступніший спосіб перевірки, який використовується здебільшого у побуті та на невеликих ділянках мереж. Суть методу полягає у нанесенні мильного розчину на з'єднання чи стики. У місці

витоку утворюються бульбашки, що дозволяє локалізувати проблему. Перевагою є дешевизна і простота, проте метод не підходить для великих мереж або прихованих комунікацій.

2. Використання газоаналізаторів.

Це сучасний і високоточний спосіб, який застосовують як у побутових, так і у промислових мережах. Газоаналізатори реагують на концентрацію газу в повітрі й дозволяють швидко визначити місце витоку навіть у важкодоступних місцях. Використовують як портативні прилади для обстеження, так і стаціонарні – для постійного моніторингу. Основний недолік – висока вартість і необхідність регулярного калібрування.

3. Акустичні методи.

Їх застосовують переважно для великих магістральних трубопроводів. При витоку газу під тиском виникають характерні звукові коливання, які реєструють спеціальні датчики. Метод дозволяє перевіряти трубопровід без його відключення, що є великою перевагою. Водночас ефективність знижується у шумному середовищі, а обладнання є досить дорогим.

4. Індикаторні та хімічні методи.

Ці способи ґрунтуються на застосуванні спеціальних індикаторних речовин або папірців, які змінюють колір у місці контакту з газом. Метод швидкий і простий, але точність його обмежена, тому використовується переважно як допоміжний.

Таблиця 5.1 – Порівняння методів витоку газів.

Метод	Переваги	Недоліки	Сфера застосування
Мильний розчин	Дешевий, простий	Лише локальні ділянки	Побутові системи, дрібні перевірки
Газоаналізатори	Точні, швидкі, універсальні	Дорогі, потребують калібрування	Побутові та промислові системи
Акустичні методи	Перевірка великих мереж	Чутливі до шуму, потребують обладнання	Магістральні трубопроводи
Індикаторні (хімічні)	Швидкі, прості	Обмежена точність	Допоміжні методи, локальна діагностика

Витоки газу з підземних чи наземних газопроводів і споруд найбільш імовірні:

- 1) на стикових з'єднаннях газопроводів: сталевих, чавунних, виконаних із кольорових металів і неметалевих;
- 2) у місцях, уражених корозією: електрохімічною, блукаючими струмами, атмосферою;
- 3) у місцях, які мають прихований (не виявлений своєчасно) заводський чи монтажний брак в трубах, деталях;
- 4) у місцях недостатньо якісної роботи монтажників будівельних і експлуатаційних організацій, своєчасно не виявлених під час випробувань;
- 5) із сальникових ущільнювачів компенсаторів чи арматури;
- 6) із місць, пошкоджених під час будівництва паралельних або що перетинають існуючі газопроводи підземних чи наземних споруд;
- 7) із арматури, яка захищена коверами і збита (пошкоджена) при наїздах безрельсового транспорту;
- 8) на ділянках газопроводу і на місцях установки арматури, не забезпечених необхідними компенсаційними засобами;
- 9) у місцях з'єднань труб із різнорідних матеріалів;
- 10) у місцях, пошкоджених при проведенні профілактичних чи аварійно-пошукових робіт;
- 11) із споруд та арматури, які «втрачені» в процесі експлуатації газопроводів;
- 12) із місць можливих переломів чавунних і неметалічних труб при поганій укладці і засипці газопроводів.

Якщо газ у газопроводі перебуває під високим тиском, то виникнення пошкоджень газопроводу буде невдовзі фіксуватися за характерним звуком і викиданням ґрунту газовим струменем. У газових мережах з невисоким тиском виникнення пошкодження в трубопроводі може не привернути уваги і витікання може відбуватися протягом тривалого проміжку часу, що спричинить значну втрату газу і виникнення вибухонебезпечної ситуації.

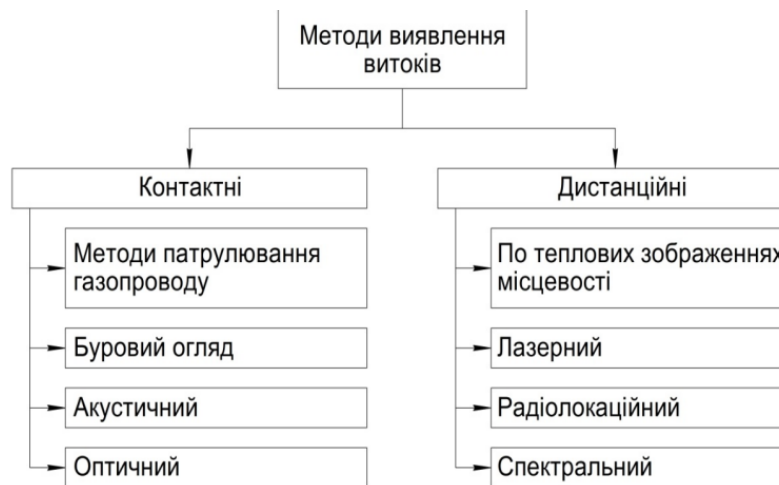


Рисунок 5.1 – Класифікація методів виявлення витоків газу з підземних газопроводів

Метод патрулювання газопроводу. Метод базується на використанні портативних переносних газоаналізаторів. Оператор проходить на поверхні землі над газопроводом з переносним газоаналізатором, фіксуючи значення концентрації природного газу в атмосфері над поверхнею землі. Місце витoku газу з газопроводу визначається за найбільшим значенням концентрації природного газу в повітрі. Метод патрулювання також може проводитися без використання газоаналізаторів. У цьому випадку місця витoku газу виявляються шляхом аналізу стану рослинності на поверхні ґрунту над трубопроводом. У місцях витoku газу певні рослини можуть активно розвиватися, оскільки в місці витoku газу в ґрунті розвивається певний тип бактерій, який харчується газоподібним метаном. Ці бактерії живлять рослини продуктами своєї життєдіяльності, внаслідок чого певний тип рослин активно розвивається, тоді як інший, навпаки, зникає. Також продукти життєдіяльності бактерій, які харчуються газоподібним метаном і самі бактерії можуть залучати різних комах, за зосередженням яких у певних місцях можна буде судити про наявність витoku газу. До недоліків цього методу потрібно віднести те, що прилади, які використовуються для досліджень, потребують періодичного калібрування з допомогою спеціальних калібрувальних станцій і газових сумішей. До цього методу також можна віднести методику патрулювання газопроводу з використанням спеціально тренуваних собак. Ця методика є

більш гнучкою і надійною порівняно з використанням пошукового обладнання. Використання собак для виявлення місць витоків природного газу засноване на тому, що горючі гази (речовини, які входять до складу цих газів) або нафтопродукти мають специфічний запах. Натреновані собаки виявляють такі речовини на рівні набагато нижчому, ніж декілька частинок на мільярд (ppb) як над землею, так і під нею. Собаки можуть використовуватися на різних ділянках і практично за будь-яких умов. Після спеціального курсу підготовки собака набуває навичок не тільки чітко реагувати на певний запах газу, а й відрізняти (диференціювати) його від супутніх та сторонніх запахів. Для використання цього методу необхідне створення спеціальних служб і спеціальна підготовка персоналу.

Буровий метод. Метод полягає у тому, що вздовж газопроводу (через кілька метрів) на відстані 0,3–0,5 м від стінки газопроводу за допомогою бурового інструменту роблять отвори – інспекційні свердловини. Глибина інспекційної свердловини визначається глибиною залягання газопроводу. Діаметр інспекційної свердловини мітиться в межах 20–40 мм. Інспекційна свердловина призначена для створення шляху виходу газу з ґрунту в атмосферу. У разі витoku газу він зазвичай виявляється в кількох інспекційних свердловинах, тому місце витoku газу визначають за отвором із найбільшою концентрацією газу, оскільки концентрація залежить від величини витoku і відстані до місця витoku газу з газопроводу. Концентрація газу визначається за допомогою приладів – газоаналізаторів. Раніше загазованість інспекційної свердловини визначали шляхом перевірки «на вогонь». У газоаналізаторах використовуються напівпровідникові, термо-каталітичні, електрохімічні, спектрально-оптичні, плазмовоіндикаторні й інші типи давачів. Цей метод дуже енергозатратний і для визначення місця витoku необхідно мати дані по приблизному розташуванню пошкодження.

Акустичний метод. До поверхні труби газопроводу прикріплюють один або два акустичні перетворювача на певній відстані один від іншого. Спектральна чутливість перетворювачів перекидає діапазон, в якому

випромінюються акустичні шуми, що виникають внаслідок виходу газу. Витікання газу з трубопроводу внаслідок дефектів у тілі труби (наскрізні тріщини, ерозійні й корозійні пошкодження) призводить до виникнення шумів, спектральна щільність яких перебуває в області звукового та ультразвукового діапазону. Акустичні шуми, які виникають внаслідок витоку газу, поширюються в стінці трубопроводу у всіх напрямках з певною швидкістю. Записуючи акустичні шуми, які приймаються двома перетворювачами, і розраховуючи взаємкореляційну функцію за двома вибірками, визначають місце розташування витоку газу. При такому методі необхідно забезпечити прямий доступ до трубопроводу, що спричиняє додаткові труднощі при роботі з підземними газопроводами.

Оптичні методи. Оптичні методи можуть бути активними і пасивними. Для активних методів необхідне джерело випромінювання. На поверхні землі над трубопроводом розміщують блок випромінювача оптичного випромінювання (також використовується лазерне випромінювання на частотах поглинання його повітряно-метановою сумішшю) і відбивач на відстані від 50–250 м. Для проведення вимірювань використовують оптичне випромінювання з такою довжиною хвилі, при якій воно найбільше поглинається (розсіюється) газоповітряною сумішшю. Таким чином, в разі появи витоку газу на шляху поширення променю інтенсивність випромінювання буде змінюватися, що буде реєструватися приймачем і стане вихідною інформацією про наявність місця витоку газу з газопроводу і його концентрацію, оскільки інтенсивність випромінювання є пропорційною концентрації газу в повітрі. Як приймач випромінювання, використовуються різні види детекторів: напівпровідникові, фотопомножувальні, оптикоакустичні та ін. Пасивні методи не потребують джерела випромінювання. Проведення дослідження цими методами є дуже енергозатратним, а монтаж обладнання потребує значних матеріальних витрат. Крім того, при використанні такого обладнання є імовірність помилкового спрацювання.

Тепловий метод. Визначення місця витoku газу з підземного газопроводу тепловим методом здійснюється на підставі аналізу теплового поля випромінювання земної поверхні (пасивний метод). Оскільки температура газу, який проходить по газопроводу завжди вища, ніж температура ґрунту, то за умов наявності витoku буде відбуватися нагрівання ґрунту в зоні пролягання газопроводу. Тріщини в газопроводі розміром $1\text{ мм}^2 \times 0,1\text{ мм}^2$ можуть створювати на поверхні ґрунту теплові аномалії з температурним контрастом більше ніж $10\text{ }^\circ\text{C}$ при розмірах плями порядку 10 м^2 . При використанні тепловізорів місця витоків газу можна знаходити за допомогою мобільних лабораторій та аерознімання в режимі безперервного сканування. Такі системи є надзвичайно дорогими і дуже складними у налаштуванні.

Лазерний метод. Лазерний метод визначення місць витoku газу з газопроводу та вимірювання величини витоків за своєю суттю схожий на оптичний, здебільшого є активним і базується на опроміненні місцевості висококогерентним високоенергетичним (лазерним) випромінюванням. При опроміненні місцевості використовуються одночасно два лазери з різними довжинами хвиль. Довжина хвилі випромінювання першого лазера потрапляє в діапазон поглинання природного газу (при такій довжині хвилі лазерного випромінювання воно найбільше поглинається або розсіюється природним газом). Довжина хвилі другого лазера обирається такою, при якій лазерне випромінювання практично не поглинається природним газом. Аналізуючи інтенсивність відбитого від поверхні землі лазерного випромінювання двох лазерів з різними довжинами хвиль, визначають місця і величину витoku природного газу з трубопроводів. Лазерний метод є дистанційним і його використовують для визначення місць витoku газу та визначення його концентрації при використанні мобільних лабораторій, вертольотів або літаків в режимі безперервного сканування. Також можна використовувати цей метод для проведення сканування поверхні землі з орбітальних космічних апаратів (довжини хвиль, які використовуються для лазерів, як правило, не сприймаються людськими органами зору). Прилади, за допомогою яких

використовуються цей метод, є дорогими, складними для налаштування, а також мають малий термін експлуатації.

Радіолокаційний метод. Радіолокаційний метод визначення місць витоків газу з трубопроводу і вимірювання концентрації витоків є аналогічним до лазерного. У цьому випадку для опромінення місцевості прокладання газопроводу використовується радіовипромінювання. Цей метод базується на різних електричних властивостях повітря і газу (ступінь поглинання, величина іонізації тощо). Результати радіолокаційного методу із застосуванням аерокосмічного моніторингу використовуються як для визначення потужності і величини витоків природного газу з трубопроводів, так і для виявлення потенційно небезпечних ділянок, особливо в сейсмічно активних зонах, а також для контролю процесів заболочування, підтоплення, надмірного зволоження ґрунту з подальшим прогнозуванням стану трубопроводу і можливих його ушкоджень, які можуть призвести до технологічних викидів і витоків газу. Системи, які реалізують даний метод, мають низький термін експлуатації, а також під час їх роботи є висока ймовірність помилкового спрацювання.

Спектральний метод. Спектральний метод визначення місць витоків газу з трубопроводу і вимірювання концентрації витоків на відміну від попередніх дистанційних методів є пасивним (опромінення території не використовується). Метод спектрального сканування базується на інтерпретації спектрів випромінювання теплового інфрачервоного (ІЧ) випромінювання в умовах безхмарної атмосфери з використанням спектрометрів і інтерферометрів (у тому числі Фур'є-інтерферометра). За результатами спектральних досліджень місцевості з використанням літальних апаратів і орбітальних супутників визначають місця і величину витоку газу з газопроводу, прокладеного як над землею, так і під землею. Обладнання, робота яких базується на цьому методі, є дорогим і складне для налаштування. Обладнання, яке використовується для реалізації описаних вище методів виявлення місць витоків показано на рисунку 5.2.

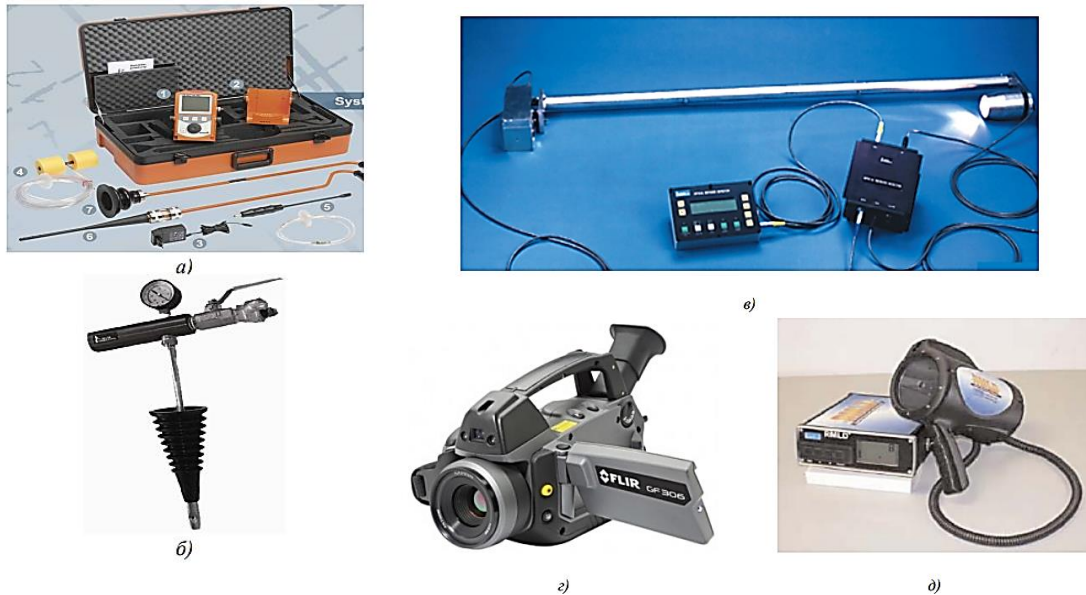


Рисунок 5.2 – Обладнання для виявлення витоків газу:

- а – газоаналізатор для виявлення витоків методом патрулювання газопроводу;
 б – буровий інструмент; в – оптичний детектор метану; г – портативний тепловізор; д – лазерний детектор метану

Надійна робота систем газопостачання безпосередньо залежить від технічного стану трубопроводів, які є основною складовою мережі. Будь-яке порушення їхньої цілісності – тріщини, корозійні пошкодження, нещільні стики або дефекти зварних швів – може призвести до витoku газу, аварійних ситуацій чи навіть вибухів. Саме тому контроль герметичності та випробування на міцність є обов’язковими етапами діагностики.

Основне завдання перевірки полягає у тому, щоб підтвердити придатність трубопроводу до подальшої експлуатації та своєчасно виявити приховані дефекти. Контроль спрямований на забезпечення безпеки, запобігання витoku газу, а також продовження строку служби обладнання.

Для визначення герметичності застосовують кілька методів:

1. Пневматичні випробування: трубопровід заповнюють повітрям або інертним газом під тиском. Якщо тиск знижується, це свідчить про наявність витоків. У поєднанні з газоаналізаторами цей метод дозволяє точно визначити місце негерметичності.

2. Гідравлічні випробування: у трубопровід подають воду під тиском, вищим за робочий. Метод надійний, але потребує подальшого ретельного осушення системи, тому використовується обмежено.

3. Вакуумний контроль: створюється розрідження всередині труби й фіксуються зміни параметрів. Використовується переважно у виробничих умовах під час виготовлення нових трубопроводів.

Для підтвердження міцності трубопровід випробовують під тиском, що перевищує робочий у 1,25–1,5 рази. Під час процедури перевіряють:

- відсутність розривів чи деформацій;
- якість зварних швів і стикових з'єднань;
- здатність матеріалу витримувати навантаження без пошкоджень.

Усі роботи проводяться за затвердженими нормативами та графіками. Перед початком трубопровід відключають від мережі, очищають і заповнюють робочим середовищем (повітрям, водою або інертним газом). Випробування виконують спеціально підготовлені бригади з використанням сертифікованих приладів. Результати фіксують у відповідному акті, де зазначають умови проведення, отримані дані та висновок про придатність трубопроводу до експлуатації.

Періодичність контролю проводиться:

- перед введенням нових трубопроводів в експлуатацію;
- у діючих мережах – у рамках планово-попереджувального обслуговування (раз на 3–5 років залежно від умов роботи);
- позачергово – після аварій, капітальних ремонтів або реконструкцій.

Гази використовуються в багатьох виробничих середовищах, промислових секторах і наукових галузях. Однак, незважаючи на те що вони життєво важливі для багатьох застосувань – від використання в хімічних реакціях до запалювання джерела тепла та багатьох інших застосувань, вони можуть бути небезпечними, якщо вони перебувають у «неправильному» середовищі або в надто високих концентраціях. Для моніторингу професійного,

промислового та природного середовища використовуються газоаналізатори, щоб визначити, чи існує локальна небезпека.

Гази присутні в повсякденному житті. Деякі гази використовуються для створення інертної атмосфери для хімічних реакцій, деякі використовуються в процесах горіння, тоді як інші використовуються для впорядкування потоку різних речовин. Необхідно контролювати ці гази, щоб переконатися, що занадто високі концентрації певних газів (наприклад, метану) не призведуть до вибуху і що присутність інших газів не зменшить концентрацію кисню (що призведе до проблем з диханням) у професійному середовищі, а також забезпечити, щоб «правильні» гази використовуються в «правильних» процесах / операціях.

Газоаналізатори бувають різних форм – від великих вбудованих сенсорних систем для масштабніших цілей моніторингу до портативних пристроїв, які забезпечують швидкі локалізовані вимірювання. Газоаналізатори пропонують спосіб визначення локалізованої концентрації газу незалежно від промислового середовища. Це гарантує, що робітники в промисловому середовищі залишаються захищеними від шкідливих рівнів утворення газу.

Вони також гарантують, що будь-які операції, які використовують гази, виконуються оптимально, тобто гарантують, що передбачуване середовище не заповнюється занадто великою кількістю газу, а також не вводиться занадто мало газу в процес (що може спричинити проблеми саме по собі, якщо процес залежить від газів).

Газоаналізатори також використовуються в промисловості за межами технологічного середовища. У цих випадках вимірювання місцевого навколишнього середовища за межами виробничого / технологічного середовища є важливим для забезпечення того, щоб в атмосферу не викидалося занадто багато токсичних / шкідливих газів: ці викиди постійно потребують більш ретельного моніторингу через проблеми викиду парникових газів у занадто великих кількостях протягом останніх кількох десятиліть.

У гірничодобувній промисловості газоаналізатори пропонують спосіб визначити, чи відбувається процес накопичення газу під час гірничих робіт, що може призвести до вибухів, оскільки під землею багато покладів метану. Це забезпечує набагато безпечніше робоче середовище для всіх працівників.

У деяких інших наукових галузях газоаналізатори можна використовувати для вимірювання рівнів газів, що утворюються в процесах бродіння в біотехнології та процесах виробництва харчових продуктів. Це лише декілька конкретних прикладів.

Запірна та регулююча арматура є ключовими елементами системи газопостачання, оскільки саме від її справності залежить можливість оперативного перекриття подачі газу, регулювання тиску та забезпечення безпечної експлуатації мережі. Несправна арматура створює ризик витоків, порушень у роботі системи та виникнення аварійних ситуацій.

Арматура поділяється на два типи:

1. **Запірна арматура** (крани, засувки, вентилі) забезпечує повне припинення або відновлення подачі газу.

2. **Регулююча арматура** (редуктори, регулятори тиску) підтримує стабільні параметри подачі газу відповідно до вимог споживача. Їхня сумісна робота гарантує безперервність і безпечність експлуатації газових мереж.

До основних дефектів арматури можна віднести:

- зношеність ущільнювальних поверхонь, що призводить до негерметичності;
- заклинювання або утруднене переміщення запірних елементів;
- корозійні пошкодження корпусу чи внутрішніх деталей;
- порушення герметичності сальникових або мембранних вузлів.

Перевірка арматури проводиться такими методами:

1. **Зовнішній огляд** – виявлення механічних пошкоджень, корозії, слідів витоків газу.

2. Перевірка на герметичність – застосування газоаналізаторів або мильного розчину для визначення витоків у місцях ущільнень.

3. Функціональні випробування – перевірка легкості ходу арматури, працездатності редукторів та регуляторів тиску під навантаженням.

4. Контроль тиску – оцінка стабільності роботи регулюючої арматури при різних режимах подачі газу.

Організація контролю запірної та регулюючої арматури передбачає низку етапів, які виконуються в суворій послідовності. На першому етапі виконується складання графіка планово-попереджувальних робіт (ППР) відповідно до вимог нормативних документів; визначення переліку арматури, яка підлягає перевірці (з урахуванням її розташування, важливості та умов експлуатації); оформлення наряду-допуску на проведення робіт; забезпечення персоналу необхідним інструментом, приладами та засобами індивідуального захисту.

На другому етапі безпосередньо виконується низка робіт, зупинка або часткове обмеження подачі газу на час перевірки (у разі необхідності); проведення зовнішнього огляду арматури та прилеглих ділянок; контроль герметичності з використанням мильного розчину чи переносних газоаналізаторів; перевірка працездатності: плавність ходу штока, засувки або вентиля, легкість перемикавання; випробування регулюючих пристроїв під тиском, контроль стабільності вихідних параметрів; оцінка стану ущільнень, мембран і пружинних елементів.

Третій етап супроводжується документуванням результатів, а саме:

- запис результатів перевірки в журнали технічного обслуговування;
- фіксація виявлених дефектів та недоліків;
- підготовка рекомендацій щодо ремонту чи заміни несправних елементів;
- у випадку критичних пошкоджень – складання акту та повідомлення відповідних служб для оперативного усунення.

Четвертий етап є завершальним в ході якого виконується відновлення подачі газу (якщо вона перекривалася), перевірка відсутності витоків після

збирання та регулювання та інформування відповідальної особи про завершення робіт.

Таблиця 5.2 – Періодичність контролю арматури в системах газопостачання

Рівень системи / об'єкт	Періодичність контролю	Особливості перевірки
Магістральні газопроводи	2 рази на рік (перед і після опалювального сезону)	Контроль герметичності, працездатності запірних засувки, стану ущільнень
Газорозподільні станції (ГРС)	1 раз на квартал	Перевірка регулюючої арматури, стабільності параметрів тиску, робота в аварійному режимі
Розподільні газопроводи	1 раз на рік	Огляд запірних пристроїв, перевірка легкості ходу, герметичність з'єднань
Внутрішньобудинкові системи газопостачання	1 раз на рік (під час комплексного ТО)	Перевірка вентилів та кранів, контроль відсутності витоків у місцях приєднання приладів
Вводи до будівель	1 раз на рік + після ремонтів	Огляд запірної арматури, перевірка працездатності у випадку аварійного перекриття
Промислові підприємства	1–2 рази на рік (залежно від інтенсивності)	Контроль арматури у вузлах обліку та регулювання, випробування під робочим тиском
Позапланові перевірки	За потреби (аварія, скарги, ремонтні роботи)	Оперативна діагностика, фіксація дефектів, заміна несправних елементів

Питання для самоконтролю

1. Назвіть основні методи пошуку витоків газу використовуються у сучасних системах газопостачання, і в чому полягає їх принцип дії.

2. Що передбачає контроль герметичності та міцності трубопроводів, які методи випробувань застосовуються, і яка їхня періодичність?

3. Які типи газоаналізаторів існують, за яким принципом вони працюють та як їх використовують для діагностики газових мереж?

4. Які основні дефекти запірної та регулюючої арматури можуть виникати під час експлуатації, і як вони впливають на безпеку системи?

5. Яким чином організовуються роботи з перевірки арматури та як визначається періодичність її контролю в різних типах газових систем?

Лекція 6 Діагностика систем вентиляції

Системи вентиляції є обов'язковою складовою будівель і промислових об'єктів, забезпечуючи постійний обмін повітря та підтримку належного мікроклімату. Вони дозволяють видаляти забруднене повітря, надлишкову вологу, шкідливі гази та запахи, одночасно подаючи свіжий повітряний потік у приміщення. Правильне функціонування вентиляційних систем впливає на комфорт і здоров'я людей, а також на ефективність роботи обладнання та енергоспоживання будівлі.

Діагностика таких систем включає оцінку працездатності вентиляційного обладнання, перевірку стану повітропроводів, фільтрів, клапанів та автоматичних систем регулювання. Важливо своєчасно виявляти засмічення каналів, пошкодження вентиляторів або неправильно налаштовані потоки повітря, оскільки ці дефекти можуть знижувати ефективність системи, спричиняти надмірне енергоспоживання та створювати небезпечні умови для перебування людей.

Регулярна перевірка та діагностика вентиляційних мереж дозволяє забезпечити їхню надійну і безпечну роботу, підтримувати оптимальні параметри повітряного середовища та запобігати аварійним ситуаціям, пов'язаним з порушенням роботи систем вентиляції.

Одним із ключових завдань діагностики вентиляційних систем є оцінка реального повітрообміну в приміщеннях. Для цього використовують декілька методів:

1. Анеометричний метод – вимірювання швидкості повітряних потоків за допомогою крильчатих або термоанемометрів. Розрахунок витрати повітря

виконується шляхом множення швидкості на площу поперечного перерізу повітропроводу чи решітки.

2. Газова індикаторна методика – у приміщенні вводять інертний газ (наприклад, CO_2) і фіксують швидкість його зниження до початкового рівня. Час розсіювання газу показує фактичний повітрообмін.

3. Балансовий метод – визначення повітрообміну на основі різниці між обсягом поданого та видаленого повітря.

4. Використання датчиків мікроклімату – сучасні автоматизовані системи дозволяють відстежувати вміст CO_2 , температуру, вологість та робити висновки про ефективність вентиляції.

Ці методи надають можливість оцінити, чи відповідає робота системи проектним параметрам і санітарно-гігієнічним нормам.

Для виконання анемометричного методу визначення повітрообміну застосовується спеціальне вимірювальне обладнання, яке дозволяє визначати швидкість руху повітря у повітропроводах або на виході з вентиляційних решіток, а далі розраховуються витрати повітря.

Таблиця 6.1 – Види анемометрів та їх застосування

Тип анемометра	Принцип дії	Діапазон вимірювань	Переваги	Сфера застосування
1	2	3	4	5
Крильчастий	Обертання крильчатки під дією повітряного потоку	0,2–20 м/с	Простота, надійність, зручний у використанні	Вимірювання швидкості у вентиляційних решітках і повітропроводах середніх розмірів
Термоанемометр (термальний)	Вимірювання ступеня охолодження нагрівного елемента потоком повітря	0,05–10 м/с	Висока точність при малих швидкостях, компактність	Перевірка повітряного потоку в приміщеннях та вузьких каналах

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5
Комбінований (з обчислювачем)	Поєднання крильчастого чи термоанемометра з електронним блоком обчислення витрати	0,05–20 м/с	Одразу показує витрату повітря (м³/год), можливість збереження даних	Комплексна діагностика систем вентиляції
Анемометр насадкою-воронкою	Вимірювання швидкості та витрати через дифузори і решітки з використанням спеціальних насадок	Залежить від базового анемометра	Дає безпосереднє значення повітрообміну через решітку	Перевірка роботи припливних і витяжних решіток

Анемометричний метод є одним із найбільш універсальних та доступних способів визначення повітрообміну, адже дозволяє проводити вимірювання як у повітропроводах, так і безпосередньо в приміщеннях.

Для виконання газової індикаторної методики визначення повітрообміну застосовують обладнання, яке дозволяє вводити в повітря приміщення індикаторний газ і контролювати зміну його концентрації в часі. На підставі швидкості зменшення концентрації визначається повітрообмін.

Таблиця 6.2 – Індикаторні гази та обладнання для їх визначення

Індикаторний газ	Основні характеристики	Прилади для вимірювання	Сфера застосування
1	2	3	4
CO ₂ (вуглекислий газ)	Безпечний у малих концентраціях, легко вводиться в повітря, природно присутній у приміщеннях	Інфрачервоні газоаналізатори, портативні сенсори CO ₂	Житлові, офісні та навчальні приміщення, перевірка роботи систем вентиляції

Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4
SF ₆ (гексафторид сірки)	Інертний, нетоксичний, відсутній у природному повітрі, дозволяє отримати високу точність вимірювань	Лабораторні газоаналізатори високої чутливості	Лабораторні дослідження, промислові об'єкти, наукові експерименти
N ₂ O (закис азоту)	Стабільний газ, добре фіксується інфрачервоними аналізаторами	Спеціалізовані ІЧ-газоаналізатори	Виробничі приміщення, лабораторні умови
Фреони (наприклад, R134a)	Добре визначаються детекторами, але застосовуються рідше через екологічні обмеження	Електрохімічні та інфрачервоні газоаналізатори	Специфічні виробничі середовища, дослідні установки

Для виконання балансового методу визначення повітрообміну застосовується обладнання, яке дозволяє виміряти об'єм або масу повітря, що надходить у приміщення та видаляється з нього через систему вентиляції. Суть методу полягає в порівнянні припливного та витяжного повітря, щоб оцінити баланс і реальний повітрообмін.

Таблиця 6.3 – Обладнання для балансового методу

Обладнання	Призначення	Принцип дії	Сфера застосування
1	2	3	4
Крильчастий/термоанемометр	Вимірювання швидкості повітря	Фіксує обертання крильчатки або охолодження нагрівного елемента потоком повітря	Визначення швидкості і витрати в повітропроводах та решітках
Диференціальний манометр, мікроманометр	Вимірювання перепаду тиску	Фіксує різницю тиску до та після елементів мережі	Контроль роботи фільтрів, решіток, клапанів, визначення витрати

Продовження таблиці 6.3

1	2	3	4
Трубка Піто, витратоміри повітря	Визначення витрати повітря	Вимірює швидкісний напір потоку та перетворює його у витрату	Точні аеродинамічні вимірювання в каналах
Витратомірні воронки	Вимірювання витрати через решітки/дифузори	Збирають потік і направляють його на сенсор анемометра	Перевірка повітрообміну в окремих приміщеннях
Термогігрометри (температура, вологість)	Допоміжні вимірювання	Фіксують параметри мікроклімату для розрахунку балансу	Підрахунок тепловологісного балансу приміщення

Для методу визначення повітрообміну із застосуванням датчиків мікроклімату використовують сучасне вимірювальне обладнання, яке дозволяє комплексно оцінювати параметри повітряного середовища та на їх основі визначати фактичний повітрообмін.

Таблиця 6.4 – Датчики мікроклімату та їх застосування

Тип датчика	Принцип дії	Вимірюваний параметр	Сфера застосування
1	2	3	4
Датчик температури	Зміна електричного опору (термометри опору Pt100, Pt1000) або термоелектричний ефект (термопари)	Температура повітря	Визначення теплового балансу, розрахунок швидкості та витрати повітря
Датчик вологості (ємнісний/резистивний)	Зміна ємності або опору матеріалу сенсора під дією вологи	Відносна вологість повітря	Контроль вологості, вологісного балансу приміщення

Продовження таблиці 6.4

1	2	3	4
Датчик CO ₂ (інфрачервоний NDIR)	Вимірювання поглинання інфрачервоного випромінювання газом	Концентрація CO ₂	Оцінка якості повітря, визначення повітрообміну на основі концентрації індикаторного газу
Датчик тиску / диференціальний тиск	Фіксація різниці тиску між точками мережі	Перепад тиску	Контроль аеродинамічних характеристик, оцінка витрати повітря
Багатофункціональні прилади мікроклімату	Поєднання кількох сенсорів + реєстрація даних	Температура, вологість, CO ₂ , швидкість повітря	Комплексна діагностика вентиляційних систем, розрахунок повітрообміну, моніторинг параметрів у реальному часі

Сучасні датчики мікроклімату дозволяють одночасно оцінювати всі ключові параметри повітря і на їх основі розраховувати фактичний повітрообмін, що значно підвищує точність і швидкість діагностики систем вентиляції.

Аеродинамічні параметри системи (тиск, швидкість і витрати повітря) мають вирішальне значення для ефективності її роботи. Діагностика включає:

1. Вимірювання швидкості та тиску повітря у різних точках мережі за допомогою пітот-трубок, манометрів і мікроманометрів.

2. Визначення аеродинамічного опору на ділянках повітропроводів і обладнання (фільтри, решітки, клапани).

3. Оцінка роботи вентиляторів – перевірка відповідності фактичних параметрів паспортним характеристикам.

4. Виявлення нерівномірності розподілу повітря по окремих приміщеннях або робочих зонах.

Правильна перевірка аеродинамічних характеристик дозволяє виявити дефекти, що знижують ефективність роботи системи, наприклад, засмічення фільтрів, неправильне регулювання клапанів чи надмірний опір повітропроводів.

Балансування вентиляційної системи передбачає регулювання витрат повітря у гілках мережі для забезпечення рівномірного розподілу за проектними параметрами. Процес включає:

1. Вимірювання витрат повітря на всіх основних відгалуженнях та кінцевих пристроях.

2. Регулювання дросель-клапанів і заслінок для досягнення необхідних значень.

3. Перевірку співвідношення між подачею і видаленням повітря у приміщеннях.

4. Фіксацію параметрів у робочій документації, що дозволяє відслідковувати стан системи надалі.

Балансування є особливо важливим після монтажу нових систем, модернізації або очищення повітропроводів. Воно гарантує енергоефективність, комфорт і стабільність роботи вентиляційних установок.

Засмічення й пошкодження повітропроводів часто є основною причиною зниження ефективності системи вентиляції. Для їх виявлення застосовують такі підходи:

1. Візуальний контроль внутрішніх поверхонь за допомогою відеоендоскопів та інспекційних камер.

2. Контроль перепаду тиску на ділянках мережі: значне збільшення опору свідчить про засмічення чи звуження прохідного перерізу.

3. Акустичні методи – характерний шум або свист може сигналізувати про наявність дефектів, підсосів повітря чи пошкоджень.

4. Тепловізійне обстеження – дозволяє виявити місця несанкціонованих витоків або порушення теплоізоляції.

5. Перевірка герметичності з використанням димогенераторів: поданий дим дозволяє локалізувати щілини та тріщини в повітропроводах.

Своєчасне виявлення дефектів у повітропроводах забезпечує стабільність параметрів повітрообміну, запобігає додатковим енергетичним витратам і продовжує строк служби системи.

Питання для самоконтролю

1. За допомогою яких методів визначається повітрообмін у вентиляційних системах та в чому їх особливості?

2. Які параметри перевіряються під час оцінки аеродинамічних характеристик вентиляційної системи?

3. У чому полягає процес балансування вентиляційних мереж та які методи його виконання застосовуються?

4. Які основні способи виявлення засмічень та дефектів у повітропроводах застосовуються на практиці?

5. Чому регулярна діагностика вентиляційних систем є важливою для забезпечення ефективності та енергоощадності?

Лекція 7 Діагностика систем кондиціонування повітря

Системи кондиціонування повітря є важливою складовою сучасних будівель, забезпечуючи комфортний мікроклімат незалежно від зовнішніх умов. Вони підтримують оптимальні температуру, вологість та рух повітря, що сприяє здоров'ю, продуктивності людей та стабільній роботі технологічного обладнання.

Ефективність кондиціонерів залежить не лише від правильного монтажу та експлуатації, але й від регулярної діагностики. Діагностичні заходи дозволяють оцінити стан обладнання, виявити дефекти в холодильному контурі, систему повітропроводів, фільтри та клапани, а також своєчасно

запобігти зниженню продуктивності, надмірному енергоспоживанню та можливим аварійним ситуаціям.

Діагностика систем кондиціонування включає комплекс процедур: від перевірки аеродинамічних характеристик і витрати повітря до оцінки стану холодоносія, герметичності трубопроводів та ефективності фільтрації. Системний підхід дозволяє підтримувати стабільну роботу кондиціонерів і забезпечувати комфортні умови для користувачів у всіх приміщеннях.

Одним із головних завдань систем кондиціонування є підтримання оптимальних параметрів мікроклімату – температури та відносної вологості повітря. Точність цих параметрів безпосередньо впливає на комфортні умови перебування людей у приміщеннях, збереження матеріальних цінностей та ефективність технологічних процесів, тому контроль температурно-вологісних характеристик є ключовим етапом діагностики систем кондиціонування.

Основними параметрами контролю є:

1. Температура повітря – повинна відповідати нормативам залежно від типу приміщення (житлові, офісні, виробничі).
2. Відносна вологість – підтримується у межах 40–60 % для житлових і громадських будівель, а для спеціалізованих приміщень (серверні, лабораторії) – у більш вузьких діапазонах.
3. Температура поверхонь теплообмінників – важлива для запобігання конденсації та контролю ефективності охолодження.
4. Температура поданого та видаленого повітря – дає змогу визначити ефективність роботи кондиціонера та ступінь охолодження.

Для проведення діагностики використовують сучасні вимірювальні засоби наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Прилади для контролю температурно-вологісних параметрів у системах кондиціонування повітря

Прилад	Призначення	Принцип дії	Переваги	Недоліки	Сфера застосування
Термогігрометр	Вимірювання температури та відносної вологості одночасно	Електронні сенсори вологості та температури	Швидкість, точність, зручність, можливість реєстрації даних	Потребує калібрування, обмежений діапазон	Побутові та промислові системи, експлуатаційний контроль
Психрометр	Визначення відносної вологості повітря	Вимірювання різниці температур сухого і вологого термометрів	Простота, незалежність від електроживлення	Менш зручний, потрібна таблиця або графік для розрахунків	Лабораторії, експертизи, контрольні заміри
Термопара / термометр	Вимірювання температури повітря та поверхонь	Перетворення температури в електричний сигнал	Висока точність, широкий діапазон	Не вимірює вологість, іноді потрібна компенсація	Теплообмінники, повітроводи, контроль обладнання
Інфрачервоний (безконтактний) термометр	Швидке визначення температури поверхонь	Фіксація інфрачервоного випромінювання об'єкта	Зручність, безконтактність, швидкість	Вимірює лише поверхню, залежність від емісійної здатності матеріалу	Повітроводи, теплоізоляція, перевірка перегрівів
Датчики мікроклімату	Безперервний моніторинг температури, вологості, тиску, іноді CO ₂	Цифрові сенсори з автоматичною передачею даних	Постійний контроль, інтеграція з диспетчеризацією	Вища вартість, потреба в системі збору даних	Великі будівлі, серверні, медичні та наукові установи

Основними методами контролю є:

1. Точкові вимірювання – здійснюються у визначених контрольних точках (в зоні подачі повітря, у робочій зоні приміщення, біля повітроводів).
2. Моніторинг у динаміці – передбачає збір даних протягом певного часу, що дозволяє виявити відхилення, пов'язані з режимами роботи системи.
3. Порівняння з нормативними показниками – результати вимірювань зіставляють із вимогами ДБН, EN, ISO та іншими регламентами щодо мікроклімату.

Періодичність контролю, під час технічного обслуговування систем, здійснюється шляхом поточних вимірювань з періодичністю 1–2 рази на місяць у великих системах. Регламентні перевірки проводяться не менше одного разу на сезон. Безперервний моніторинг використовується у критичних приміщеннях (серверні, медичні заклади, виробництва з підвищеними вимогами).

Холодоагент є ключовим робочим середовищем у системах кондиціонування повітря. Його циркуляція забезпечує процеси теплообміну, а від правильності кількості та швидкості руху холодоагенту залежить ефективність та безпека роботи всієї установки, тому діагностика витрат холодоагенту посідає центральне місце в обслуговуванні кондиціонерів.

Основними параметрами для контролю витрат холодоагенту в системах кондиціонування є такі:

1. Маса або об'єм холодоагенту – показник, що відображає фактичну кількість робочої речовини у системі.
2. Тиск у всмоктувальній і нагнітальній лініях – дає змогу визначити баланс роботи компресора та стан теплообмінників.
3. Температура на вході й виході з теплообмінників – допомагає виявити недозаправку або перезаправку системи.
4. Швидкість циркуляції холодоагенту – впливає на рівень охолоджувальної здатності системи.

Обладнання для вимірювання витрат холодоагенту наведено в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Порівняння обладнання для вимірювання витрат холодоагенту

Обладнання	Призначення	Особливості використання	Переваги	Обмеження
Манометричні колектори	Вимірювання тиску в різних точках системи	Використовуються під час діагностики та заправки	Простота, доступність, універсальність	Не визначають масу чи витрату холодоагенту
Вагові станції	Визначення маси холодоагенту при заправці	Використовуються під час технічного обслуговування	Висока точність, простота у використанні	Можливе застосування лише під час заправки/дозаправки
Ультразвукові витратоміри	Безперервний контроль об'ємної витрати	Встановлюються на трубопроводи	Неруйнівний метод, можливість моніторингу	Висока вартість, чутливість до чистоти труб
Коріолісові витратоміри	Вимірювання масових витрат холодоагенту	Інтегруються у систему для постійного контролю	Найвища точність, вимірюють масу безпосередньо	Висока ціна, складність монтажу
Термопари і термометри	Вимірювання температури холодоагенту	Встановлюються на ключових ділянках системи	Простота, доступність, використання з р–h діаграмами	Потребують інтерпретації даних
Датчики тиску (електронні)	Безперервний контроль тиску	Підключаються до систем моніторингу	Автоматизація діагностики, висока точність	Не дають прямого виміру витрат, лише опосередковані дані

Найпоширеніші методи вимірювання витрат холодоагенту:

1. Пряме вимірювання маси холодоагенту – за допомогою вагових платформ під час технічного обслуговування.

2. Непряме визначення – базується на аналізі тискових і температурних характеристик із використанням діаграм холодоагенту (р–h-діаграм).

3. Моніторинг витрат у реальному часі – забезпечується установкою стаціонарних витратомірів на контурі системи.

До типових проблем та відхилень в роботі систем кондиціювання повітря належить недостатня кількість холодоагенту, що призводить до зниження холодопродуктивності, перегріву компресора, підвищеного енергоспоживання. Також надлишкова кількість холодоагенту, яка спричиняє підвищення тиску, ризик гідроударів і пошкодження компресора та нестабільність циркуляції, що може свідчити про часткові засмічення у фільтрах-осушувачах чи капілярних трубках.

Контроль витрат холодоагенту дозволяє підтримувати оптимальну роботу систем кондиціювання, запобігати аварійним ситуаціям і продовжувати ресурс компресорного обладнання. Вчасна діагностика допомагає виявити витоки, неправильну заправку чи дефекти в роботі окремих елементів системи.

Компресор є «серцем» системи кондиціювання, оскільки він забезпечує циркуляцію холодоагенту та підтримання необхідних тискових режимів. Стан компресора безпосередньо впливає на продуктивність, енергоефективність і надійність роботи всієї системи, тому своєчасна діагностика його роботи та виявлення дефектів є одним із ключових завдань технічного обслуговування.

До типових дефектів компресорів можна віднести:

1. Механічні пошкодження: зношування підшипників, руйнування клапанів, знос циліндрів або роторів.

2. Витоки холодоагенту: розгерметизація з'єднань, ущільнень, тріщини в корпусі чи трубопроводах.

3. Порушення електричної частини: обриви обмоток, короткі замикання, перегрів електродвигуна.

4. Гідравлічні дефекти: нестабільна подача холодоагенту, утворення рідинних ударів через неправильну роботу регулюючої арматури.

5. Перегрів компресора: спричинений забрудненими фільтрами, недостатнім рівнем холодоагенту або несправною системою охолодження.

До основних методів діагностики компресорів які є найбільш поширеними можна віднести:

1. Візуальний контроль:

- перевірка наявності масляних плям і слідів холодоагенту;
- огляд корпусу на наявність тріщин чи корозії;
- оцінка шуму та вібрацій під час роботи.

2. Акустична діагностика: використання стетоскопів та акустичних аналізаторів для виявлення нетипових звуків (скрегіт, удари, свист).

3. Вібраційний аналіз:

- вимірювання спектру вібрацій для діагностики стану підшипників і ротора;
- виявлення розбалансування або осьового зсуву.

4. Термографія (тепловізійний контроль):

- виявлення зон перегріву в корпусі компресора;
- оцінка температурного балансу підшипників і електродвигуна.

5. Манометричні вимірювання:

- контроль тиску на вході та виході з компресора;
- виявлення падіння продуктивності через витоки чи знос.

6. Електротехнічні вимірювання

- контроль сили струму, напруги та опору обмоток електродвигуна;
- виявлення проблем з пусковою апаратурою.

Під час обстеження та діагностики виявляються такі ознаки можливих несправностей: підвищений рівень шуму та вібрацій, перегрів корпусу компресора, зниження холодопродуктивності системи, часті спрацювання захисної автоматики, нестабільні значення тиску та температури в контурі.

Своєчасна діагностика компресорів дозволяє виявити несправності на ранніх стадіях, запобігти серйозним аваріям і дорогим ремонтам. Використання комплексних методів (візуальних, акустичних, тепловізійних, вібраційних та електротехнічних) забезпечує повну картину технічного стану компресора та підвищує надійність системи кондиціонування.

Енергоаудит систем кондиціювання – це комплексна процедура оцінки ефективності споживання енергії системою та визначення шляхів її оптимізації. Системи кондиціювання належать до найбільш енергоємних інженерних мереж будівель, а тому контроль їх енергоефективності має важливе значення для зниження витрат, підвищення надійності та екологічної безпеки. До основних завдань енергоаудиту належить:

1. Визначення рівня енергоспоживання системи в різних режимах роботи.
2. Оцінка коефіцієнта енергоефективності (EER, COP) обладнання.
3. Виявлення втрат енергії через витоки холодоагенту, забруднення теплообмінників чи повітропроводів.
4. Встановлення відповідності роботи системи проектним параметрам.
5. Розроблення рекомендацій щодо модернізації та оптимізації роботи системи.

Питання для самоконтролю

1. Назвіть основні параметри мікроклімату контролюються у процесі діагностики систем кондиціювання.
2. Які методи та обладнання застосовуються для вимірювання витрат холодоагенту в системі?
3. Які типові дефекти компресорів зустрічаються в системах кондиціювання та які методи їх діагностики використовуються?
4. Які етапи включає проведення енергоаудиту систем кондиціювання?
5. Як результати енергоаудиту можуть вплинути на ефективність та економічність експлуатації системи кондиціювання?

Лекція 8 Інструментальні методи діагностики

Інструментальні методи діагностики є основою сучасного контролю стану систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціювання. Використання точних вимірювальних приладів дозволяє отримати вірогідні дані щодо параметрів повітряного середовища, роботи обладнання та ефективності усієї системи. Сучасні технології, зокрема автоматизовані системи моніторингу та

IoT-датчики, забезпечують безперервний контроль і можливість аналізу в реальному часі, що значно підвищує якість експлуатації та безпеку об'єктів.

У процесі діагностики систем вентиляції та кондиціонування повітря ключове значення має точність вимірювань основних параметрів. Для цього застосовується спеціалізоване вимірювальне обладнання, яке дозволяє фіксувати швидкість і напрям повітряних потоків, температуру, тиск та газовий склад середовища. Кожен із приладів має своє функціональне призначення та використовується для вирішення певних завдань.

Анемометри призначені для вимірювання швидкості руху повітря та визначення об'ємної витрати. Їх застосовують для балансування вентиляційних систем, перевірки повітрообміну у приміщеннях, оцінки ефективності кондиціонерів, а саме:

1. Крильчасті анемометри – вимірюють швидкість повітря за допомогою обертання крильчатки. Використовуються переважно для середніх і високих швидкостей.

2. Термоанемометри – базуються на принципі охолодження нагрітого сенсора потоком повітря. Вони особливо зручні для вимірювання низьких швидкостей та в повітропроводах малого діаметру.

3. Ультразвукові анемометри – вимірюють швидкість та напрямок потоку за часом проходження ультразвукових хвиль. Застосовуються для високоточного моніторингу у складних умовах.

Термопары використовуються для вимірювання температури повітря, поверхонь теплообмінників, холодильних контурів та повітропроводів. Принцип роботи базується на виникненні електрорушійної сили на з'єднанні двох різновидних металів при різниці температур. Вони дозволяють:

- контролювати стабільність температурних режимів у кондиціонерних системах;
- виявляти теплові втрати та неефективність теплообміну;
- оцінювати роботу випарників та конденсаторів у холодильних установках.

Манометри застосовуються для визначення статичного та динамічного тиску в повітропроводах і холодильних контурах:

1. Рідинні (U-подібні) манометри – прості й надійні, використовуються для точних лабораторних вимірювань.

2. Пружинні манометри – більш зручні в експлуатації, застосовуються для контролю робочого тиску в системах.

3. Електронні манометри – забезпечують високу точність та можливість зберігання і передавання даних.

Манометричні вимірювання є критично важливими для перевірки роботи компресорів, насосів, герметичності систем та балансування вентиляційних мереж.

Газоаналізатори використовуються для визначення складу та концентрації газів у повітрі. У системах вентиляції та кондиціонування вони допомагають:

- оцінювати якість повітря в приміщеннях (визначення рівня CO₂, CO, летких органічних сполук);
- виявляти витіки холодоагентів чи небезпечних газів;
- контролювати відповідність повітряного середовища санітарним нормам.

Сучасні газоаналізатори можуть бути портативними (для локальних вимірювань) або стаціонарними (для безперервного моніторингу).

Таким чином, класичні вимірювальні прилади (анемометри, термопари, манометри, газоаналізатори) забезпечують комплексний контроль ключових параметрів систем кондиціонування. Вони дозволяють отримати базові дані для подальшого аналізу, налаштування й оптимізації роботи обладнання.

Сучасна діагностика систем вентиляції, кондиціонування та теплогазопостачання дедалі більше спирається на автоматизовані системи моніторингу (АСМ). Вони забезпечують безперервний збір, аналіз та обробку даних про параметри роботи обладнання в режимі реального часу. Завдяки цьому оператор отримує не лише фактичні показники, а й можливість виявляти

відхилення на ранніх стадіях, що суттєво підвищує надійність і безпеку експлуатації.

До основних складових АСМ відносять:

1. Датчики – встановлюються у ключових точках системи (повітроводи, теплообмінники, компресори, фільтри) та вимірюють температуру, тиск, вологість, витрату повітря або холодоагенту, концентрацію газів.

2. Контролери та модулі збору даних – збирають інформацію від датчиків, здійснюють її попередню обробку та передають на центральний сервер або комп'ютер.

3. Програмне забезпечення – візуалізує дані у вигляді графіків, таблиць, сигналізує про аварійні ситуації, формує звіти для технічного персоналу.

4. Інтерфейси зв'язку – забезпечують передачу інформації по дротових мережах або бездротових каналах (Wi-Fi, GSM, LoRaWAN тощо).

Більшість автоматизованих систем виконують такі функції:

1. Моніторинг параметрів у реальному часі – температура, вологість, тиск, витрати енергії та холодоагенту.

2. Аварійна сигналізація – миттєве інформування про витоки, перевищення граничних параметрів або відмову обладнання.

3. Аналіз та прогнозування – побудова трендів, визначення закономірностей роботи системи, прогноз зношування елементів.

4. Оптимізація роботи – регулювання режимів вентиляції чи кондиціонування для зниження енергоспоживання та забезпечення комфортного мікроклімату.

Сучасні датчики IoT (Internet of Things, Інтернет речей) стають ключовим інструментом для діагностики та моніторингу систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування. Вони дозволяють збирати дані в режимі реального часу, передавати їх у хмарні сервіси та інтегрувати з автоматизованими системами управління.

Основні характеристики IoT-датчиків:

1. Бездротове підключення – датчики передають інформацію через Wi-Fi, Bluetooth, LoRaWAN, ZigBee або інші протоколи бездротового зв'язку.

2. Компактність і автономність – невеликі розміри та низьке енергоспоживання дозволяють встановлювати їх у важкодоступних місцях, а деякі моделі працюють від батарей кілька років.

3. Широкий спектр контрольованих параметрів – температура, вологість, швидкість повітря, рівень CO₂, наявність летких органічних сполук, тиск, витрати холодоагенту та енергії.

4. Інтеграція з хмарними сервісами та мобільними додатками – дозволяє проводити дистанційний моніторинг та аналіз даних з будь-якого місця.

Під час діагностики систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування використовуються різні інструментальні методи (табл. 8.1), кожен з яких має свої переваги та обмеження щодо точності, швидкості вимірювань і умов експлуатації. Порівняльний аналіз дозволяє визначити найбільш ефективний метод для конкретного завдання.

Таблиця 8.1 – Порівняльний аналіз точності методів

Метод / Прилад	Точність	Швидкість вимірювань	Зручність експлуатації	Основна сфера застосування
Класичні прилади	Висока	Середня	Обмежена	Лабораторні та точкові вимірювання
Автоматизовані системи	Висока	Висока	Середня	Промислові та великі об'єкти
ІоТ-датчики	Середня	Висока	Висока	«Розумні будівлі», онлайн-моніторинг

Питання для самоконтролю

1. Які основні прилади використовуються для вимірювання швидкості повітря, температури, тиску та складу газів у системах вентиляції та кондиціонування?

2. Які переваги та недоліки мають автоматизовані системи моніторингу порівняно з класичними приладами?

3. У чому полягають основні переваги використання IoT-датчиків для діагностики інженерних систем?

4. Які функції виконують датчики, контролери та програмне забезпечення в автоматизованих системах моніторингу?

5. Як порівнюються точність та швидкість вимірювань класичних приладів, автоматизованих систем та IoT-датчиків і в яких ситуаціях кожен метод найбільш ефективний?

Лекція 9 Експлуатаційний контроль і моніторинг

Експлуатаційний контроль і моніторинг систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування є важливим елементом забезпечення надійної та безпечної роботи інженерних мереж. Регулярний контроль дозволяє виявляти дефекти, оптимізувати роботу обладнання та запобігати аварійним ситуаціям. Сучасні технології дозволяють поєднувати традиційні методи перевірок з віддаленим моніторингом та автоматичною діагностикою.

Регулярні планові перевірки проводяться згідно з нормативними документами та технічними паспортами обладнання. Частота перевірок залежить від типу системи, її складності та умов експлуатації:

- системи опалення та кондиціонування – щорічно перед початком сезону;
- системи вентиляції та газопостачання – раз на 3–6 місяців або частіше при інтенсивній експлуатації.

Позапланові перевірки проводяться у разі аварій, несправностей або підозри на порушення режимів роботи. Мета перевірок – своєчасне виявлення несправностей, запобігання аварійним ситуаціям та забезпечення ефективності роботи систем.

Методами експрес-діагностики переважно буває:

1. Візуальний огляд – оцінка стану трубопроводів, вентиляторів, теплообмінників, фільтрів та арматури.

2. Просте вимірювання ключових параметрів – температура, тиск, швидкість повітря, витрати холодоагенту.

3. Швидкі тести герметичності – за допомогою манометрів або газоаналізаторів для виявлення витоків.

4. Використання портативних приладів – анемометри, термопари, газоаналізатори для оперативного контролю.

Перевага експрес-діагностики – швидке виявлення дефектів без зупинки системи.

Віддалений моніторинг використовуються автоматизовані системи та IoT-датчики, що передають дані у хмарні сервіси або на центральний сервер. Дозволяє спостерігати за роботою систем у реальному часі, навіть якщо об'єкт перебуває на великій відстані. Системи можуть автоматично повідомляти про відхилення параметрів або аварійні ситуації.

До переваг віддаленого моніторингу відносять:

- скорочення часу реагування на несправності;
- зменшення витрат на виїзди персоналу;
- можливість прогнозування потенційних проблем.

Аварійні режими виникають при перевищенні допустимих температур, тиску, витрат або у випадку механічних пошкоджень.

До методів виявлення аварійних режимів роботи належать:

- **аналіз даних моніторингу** – автоматичне визначення відхилень від нормальних параметрів;
- **сигналізація датчиків** – подача звукового або електронного сигналу при небезпечних значеннях;
- **регулярна експрес-діагностика** – виявлення механічних та візуальних дефектів;
- **історичний аналіз** – виявлення тенденцій до аварій на основі минулих даних.

Питання для самоконтролю

1. Яка періодичність планових та позапланових перевірок систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування?
2. Які методи експрес-діагностики застосовуються для швидкого виявлення дефектів у системах?
3. У чому полягає принцип роботи віддаленого моніторингу та які його переваги?
4. Які параметри контролюються для виявлення аварійних режимів роботи систем?
5. Як аналіз історичних даних допомагає запобігти аварійним ситуаціям у системах теплогазопостачання та кондиціонування?

Лекція 10 Прогнозування технічного стану систем

Прогнозування технічного стану систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування є ключовим елементом сучасного управління експлуатацією інженерних мереж. Своєчасне визначення тенденцій зношування обладнання та потенційних дефектів дозволяє планувати ремонтні та профілактичні роботи, знижувати ризики аварій та підвищувати ефективність систем.

Прогнозування базується на комплексному аналізі даних, отриманих за допомогою діагностичних приладів, автоматизованих систем моніторингу та історичних записів про експлуатацію. Використання методів прогнозування дозволяє не лише своєчасно виявляти несправності, але й оптимізувати витрати на обслуговування та енергоспоживання, забезпечуючи надійну і безпечну роботу систем у довгостроковій перспективі.

Прогнозування ресурсу обладнання систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування передбачає оцінку залишкового терміну служби елементів систем та ймовірності їх відмови. Основна мета – своєчасне планування ремонтних та профілактичних робіт, щоб уникнути аварійних ситуацій та зберегти ефективність систем.

Методи прогнозування ресурсу поділяються на кілька основних груп:

1. Статистичні методи.

Ґрунтуються на аналізі історичних даних експлуатації обладнання. Виявляють закономірності виникнення несправностей та ступінь зношування елементів. Приклади: методи середнього часу до відмови (MTTF), ймовірнісні моделі відмов, аналіз надійності компонентів.

2. Математичні та фізико-технічні моделі.

Використовують формули та алгоритми для оцінки залишкового ресурсу з урахуванням експлуатаційних навантажень. Моделюють вплив температури, тиску, вологості, корозійних процесів та механічного зношування на працездатність обладнання. Дозволяють прогнозувати знос трубопроводів, теплообмінників, вентиляторів і компресорів у конкретних умовах експлуатації.

3. Експертні методи.

Ґрунтуються на оцінках досвідчених фахівців, які аналізують стан обладнання на основі діагностичних даних та візуального огляду. Поєднують якісні та кількісні показники для визначення ступеня зношування та залишкового ресурсу. Використовуються у складних або нестандартних ситуаціях, коли статистичні чи математичні методи не дають однозначної оцінки.

Трендовий аналіз є одним із основних методів прогнозування технічного стану систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування. Він дозволяє виявляти закономірності змін параметрів обладнання у часі та прогнозувати потенційні відмови або зниження ефективності роботи системи.

Трендовий аналіз ґрунтується на порівнянні показників системи протягом певного періоду часу. Параметри, що аналізуються: температура, тиск, витрата повітря або холодоагенту, швидкість потоків, концентрація газів. Виявлення тенденцій – це збільшення або зниження значень параметрів, що відхиляються від нормальних, сигналізує про погіршення стану обладнання.

Найбільш розповсюдженими джерела даних для трендового аналізу є:

1. Автоматизовані системи моніторингу – збір даних у режимі реального часу.

2. IoT-датчики – дистанційний контроль ключових параметрів.

3. Історичні записи діагностичних вимірювань – результати планових і експрес-перевірок.

Проведення трендового аналізу складається з 5-ти етапів:

1. Збір даних – систематичне фіксування параметрів системи за обраний період.

2. Обробка даних – усунення шумів, нормалізація, побудова часових рядів.

3. Виявлення тенденцій – графічне або статистичне відстеження змін параметрів.

4. Прогнозування – визначення ймовірності відмов або перевищення допустимих значень у майбутньому.

5. Прийняття рішень – планування обслуговування, профілактики або заміни елементів системи.

До переваг трендового аналізу можна віднести такі:

1. Дозволяє прогнозувати технічний стан без зупинки системи.

2. Своєчасне виявлення погіршення параметрів допомагає запобігти аваріям.

3. Оптимізує витрати на ремонт і профілактику, визначаючи пріоритети заміни обладнання.

4. Можливість інтеграції з автоматизованими системами управління та IoT-датчиками для дистанційного контролю.

Цифровий двійник (Digital Twin) – це точна віртуальна модель фізичної системи теплогазопостачання, вентиляції або кондиціонування, яка відображає її реальний стан у режимі реального часу та дозволяє прогнозувати поведінку системи без фізичного втручання. Завдяки цифровим двійникам можна ефективно контролювати, оптимізувати та передбачати роботу інженерних мереж.

Розглянемо декілька основних компонентів цифрового двійника:

1. Віртуальна модель обладнання та системи. Створюється 3D-модель трубопроводів, теплообмінників, компресорів, вентиляторів та іншого обладнання. Модель включає всі параметри фізичних об'єктів: розміри, матеріали, технічні характеристики, точки підключення датчиків.

2. Датчики та сенсори збирають дані про температуру, тиск, швидкість потоків, витрати холодоагенту та повітря, концентрацію газів, вологість тощо. Дані передаються у цифровий двійник у режимі реального часу, забезпечуючи актуальність віртуальної моделі.

3. Аналітичне програмне забезпечення використовує алгоритми обробки даних, машинного навчання та математичне моделювання для прогнозування зносу обладнання та потенційних відмов. Дозволяє будувати сценарії роботи системи, оцінювати ефективність змін у налаштуваннях та виявляти проблемні зони.

4. Інтерфейси візуалізації та управління забезпечують доступ до інформації через графічні панелі, 3D-моделі, діаграми та звіти. Також дозволяють операторам швидко оцінювати стан системи та приймати управлінські рішення.

До основних функцій цифрового двійника можна віднести такі:

1. Моніторинг в реальному часі – постійне спостереження за ключовими параметрами системи.

2. Прогнозування технічного стану – оцінка залишкового ресурсу обладнання та ймовірності відмов.

3. Оптимізація роботи систем – автоматичне регулювання режимів для зниження енергоспоживання та підвищення ефективності.

4. Симуляція сценаріїв – тестування наслідків змін навантаження або виходу з ладу компонентів без зупинки системи.

5. Підтримка прийняття рішень – на основі аналітики та прогнозів визначаються строки обслуговування, ремонту або модернізації.

До переваг використання цифрових двійників відносять:

1. Своєчасне виявлення дефектів.
2. Підвищена точність прогнозів.
3. Економія ресурсів.
4. Масштабованість.
5. Дистанційний контроль і управління.

Цифрові двійники застосовуються на промислових підприємствах (прогнозування зношування трубопроводів, вентиляторів і компресорів, запобігання аварійним ситуаціям), комерційних будівлях (оптимізація роботи систем вентиляції і кондиціонування, економія електроенергії та поліпшення мікроклімату), житлових комплексах (контроль температури та вологості, прогнозування профілактичного обслуговування систем опалення та кондиціонування) та моделювання аварійних сценаріїв (цифровий двійник дозволяє перевіряти наслідки перевантажень або виходу з ладу компонентів без ризику для реальної системи)

Прогнозні моделі дозволяють оцінювати технічний стан систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування, передбачати знос обладнання та планувати профілактичні роботи. Вони поєднують аналітичні, статистичні та цифрові методи для отримання точних прогнозів.

Статистичні моделі:

1. Метод середнього часу до відмови (MTTF) – оцінка середнього ресурсу обладнання на основі історичних даних про відмови.

2. Ймовірнісні моделі надійності – прогнозування ймовірності відмови компонентів системи з урахуванням статистики попередніх несправностей.

3. Аналіз трендів – відстеження змін параметрів системи (тиску, температури, витрат) для прогнозування потенційних проблем.

Математичні моделі.

Використовуються формули та алгоритми, що враховують фізичні та експлуатаційні фактори: навантаження, температуру, тиск, корозію, механічне зношування. Дозволяють моделювати процеси зносу обладнання та оцінювати

залишковий ресурс трубопроводів, компресорів, вентиляторів і теплообмінників. Приклади: моделі деградації трубопроводів, прогноз зниження продуктивності вентиляційних установок, оцінка втрат холодоагенту у системах кондиціонування.

Цифрові двійники та симуляційні моделі.

Цифрові двійники інтегрують реальні дані від датчиків із математичними моделями для прогнозування стану системи. Симуляція сценаріїв – тестування наслідків підвищеного навантаження, виходу з ладу компонентів, аварійних ситуацій без фізичного втручання. Дозволяють визначити оптимальні строки технічного обслуговування та заміни елементів системи.

Моделі на основі машинного навчання.

Використовують історичні дані та поточні показники роботи систем для автоматичного виявлення закономірностей і прогнозування несправностей.

Переваги:

- висока точність прогнозів;
- здатність враховувати комплексні взаємозв'язки між параметрами системи;
- адаптація моделей під специфіку конкретного об'єкта.

Приклади: прогнозування витoku газу, зниження ефективності теплообмінників, відмови компресорів.

Практичне застосування прогнозних моделей знайшло своє застосування в плануванні ремонтів і профілактики (визначення оптимальних строків обслуговування, заміни елементів системи), оптимізації енергоспоживання (прогнозні моделі дозволяють регулювати роботу систем для підвищення ефективності), запобігання аварійним ситуаціям (виявлення потенційних дефектів і збоїв заздалегідь, до їх прояву у реальній системі), масштабування на великі об'єкти (використання моделей на промислових підприємствах, комерційних і житлових комплексах для комплексного контролю та управління).

Питання для самоконтролю

1. Що таке цифровий двійник і як він використовується для прогнозування технічного стану систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування?
2. Які основні методи прогнозування ресурсу обладнання застосовуються на практиці?
3. У чому полягає суть трендового аналізу та які параметри системи при цьому відстежуються?
4. Які переваги використання математичних та симуляційних моделей для оцінки залишкового ресурсу обладнання?
5. Як моделі на основі машинного навчання допомагають прогнозувати несправності і оптимізувати обслуговування систем?

Лекція 11 Комплексна діагностика та забезпечення безпеки

Комплексна діагностика систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування є завершальним етапом навчального курсу і поєднує відомості про організаційні, технічні та інструментальні методи оцінки стану інженерних мереж. На цьому етапі особлива увага приділяється системному підходу, який дозволяє розглядати всі елементи системи як єдине ціле, враховувати взаємозв'язки між компонентами та оцінювати загальний технічний стан.

Комплексна діагностика передбачає інтеграцію даних з різних джерел – результатів гідравлічних і тепловізійних вимірювань, показників автоматизованих систем моніторингу, інформації від IoT-датчиків та історичних записів експлуатації. Такий підхід дозволяє отримати повну картину стану системи, своєчасно виявити потенційні дефекти та запланувати профілактичні або ремонтні роботи.

Особливе значення має забезпечення безпеки персоналу під час проведення діагностичних робіт, оскільки системи теплогазопостачання та кондиціонування працюють під високим тиском, при високих температурах та з використанням небезпечних газів. Знання правил безпеки та використання

спеціального обладнання дозволяє мінімізувати ризики і забезпечити ефективність робіт.

Системний підхід до діагностики передбачає розгляд інженерних систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування як єдиного цілого, де всі елементи взаємопов'язані і впливають один на одного. Такий підхід дозволяє оцінювати не лише окремі компоненти, а й загальну ефективність, надійність і безпеку роботи системи.

Основні принципи системного підходу полягають в цілісності, інтеграції даних, прогнозуванні та плануванні, комплексності оцінки.

Системна діагностики поділяється на чотири етапи:

1. Підготовчий етап. Ознайомлення з документацією системи, схемами трубопроводів і повітроводів. Планування діагностичних робіт з урахуванням безпеки та особливостей експлуатації.

2. Збір та інтеграція даних. Проведення вимірювань і діагностичних процедур: гідравлічні випробування, тепловізійний контроль, аналіз повітрообміну, перевірка герметичності газопроводів. Об'єднання даних в єдину інформаційну систему для комплексного аналізу.

3. Аналіз та оцінка стану. Виявлення дефектів і проблемних зон у системі. Оцінка впливу окремих несправностей на роботу всієї системи.

4. Прийняття рішень та планування заходів. Формування рекомендацій щодо ремонту, профілактики або модернізації; визначення пріоритетності робіт залежно від критичності дефектів.

Інтеграція даних із різних систем є ключовим елементом комплексної діагностики, оскільки дозволяє отримати повну і узгоджену інформацію про стан інженерних систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування. Такий підхід забезпечує більш точну оцінку технічного стану обладнання та підвищує ефективність прийняття рішень щодо обслуговування та ремонту.

Джерелами даних для інтеграції слугують результати вимірювань і діагностичних робіт, автоматизовані системи моніторингу, IoT-датчики та сенсорні мережі, історичні дані експлуатації.

Процес інтеграції даних здійснюється в такому порядку:

1. Збір даних із всіх джерел – забезпечується уніфікація форматів та стандартизація показників.

2. Обробка і нормалізація інформації – видалення шумів, корекція неточностей, приведення даних до єдиних одиниць виміру.

3. Аналітична обробка – використання статистичних, математичних та симуляційних моделей для оцінки технічного стану системи.

4. Візуалізація та звітність – побудова інтерактивних графіків, діаграм і 3D-моделей для зручного відстеження стану системи.

До переваг інтеграції даних можна віднести комплексну оцінку стану системи (дозволяє виявляти дефекти, що можуть залишатися непоміченими при ізольованих перевірках), підвищення точності прогнозів (об'єднання даних з різних джерел дозволяє будувати більш надійні моделі технічного стану), оптимізацію роботи та обслуговування (інтеграція дозволяє пріоретизувати ремонтні роботи та планувати профілактику на основі повного аналізу системи), своєчасне виявлення аварійних ситуацій (автоматичне порівняння параметрів з нормативними значеннями допомагає швидко реагувати на відхилення).

Сучасні діагностичні технології інженерних систем теплогазопостачання, вентиляції та кондиціювання постійно вдосконалюються. Основна мета їх розвитку – підвищення точності діагностики, безпеки персоналу, ефективності роботи обладнання та економії ресурсів.

Використання SCADA-систем, локальних контролерів та IoT-датчиків дозволяє здійснювати моніторинг параметрів у режимі реального часу. Дистанційний контроль зменшує потребу у фізичному доступі до небезпечних або важкодоступних зон. Автоматичне сповіщення про відхилення параметрів дозволяє своєчасно реагувати на потенційні дефекти та аварійні ситуації.

Цифровий двійник створює точну віртуальну копію системи для моделювання різних сценаріїв роботи. Дозволяє прогнозувати зношування

обладнання, оцінювати ефективність профілактичних заходів і оптимізувати енергоспоживання.

Використання штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання для обробки великих обсягів даних про роботу системи. Інтелектуальні алгоритми допомагають оптимізувати режими роботи систем і планувати профілактичні роботи з урахуванням взаємозв'язку між параметрами.

Розвиток точних датчиків температури, тиску, вологості та концентрації газів для комплексного контролю параметрів знижує ризик аварій та підвищує ефективність експлуатації.

Питання для самоконтролю

1. Що таке системний підхід до діагностики інженерних систем і які його основні принципи?
2. Яким чином інтеграція даних із різних джерел підвищує ефективність комплексної діагностики?
3. Які основні заходи безпеки необхідно дотримувати під час проведення діагностичних робіт у системах теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування?
4. Які сучасні технології та інструменти прогнозування та моніторингу систем розглядаються як перспективні для підвищення точності діагностики?
5. Які переваги використання цифрових двійників, інтелектуальних алгоритмів та сенсорних технологій у комплексній діагностиці систем?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Малярєнко В. А. Енергоменеджмент і енергетичний аудит систем електро постачання : конспект лекцій / В. А. Малярєнко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекєтова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекєтова, 2018. – 149 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <http://prints.kname.edu.ua/49576/>, вільний).
2. ДБН В.2.5-20:2018. Газопостачання. – Чинний від 2020–01–06. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2019. – 109 с.
3. Сідак В. С. Інноваційні технології в діагностиці та експлуатації систем газопостачання: навч. посіб. / В. С. Сідак ; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2005. – 227 с.
4. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22 червня 2017 р. № 2118-VIII // Офіц. вісн. України. – 2017. – № 61. – С. 25.
5. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – Чинний від 2022–01–09. – Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2021. – 27 с.
6. Tkachenko R. Innovative approaches to construction using eco-friendly materials for the construction of industrial infrastructure facilities / R. Tkachenko, S. Romanenko, K. Borshchevska, S. Alforov // Modern Technologies, Materials and Structures in Construction. – 2024. – Vol. 21. – № 2. – P. 13–30. – DOI: <https://doi.org/10.63341/vmtmsc/2.2024.15>.
7. Романєнко С. В. Методика вибору альтернативних джерел енергії при теплоенергетичній реновації будинків. / С. В. Романєнко // Комунал. госп-во міст : наук.-техн. зб. ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекєтова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекєтова, 2025. – Вип. 189. – С. 503–512. – DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2025-1-189-503-512>.
8. Assessment of technological losses of hot water in centralized hot water supply systems. Reability and durability of transport engineering structure and

buildings [Electronic resource] / Sergii Romanenko, Olha Maliavina, Viktoriia Hrankina, Halina Blahodarna, Sergii Volik // AIP Conf. Proc. 2684, 030025 (Scopus), 2023. – Electronic text data. – Regime of access: <https://pubs.aip.org/aip/acp/issue/2684/1> <https://doi.org/10.1063/5.0133820>, free (date of the application: 23.09.2025). – Header from the screen.

9. Системи централізованого теплопостачання з інтеграцією відновлювальних джерел енергії : монографія / О. П. Арсеньєва, В. М. Бабаєв, І. В. Білецький [та ін.] ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 217 с.

10. Посібник з енергоаудиту / Пер Шубак, Детлеф Борст, Артем Саф'янц, Анатолій Чернявський. – Мюнхен : Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2020. – 148 с.

11. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Чинний від 2014–01–01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. – 149 с.

12. ДБН В.2.5-39:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі. – Чинний від 2018–01–07. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 56 с.

Електронне навчальне видання

РОМАНЕНКО Сергій Вікторович,
ПАВЛОВСЬКИЙ Сергій Валерійович,
МІЛАНКО Ольга Миколаївна

**ОРГАНІЗАЦІЙНІ ТА ТЕХНІЧНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ СИСТЕМ
ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання
зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,
галузі знань 19 – Архітектура та будівництво,
освітня програма «Цивільна інженерія»)*

Відповідальний за випуск *О. М. Міланко*
Редактор *О. А. Норик*
Комп'ютерне верстання *С. В. Романенко*

План 2025, поз. 274Л

Підп. до друку 26.09.2025. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 4,4.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 8386 від 14.07.2025.