

УДК 697.341

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.1/13>**Бунь В.П.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Баган Т.Г.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦІЇ І КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ДЛЯ ПАЛАТИ В ЛІКАРНІ

У статті досліджено систему вентиляції і кондиціонування повітря для палати лікарні. Основним видом управління системи вентиляції повітря є автоматизоване управління, технічна сутність якого полягає в централізації управління процесами нагріву, охолодження, зволоження повітря для лікарні, що обслуговується, при забезпеченні автоматичного захисту від розвитку аварії в разі виникнення аварійних ситуацій. Для систем кондиціонування повітря лікарні як об'єкта управління характерні збурення на вході (вологість і температура зовнішнього повітря), а так само важливо враховувати температуру і вологість повітря. Висока ефективність системи кондиціонування повітря може бути забезпечена тільки при злагодженій роботі всіх технологічних ланок: секції нагріву, секції охолодження і секції зволоження, що може бути забезпечено застосуванням системи керування. Таким чином, система автоматичного керування процесом нагрівання, охолодження повітря не виконує всіх необхідних функцій з управління та контролю параметрів. Тому розробка системи автоматичного керування технологічними процесами нагріву, охолодження і зволоження повітря є актуальною. В роботі було поставлено за мету розробити систему автоматизації вентиляційної установки в приміщенні спеціального призначення – палата лікарні.

Функції контролю, індикації, сигналізації та регулювання реалізовано на контролері Siemens Climatix POL648, також підбрано інші технічні засоби для системи. Виконано аналіз та синтез системи керування повітря. Розроблена параметрична модель системи чистого приміщення з калорифером нагріву та охолоджувачем. Розраховано каскадну систему регулювання та коефіцієнти ПІ-регуляторів системи.

Спроектована система є дворівневою: I рівень – контролерний, II рівень – супервізорний. Розглянуто основні тенденції розвитку SCADA, проаналізовані основні вимоги та порушення, які не дають обслуговуючому персоналу контролювати процес та робити правильні висновки стосовно роботи автоматизованої системи керування.

На супервізорному рівні знаходиться розроблена HMI/SCADA. Зв'язок між SCADA-системою та контролером відбувається за протоколом Modbus TCP.

Проведено імітаційне моделювання роботи дворівневої системи в реальному часі з використанням контролера Siemens Climatix POL648 та SCADA. Такий підхід при розробці проєкту покращує інформаційно-керуючу систему мікроклімату лікарні та значно заощаджує час на пусконаладжувальні роботи на реальному об'єкті.

Ключові слова: система вентиляції і кондиціонування, мікроклімат лікарні, припливно-витяжна система вентиляції, каскадна схема керування, ПІ регулятор, SCADA.

Постановка проблеми. Головною метою є розробка автоматизованої системи при якій забруднене повітря з адміністративного приміщення не потрапляє в палату лікарні. Об'єктом дослідження є система вентиляції та кондиціонування для лікарні. Головними задачами є подолання проблем при розробці системи керування та створення ефективного рішення автоматизації шляхом створення комплексного підходу для побудови палати лікарні нового рівня [1]. Осно-

вними проблемами, що потребують вирішення на подібних об'єктах є: створення якісної системи вентиляції саме палати; підтримка показників температурного режиму; підтримка показників вологості, зберігання необхідного їх рівня; створення рішення для збереження чистоти повітря; контроль перепаду тиску на фільтрах; контроль роботи електродвигунів вентиляторів; контроль роботи електрокалориферів; контроль роботи водяних охолоджувачів; контроль положення

жалюзі повітряних заслінок; контроль роботи перетворювачів частоти вентиляторів; контроль температури і вологості повітря в приміщеннях; захист електронагрівачів систем від перегріву; відключення системи при пожежі; управління приводами клапанів калориферів і повітроохолоджувачів; SCADA-система, яка була би зручною для їх використання персоналом з різним рівнем кваліфікації [2]. Для вирішення наведених проблем розроблена система автоматизації вентиляційної установки в приміщенні спеціального призначення – палата лікарні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для підтримки чистоти повітря системи вентиляції і кондиціонування у чистих приміщеннях мають відповідати спеціальним вимогам щодо фільтрації повітря, швидкості повітрообміну та перепаду тиску, щоб запобігти забрудненню [3, 4].

Чисті приміщення класифікуються на основі кількості та розміру часток, дозволених на кубічний метр повітря. Загалом, майже всі особливості системи вентиляції і кондиціонування викриваються саме тоді, коли ці системи встановлені у чистих приміщеннях. Найголовнішою ціллю системи вентиляції і кондиціонування таких приміщень є забезпечення оптимальної якості повітря (Таблиця 1) [5].

Таблиця 1

Таблиця оптимальних параметрів повітря

Параметр	Рівень
Рівень чистоти повітря	Клас чистоти: ISO 5-9 або EU GMP A-B
Вологість	40-60%
Температура	20-25°C
Швидкість потоку повітря	0.25-0.5 м/с
Рівень CO ₂	Менше 1000 ppm

Виконано аналіз застосування наступних фільтрів:

- високоефективні повітряні фільтри HEPA (*High Efficiency Particulate Air* – високоефективне утримання часток);
- фільтри попереднього очищення;
- вугільні фільтри;
- багаторазові фільтри.

Високоефективні повітряні фільтри (HEPA) – одні з основних компонентів фільтрації, які використовуються у системах вентиляції та кондиціонування. Вони призначені для захоплення та видалення частинок розміром до 0,3 мікрона з ефективністю 99,97%. Фільтри HEPA необхідні для видалення забруднювачів повітря, включаючи бактерії, віруси, пил, пилок та інші тверді частинки.

Фільтри попереднього очищення. Фільтри попереднього очищення встановлюються перед фільтрами HEPA для видалення з повітря великих часток, таких як пил і сміття. Вловлюючи ці більші частинки, попередні фільтри допомагають подовжити термін служби фільтрів HEPA та підвищити їх загальну ефективність, оскільки останні розраховані на малі частинки.

Вугільні фільтри. Також на додаток до фільтрів HEPA, фільтри з активованим вугіллям часто використовуються для видалення запахів, газів і летких органічних сполук з повітря. Ці фільтри містять активоване вугілля, яке має велику площу поверхні, яка може адсорбувати та вловлювати широкий спектр хімічних забруднюючих речовин. Особливістю є те, що, оскільки ці фільтри видаляють запахи летких органічних сполук, то вони встановлюються майже у всіх системах вентиляції чистих приміщень.

Фільтри, які можна очищати (багаторазові). Деякі системи вентиляції і кондиціонування можуть використовувати фільтри, які можна мити або по іншому чистити, щоб видалити накопичені частинки. Фільтри, які можна очищати, забезпечують економію коштів порівняно з одноразовими фільтрами та часто використовуються в місцях з більшими частинками або де потік повітря відносно чистий. Повітря проходить через фільтри попереднього очищення, багаторазовий фільтр, вугільний фільтр і в кінці через HEPA фільтр.

Щоб забезпечити чистоту приміщення-палати запропоновано спосіб управління тиском, необхідно перевірити різницю тиску чистого приміщення до шлюзів для персоналу та матеріалів, будь-яких чистих приміщень інших класів чистоти, а також до навколишнього середовища. Слід також провести перевірку перепаду тиску на фільтрі. Різниця тиску встановлюється між різними зонами, щоб контролювати напрямок потоку повітря. Різниця тиску між сусідніми зонами ретельно підтримується, щоб забезпечити потік повітря з більш чистих зон до менш чистих. Це запобігає міграції забруднень і допомагає підтримувати бажаний рівень чистоти в кожній зоні. Чисті приміщення та критичні зони часто мають позитивний перепад тиску. Позитивний тиск означає, що тиск повітря всередині чистої палати трохи вищий, ніж у оточуючих приміщеннях. Таке налаштування допомагає запобігти проникненню забрудненого повітря з менш чистих місць у контрольоване середовище. Це гарантує, що будь-які потенційні витоки відбуваються з чистого приміщення в зовнішнє середовище, мінімізуючи ризик забруднення.

Технічне вирішення завдання системи вентиляції і кондиціонування

Одним із головних завдань є вирішення підтримки чистоти повітря в палаті. Для цього на етапі створення будівлі було вирішено побудувати приміщення перед палатою далі назване як шлюз. Це приміщення пов'язане з палатою через загальну вентиляційну систему. На обидва приміщення встановлено давач перепаду тиску. Ідея полягає в тому, що тиск в палаті повинен бути більшим за тиск в шлюзі для того, щоб при відкритті дверей в палату повітря виходило з неї. Таким чином ми зможемо захистити повітря в палаті від забруднення та зберегти мікроклімат [6].

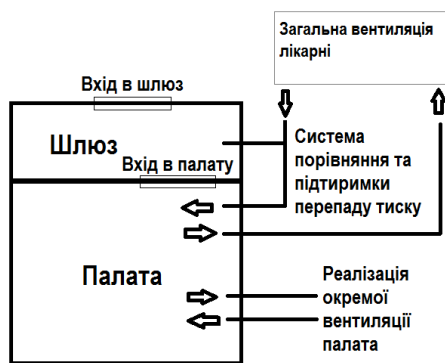


Рис. 1. Приклад вирішення завдання контролю чистоти повітря

Під час проектування системи було виконано наступні завдання:

Створення шлюзу – приміщенні перед палатою де завдяки приводам VAV- клапанів (*Variable Air Volume* – «змінний об'єм повітря») ми створюємо перепад тисків, який дозволяє зберігати мікроклімат палати. Це зроблено для того, щоб в палаті зберігався тиск вищий за шлюз тоді при відкритті дверей чисте повітря буде виходити з приміщення, а брудне не зможе в палату потрапити. Встановлені VAV клапани – це енергоефективна система з автоматичною підтримкою постійного тиску в повітряному каналі.

Основні призначення даної системи: зниження експлуатаційних витрат і компенсація забруднення фільтрів.

З диференціального датчика тиску, який встановлений на платі контролера, автоматика розпізнає тиск в каналі і автоматично вирівнює його шляхом збільшення або зменшення оборотів вентилятора. Припливний і витяжний вентилятори при цьому працюють синхронно.

Компенсація забруднення фільтрів. При експлуатації системи вентиляції фільтри неминуче

забруднюються, збільшується опір вентиляційної мережі і зменшується обсяг подається в приміщення повітря. VAV-система дозволить підтримувати постійну витрату повітря протягом усього терміну експлуатації фільтрів. VAV-система найбільш актуальна в системах з високим рівнем очищення повітря, де забруднення фільтрів призводить до відчутного зниження обсягу повітря, що подається.

Зниження експлуатаційних витрат. VAV-система дозволяє істотно скоротити експлуатаційні витрати, особливо це помітно на припливних системах вентиляції, у яких високе енергоспоживання. Домагаються економії шляхом повного або часткового відключення вентиляції окремих приміщень.

Створена система рециркуляції повітря індивідуально для приміщення палати в яку закладені декілька фільтрів для очистки повітря, один із яких HEPA. HEPA-фільтри відносяться до фільтрів тонкого очищення. Ефективність фільтрів тонкого очищення визначається в лабораторних випробуваннях по відсотку затриманих мікрочастинок. Для таких лабораторних тестів використовується аерозоль з суміші синтетичних мікрочастинок розміром близько 0,3 мкм (від 0,1 до 0,5 мікрон).

Впроваджено систему охолодження повітря та нагріву, в сумі які дають нам можливість осушити повітря до необхідного рівня. Це зроблено для того, щоб підтримувати рівень вологості яких за Держстандартом повинна бути в межах 40–60%.

Як результат, кожна палата буде мати індивідуальну систему вентиляції, яка буде ефективно виконувати поставлені задачі та дозволить підтримувати мікроклімат для комфортного перебування пацієнтів, а простий для розуміння графічний інтерфейс системи дозволить різнорівневому обслуговуючому персоналу швидко та легко редагувати значення параметрів та відслідковувати стан системи в цілому.

Таким чином, основною задачею є комплексний підхід до вирішення поставлених проблем та запропоновані рішення з автоматизації та диспетчеризації системи:

1. Впровадження автоматизованої системи управління.

Проблема неякісного регулювання технологічними параметрами в ручному режимі є найпоширенішою та її рішення постійно еволюціонує. На сьогоднішній день найбільш якісним рішенням даної проблеми є використання програмно-технічного комплексу засобів автоматизації, що включає в себе набір датчиків, які в реальному часі неперервно вимірюють значення технологічних

параметрів, програмовні логічні контролери (ПЛК), які за заздалегідь заданим алгоритмом та налаштуваннями регуляторів керують виконавчими механізмами, які в свою чергу безпосередньо впливають на зміну значень технологічних параметрів. У випадку задачі підтримки температури вентиляційної системи найпоширенішим варіантом є встановлення датчиків з уніфікованими вихідними сигналами, налаштування ПІ-регулятора на ПЛК та використання регулюючих клапанів з електричним або пневматичним приводом.

Для ідентифікації параметрів за критерій прийнятності було обрано метод найменших квадратів. Розроблено каскадну систему керування системою вентиляції. Було обрано ті налаштування, що забезпечують необхідну якість регулювання для досягнення необхідних температурних параметрів у приміщенні, а також забезпечують необхідні показники ефективності обладнання. У якості закону регулювання прийнято пропорційно-інтегральний закон, що забезпечує отримання перехідного процесу з мінімальним показником перерегулювання для найменшої з можливих тривалостей перехідного процесу

Показники якості такого регулювання наведені в Таблиці 2.

Таблиця 2

Прямі показники якості по обом каналам для нагрівача

Показник якості для калорифера	Канал	
	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	0,58	$1,72 \cdot 10^{-3}$
Час регулювання, с	2380	3460
Степінь затухання	0,93	0,88
Перерегулювання, %	20	62

Впровадження системи дистанційного керування технологічним процесом

На рис. 2 представлена схема програмно-технічного комплексу засобів автоматизації, який включає в себе ПК та ПЛК, з'єднані між собою польовою шиною. Нижній рівень АСУ являє собою контролер з вимірювальною та виконавчою апаратурою, а верхній – супервізорний.

Елементною базою нижнього рівня є Siemens Climatix POL648. В даній схемі контролер регулює температуру тиск та вологість в палаті.

Siemens Climatix POL648 вільно конфігурується та є модульним контролером з додатком для вентиляційної установки. Для нього є можливість

розширення функціональних можливостей за допомогою додаткових модулів (модулі входів / виходів та інтерфейсні модулі).

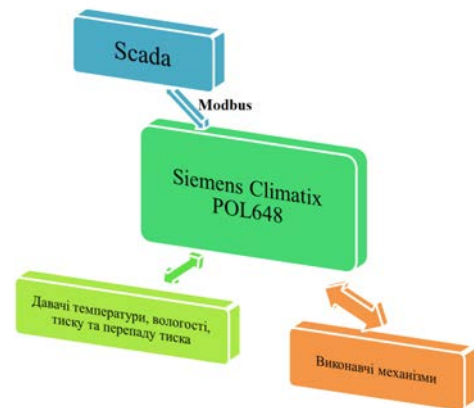


Рис. 2. Структурна схема ПТКЗА

Найбільш розповсюдженим рішенням питання диспетчеризації виробництва є впровадження SCADA-систем (*Supervisory Control And Data Acquisition*), яка надає велику кількість переваг для керування технологічним процесом та виконує наступні функції:

- НМІ (Human-machine interface) – візуалізація об'єкта управління і всіх поточних параметрів (мнемосхеми);

Людино-машинний інтерфейс в SCADA-системах реалізується у вигляді мнемосхем. На мнемосхемах відображається основне обладнання, сигнали, стан регулюючих органів та інші частини системи. Мнемосхеми можуть відображати як загальну картину стану системи, технологічного процесу, так і стан окремих агрегатів, пристроїв, значення параметрів і т. п. НМІ система може мати декілька десятків вікон з мнемосхемами, трендами, алармами і т. д. Оператор може перемикатися між ними і працювати з тим чи іншим елементом технологічного процесу, тобто з тієї чи іншої мнемосхемою. Мнемосхема - основний посередник при передачі інформації від системи оператору або інженеру.

- Збір і архівація всіх даних, які приходять від контролерів;

Обмін даними здійснюється за допомогою певного протоколу (мови передачі даних). Таким чином, комп'ютер зі встановленою SCADA повинен мати відповідні порти і підтримувати протоколи обміну даних за допомогою яких «спілкується» контролер, встановлений на нижньому рівні системи. SCADA збирає дані з усіх контролерів і пристроїв нижнього рівня і зберігає їх в одному місці стільки часу, скільки необхідно.

Такий підхід забезпечує зручний доступ до інформації про процеси в системі і можливість її подальшого аналізу. Доступ до інформації, яку збирає SCADA можуть мати тільки користувачі, яким такий доступ дозволений. Тобто керівник може бачити всю картину мікроклімату в лікарні.

- Відображення даних та оповіщення про події в системі;

Функція, не менш важлива, ніж Людино-машинний інтерфейс і збір та зберігання даних. Після того як ми зібрали всі дані в одному місці і зберегли їх, нам потрібно навчитися виділяти з даних безпосередньо інформацію. Так склалося історично, що один з найбільш зручних для сприйняття методів подачі інформації є тренди. Тренд – графік залежності параметра від часу. SCADA-система дозволяє дивитися як змінюються параметри технологічного процесу в реальному часі а так само переглядати інформацію за певний період в минулому. Тренд дозволяє бачити цілісну картину за конкретними параметрами виробництва, швидко аналізувати цю картину і приймати рішення про подальші дії.

- Ведення журналу подій;

Всі події архівуються системою і в разі необхідності можуть бути переглянуті і використані під час аналізу. SCADA-система веде облік всіх подібних дій і подій. У разі необхідності можна подивитися, хто був на зміні в той чи інший період часу, які були вчинені дії.

- Розмежування прав користувачів;

SCADA система передбачає її використання кількома користувачами з різними повноваженнями. Будь-який користувач при вході в систему повинен пройти авторизацію. Це допомагає фіксувати час виходу на зміну користувачів і захищає систему від несанкціонованого доступу. Відповідно кожен користувач повинен бачити тільки ту інформацію, яка необхідна йому для роботи. В нашому випадку інженер системи, головний лікар, медсестра та обслуговуючий персонал буде мати різні права на користування та можливість змінювати параметри системи. Оскільки частіше змінювання значень мікроклімату будуть реалізовувати медсестри (за технічним завданням) інтерфейс повинен бути для них максимально зрозумі-

лим та не давати можливість змінювати параметри до критичного положення, але інженер повинен мати доступ до всіх функцій системи в тому числі для її перевірки в аварійному режимі роботи. Всі ці функції дозволяють уникнути неприємних наслідків безграмотності або необережності персоналу.

- Реалізація системи звітності;

SCADA-система формує звіти у вигляді таблиць, графіків, діаграм і т.д. Деякі системи мають вбудовану систему звітності, але найчастіше для цього використовується табличний програма MS Excel. В цілому на етапі розробки системи користувач сам може вибрати зручну для нього форму надання звітів по необхідним для нього параметрами і надалі отримувати всю інформацію «в один клік». Дані в SCADA на 100% достовірні так як виключають людський фактор. Система звітності дозволяє вибирати тільки найнеобхіднішу інформацію і робити на підставі неї правильні висновки щодо роботи системи що в свою чергу призводить до оптимізації і поліпшення ефективності роботи.

- Реалізація специфічних функцій управління за допомогою скриптів.

Висновки. У статті досліджено систему вентиляції і кондиціонування повітря для палати лікарні. Для неї запропонована SCADA-система, яка задовольнятиме умовам користувача та буде комфортною під час використання та експлуатації. Головним технічним рішенням є створення додаткового приміщення перед палатою та зберігання перепаду тиску між ними для того, щоб не давати забрудненому повітрю потрапляти в палату. Проведено аналіз фільтрів, які можна було б використати в системі. Щоб забезпечити чистоту приміщення-палати запропоновано спосіб управління тиском. Розроблена система автоматизації вентиляції та кондиціонування повітря для палати лікарні. Проведено імітаційне моделювання роботи дворівневої системи в реальному часі з використанням контролера Siemens Climatix POL648 та SCADA. Такий підхід при розробці проекту покращує інформаційно-керуючу систему мікроклімату лікарні та значно заощаджує час на пусконаладжувальні роботи на реальному об'єкті.

Список літератури:

1. Наказ № 259 від 02.04.2013 Про затвердження Державних санітарних норм і правил «Санітарно-протиепідемічні вимоги до закладів охорони здоров'я, що надають первинну медичну (медико-санітарну) допомогу» Із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства охорони здоров'я № 280 від 01.02.2019.
2. Methods of supporting the microclimate in pharmacological production / Т. Bahan, V. Boun, J. Skovoroda // Актуальные научные исследования в современном мире. ISCIENCE.IN.UA – Переяслав, 2020. – № 4 (60). – С. 17-20.

3. Cleanrooms and associated controlled environments – Part 15: Assessment of suitability for use of equipment and materials by airborne chemical concentration (ISO 14644-15:2017) / Національний стандарт США – США, 2017 – 28 с.
4. Мікроклімат та його вплив на працездатність людини [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/fjogr>
5. Авраменко Д.О. «Мікроклімат приміщень. Види теплопередачі. Теплообмін теплопровідністю. Мікроклімат приміщень. Види теплопередачі. Теплообмін конвекцією», с. 10, березень 2016.
6. Іщейкіна Ю.О. Гігієна та екологія / Ю.О. Іщейкіна, Л.В. Буря. – Україна, 2017. – 305 с.

Boun V.P., Bahan T.H. VENTILATION AND AIR CONDITIONING SYSTEMS FOR A HOSPITAL WARD

The article examines the ventilation and air conditioning system for a hospital ward. The main type of control of the air ventilation system is automated control, the technical essence of which is the centralization of control of the processes of heating, cooling, air humidification for the hospital being served, while providing automatic protection against the development of an accident in case of emergency situations. Hospital air conditioning systems as a control object are characterized by disturbances at the entrance (humidity and temperature of the outside air), and it is equally important to take into account the temperature and humidity of the air. The high efficiency of the air conditioning system can be ensured only with the coordinated operation of all technological links: the heating section, the cooling section and the humidification section, which can be ensured by the use of a control system. Thus, the system of automatic control of the process of heating and air cooling does not perform all the necessary functions of control and control of parameters. Therefore, the development of a system for automatic control of technological processes of heating, cooling and air humidification is relevant. The aim of the work was to develop an automation system for a ventilation unit in a special-purpose room - a hospital ward.

Control, indication, signaling and regulation functions are implemented on the Siemens Climatix POL648 controller, and other technical means for the system have also been selected. The analysis and synthesis of the air control system was performed. A parametric model of a clean room system with a heating radiator and a cooler was developed. The cascade regulation system and coefficients of PI regulators of the system were calculated.

The designed system is two-level: I level - controller, II level - supervisor. The main trends in the development of Scada are considered, the main requirements and violations that do not allow service personnel to control the process and draw correct conclusions regarding the operation of the automated control system are analyzed.

At the supervisor level there is a developed HMI/SCADA. Communication between the SCADA system and the controller is based on the Modbus TCP protocol.

A real-time simulation of the operation of the two-level system was carried out using the Siemens Climatix POL648 controller and SCADA. This approach to project development improves the information management system of the hospital's microclimate and significantly saves time for commissioning work at the real facility.

Key words: *ventilation and air conditioning system, hospital microclimate, supply and exhaust ventilation system, cascade control scheme, PI controller, SCADA.*