

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ ПРИМІЩЕНЬ ЮВЕЛІРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто особливості енергоефективних інженерних систем клімат-контролю, призначених для приміщень ювелірного виробництва. Ювелірне виробництво вимагає суворого контролю параметрів мікроклімату, таких як температура, вологість та чистота повітря, що безпосередньо впливає на якість продукції, стабільність технологічних процесів і комфорт праці. Недотримання цих параметрів може призводити до окислення дорогоцінних металів, погіршення властивостей сплавів, зниження точності обробки та дефектів готових виробів. Розглянуто сучасні підходи до проектування кліматичних систем, які базуються на використанні енергоефективних технологій, таких як теплові насоси, рекуперація тепла, автоматизовані системи вентиляції та інтелектуальне управління HVAC-системами. Значну увагу приділено аналізу перспективних технологій, включаючи застосування Інтернету речей (IoT) для моніторингу мікроклімату в режимі реального часу, а також алгоритмів машинного навчання для оптимізації енергоспоживання.

Ключові слова: енергоефективність, мікроклімат, системи клімат-контролю, ювелірне виробництво, теплові насоси, рекуперація, інтелектуальні системи, енергозберігаюча теплоізоляція.

Abstract

The article considers the features of energy-efficient engineering climate control systems designed for jewellery production facilities. Jewellery production requires strict control of microclimate parameters, such as temperature, humidity and air purity, which directly affects product quality, process stability and working comfort. Failure to comply with these parameters can lead to oxidation of precious metals, deterioration of alloy properties, reduced processing accuracy and defects in finished products. The article discusses modern approaches to the design of climate systems based on the use of energy-efficient technologies such as heat pumps, heat recovery, automated ventilation systems and intelligent control of HVAC systems. Significant attention is paid to the analysis of promising technologies, including the use of the Internet of Things (IoT) for real-time microclimate monitoring, as well as machine learning algorithms for energy optimisation.

Keywords: energy efficiency, microclimate, climate control systems, jewellery production, heat pumps, recovery, intelligent systems, energy-saving thermal insulation.

Вступ

Ювелірне виробництво є технологічно складним процесом, що вимагає особливих умов експлуатації. Одним із ключових факторів, що впливають на якість виробів, є контроль мікроклімату у виробничих приміщеннях. Температурні коливання, надмірна вологість або забруднене повітря можуть негативно позначитися на технологічних процесах, призводячи до дефектів продукції, окислення металів, втрати блиску дорогоцінного каміння та порушення точності з'єднання компонентів [1–3]. Крім того, неправильна організація кліматичного контролю може спричинити дискомфорт для працівників, що знижує їхню продуктивність та може призвести до професійних захворювань.

Сучасні ювелірні виробництва використовують широкий спектр технологічних процесів, включаючи лиття, механічну обробку, шліфування, гальваніку та лазерне зварювання. Кожен із цих процесів має специфічні вимоги до параметрів мікроклімату. Наприклад, у зоні гальванічного покриття необхідна ефективна вентиляція для видалення шкідливих парів, тоді як у приміщеннях, де здійснюється механічна обробка дорогоцінних металів, важливо підтримувати стабільну температуру та низьку вологість, щоб уникнути окислення матеріалів.

Енергоефективність систем клімат-контролю у ювелірному виробництві є важливим аспектом, що впливає як на економічну доцільність роботи підприємства, так і на екологічну стійкість. Використання традиційних систем кондиціонування повітря та опалення часто пов'язане зі значними витратами

енергії, що підвищує собівартість продукції та збільшує викиди парникових газів. Саме тому актуальним завданням є впровадження енергоефективних технологій, що дозволяють забезпечити оптимальні умови праці та виробництва при мінімальному споживанні енергоресурсів [4].

Результати дослідження

Вимоги до мікроклімату в ювелірному виробництві [1, 3, 8, 9, 13]:

1. Температурна стабільність (від 18 до 22°C). Температурні коливання можуть впливати на фізико-хімічні властивості дорогоцінних металів, спричиняючи зміну їхньої пластичності та розширення або стискання матеріалів. Висока температура може викликати прискорене випаровування летких сполук, а надмірне охолодження – конденсацію вологи на поверхні металів, що підвищує ризик корозії. Оптимальний діапазон температур (18-22°C) дозволяє підтримувати стабільність технологічних процесів і комфортні умови для працівників.

2. Контроль рівня вологості (40-60%) для запобігання окисленню металів. Дорогоцінні метали, особливо срібло, піддаються окисленню за підвищеної вологості, що може спричинити появу темного нальоту на поверхні виробів. Висока вологість також сприяє корозії допоміжних металів, таких як мідь або латунь, які використовуються у сплавах. Занадто низький рівень вологості може призвести до електростатичного зарядження матеріалів і накопичення пилу, що негативно позначається на якості обробки. Оптимальний діапазон (40-60%) забезпечує захист металів і комфортні умови праці.

3. Фільтрація повітря від пилу та газоподібних домішок. У процесі виробництва ювелірних виробів виділяється дрібнодисперсний металевий пил, залишки полірувальних паст і газоподібні домішки від згоряння газових сумішей або хімічних реакцій. Накопичення цих забруднень не лише впливає на якість продукції, а й створює загрозу для здоров'я працівників. Фільтрація повітря за допомогою систем очищення (HEPA-фільтри, вугільні фільтри тощо) дозволяє підтримувати високу якість повітря, запобігати осіданню пилу на виробах і забезпечувати безпечні умови праці.

4. Регулювання повітрообміну для видалення токсичних парів відпалу та гальванічних процесів. У ювелірному виробництві широко застосовуються гальванічні процеси покриття металів, що супроводжуються виділенням токсичних парів кислот та інших хімічних сполук. Крім того, процес відпалу металів також може супроводжуватися виділенням летких сполук. Без належної вентиляції ці речовини накопичуються у повітрі, що може призводити до подразнення дихальних шляхів працівників та порушення норм безпеки. Організація ефективного повітрообміну (місцева та загальна вентиляція) дозволяє знижувати концентрацію шкідливих речовин та підтримувати безпечний мікроклімат.

Інженерними рішеннями для енергоефективного клімат-контролю приміщень ювелірного виробництва

1. Використання теплових насосів для опалення та охолодження. Теплові насоси (ТН) є ефективним рішенням для забезпечення енергоефективного опалення та кондиціонування приміщень. Їх застосування має кілька ключових переваг [5, 6, 7]:

- високий коефіцієнт енергоефективності (COP). Теплові насоси забезпечують в 3-5 разів більше теплової енергії, ніж споживають електроенергії. Це значно знижує витрати на опалення у порівнянні з традиційними газовими або електронагрівальними системами.

- універсальність роботи. Сучасні ТН можуть працювати у двох режимах – взимку забезпечувати опалення, а влітку охолоджувати повітря, замінюючи традиційні системи кондиціонування.

- зменшення викидів CO₂. Використання ТН дозволяє скоротити споживання викопного палива, що сприяє екологічності виробництва.

- джерела енергії. Теплові насоси можуть використовувати енергію з ґрунту, води або повітря, що дає змогу адаптувати систему до конкретних умов експлуатації.

2. Системи рекуперації тепла для мінімізації втрат енергії. Рекуперація тепла дозволяє використовувати тепло, яке зазвичай втрачається через вентиляцію або технологічні процеси, для повторного нагріву або кондиціонування повітря. Це сприяє значному зниженню енергоспоживання. Основні переваги [4, 8, 9, 10]:

- економія до 60% теплової енергії. Завдяки повторному використанню теплого повітря витрати на опалення значно зменшуються.

- оптимізація вентиляції. Використання рекуператорів дозволяє подавати в приміщення свіже, але вже підігріте повітря, що зменшує навантаження на системи опалення.

- зниження експлуатаційних витрат. Чим менше тепла втрачається, тим менше необхідно витратити енергії для підтримки мікроклімату.

Технічні рішення: використання пластинчастих або роторних рекуператорів у системах вентиляції; інсталяція теплообмінників на вихідних потоках повітря для відбору теплової енергії; використання системи рекуперації тепла з технологічного обладнання, наприклад, плавильних печей чи компресорних установок.

3. Інтелектуальні системи вентиляції з датчиками якості повітря. В ювелірному виробництві важливо забезпечити не лише подачу свіжого повітря, а й підтримувати його якість на оптимальному рівні, уникаючи забруднення пилом і токсичними випарами. Основні переваги [4, 8, 9, 11]:

- моніторинг в режимі реального часу. Датчики якості повітря дозволяють відстежувати рівень CO₂, вміст токсичних парів та пилу, що особливо важливо при роботі з кислотами та металевими аерозолями.

- автоматичне регулювання повітрообміну. Система адаптується до поточного стану повітря, підвищуючи або знижуючи інтенсивність вентиляції.

- зменшення енергоспоживання. Завдяки адаптивному режиму роботи вентилятори працюють лише за необхідності, що знижує витрати електроенергії.

Технічні рішення: інсталяція датчиків CO₂, летких органічних сполук (VOC) та температури у виробничих приміщеннях; використання енергоефективних вентиляторів із змінною швидкістю обертання; інтеграція системи вентиляції з автоматизованим керуванням HVAC для оптимальної продуктивності.

4. Автоматизоване управління HVAC-системами для оптимізації енергоспоживання. Автоматизація кліматичних систем дозволяє значно покращити ефективність роботи HVAC-обладнання шляхом адаптивного керування та прогнозування параметрів мікроклімату. Основні переваги [9, 10, 12]:

- зменшення надмірного використання енергії. Завдяки датчикам та аналітичним алгоритмам система визначає оптимальний режим роботи обладнання, запобігаючи зайвому енергоспоживанню.

- гнучке управління. Можливість віддаленого контролю за допомогою IoT-платформ дозволяє налаштовувати параметри роботи системи відповідно до потреб виробництва.

- прогнозування енергоспоживання. Використання штучного інтелекту та машинного навчання дозволяє прогнозувати пікові навантаження та заздалегідь коригувати роботу системи.

Технічні рішення: використання SCADA-систем для моніторингу HVAC-обладнання; інтеграція “розумних” контролерів для керування кліматом у режимі реального часу; застосування машинного навчання для оптимізації роботи кліматичних систем.

5. Застосування енергозберігаючих матеріалів у теплоізоляції будівель. Витрати на опалення та кондиціювання можна значно зменшити, якщо ефективно знизити теплові втрати будівлі за допомогою сучасних теплоізоляційних матеріалів. Основні переваги [10, 11, 14, 15]:

- зменшення витрат на опалення та кондиціювання. Якісна теплоізоляція дозволяє скоротити тепловтрати до 40%.

- стабільний мікроклімат. Енергоефективні матеріали зменшують вплив зовнішніх температурних коливань на внутрішній мікроклімат.

- довговічність. Сучасні утеплювачі мають високий термін експлуатації, що знижує потребу в ремонтах.

Технічні рішення: використання пінополіуретану, мінеральної вати та аерогелів як утеплювачів; інсталяція енергозберігаючого скління з низькоемісійним покриттям; використання “тепліх” фасадних систем та герметичних конструкцій для мінімізації втрат енергії.

Висновки

Енергоефективні системи клімат-контролю відіграють ключову роль у забезпеченні оптимальних умов для ювелірного виробництва. Використання сучасних інженерних рішень, таких як теплові насоси, системи рекуперації тепла, автоматизоване керування HVAC, інтелектуальні вентиляційні системи та енергозберігаючі матеріали, дозволяє значно зменшити енергоспоживання та підвищити ефективність виробничих процесів.

Автоматизація та впровадження цифрових технологій (IoT, штучний інтелект, Big Data) забезпечують гнучке управління мікрокліматом, підвищують стабільність технологічних параметрів та

знижують операційні витрати. Застосування рекуперації тепла дозволяє ефективно використовувати вторинну енергію, мінімізуючи втрати, а інтелектуальні системи вентиляції забезпечують високу якість повітря та безпеку працівників.

Комплексний підхід до енергоефективності в ювелірному виробництві сприяє зниженню екологічного впливу, оптимізації використання ресурсів та підвищенню конкурентоспроможності підприємств. Подальші дослідження можуть бути зосереджені на інтеграції відновлюваних джерел енергії, розробці адаптивних алгоритмів управління кліматичними системами та вдосконаленні матеріалів для термоізоляції.

Таким чином, впровадження енергоефективних рішень у кліматичні системи ювелірних підприємств є стратегічно важливим кроком для підвищення продуктивності, зменшення витрат та забезпечення екологічної безпеки виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – 96 с.
2. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція будівель. – Київ: Мінрегіон України, 2021. – 48 с.
3. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Інженерне обладнання будівель і споруд. Вентиляція і кондиціонування. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2008. – 26 с.
4. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо використання (ISO 50001:2018, IDT). – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 32 с.
5. Низькопотенційна енергетика: навчальний посібник / А.О. Редько та ін.; Під ред. Академіка НАНУ А.А. Долинського. – Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2016. – 412 с.
6. Особливості функціонування теплових насосів в системах тепло- та холодопостачання / О.І. Ободяньська, А.С. Бровко // І науково-технічна конференція ФБТЕГП ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2021. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/11737>.
7. Використання енергії навколишнього середовища за допомогою теплових насосів / О.І. Ободяньська, О.А. Іванов, К.Р. Войновський // Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві» (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2020. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/view/10834>.
8. Джеджула В.В. Вентиляція та кондиціонування громадських об'єктів: навчальний посібник / Джеджула В.В. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 71 с.
9. Огляд систем вентиляції повітря громадських будівель / О.І. Ободяньська, Г.О. Меньшиков // Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція “Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи” (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2020. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2020/paper/view/8620/7192>.
10. Теоретичні засади та загальна концепція енергоефективного будівництва / О.І. Ободяньська, Р.І. Пономаров // І науково-технічна конференція ФБТЕГП ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2021. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/11845>.
11. Слободян Н.М. Організація та технологія проєктування систем теплопостачання та вентиляції: навчальний посібник / Слободян Н.М., Панкевич О.Д., Ободяньська О.І. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 102 с.
12. Пусконаладжувальні роботи в інженерних системах / О.І. Ободяньська // ІІІ науково-технічна конференція ФБЦЕІ ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2024. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2024/paper/view/20526/17023>.
13. Налагодження та експлуатація систем вентиляції / Ободяньська О.І., Дубіняк В.В. // Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві» Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2024. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2024/paper/view/22487>.
14. Сучасні енергоефективні будівельні матеріали та конструкції / О.І. Ободяньська, А.О. Блянюк // Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність в галузях економіки України» (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2023. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2023/paper/viewFile/19133/15887>.
15. Інноваційні технології для внутрішнього утеплення будівель / О.І. Ободяньська, І.О. Забіяка, В.В. Грибик // І науково-технічна конференція ФБТЕГП ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2021. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/11925>.

Ободяньська Ольга Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Мельник Олександр Віталійович – магістрант, група ТГ-23мз факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, e-mail: melnikolex@gmail.com.

Obodyanska Olha – PhD, associate professor of department of engineering systems in construction Vinnytsia National Technical University, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Melnyk Oleksandr – master's student, group TG-23 of the Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, e-mail: melnikolex@gmail.com.