УДК 697.9

О. О. Горюн
О. О. Зелений
Д. О. Пастух

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА АКУСТИЧНИЙ КОМФОРТ ЯК КРИТЕРІЇ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТОРГОВЕЛЬНО-РОЗВАЖАЛЬНИХ ЦЕНТРІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто основні критерії вибору обладнання систем вентиляції торговельно-розважальних центрів з урахуванням вимог енергоефективності та акустичного комфорту. Проаналізовано особливості застосування пластинчастих і роторних теплоутилізаторів, їхні експлуатаційні характеристики та можливості зменшення енергетичних витрат за рахунок утилізації теплоти витяжного повітря. Розглянуто вплив аеродинамічного опору елементів вентиляційної системи на споживання електроенергії вентиляторами з використанням показника питомої потужності SFP. Окрему увагу приділено основним джерелам шуму та засобам його зниження. Обґрунтовано доцільність комплексного підходу до вибору вентиляційного обладнання з урахуванням теплотехнічних, аеродинамічних та акустичних характеристик.

Ключові слова: торговельно-розважальний центр, вентиляція, енергоефективність, рекуперація теплоти, аеродинамічний опір, акустичний комфорт.

Abstract

The paper examines the main criteria for selecting ventilation equipment for shopping and entertainment centers, taking into account energy efficiency and acoustic comfort requirements. The features of plate and rotary heat recovery units, their operational characteristics, and their potential to reduce energy consumption through exhaust air heat recovery are analyzed. The influence of aerodynamic resistance of ventilation system components on fan electricity consumption is considered using the Specific Fan Power (SFP) indicator. Particular attention is paid to the main sources of noise and methods of its reduction. The feasibility of an integrated approach to ventilation equipment selection, considering thermal, aerodynamic, and acoustic characteristics, is substantiated.

Keywords: shopping and entertainment center, ventilation, energy efficiency, heat recovery, aerodynamic resistance, acoustic comfort.

Вступ

Сучасні тенденції проєктування та експлуатації великих громадських будівель, зокрема торговельно-розважальних центрів (ТРЦ), характеризуються жорсткими вимогами до мінімізації енергоспоживання за одночасного гарантування високих стандартів внутрішнього середовища. Вентиляційні системи таких об'єктів споживають значну частку загального обсягу енергоресурсів, що зумовлює гостру необхідність впровадження ефективних технічних рішень, зокрема систем рекуперації теплоти витяжного повітря.

З іншого боку, інтенсифікація повітрообміну та робота потужного вентиляційного обладнання неминуче супроводжуються зростанням аеродинамічного опору й шумового навантаження. Забезпечення нормативного акустичного комфорту є критичним чинником для внутрішнього простору ТРЦ, оскільки надмірний рівень звукового тиску негативно впливає на відвідувачів та персонал. Проєктування таких систем має здійснюватися з урахуванням нормативних вимог до параметрів внутрішнього середовища, повітрообміну та енергозбереження [1]. Відтак, розробка комплексних критеріїв вибору вентиляційного обладнання, які гармонійно поєднують показники енергетичної ефективності та акустичної безпеки, є актуальним науково-технічним завданням.

Результати дослідження

Енергетичний аспект: утилізація теплоти витяжного повітря. Одним із основних напрямів підвищення енергоефективності припливно-витяжних систем вентиляції торговельно-розважальних центрів є утилізація теплоти витяжного повітря. Застосування теплоутилізаційного обладнання дає

змогу зменшити теплове навантаження на системи опалення та кондиціонування завдяки використанню теплоти повітря, що видаляється з приміщень. Серед найбільш поширених рішень виділяють пластинчасті та роторні теплоутилізатори, які відрізняються принципом роботи, температурною ефективністю та експлуатаційними характеристиками [2].

Пластинчасті рекуператори забезпечують передавання теплоти через роздільну теплообмінну поверхню без безпосереднього контакту припливного та витяжного повітряних потоків. Це мінімізує ризик перенесення запахів і забруднень, що є важливою перевагою для торговельно-розважальних центрів, зокрема приміщень закладів харчування. Температурна ефективність таких пристроїв залежно від конструкції та режиму роботи зазвичай становить близько 50–75 %. До основних обмежень належить ризик обмерзання теплообмінної поверхні за низьких температур зовнішнього повітря, що може потребувати застосування попереднього підігріву або циклів відтаювання.

Роторні рекуператори працюють за регенеративним принципом: теплота накопичується в обертовому теплообмінному елементі та передається припливному повітрю. Їхня температурна ефективність може досягати 75–85 % [2], а за використання відповідних матеріалів теплообмінника можливе також часткове перенесення вологи між повітряними потоками. Водночас такі установки мають рухомі елементи, потребують електроенергії для приводу ротора та допускають певне перетікання повітря між потоками, що необхідно враховувати під час вибору обладнання для приміщень із підвищеним рівнем забруднення витяжного повітря. Основні відмінності пластинчастих і роторних теплоутилізаторів узагальнено в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика основних типів теплоутилізаторів

Критерій порівняння	Пластинчастий рекуператор	Роторний рекуператор
Температурна ефективність, %	50–75	75–85
Утилізація вологи	Відсутня (крім ентальпійних моделей)	Часткова
Перетікання повітря між потоками	Практично відсутнє за умови герметичності	Можливе, залежить від конструкції
Ризик обмерзання взимку	Підвищений за низьких температур	Наявний, залежить від режиму роботи
Аеродинамічний опір	Залежить від конструкції та витрати повітря	Залежить від конструкції та витрати повітря
Вплив на акустичні характеристики	Додаткові втрати тиску збільшують навантаження на вентилятори	Додаткові втрати тиску та механічний шум приводу ротора

Водночас температурна ефективність теплоутилізатора не є єдиним критерієм оцінювання його енергетичних характеристик. Важливим чинником є аеродинамічний опір теплообмінного елемента, який створює додаткові втрати тиску в припливному та витяжному повітропроводах. Для подолання цього опору вентиляторам необхідно забезпечувати більший повний тиск, що за незмінної продуктивності системи призводить до збільшення споживання електроенергії.

Для оцінювання енергетичних витрат на переміщення повітря застосовують показник питомої потужності вентиляторів SFP (Specific Fan Power), який визначається як відношення споживаної електричної потужності вентилятора до об'ємної витрати повітря:

$$SFP = \frac{P_{\text{el}}}{L}, \tag{1}$$

де P_{el} – споживана електрична потужність вентилятора, Вт;

L – об'ємна витрата повітря, м³/с.

Збільшення аеродинамічного опору теплоутилізатора за однакової витрати повітря зумовлює зростання необхідного тиску та, відповідно, питомої потужності вентиляторів. Таким чином, під час вибору теплоутилізаційного обладнання для систем вентиляції торговельно-розважальних центрів необхідно враховувати не лише його здатність до повернення теплоти, а й додаткові витрати електроенергії на подолання аеродинамічного опору [3, 4].

Аеродинамічні та акустичні характеристики вентиляційного обладнання. Важливим критерієм вибору вентиляційного обладнання для торговельно-розважальних центрів є забезпечення нормативних параметрів акустичного комфорту. Основними джерелами шуму у вентиляційних системах є вентилятори, рух повітря в повітроводах, а також місцеві опори, фасонні елементи, регулювальні пристрої та повітророзподільні решітки. Виникнення аеродинамічного шуму значною мірою пов'язане з турбулентністю повітряного потоку, зміною його швидкості та вихроутворенням у місцях зміни напрямку або перерізу повітроводів [4, 5].

Одним із чинників, що впливає на акустичні характеристики системи, є швидкість руху повітря. Її надмірне збільшення може супроводжуватися зростанням рівня аеродинамічного шуму, тому під час проєктування необхідно забезпечувати раціональний вибір перерізів повітроводів і повітророзподільних пристроїв. Особливого значення це набуває для торговельних галерей, зон відпочинку, закладів харчування та кінотеатрів, де акустичний комфорт безпосередньо впливає на умови перебування відвідувачів і роботу персоналу. Вимоги до захисту від шуму в громадських будівлях визначаються відповідними нормативними документами [6].

Для зниження шумового навантаження у вентиляційних системах застосовують канальні та пластинчасті шумоглушники, гнучкі віброізоляційні вставки, віброізоляційні опори вентиляційного обладнання, а також конструктивні рішення, спрямовані на зменшення турбулентності повітряних потоків. Водночас використання шумоглушників супроводжується додатковими втратами тиску, що необхідно враховувати під час визначення параметрів вентиляторів та оцінювання питомої потужності системи.

Таким чином, забезпечення акустичного комфорту має здійснюватися на етапі комплексного проєктування вентиляційної системи шляхом узгодження аеродинамічних параметрів, характеристик вентиляційного обладнання та засобів шумозниження. Це дає змогу уникнути надмірного шумового навантаження без необґрунтованого збільшення енергетичних витрат на роботу системи вентиляції [4, 5, 6].

Комплексний підхід до вибору вентиляційного обладнання. Розглянуті аспекти свідчать про необхідність комплексного підходу до вибору обладнання систем вентиляції торговельно-розважальних центрів. Під час проєктування доцільно враховувати взаємозв'язок між ефективністю утилізації теплоти, аеродинамічним опором елементів системи, споживанням електроенергії вентиляторами та акустичними характеристиками обладнання. Оптимальне технічне рішення має забезпечувати необхідний повітрообмін і комфортні умови перебування людей за мінімально можливих експлуатаційних витрат.

Висновки

У роботі розглянуто основні критерії вибору обладнання систем вентиляції торговельно-розважальних центрів з урахуванням вимог енергоефективності та акустичного комфорту. Проведено порівняння пластинчастих і роторних теплоутилізаторів, визначено їхні основні переваги та експлуатаційні обмеження. Встановлено, що оцінювання ефективності рекуперації теплоти необхідно здійснювати з урахуванням додаткового аеродинамічного опору обладнання та пов'язаного з ним зростання витрат електроенергії на роботу вентиляторів.

Розглянуто основні джерела аеродинамічного та механічного шуму у вентиляційних системах і способи його зниження. Обґрунтовано доцільність комплексного підходу до вибору вентиляційного обладнання, який передбачає одночасне врахування теплотехнічних, аеродинамічних та акустичних характеристик. Такий підхід сприяє підвищенню енергетичної ефективності систем вентиляції та забезпеченню належного акустичного комфорту в приміщеннях громадських будівель.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2013-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 144 с.
2. Mardiana-Idayu A., Riffat S. B. Review on heat recovery technologies for building applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012. Vol. 16, Issue 2. P. 1241–1255. DOI: 10.1016/j.rser.2011.09.026.
3. ДСТУ EN 16798-3:2019. Енергоефективність будівель. Вентиляція будівель. Частина 3. Вентиляція в нежитлових будівлях. Експлуатаційні вимоги до систем вентиляції та кондиціювання повітря.
4. Жуковський С. С., Довгалюк В. Б. Аеродинаміка вентиляції : навч. посібник. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2014. 376 с.

5. Горюн О. О., Скуйбіда Я. Є., Пастух Д. О. Шляхи підвищення акустичної ефективності систем вентиляції та кондиціонування. Матеріали LIV науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 24-27 березня 2025 р. Вінниця, 2025. С. 1873-1875.
6. ДБН В.1.1-31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму. [Чинний від 2014-06-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 50 с.

Горюн Олег Олегович *– PhD, старший викладач кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет ORCID: 0000-0001-5678-835X, e-mail: oleggoriun@vntu.edu.ua.*

Зелений Олексій Олексійович — здобувач групи ТГ-26м факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mrgreen12@ukr.net.

Пастух Дмитро Олександрович — здобувач групи СМ-23б факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: pastuhd48@gmail.com.

Oleh Horiun *— PhD, senior lecturer of the department of engineering systems in construction, faculty of construction, civil and environmental engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ORCID: 0000-0001-5678-835X, e-mail : oleggoriun@vntu.edu.ua.*

Oleksii Zelenyi — student of the TG-26m group of the Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mrgreen12@ukr.net.

Dmytro Pastukh — student of the Sm-23b group of the Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: pastuhd48@gmail.com.