УДК 697.91

ПРОДУКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ: ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА НАПРЯМКИ ВИРІШЕННЯ

Джеджула В. В.

У статті досліджено основні проблеми забезпечення нормативних повітрообмінів у приміщеннях громадських будівель. Розглянуто сучасні нормативні вимоги до повітрообмінів офісних приміщень. Досліджено динаміку концентрації CO_2 у повітрі робочої зони офісного приміщення при природній та механічній вентиляції з повітрообмінами, що відповідають допустимому і оптимальному рівню. Запропоновано скориговані значення питомої витрати зовнішнього повітря на одну людину для типових офісних приміщень, що дозволяє мінімізувати витрату зовнішнього повітря за умови не перевищення ГДК концентрації CO_2 у внутрішньому повітрі. Використання запропонованого підходу дозволить зменшити споживану потужність на нагрів повітря та підвищити енергетичну ефективність систем, зокрема одного з показників, що її характеризують – питому вентиляційну потужність SFP.

Ключові слова: *вентиляція, продуктивність, повітрообмін, вуглекислий газ, енергоефективність*

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ: ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

Джеджула В. В.

В статье исследованы основные проблемы обеспечения нормативных воздухообменов в помещениях общественных зданий. Рассмотрены современные нормативные требования к воздухообменам офисных помещений. Исследована динамика концентрации CO_2 в воздухе рабочей зоны офисного помещения при естественной и механической вентиляции с воздухообменами, соответствующими допустимому и оптимальному уровню. Предложено скорректированные значения удельного расхода наружного воздуха на одного человека для типичных офисных помещений, что позволяет минимизировать расход наружного воздуха при условии не превышения ПДК концентрации CO_2 во внутреннем воздухе. Использование предложенного подхода позволит уменьшить потребляемую мощность на нагрев воздуха и повысить энергетическую эффективность систем, в том числе одного из показателей, ее характеризующих - удельной вентиляционной мощности SFP.

Ключевые слова: *вентиляция, производительность, воздухообмен, углекислый газ, энергоэффективность*

PRODUCTIVITY OF SYSTEMS OF VENTILATION OF CIVIL BUILDINGS: PROBLEMS OF PROVIDING AND SOLUTION

Djedjula V.

In article the main problems of ensuring standard air exchanges in rooms of public buildings are investigated. Modern standard requirements to air exchanges of office rooms are considered. Dynamics of concentration of CO_2 in air of a working zone of office room at natural and mechanical ventilation with the air exchanges corresponding to an admissible and optimum level is investigated. It is offered the corrected values of a specific consumption of external air on one person for typical office rooms that allows to minimize a consumption of external air on condition of not excess of maximum concentration limit of concentration of CO_2 in internal air. Use of the offered approach will allow to reduce power consumption by heating of air and to increase power efficiency of systems, including one of indicators, it characterizing - the specific ventilating power of SFP.

Keywords: *ventilation, productivity, air exchange, carbon dioxide, energy efficiency*

Вступ. Постановка проблеми. Вентилювання приміщень дозволяє вирішити ряд

© Джеджула В. В.

важливих задач направлених на створення необхідних мікрокліматичних умов у приміщеннях. Подача зовнішнього повітря і видалення забрудненого здійснюється складними інженерними системами, що складаються з нагнітачів – вентиляторів, розподільчих пристроїв, мереж, систем автоматичного управління та інших ланок. Системи вентиляції є одними з найбільш енергоємних внутрішніх інженерних мереж і при значних повітрообмінах споживання теплової і електричної енергії можуть у рази переважати споживання енергії системами опалення. У сучасних нормативних документах [1, 2] наведено низку вимог до проектування, монтажу, налагодженню і експлуатації систем вентиляції, головними з яких є вимоги до енергозбереження. Реалізація проекту систем вентиляції не повинна обмежуватися лише розробкою проектних рішень, моніторинг реалізації положень проекту повинен здійснюватися у всьому його життєвому циклі. Зазвичай найбільше проблем виникає на стадії налагодження систем до проектних параметрів. Однією з найголовніших характеристик мережі є загальна витрата повітря, а у приміщенні - повітрообмін. Нормативами заборонено зниження продуктивності систем відносно мінімально-допустимих значень, тоді як завищення продуктивності також має ряд значних наслідків, в першу чергу енергетичних. Зважаючи на значне розповсюдження у практиці будівництва громадських будівель постає задача дослідження основних проблем вентиляції приміщень офісного типу.

Аналіз останніх публікацій. Питанням вентиляції приміщень присвячено ряд наукових публікацій і нормативних документів. Зокрема, основні вимоги до систем вентиляції наведені у нормативних документах ДБН В. 2.5-67:2013 [1], ДСТУ Б А.3.2-12:2009 [2]; питанням енерго-збереження в системах вентиляції і кондиціювання приділяється значна увага у роботах [3-5]; загальні питання вентилювання розглянуті у [6-8]. Але не вирішеними залишаються питання обґрунтування повітрообміну приміщень громадських будівель за умов мінімізації витрат енергії за умови дотримання нормативних значень концентрації вуглекислого газу у внутрішньому повітрі.

Метою статті є дослідження динаміки концентрації вуглекислого газу у повітрі типового офісного приміщення при різних способах вентилювання для формування рекомендацій щодо мінімізації витрат енергії.

Для вирішення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Дослідити основні проблеми забезпечення нормативних повітрообмінів у приміщеннях громадських будівель.
2. Розглянути сучасні нормативні вимоги до повітрообмінів офісних приміщень.
3. Проаналізувати наслідки формування нормативних повітрообмінів у офісних приміщеннях за критерієм концентрації CO_2 у внутрішньому повітрі.

Виклад основного матеріалу. Діючі державні будівельні норми [1,2] регламентують діапазон нормативних витрат зовнішнього повітря в залежності від рівня забрудненості внутрішнього повітря та вибраних умов мікроклімату. Даний підхід, на відміну від попереднього, що регламентувався скасованим БНіП 2.04.05, дозволяє проектувальнику самостійно обирати необхідну продуктивність систем вентиляції громадських будівель в межах допустимих діапазонів. Таке рішення дозволяє зменшувати енергоспоживання систем вентиляції, зменшувати теплове навантаження на систему кондиціювання і опалення.

Досягнення проектних витрат потребує комплекс заходів направлених на вимірювання параметрів мережі та обладнання і визначення шляхів усунення можливих проблем. Пускові і налагоджувані роботи систем вентиляції передбачають індивідуальні і комплексні випробовування однією з умов проведення яких є налагодження на проектні витрати повітря. Основними причинами можливих проблем при налагодженні систем можуть бути: помилки проектних рішень – неправильно виконаний аеродинамічний розрахунок мережі, невірно підібране обладнання, не враховані у проекті пристрої для балансування мережі та інше. До другого джерела проблем можна віднести відхилення від проектних рішень на стадії монтажу, що здійснюються монтажними організаціями самостійно, або за вимогою замовника. Третім джерелом є відсутність компетентних фахівців з налагодження мереж, необхідного вимірювального обладнання у налагоджувальної організації.

До найбільш розповсюджених проблем пов’язаних з продуктивністю систем, що зустрічаються при налагодженні систем вентиляції можна віднести: неможливість досягнути загальної проектної витрати повітря, не можливість досягнути проектного розподілу витрати повітря у мережі, завищення продуктивності в цілому або у окремих гілках системи.

Витрата повітря у системі повинна відповідати проектному значенню. У випадку, коли у

проекті вірно підібрано вентиляційне обладнання, основними причинами зниження продуктивності можуть бути відхилення від проектних рішень, додаткові елементи системи, що внесені з метою врахування особливостей прокладання мережі повітроводів монтажною організацією, значне забруднення фільтру, калориферу, розподільчих пристроїв і повітроводів під час проведення монтажу, використання обладнання та елементів системи, що подібні але не аналогічні за характеристиками проектним. Вводити в експлуатацію системи у яких не досягнуто проектних значень продуктивності заборонено. Більшість з вищеозначених проблем можна вирішити: забрудненість елементів мережі – чищенням, збільшення опору мережі – розвантаженням її, наприклад заміною окремих ділянок. Значну увагу необхідно приділити повітрозабірним і викидним пристроям, де часто спостерігаються значні втрати тиску. Вирішення проблем пов'язаних з відхиленням від проектних рішень можна здійснити тільки шляхом виправлення допущених помилок: внесенням змін у проект та заміни елементів вентиляційних мереж.

Не рідкими є випадки, коли налагодження здійснюється з забезпеченням більшої, ніж проектна витрати повітря. У даному випадку системи справляються з покладеними на них задачами – забезпечення приміщень чистим повітрям, видаленням запахів і шкідливостей. Але перевитрата повітря також створює ряд проблем. У першу чергу це проблеми пов'язані зі збільшенням споживання енергії на роботу систем, збільшенням аеродинамічного шуму та зносу обладнання. Зважаючи на значне розповсюдження будівель офісного типу постає необхідність дослідити сучасні вимоги до повітрообміну в офісних приміщеннях та наслідки їх зміни з позиції дотримання нормативних меж концентрації вуглекислого газу.

Державні будівельні норми ДБН В 2.5-67:2013 [1] регламентують наступне визначення мінімальних витрат зовнішнього повітря для офісних приміщень:

$$L_{\min} = n \cdot q_p + S \cdot q_B \tag{1}$$

де n – кількість людей у приміщенні, чол.;

q_p – мінімальна витрата зовнішнього повітря на одну людину, дм^3/ (с×людина);

$q_в$ – мінімальна витрата зовнішнього повітря на розбавлення будівельних забруднень, дм^3/ (с×м^2);

S – площа приміщення, м^2.

Зовнішнє повітря при надходженні у приміщення асимілює надлишкову вологу, тепло, вуглекислий газ, запахи та інші шкідливості. Сучасні офісні приміщення характеризуються значною різноманітністю значень щільності офісних працівників. Згідно [1, с. 133] при проектуванні систем вентиляції зі змінним режимом роботи за фактичною потребою слід враховувати допустимий рівень CO_2 у приміщенні. Витрата повітря може змінюватися в межах від максимальної до мінімальної визначеної норми, однак у період використання приміщення слід забезпечувати щонайменше мінімальну витрату повітря. Якщо офісне приміщення експлуатується певний час, то, зазвичай, концентрація будівельних забруднень у ньому мінімальна. Основними шкідливостями, що наявні у приміщеннях офісного типу є вуглекислий газ, який у великій концентраціях є шкідливим для здоров'я, надлишкове тепло і волога.

У багатьох офісних приміщеннях вентиляція приміщень відбувається лише за допомогою природної витяжної вентиляції що компенсується інфільтрацією, неефективно працюючої механічної витяжної або припливно-витяжної вентиляції.

Диференційне рівняння, що характеризує баланс вуглекислого газу у повітрі приміщення у будь-який період часу можна представити у вигляді [8]:

$$L \cdot c_p dt + Bdt - L \cdot cdt = Wdc \tag{2}$$

де C_P – концентрація CO_2 в повітрі малих і середніх міст, приймається 0,4 л/м^3;

B – надходження вуглекислого газу від одного офісного працівника, 23 л/час [8];

L – повітрообмін у приміщенні, м^3/год;

W – об'єм приміщення, м^3;

t – час, годин.

Розв'язок диференційного рівняння (2) дозволяє розглянути динаміку концентрації CO_2 у приміщенні офісу за умов природної вентиляції та механічної з нормованими повітрообмінами. На рис. 1 наведено результати розрахунку зміни концентрації CO_2 з часом у повітрі робочої зони типового офісного приміщення площею 30 м^2 та висотою 3 м за різних умов експлуатації. Криві 1 і

2 характеризують зростання концентрації вуглекислого газу при відсутності механічної вентиляції при шести і трьох працівниках відповідно. Обмін повітря відбувається за рахунок інфільтрації і природної вентиляції в обсязі 0,5 год$^{-1}$.

Як видно з рис.1, при шести працюючих перевищення ГДК = 1,25 л/м^3 відбудеться через 40 хвилин від початку роботи, а при трьох працюючих – приблизно через 1,5 години. Таким чином можна стверджувати, що практика відмови від механічної вентиляції офісних приміщень із звичайною і ущільненою наповненістю (10 м^2/людина і 5 м^2/людина) як мінімум з позиції перевищення концентрації CO_2 є недопустимою.

Криві 3 і 4 характеризують динаміку зміни концентрації вуглекислого газу за умов мінімально-допустимого повітрообміну згідно ДБН В 2.5- 67:2013 [1] при $q_р$ = 4 дм^3/ (с×людина), $q_в$ = 0,2 дм^3/ (с×м^2) при відповідно 6 і 3 працюючих. Час досягнення ГДК хоча і більший, ніж у попередньому випадку, але все одно перевищення ГДК відбувається відносно швидко. При трьох працюючих за 2,2 години, при шести – за одну годину.

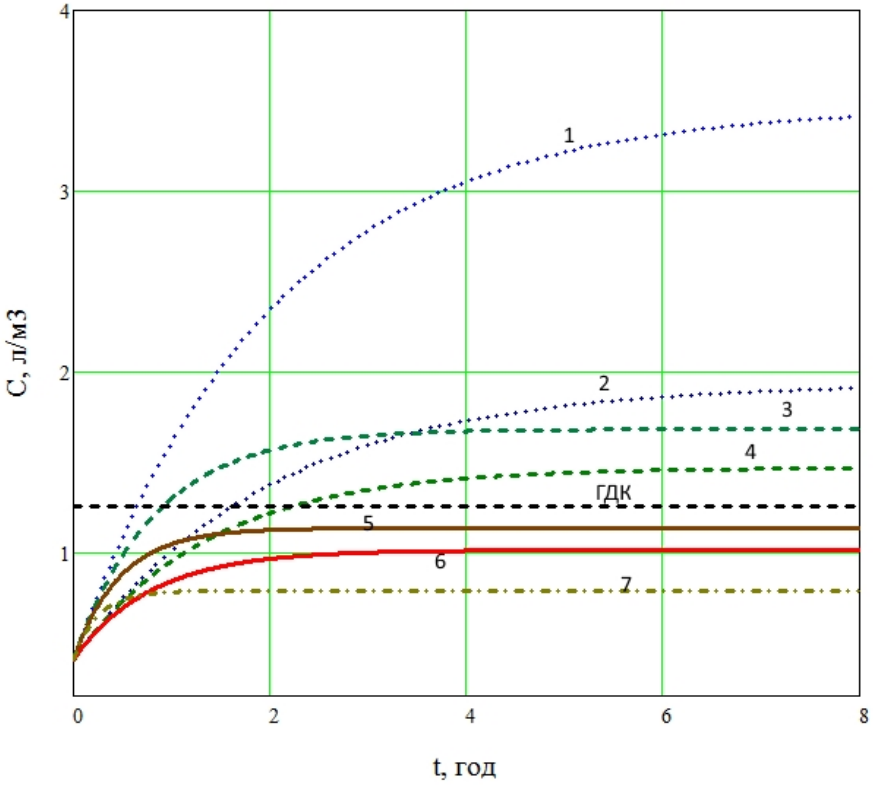

Рисунок 1 – Динаміка зміни концентрації вуглекислого газу у повітрі робочої зони офісного приміщення об'ємом 90 м^3 в залежності від виду систем вентиляції та розрахункового повітрообміну (розроблено автором)

Влаштування оптимального повітрообміну у приміщенні офісу при $q_р$ = 7 дм^3/ (с×людина), $q_в$ = 0,35 дм^3/ (с×м^2) дозволить забезпечити концентрацію вуглекислого газу протягом всього періоду роботи нижче ГДК для обох випадків наповненості приміщення – криві 5 і 6. Для порівняння розглянемо криву 7 – вона характеризує зміну концентрації CO_2 при повітрообміні за санітарними нормами, що регламентувалися скасованим БНіП 2.04.05 – 60 м^3/год на одну людину. Даний повітрообмін забезпечить ще нижчу концентрацію CO_2 у приміщенні, але і більші витрати енергії на підігрів і охолодження повітря. Багато існуючих систем вентиляції працюють з продуктивністю, визначеною згідно застарілих вимог БНіП.

Оптимальним з позиції енергозбереження є повітрообмін з кривою концентрації вуглекислого газу асимптотично наближеною до прямої ГДК. При нормі площі на одного працюючого 10 м^2 та дуже низькому забрудненню повітря будівлі даним рекомендаціям відповідають значення $q_р^1$ = 4,3 дм^3/ (с×людина), $q_в$ = 0,35 дм^3/ (с×м^2)

Зменшення споживаної потужності, кВт при розрахункових параметрах повітря для холодного періоду року при використанні рекомендованих значень питомих витрат повітря на одну людину $q_р^1$ = 4,3 дм^3/ (с×людина) за умов щільності 10 м^2/людина можна визначити згідно рівняння:

$$\Delta Q = \rho \cdot n \cdot \left(q_p - q_p^1 \right) \cdot \left(I_1 - I_2 \right) \quad (3)$$

де ρ – густина зовнішнього повітря, кг/дм^3;
n – кількість працівників, осіб;
q_p^1 – рекомендовані значення питомої витрати повітря на одну людину, дм^3/ (с×людина);
$I_1 - I_2$ – різниця ентальпій нагрітого після калориферу і зовнішнього повітря, кДж/кг.

Коригування проектної продуктивності систем вентиляції в залежності від концентрації CO_2 сприятиме досягненню нормативного значення питомої вентиляційної потужності для будівлі чи системи – SFP [1,7]. Типове значення цього показника для систем вентиляції повинно складати SFP=3, що відповідає діапазону 750…1250 Вт/(м^3/с).

Висновки

- Досліджено основні проблеми забезпечення нормативних повітрообмінів у приміщеннях громадських будівель. Зазначено, що основні проблеми зазвичай спостерігаються на стадії налагодження систем і пов'язані з проектними та монтажними помилками або низькою кваліфікацією фахівців з налагодження систем.
- Розглянуто сучасні нормативні вимоги до повітрообмінів офісних приміщень. На відміну від скасованих нормативних документів діючі дозволяють варіювати у певному діапазоні зовнішнього повітря, що надає більше можливостей до зростання енергоефективності вентиляційних систем і досягнення нормативних показників енергоспоживання.
- Досліджено наслідки формування нормативних повітрообмінів у офісних приміщеннях за критерієм концентрації CO_2 у внутрішньому повітрі. Запропоновано скориговані значення питомої витрати зовнішнього повітря на одну людину для типових офісних приміщень, що дозволяє мінімізувати витрату зовнішнього повітря за умови не перевищення ГДК концентрації CO_2 у внутрішньому повітрі.

Використана література

1. Опалення, вентиляція та кондиціювання: ДБН В 2.5-67:2013. – Мінрегіон України. – К. : 2013. – 146 с.
2. Системи вентиляційні. Загальні вимоги: ДСТУ Б А. 3.2 – 12: 2009 – К. : Мінрегіонбуд України. − 2010. – 8 с.
3. Джеджула В. В. Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління : моногр. / В. В. Джеджула. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 346 с.
4. Вахвахов Г. Г. Энергосбережение и надежность вентиляторних утановок / Г. Г. Вахвахов. – М.: Стройиздат, 1989. – 176 с.
5. Фаренюк Г. Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огороджувальних конструкцій [Текст] : монографія / Г. Г. Фаренюк. – К. : ГАМА Принт. – 2009. – 216 с.
6. Краснов Ю. С. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию для производственных и общественных зданий / Ю. С. Краснов. – М.: Техносфера. – 2006. – 288 с.
7. Павленко В. А. Показатель потребления электроэнергии SFP для оценки затрат на работу системы вентиляции и климатизации / В. А. Павленко // Вестник МГСУ. – 2009. – № 3. – С. 150-155.
8. Строй А. Ф. Расчет и проектирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха / А. Ф. Строй, В. В. Колодяжный. – К.: Феникс, 2013. – 344 с.

Джеджула В'ячеслав Васильович – д.т.н., доцент кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.

Джеджула Вячеслав Васильевич – д.т.н., доцент кафедры теплогазоснабжения Винницкого национального технического университета.

Djedjula Vyacheslav – Ph.D., Associate Professor of Thermal Power and Gas Supply Vinnitsa National Technical University.