ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ АКУМУЛОВАННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ В ПРИМІЩЕННЯХ

Перетяка С.М., канд. техн. наук, доцент
Одеський національний морський університет, м. Одеса

Анотація. В статті проаналізовано небезпека впровадження заходів підвищення енергоефективності в приміщеннях закладів освіти без урахування їх впливу на людину.

Встановлено, що певні заходи з одного боку підвищують температуру в аудиторіях, наближаючи її до комфортної, з іншого боку погіршують якість повітря, що безпосередньо впливає на організм людей, які навчаються та навчають. Тому потрібен аналіз і порівняння не тільки витрат енергії на опалення, а і їх вплив на якість повітря, зокрема концентрації вуглекислого газу.

Метою роботи є пошук шляхів покращення якості повітря (безпечна концентрація вуглекислого газу) у навчальних корпусах Одеського національного морського університету (ОНМУ). Об'єктом дослідження є навчальні аудиторії ОНМУ. Предмет дослідження – концентрація діоксиду вуглецю в аудиторії.

Проаналізовано структуру комунальних видатків університеті, визначені пріоритетні напрямки, чітко визначені, що головними «флагманами» видатків є теплопостачання та електроенергія.

Розглянуто, як відмінність температури від норми та підвищена концентрація CO₂ впливають на організм людини. Простежено, які норми концентрації вуглекислого газу запропоновані у розвинутих країнах світу. Встановлено, що мінімізація втрат енергії за рахунок уповільнення вентиляції приміщень суттєво погіршує якість повітря за рахунок стрімкого зростання концентрації вуглекислого газу.

Заміна старих вікон на «енергоефективні» без змін в системі вентиляції ще більш ускладнює ситуацію з якістю повітря. Проведені експериментальні дослідження динаміки накопичення CO₂ під час навчального процесу. Запропоновані заходи, які спрямовані в першу чергу на забезпечення якості повітря у навчальних аудиторіях з урахуванням варіантів зменшення витрат енергії на опалення. Ці заходи припустимо поділити на організаційні або мало бюджетні та технічні, які потребують чималих коштів.

Встановлена необхідність прийняття вітчизняних норм вуглекислого газу для громадських приміщень та впровадження змін в організацію навчального процесу, що дозволить зменшити витрати на опалення і покращить доброякісність повітря.

Ключові слова: небезпека, енергоефективність, вуглекислий газ, параметри мікроклімату, температура повітря в навчальній аудиторії

STUDY OF ACCUMULATION DYNAMICS CARBON DIOXIDE IN PREMISES

Peretiaka S.M., Ph.D., Associate professor
Odessa National Maritime University, Odessa

Abstract. The article analyzes the danger of implementing energy efficiency measures in the premises of educational institutions without taking into account the impact on humans.

It is established that certain measures on the one hand raise the temperature in the classrooms, bringing it closer to comfortable, on the other hand worsen the air quality, which directly affects the body of people who study and teach. Therefore, it is necessary to analyze and compare not only the energy consumption for heating, but also their impact on air quality, in particular the concentration of carbon dioxide.

The aim of the work is to find ways to improve air quality (safe concentration of carbon dioxide) in the educational buildings of Odessa National Maritime University (ONMU). The object of research is the classrooms of ONMU. The subject of research is the concentration of carbon dioxide in the audience.

The structure of communal expenses of the university is considered, the priority directions are defined, it is clearly defined that the main "flagships" of expenses are heat supply and the electric power.

It is analyzed how the difference between temperature and norm and the increased concentration of CO₂ affect the human body. It is traced what norms of concentration of carbon dioxide are offered in the developed countries of the world. It is established that the minimization of energy losses by slowing down the ventilation of the premises significantly worsens the air quality due to the rapid increase in the concentration of carbon dioxide.

Replacing old windows with "energy efficient" without changes in the ventilation system further complicates the situation with air quality. Experimental studies of the dynamics of CO₂ accumulation during the educational process. Measures are proposed, which are aimed primarily at ensuring air quality in classrooms, taking into account options for reducing energy consumption for heating. These measures can be divided into organizational or low-budget and technical, which require considerable funds.

The need to adopt domestic standards for carbon dioxide for public spaces and implement changes in the organization of the educational process, which will reduce heating costs and improve air quality.

Key words: danger, energy efficiency, carbon dioxide, microclimate parameters, air temperature in the classroom

Впровадження заходів спрямованих на підвищення енергетичної ефективності систем опалення відбувається за відомою схемою: енергетичний аудит, здивування від отриманих результатів, заміна вікон і утеплення стін, іноді відмова від центральної системи опалення з переходом на автономну та використання альтернативних енергоносіїв [1-3]. Головна мета цих заходів зменшити витрати енергії на опалення приміщень. Найчастіше вважається що людині, яка знаходиться в цих приміщеннях після реалізації перелічених заходів стане комфортно. Однак, це навпаки може створити для мешканців приміщень небезпеку.

Відмінність параметрів мікроклімату (температури, відносної вологості та швидкості руху повітря) від оптимальних призводить до порушення теплового балансу людини. Низька температури повітря у приміщенні спричинює зростання відмінності температур між тілом чоловіка і оточуючим середовищем, тобто, до підвищення тепловіддачі від людини. Відчутне зниження температури може спричинити до непомірного охолодження організму (гіпотермія). При охолодженні у людини погіршується функція органів людини, уповільнюються біохімічні процеси, розсівається увага, пригальмовує розумова діяльність і, в результаті, погіршується працездатність людини. Довгостроковий вплив надмірної температури, разом з високою вологістю повітря, найчастіше призводить до перегрівання людини, а саме гіпертермії – коли температура організму піднімається вище 38 °С. Також висока температура викликає порушення роботи серцево-судинного апарату, викликає часте дихання, зниження діяльності травної системи, що в результаті призводить до швидкого стомлення, зниження уваги і працездатності.

За існуючими санітарними нормами [4] процес навчання студентів відноситься до категорії робіт «легка І а», тобто робота, що не вимагає фізичної напруги і її людина робить сидячи. До категорії робіт «легка І б» можливо віднести роботу викладача (діяльність, що вимагає деякого фізичного зусилля і можливо здійснювати сидячи або стоячи, або пов'язана з ходінням). Ця категорія робіт вимагає оптимальних показників мікроклімату, а саме в холодний період року температуру повітря 22–24 °С, відносну вологість 60–40 %, у теплий – температуру повітря 23–25 °С, відносну вологість 60–40 %. Діапазони температури надані для категорії легка Іа, виходячи що при паралельному реалізації в робочій зоні робіт різної категорії важкості рівні параметрів мікроклімату мусять встановлюватись з урахуванням найбільш кількісної групи робітників [4], тобто студентів.

Зрозуміло, що повітря у навчальних аудиторіях повинне бути чистим і не містити шкідливих речовин. На перший погляд це легко забезпечити в аудиторіях, тому що вони не містять джерел утворення шкідливих речовин. Однак джерелом забруднення є сама людина. Ймовірність перевищення норми CO₂ є завжди. Внаслідок дихання слухачів повітря в аудиторії з часом буде погіршуватись. Без вуглекислого газу, як і без кисню, життя людини неможливе, тому що він стимулює захисні системи нашого організму, допомагаючи справлятися з фізичними та інтелектуальними навантаженнями. Людина дихає повітрям, що містить близько 20 % кисню і 0,04 % вуглекислого газу (CO₂), а видихає суміш, в якій концентрація вуглекислого газу збільшується у сто разів.

Дослідження впливу діоксиду вуглецю на стан людей засвідчили, що при помітних концентраціях цього газу в атмосфері приміщення виявляється помітне зникає увага і появляється втома. Вуглекислий газ стає причиною зростання рівня недуг серед людей. Хворіє носоглотка і органи дихання, рівень нападів астми росте. Також тривалий вплив цього газу збурює біохімічні зміни у крові, розвиток гіпертонії, слабості серцево-судинної системи [5].

Велика концентрація CO₂ в повітрі призводить до отруєння організму і виникають труднощі з диханням, можлива нудота, головна біль, втрата свідомості. При певній концентрації вуглекислого газу в приміщенні спостерігаються зміни самопочуття людини (таблиця 1) [6, 7].

Рівень та наслідки концентрації вуглекислого газу в приміщенні

Рівень CO ₂ , ppm	Фізіологічні прояви
380 - 400	Атмосферне повітря – прекрасно самопочуття
400 - 600	Нормальний рівень для приміщень.
до 600	Пропонується не перевищувати для приміщень закладів освіти
600 - 1000	Люди починають нарікати на якість повітря.
> 1000	З'являється слабкість, починається головна біль, труднощі з концентрацією уваги, збільшується кількість упущень у роботі. Можуть бути визначені негативні зміни в крові і відзначені загальні проблеми дихальної і кровоносної систем
> 2000	Різко зростає кількість помилок у роботі, виникає дратівливість, більшість людей не може сконцентруватися на виконанні своїх функцій та поведуться агресивно, іноді спостерігається підвищена гіперактивність
> 40000	Підвищення інтенсивності дихання, серцевої діяльності, зниження працездатності
> 50000	Задишка, посилення серцевої діяльності, зниження працездатності
> 60000	Зниження розумової діяльності, виникнення головного болю, запамороченню
> 100000	Втрата свідомості, кома та смерть

Метою цієї роботи є пошук шляхів покращення якості повітря (безпечна концентрація вуглекислого газу) у навчальних корпусах Одеського національного морського університету (ОНМУ). Об'єктом дослідження є навчальні аудиторії ОНМУ. Предмет дослідження – концентрація діоксиду вуглецю в аудиторії.

ОНМУ складається з п'яти будівель: «старий» корпус, адміністративно-аудиторний корпус, лабораторний корпус, спорткомплекс, машинний зал. Площа опалювальних приміщень складає 31391 м². Найбільша площа опалювальних приміщень в адміністративно-аудиторному корпусі. Цей корпус є «лідером» не тільки по площі опалювальних приміщень (14076 м²), а і по найменшому термічному опору стін (0,44 м²К/Вт). Коефіцієнт скління (відношення площі вікон до загальної площі стіни) східної та західної стін (північна та південна стіни вікон не мають) дорівнює близько 72 %. Всі вікна подвійного скління у металевих роздільних плетіннях, за літературними джерелами мають термічний опір 0,34 м² К/Вт, що практично удвічі менше нормативного (0,6 м²К/Вт) та на 23 % менше за термічний опір «холодних» стін.

Аналіз щомісячних витрат теплоти на опалення і споживання електроенергії показує чіткий зв'язок між ними. Якщо подача теплоносія у мережу опалення затримується або припиняється раніше, тоді стрімко зростає споживання електричної енергії. Такими критичними місяцями є березень і квітень весною та жовтень і листопад восени. Це легко пояснюється вмиканням електричних обігрівачів. З цього припустимо зробити висновок, що якщо вдасться забезпечити відповідні санітарно-гігієнічні умови перебування у приміщеннях ОНМУ, тоді можливо буде отримати економію споживання не тільки теплової, а і електричної енергії. Поки не буде проведена теплова модернізація корпусів, створення допустимих метеорологічних умов будуть недосяжні.

Видатки на комунальні послуги за 2019 рік дорівнюють 7,344 млн. грн. і зрозуміло будуть тільки зростати. Фінансування комунальних витрат університету державою складає 29 % (2,107 млн. грн.). Таким чином, найбільш «зацікавленим» в зменшенні витрат на комунальні видатки є сам університет.

Комунальні видатки ОНМУ складаються з виплат за теплопостачання, водопостачання, електроенергію та газ. На рисунку 1 представлена доля кожної статті витрат.

Рис. 1 – Видатки ОНМУ на комунальні послуги у 2019 р.

З наведеного безальтернативно витікає, що головними флагманами видатків є теплопостачання та електроенергія. За теплопостачання, що забезпечує температуру в корпусах університету, що іноді виходить за межі оптимальних показників мікроклімату необхідно сплачувати величезні гроші (3,972 млн. грн.) [8]. Зниження температури неминуче призводить до підвищення відносної вологості повітря і як слідство розвиток бактерій та мікроорганізмів шкідливих для здоров'я та посилення тепловіддачі організмом людини.

Втрати теплоти у навколишнє середовище визначають температуру у приміщеннях університету. Витрати теплоти на опалювання будівлі залежать від її розмірів, метеорологічних умов у навколишньому середовищі, термічного опору огорожень (стіни, дах, вікна) та від системи вентиляції. На термічний опір впливають за рахунок утеплення приміщень, заміни вікон на енергоефективні. Підвищити ефективність вентиляції можливо за рахунок впровадження утилізації теплоти відпрацьованого повітря та її децентралізації (вентиляція лише тих приміщень де в даний час знаходяться люди і якщо це потрібно).

На сьогодні в університеті картина наступна – «старі» вікна щільно закриваються і поступово замінюються на нові. З утепленням стін ситуація складніша, тому що деякі фасади будівель мають історичну цінність і просте встановлення утеплювача не припустиме. Із-за низької ефективності система примусової витяжної вентиляції вимкнена. Інфільтрація свіжого повітря з зовні практично відсутня. Це з одного боку призводить до різкого зменшення втрат теплоти при вентиляції, а з іншого боку до виникнення небезпеки отруєння вуглекислим газом.

Були проведені дослідження в стандартній аудиторії об'ємом 163 м³ (8,5×6×3,2 м), яка розрахована на 40 студентів, для проведення лекцій та практичних занять. Мета дослідження – динаміка накопичення вуглекислого газу. Вимірювалась температура, відносна вологість повітря та концентрація CO₂. Отриманні результати наведені на рисунку 2.

Рис. 2 – Динаміка накопичення вуглекислого газу

Для вимірювання концентрації діоксиду застосовувався прилад на базі датчика MH-Z19B. Діапазон вимірювання - 0...5000 ppm, точність - ± 50 ppm або 5%. Фіксація температури і відносної вологості відбува-

лась психрометром аспіраційним МВ-4М. Вимірювання проводилось протягом трьох навчальних пар. Кількість студентів на занятті – 36, 28 та 30 осіб. Під час перерв відкривалось одне вікно і двері для створення протягу. Відчинення лише одного вікна пояснюється тим, що усі інші зачинені практично на завжди. Така практика спостерігається по усім корпусам, там де встановлені сучасні вікна – демонтовані ручки. За 4,5 години температура в аудиторії зросла з 15 до 21 °С, так і не досягнув оптимальних параметрів мікроклімату (22–24 °С). Відносна вологість піднялася з 89 до 95 % (при необхідних 60 – 40 %). Температура навколишнього середовища 13 °С, відносна вологість 99 %, швидкість вітру за шкалою Бофорта – 3 бала. Таким чином, тільки за першу пару з 8.30 до 9.50 концентрація CO₂ зросла з 400 до 3066 ppm, тобто у 7,5 разів. Після першої перерви нова група розпочала заняття при концентрації 2233 і закінчила при 3480 ppm. Строк першої перерви 10 хвилин (9.50 – 10.00). Термін другої перерви 20 хвилин (11.20-11.40). В цей період за рахунок провітрювання концентрація впала до 2066 ppm. Третя група закінчувала заняття (13.00) при «рекордних» 3835 ppm. Якщо прийняти, що гранично допустимий рівень діоксиду вуглецю 1000 ppm, тоді заняття проходило лише перших півгодини на першій парі при відповідних умовах, після цього незважаючи на інфільтрацію якість повітря виходила за припустимі межі. Тому виходячи з даних наведених у таблиці 1 сприймання навчальної інформації з кожною парою погіршувалась, а як раз така діяльність потребує підняття рівня працездатності та психоемоційної активності. Зрозуміло, що для засвоєння інформації слухачі мусять активізувати пам'ять, зосередженість, увагу, зацікавленість, що викликає напругу організму та, як результат, – втома.

Норми які регулюють вміст CO₂ в Україні відсутні, єдиний діючий документ це Постанова головного державного санітарного лікаря України від 22.07.1996 року № 25. За якою гігієнічний норматив у повітрі робочої зони діоксиду вуглецю – 8000 мг/м³, 3 клас небезпеки. Перерахунок дає 4373 ppm. Таким чином згідно вітчизняних норм в аудиторіях все чудово. В Європі немає юридично обов'язкових норм про якість повітря в приміщеннях. Замість цього існує безліч оціночних величин, які називаються орієнтовними або цільовими. У Німеччині в якості гігієнічної орієнтовної величини відповідно до стандарту DIN 1946 застосовується значення CO₂ 1500 ppm. У Фінляндії максимально допустима концентрація CO₂ в приміщенні при нормальних погодних умовах становить 1200 ppm. У норвезьких і шведських нормах для житлових приміщень, шкіл і офісів встановлена максимальна концентрація CO₂ 1000 ppm. У Данії, згідно з нормами органу з охорони праці, вміст вуглекислого газу в дитячих садках, школах і офісах не повинно перевищувати 1000 ppm [6, 9]. Гранично допустима норма Республіки Білорусь для діоксиду вуглецю у повітрі робочої зони в дорівнює 4917 ppm (9000 мг/м³) [10]. Російська Федерація – оптимальним для здоров'я людини рівнем CO₂ вважається 800 – 1000 ppm [11].

Висновки. Таким чином, згідно досвіду розвинутих країн, якість повітря у вітчизняних закладах освіти не може вважатися нешкідливою в холодний період року. Виникає питання як покращити ситуацію з урахуванням, що збільшення повітрообміну неминуче призведе до зростання витрат теплоти на опалювання. Якщо температуру та вологість повітря елементарно виміряти і людина через власне самопочуття легко може зробити висновок про комфортність перебування у приміщенні, то з вуглекислим газом значно складніше. Виникає чіткий зв'язок: чим чистіше повітря (відповідний вміст CO₂), тим воно прохолодніше. Тому в більшості випадків усі зусилля спрямовуються на підняття температури у приміщеннях з мінімальними витратами енергії, нехтуючи якістю повітря. Це найчастіше досягається за рахунок підвищення термічного опору огорожень та зменшення втрат теплоти з повітрям (вимикання систем вентиляції та припинення інфільтрації). Модернізація існуючої вентиляції або встановлення нової (енергетично ефективної) практично не розглядається.

При цьому, в будівлях, в яких не проводилось утеплення на вентиляцію припадає третина втрат теплоти, після встановлення теплової ізоляції на стінах і даху ця складова збільшується до половини [12]. Відомо, і університети, і країна мають обмежені фінансові можливості для проведення реконструкції будівель. Тому необхідно в першу чергу впроваджувати заходи які не потребують значних коштів:

1. Прийняти і впровадити санітарні норми, що будуть визначати вміст діоксиду вуглецю у приміщеннях, зокрема, закладах освіти, враховуючи світовий досвід.
2. Забезпечити аудиторії, у першу чергу, розраховані на значну кількість студентів приладами для вимірювання концентрації CO₂.
3. Запровадити практику обов'язкового провітрювання аудиторій на перервах.
4. Змінити розклади занять таким чином, щоб основний об'єм навчального часу припадав на теплий період року.
5. Впровадити систему енергетичного менеджменту.

Ці заходи можливо віднести до організаційних або таких що не потребують фінансових витрат.

Заходи другої черги без фінансових впливів неможливі, як будь-яка технічна модернізація що стосується значних за розмірами об'єктів. Можливо початкове заощадження коштів на витрати за опалення за рахунок традиційних заходів та засобів енергетичної ефективності. До заходів другої черги можливо віднести:

1. Відмова від централізованого опалення як в край не ефективний. Ця система не може забезпечити відповідні параметри мікроклімату. Якість отриманих послуг від теплових мереж незадовільна. Спробуйте знайти гардероби у закладах вищої освіти!

2. Перехід на автономну опалювальну мережу, в межах одного корпусу, з паралельною подачею теплоносія в приміщення. Це дозволить регулювати його подачу в залежності від потреб і вимикати (зменшувати) подачу там де це можливо.

3. Відмова від централізованої примусової припливно-витяжною вентиляцією.

4. Необхідно впроваджувати більш гнучку децентралізовану систему вентиляції для аудиторій у вигляді рекуператорів теплоти витяжного повітря. Для певних приміщень обмежитись інфільтрацією.

5. Автоматизовані системи вмикання вентиляційних приладів в залежності від якості повітря.

References

1. Mazurenko, O. A., Klymchuk, O. A., Shramenko, O. M., Sychova, O. A. (2014). Porivnialnyi analiz system detsentralizovanoho teplopostachannia zhytlovykh budivel iz vykorystanniam elektroenerhii. *Vostochno-Evropeiskiy zhurnal peredovykh tekhnolohiy*, 5(8), 21-25.
2. Peretiaka, S.N., Sachenko, V.V. (2016). *Vybor systemy otopleniya dlia uchebnogo korpusa ONAPT*. Zbirnyk prats XVI Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii «Udoskonalennia protsesiv i obladnannia kharchovykh ta khimichnykh vyrobnytstv (m. Odesa, 5 – 9 veresnia 2016). Odesa: ONAFT, 357 – 360.
3. Peretiaka, S.M. (2017). Vykorystannia biopalyva dlia opalennia vyrobnychyykh prymishchen. *Ahrarnyi visnyk Prychornomoria. Tekhnichni nauky*, 85, 197 – 201.
4. DSN 3.3.6.042-99. Sanitarni normy mikroklimatu vyrobnychyykh prymishchen. Postanova MOZ Ukrainy N 42 vid 01.12.99 m. Kyiv.
5. Lyzohub, V. H., Savchenko, O. V., Zapeka, Yu. S., Baitser, M. S. (2015). Rol vuhlekysloho hazu v orhanizmi liudyny. *Pervyi nezavysymyi nauchnyi vestnyk*, 4, 29–32.
6. Rymarov, A. H., Savych, V. V. (2014). K opredeleniyu trebuemogo vozdukhoobmena v pomeshcheniyakh obshchestvennykh zdaniy v zavysymosti ot kachestva naruzhnogo vozdukh. *Ynternet-vestnyk VolhHASU. Ser. Polytematycheskaia*, 2(33), 4.
7. *Повітря яким ми дихаємо – контроль якості повітря в навчальних класах*. Retrieved from <https://cvkk.com.ua/the-air-we-breathe>
8. Peretiaka, S.M. (2019). Zabezpechennia norm mikroklimatu u navchalnykh zakladakh. *Ahrarnyi visnyk Prychornomoria. Tekhnichni nauky*, 91, 181 – 191.
9. Yurkevych, Yu. S., Vozniak, O. T., Savchenko, O. O., Myroniuk, Kh. V. (2018). Vyznachennia kontsentratsii dyoksydu vuhletsu v prymishchenniakh klasiv. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika», seriia «Teoriia i praktyka budivnytstva»*, 904, 75 – 81.
10. Hyhyenycheskyi normatyv «Predelno dopustymy kontsentratsyy vrednykh veshchestv v vozdukh ra-bochei zony». Postanovlenye Mynysterstva zdavookhraneniya Respublyky Belarus 11.10. 2017 h. №92. Natsyonalnyi pravovoi Ynternet-portal Respublyky Belarus, 09.11.2017, 8/32492.
11. Zdaniya zhylye y obshchestvenny. Parametry mykroklymata v pomeshcheniyakh. HOST 30494-2011.
12. Tabunshchykov, Yu. A. (2008). Mykroklymat v enerhosberezhenye: pora poniat pryorytety. *AVOK*, 5, 4-11.

Отримано в редакцію 10.07.2020
Прийнято до друку 28.10.2020

Received 10.07.2020
Approved 28.10.2020