

**НАЗВА СПЕЦІАЛЬНОСТІ КОНКУРСУ: «ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА
(ОХОРОНА ПРАЦІ)»**

**НАЗВА РОБОТИ: АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ САМОПОЧУТТЯ ТА
ПРОДУКТИВНОСТІ ПРАЦІ ЛЮДЕЙ ВІД НАЯВНОСТІ ДІОКСИДУ
ВУГЛЕЦЮ В ПРИМІЩЕННІ**

ШИФР: ДІОКСИД ВУГЛЕЦЮ

Зміст

Вступ.....	3
1 Правове поле України та інших країн стосовно концентрації діоксиду вуглецю	5
2 Вплив вуглекислого газу на людину.....	9
3 Експериментальні дослідження	12
4 Результати дослідження	16
Висновки.....	19

ВСТУП

Підвищення рівня концентрації діоксиду вуглецю (CO_2) в навколишньому повітрі є наслідком підвищення кількості автомобілів [1,2], нарощування виробничих потужностей підприємств, вирубки лісів [3]. Більша частина промисловості пов'язана з процесами, при яких виділяється діоксид вуглецю [4].

Серед хімічних складових повітря в приміщенні CO_2 має велике гігієнічне значення. Цей газ належить до фізіологічно активних сполук, є збудником дихального центру та антагоністом кисню (O_2). За вмістом діоксиду вуглецю судять про чистоту повітря в житлових та громадських будівлях. Значне накопичення цієї сполуки в повітрі закритих приміщень вказує на санітарне неблагополуччя приміщення (скупченість людей, погана вентиляція), які призводять до ацидозу – процесу окислення крові, завданний підвищенням концентрації CO_2 у повітрі, що потрапляє в організм [5].

За кордоном діоксид вуглецю разом з оксидами азоту, оксидом вуглецю, діоксидом сірки та легкими органічними сполуками є типовою забруднюючою речовиною, яка підлягає врахуванню під час проектування систем вентиляції та кондиціювання повітря [6]. Що більше вуглекислого газу у повітрі, то важче зосередитися та виконати навчальне навантаження. Знаючи про це, уряд США рекомендує навчальним закладам підтримувати рівень CO_2 не вище ніж 600 ppm. У Росії відповідно оптимальною для закладів, що здійснюють навчання, концентрацією CO_2 повинна бути не більше ніж 800 ppm [7]. Проте на практиці не лише американській, але і російській рекомендований рівень є не досяжним для багатьох учбових закладів. Натурні дослідження, проведені в Німеччині, показали, що більшу частину навчального періоду кількість вуглекислого газу у повітрі перевищує 1500 ppm, а інколи наближається до 2500 ppm [8, 9].

Саме тому контролювати рівень вуглекислого газу в приміщенні відповідно до санітарно-гігієнічних норм є важливою задачею, вирішення

якої впливатиме на продуктивність праці та самопочуття людей, що знаходяться в цьому приміщенні.

1 Правове поле України та інших країн стосовно концентрації діоксиду вуглецю

Мікроклімат у приміщенні визначається санітарно-гігієнічними нормами. Вимоги для забезпечення нормованих параметрів повітря приміщень викладені у ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція, кондиціонування»[10]. Допустимий вміст вуглекислого газу у торгових, офісних та житлових приміщеннях в залежності від класів цих приміщень встановлений міждержавним стандартом ГОСТ 30494-2011 «Будівлі житлові і суспільні. Параметри мікроклімату в приміщеннях»[11], затверджений Протоколом від 08.12.2011 № 39, який не діє в Україні. Інші стандарти на заміну даному ГОСТу – відсутні.

Постановою головного державного санітарного лікаря України від 24 липня 1996 року №25 затверджено значення гігієнічного нормативу у повітрі робочої зони діоксиду вуглецю – 8000 мг/м³[12].

Також був проведений аналіз правового поля, стосовно концентрації діоксиду вуглецю в інших країнах.

Згідно стандарту EN 13779:2004. Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems, повітря в приміщенні має чотири класи якості : IDA1, IDA2, IDA3, IDA4 (табл. 1). Концентрація діоксиду вуглецю нормується відповідно до наведених класів якості (табл. 2).

Відповідно до ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Класифікація повітря в приміщеннях щодо CO₂ наведена в таблиці 3. Цей ГОСТ був прийнятий Міждержавною науково-технічною комісією по стандартизації, технічному нормуванню і оцінці відповідності в будівництві.

Таблиця 1 Класифікація повітря в приміщеннях

Клас	Характеристика
IDA1	Висока якість повітря в приміщеннях
IDA2	Середня якість повітря в приміщеннях
IDA3	Прийнятне якість повітря в приміщеннях
IDA4	Низьке якість повітря в приміщеннях

Таблиця 2 Вміст діоксиду вуглецю в приміщеннях, відповідно до класів якості

Клас	Концентрація CO ₂ , ppm	
	Типові границі	Типові значення
IDA1	< 400	350
IDA2	400-600	500
IDA3	600-1000	800
IDA4	>1000	1200

За прийняття голосували такі країни : Україна, Молдова, Вірменія, Азербайджан та інші. У ньому були використані дані з європейського стандарту EN 13779:2004. Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems. Він встановлює параметри мікроклімату приміщень: житлових будинків, дитячих дошкільних установ, громадських установ і побутових будівель. Не

розповсюджується на виробничі приміщення. Встановлює вимоги до оптимальних і допустимих показників мікроклімату і якості повітря.

Таблиця 3 Класифікація повітря в приміщеннях

Клас	Якість повітря в приміщенні		Допустима концентрація CO ₂ , см ³ /м ³
	Оптимальна	Допустима	
1	Високе	-	400 і менше
2	Середнє	-	400-600
3	-	Допустиме	600-1000
4	-	Низьке	1000 і більше

В США з 1992 року[17] діє стандарт The NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards . Базою для нього послужив Закон про безпеку та охорону праці [18], який був прийнятий в 1970 році. Нормативи NIOSH для діоксиду вуглецю вказані в таблиці 4.

Таблиця 4 Нормативи NIOSH для діоксиду вуглецю

REL, ppm	ST, ppm	IDLH, ppm
5000	30000	40000

Для розуміння таблиці 4 необхідно володіти наступними визначеннями: REL - рекомендована межа експозиції, є нормативним лімітом кількості або концентрації речовини в повітрі; ST(STEL) - короткотермінові обмеження впливу, допустима середня експозиція протягом короткого періоду часу, зазвичай 15 хвилин, яка не повинна перевищуватись більше чотирьох разів на день; IDLH - критичне

значення експозицій, яке може привести до значних наслідків для здоров'я.; TWA - середньозважений час, тобто середній вплив будь-якого шкідливого газу на робочому місці на основі восьмигодинного робочого дня або 40- годинного робочого тижня, максимально допустимий розмір експозиції, якій може піддаватися людина, але не зазнає значних несприятливих впливів на здоров'я протягом зазначеного періоду. Після того як TWA буде перевищено, працівник не може повторно увійти в приміщення на решту дня.

NIOSH встановлює REL 5000 ppm для 8-годинного TWA та STEL 30,000 ppm для захисту працівників від переживання метаболічних та дихальних змін, які становлять істотні порушення здоров'я, які пов'язані з підвищенням короткострокової експозиції CO₂. Агентство робить висновок, що додавання цього ліміту суттєво зменшить ризик, пов'язаний з високим короткостроковим впливом CO₂, який можливий при відсутності STEL.

2 Вплив вуглекислого газу на людину

В залежності від концентрації CO_2 , в повітрі, що видихається, реакція організму людини може бути різною: (табл. 5) [13,14].

- якщо концентрація CO_2 менше 0,1%, людина почувається нормально, суб'єктивні, або об'єктивні порушення відсутні, саме цю концентрацію (0,1%) встановлено як гранично допустиму (ГДК) для повітря житлових приміщень. ГДК діоксиду вуглецю в повітрі лікувальних установ дорівнює 0,07%;
- якщо концентрація CO_2 коливається в межах 0,1-0,5%, погіршується умовно-рефлекторна діяльність (збільшується час латентного періоду реакції на зоровий або слуховий подразник), з'являється відчуття дискомфорту, можуть бути виявлені деякі зміни на електрокардіограмі (ЕКГ);
- при вдиханні повітря, в якому концентрація CO_2 більше 0,5% (0,5–1%), з'являються перші прояви ацидозу, зміни електролітних властивостей крові (збільшується вміст Na , зменшується вміст K в еритроцитах), однак фізична та розумова діяльність суттєво не погіршуються, тому перебування людей при такій концентрації іноді дозволяється (на підводних човнах і т.п.);
- якщо концентрація CO_2 збільшується до 2% – наростає ацидоз, знижується працездатність, з'являються ознаки гіпоксії, за таких умов на виробництві можна працювати лише протягом обмеженого часу – до 3–4 годин;
- якщо концентрація CO_2 більше 2% (2–7%), спостерігаються чіткі суб'єктивні та об'єктивні прояви токсичного впливу CO_2 у вигляді наркотичної дії, неадекватного психічного збудження, головні болі, запаморочення, задишка, за таких умов тривале перебування у приміщеннях неприпустиме (воно може бути вимушеним тільки у разі аварійних ситуацій, тривати до 60 хвилин і супроводжуватися суворим медичним контролем);
- перебування в приміщенні з концентрацією CO_2 в повітрі більше 7% швидко призводить до непритомності та смерті.

Таблиця 5 Вплив вуглекислого газу в повітрі на людину

Рівень CO ₂ , ppm	Фізіологічні прояви
380-400ppm	Атмосферне повітря – ідеальне для здоров'я і гарного самопочуття
400-600ppm	Нормальний рівень для приміщення. Рекомендовано не перевищувати для дитячих садків, шкільних приміщень і інших навчальних закладів.
600-1000ppm	З'являються скарги на якість повітря. У людей з астматичними проблемами частішають напади.
вище 1000 ppm	Загальний дискомфорт, слабкість, головний біль, падає концентрація уваги, збільшуються помилки у роботі. Можуть бути визначені негативні зміни у крові і відзначені загальні проблеми дихальної і кровоносної системи
вище 2000 ppm	Значна кількість помилок у роботі, зайва дратівливість та агресія, більшість не може зосередитися на роботі, підвищена зайва гіперактивність

Таблиця 6 Рекомендована концентрація диоксиду вуглецю у навчальних приміщеннях [13]

Країна	Норма	Рівень CO ₂
1	2	3
Фінляндія	Стандарт міністерства охорони здоров'я та соціального розвитку, 2003 р.	Якість повітря, ppm: висока – 700; середня – 900; задовільна – 1200

1	2	3
США	Рекомендації по якості повітря у школах департаменту відділу охорони здоров'я США	Граничний рівень 1000 ppm
США	Норми ASHRAE 62-1989 “Вентиляція для нормальної якості повітря”	1000 ppm
США	Рекомендація Американської асоціації промислових гігієністів (ACGIH), 1998 р.	600 ppm
Росія	ГОСТ 30494	500–800 ppm
США	Рекомендація Управління по техніці безпеки та гігієни праці (OSHA), 1994 р.	800 ppm
Великобританія	“Вентиляція у шкільних спорудах. Керівництво по стандартам та проектуванню”, 2006 р.	1500 ppm – гранична норма для навчального дня з 9.00 до 15.30
Нідерланди	Гігієнічні норми “Огляд норм по якості повітря для дитячих садків у Нідерландах”	1000 ppm – гігієнічна норма для дитячих садків; 1200 ppm – гігієнічна норма для шкіл
Естонія	Норми Міністерства по соціальним питанням	1000 ppm – гігієнічна норма для шкіл

3 Експериментальні дослідження

Існує три способи для вимірювання та моніторингу діоксид вуглецю в середині приміщень:



Рис 1. Портативні прилади придатні для довготривалих вимірювань
портативні прилади придатні для довготривалих вимірювань швидко і точно виміряють вміст CO₂ (рис.1).



Рис 2. Прилади для безперервного вимірювання CO₂
Безперервно вимірюють температуру, вологість та CO₂ (рис 2).
Отримані значення передаються по бездротовій локальній мережі на хмарний

сервіс, дозволяючи надсилати сповіщення про порушення граничних значень електронною поштою або SMS. Індикація у вигляді світлофору дозволяє оцінити якість повітря з першого погляду і гарантує, що відповідальна особа виконає відповідні дії в разі необхідності.



Рис 3 Прилади для вимірювання багатьох параметрів вентиляції

Додатково до CO₂, вони вимірюють всі інші параметри вентиляції та кондиціонування, такі як швидкість потоку повітря, температуру, вологість, рівень турбулентності, концентрацію CO та освітленість (рис 3).

Експериментальні дослідження проводилися за допомогою термогігрометра - сигналізатора НТ-2000 (рис 4). Це електронний пристрій для збору від вбудованих сенсорів і зберігання у внутрішній пам'яті даних про концентрації вуглекислого газу, температури і відносній вологості. Вимірювання базуються на законі Бугера-Ламберта-Бера, за яким інтенсивність поглинання інфрачервоного випромінювання пропорційна концентрації газу, або пари. Датчики NDIR – не дисперсійного поглинання забезпечують практичну його реалізацію.



Рис. 4 Сигналізатора НТ-2000

Закон Бугера-Ламберта-Бера визначає послаблення пучка монохроматичного світла при його поширенні через середовище, яке поглинає, в окремому випадку - через розчин поглинаючої речовини в непоглинаючому розчиннику. Пучок монохроматичного світла інтенсивністю I_0 , пройшовши через шар поглинаючої речовини товщиною l , виходить ослабленим до інтенсивності I , яка визначається виразом

$$I = I_0 e^{-K_\lambda l} \quad (2.1)$$

де K_λ -показник поглинання, коефіцієнт, що характеризує властивості речовини; K_λ залежить від довжини хвилі світла, що поглинається, і ця залежність називається спектром поглинання речовини.

Закон Бугера-Ламберта-Бера експериментально встановлено в 1729 П. Бугером (P. Bouguer), в 1760 теоретично виведений І. Г. Ламбертом (J. H. Lambert) при дуже простих припущеннях: при проходженні будь-якого шару речовини відносна зміна інтенсивності монохроматичного світла $dI/I = -K_\lambda dl$ залежить тільки від показника поглинання K_λ і товщини шару l . Рішенням цього рівняння і є закон Бугера-Ламберта-Бера. Фізичний сенс його полягає в твердженні незалежності процесу втрати фотонів від їх щільності в світловому пучку, тобто від інтенсивності світла, що проходить через

речовину. Це твердження рівнозначно твердженням незалежності числа поглинаючих світло центрів (атомів, молекул) від інтенсивності світла. Однак при дуже великій інтенсивності світла, коли середній час між актами поглинання, що приводять до збудження атома, або молекули, дорівнює часу життя атома (молекули) в збудженому стані, справедливості останнього твердження порушується, закон Бугера-Ламберта-Бера перестає бути справедливим. Можливі й інші механізми відхилення від закон Бугера-Ламберта-Бера при дуже сильних світлових потоках, наприклад багатофотонне поглинання. Інтенсивності світла, які необхідні для спостереження відхилень від закону Бугера-Ламберта-Бера, досяжні в пучках імпульсних лазерів, що фокусуються.

Стосовно до поглинання світла розчинами поглинаючих речовин в непоглинаючих розчинниках, показник поглинання в законі Бугера-Ламберта-Бера може бути записаний у вигляді:

$$K_{\lambda} = \epsilon_{\lambda} C \quad (2.2)$$

де C - концентрація розчиненої речовини,

ϵ_{λ} - коефіцієнт, що не залежить від C і характеризує взаємодію молекули поглинає речовини зі світлом з довжиною хвилі λ .

Твердження, що ϵ_{λ} не залежить від C , називається законом А. Бера (A. Beer, 1852), і його зміст полягає в тому, що поглинаюча здатність молекули не залежить від впливу навколишніх молекул. Закон цей треба розглядати скоріше як правило, бо постерігаються багаточисельні відхилення від цього правила, особливо при значеному збільшенні концентрації поглинаючих молекул. У тих випадках, коли ϵ_{λ} можна вважати не залежним від C , закон Бугера-Ламберта-Бера виявляється корисним для визначення концентрації поглинаючої речовини шляхом вимірювання поглинання. Цим прийомом користуються для швидкого вимірювання концентрацій речовин, хімічний аналіз яких виявляється складним.

4 Результати дослідження

В приміщеннях, що використовуються, концентрація CO₂ залежить, від наступних чинників:

- кількість людей в приміщенні, об'єм приміщення;
- активність людей в приміщенні;
- тривалість перебування користувачами в приміщенні;
- наявність процесів згоряння в приміщенні;
- обмін повітря та об'єм потоку свіжого повітря.

Експериментальні дослідження проводилися в учбових аудиторіях університету. Вимірювання відбувалося на початку, в середині та наприкінці пари. Були проведені два типи експеримента в натурних умовах. В першому експериментальні вимірювання проводились у приміщенні лекційної аудиторії. В другому – в лабораторії. Діапазон змін концентрації CO₂ протягом експерименту склав 912÷3468 мг/м³ (450÷1900ppm). Результати досліджень зведено в таблицю 7.

Таблиця 7 Результати експериментальних досліджень

Лабораторія				
Час заміру, хв	Двоокис вуглицю, ppm	Двоокис вуглицю, мг/м ³	Температура, °C	Вологість, %
1	2	3	4	5
Перед початком занять	500	912	18.1	40.1
Через 5 хвилин після початку	650	1186.7	18.3	40
Через 20 хвилин після початку	780	1424	19	39.5
Через 30 хвилин після початку	1108	2022.9	19.5	39.8
Через 40 хвилин після початку	1204	2198	20	39.5

1	2	3	4	5
Через 80 хвилин після початку	1500	2738.6	21.8	38.1
Через 90 хвилин після початку	1900	3468.8	22	37
Лекційна аудиторія				
Час заміру	Двоокис вуглець, ppm	Двоокис вуглицю, мг/м ³	Температура, °C	Вологість, %
Перед початком занять	450	821.5	18.2	46.5
Через 5 хвилин після початку	500	912	18.5	46
Через 20 хвилин після початку	980	1789	18.9	45.3
Через 30 хвилин після початку	1126	2055.8	19	45
Через 40 хвилин після початку	1296	2366	19.1	44.6
Через 80 хвилин після початку	1403	2561	21.4	39.2
Через 90 хвилин після початку	1500	2738.6	21	39

Провітрювання приміщення впродовж 10 хвилин знижувало концентрацію двоокису вуглецю в два рази.

Контроль рівня діоксиду вуглецю дуже важливий, для нормального самопочуття людини. Особливо, такий контроль важливий для людей з категорії ризику (діти, люди похилого віку, а також хворі). У великих кількостях він може суттєво впливати на здоров'я. Важливим є вплив на розумову активність і на концентрацію уваги, найбільш важливо це у офісах та навчальних закладах. Якість повітря в таких місцях повинна бути дуже високою. Таким чином, питання контролю якості повітря у внутрішньому середовищі не втрачає своєї актуальності з часом, тому що мікроклімату приміщень належить ключова роль, так як протягом дня головну частину свого часу люди проводять вдома, на роботі або в школі. Встановлення пластикових вікон та дверей з ущільнювачами позбавляє приміщення природної вентиляції.

Як можна побачити за результатами експериментальних досліджень концентрація CO_2 в межах однієї лекції збільшується в чотири рази (рис 5). На графіку представлена залежність концентрації від часу перебування здобувачів вищої освіти в лекційній аудиторії (ряд 1) та лабораторії (ряд 2). Точки вимірів відповідають часу від початку до закінчення пари (дві академічні години): 1- перед початком занять; 2,3,4,5,6 відповідно - через 5,20,30,40,80,90 хвилин після початку.

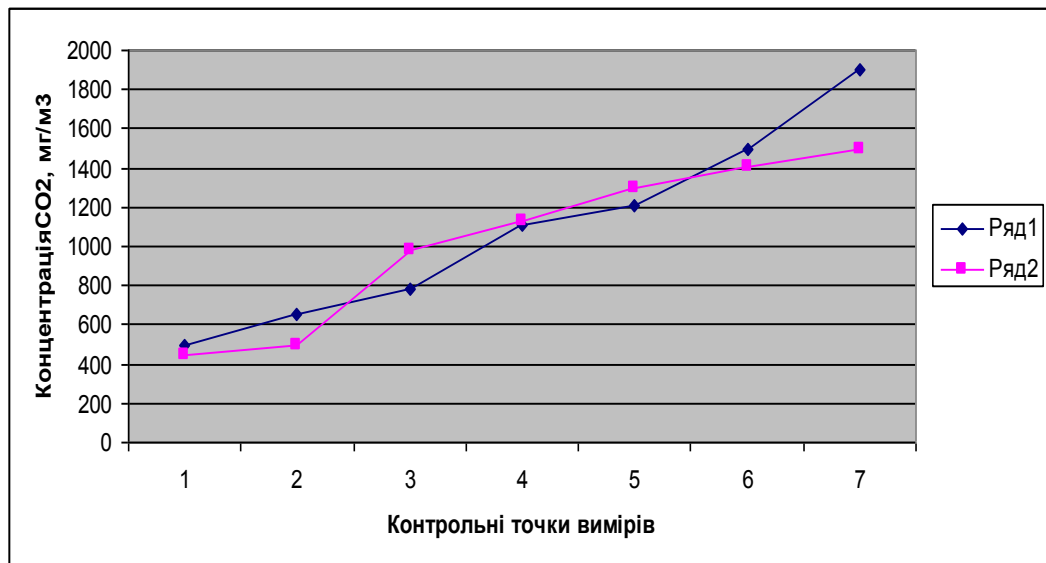


Рис. 5. Дані експериментальних досліджень зміни концентрації CO_2 в об'ємі приміщення лекційної аудиторії

Висновки

Визначені зміни концентрації CO_2 у приміщеннях аудиторій протягом усього періоду перебування в них здобувачів вищої освіти.

Проведені заміри показують, що для досягнення допустимої концентрації CO_2 в лекційних приміщеннях та лабораторіях недостатньо проводити провітрювання під час перерв.

Для забезпечення нормованих параметрів повітря приміщень, а саме для контролю концентрації діоксиду вуглицю в учбових приміщеннях, необхідно: обов'язково провітрювати приміщення до початку якогось процесу та після; залишати вікна неповністю зачиненими.

Існує подальша необхідність досліджень за тематикою даної роботи, що буде полягати в розробці математичної моделі зміни концентрації діоксиду вуглицю у повітрі приміщення великого скупчення людей в залежності від часу.

Література:

1. Черниченко, І.О., Першогоуба, Я.В., Соверткова, Л.С., Баленко, Н.В. (2010). Ще раз про роль автотранспорту в забрудненні атмосферного повітря. Гігієна населених місць : зб. наук. Пр., № 55, сс. 150–157.
2. Бабій В.Ф. Худова, В.М, Кондратенко О.Є. (2011) Нагальні проблеми впливу сучасного автотранспорту на довкілля. Гігієна населених місць: зб. наук. пр. – К., 2011. –№. 58. сс. 53–60.
3. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter7.pdf>[Електронний ресурс]. - IPCC Fourth Assessment Report, Working Group I Report «The Physical Science Basis», Section 7.3.1.2 - С. 514-515
4. Уэст Дж. Физиология дыхания : Пер. с англ.— М.: Мир - 1988.— 200 с.
5. Гурина И. В. (2008) Безопасный уровень углекислого газа требует ревизии. Экологический вестник России. № 10.
6. Kapalo P., Vilcekova S., Vozniak O. Using Experimental Measurements of the Concentrations of Carbon Dioxide for Determining the Intensity of Ventilation in the Rooms // Chemical Engineering Transactions. – 2014. – Vol. 39. – P. 1789– 1794.
7. ГОСТ 12.1.007-76* ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. Москва. – 1977. – 10 с.
8. Steiger S., Noske F., Kersken M., Hellwig R. T.(2008) Untersuchungen zur Beluftung von Schulen. Tagungsband Deutsche Kalte-Klima-Tagung №2 , pp 3–12.
9. Рымаров А. Г., Савичев В. В. К определению требуемого воздухообмена в помещениях общественных зданий в зависимости от качества наружного воздуха // Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2014. – Вып. 2 (33). – 4 с.
10. Державні будівельні норми. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення,

вентиляція, кондиціювання» Київ. Мінергіон України. - 2013. – 197с

11. Міждержавний стандарт ГОСТ 30494-2011 «Будівлі житлові і суспільні. Параметри мікроклімату в приміщеннях». СантехНДІпроект – 2011 – 11с.

12. Головний державний санітарний лікар України (1996) Постанова головного державного санітарного лікаря України від 24 липня 1996 року №25

13. Жуковський С. С., Возняк О. Т., Довбуш О. М., Люльчак З. С. Вентилювання приміщень. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2007. – 476 с.

14. Строй А. Ф. Зміна концентрації шкідливих речовин в приміщеннях при періодичній вентиляції / А. Ф. Строй, О. В. Макаренко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТБ АБУ, 2010. – Вип. 56. – С. 233–237.

15. Строй А. Ф. Економія теплової та електричної енергії при експлуатації систем вентиляції / А. Ф. Строй, О. В. Макаренко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТБ АБУ, 2011.–Вип. 62.– С. 251–257.

16. Левашова Ю.С (2018) Дослідження параметрів мікроклімату приміщень великого скупчення людей/ Левашова Ю.С., Косенко Н.А., Лебедева О.С// Науковий вісник будівництва - Х.: ХНУБА, ХОТБ, АБУ, 2018. – Вип.4(94) .– С. 251–257.

17. Ковалева А.С., Левашова Ю.С (2019) Гігієнічна оцінка значення двоокису вуглицю (CO₂) як показника чистоти повітря в житлових та громадських будівлях. В: Матеріали Х-ї студентської наукової інтернет-конференції “Реалізація права на працю і безпека людини в сучасних умовах життєдіяльності” С. 254-256