

УДК 697.9: 628.87: 504.05

## Метод розрахунку викидів парникових газів від експлуатації інженерних систем будівель

М.І.Кордюков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Асистент. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, melco@ukr.net, ORCID:0000-0003-4964-4176

*Анотація. Зниження викидів парникових газів у даний час є пріоритетним завданням людства для зменшення кліматичних змін. Інженерні системи будівель (опалення, вентиляція, кондиціонування повітря, освітлення та ін.) дають значний внесок у вуглецевий слід. Методика, запропонована в цій статті, дає можливість оцінити величину викидів від кожної з систем і намітити шляхи їхнього зниження. Особливістю запропонованої методики є наступні положення. Розглядається внесок у викиди парникових газів усіх інженерних систем, що забезпечують комфортність приміщень будівлі. Комфортність приміщень будівлі розглядається відповідно до EN 15251. Параметри зовнішнього середовища визначаються відповідно до методики автора. При розробці методики прийняті такі спрощення. Не розглядається система зволоження повітря в зимовий час, тоді як осушення повітря в літній період при кондиціонуванні повітря враховано. Коефіцієнти робочого часу систем дані для прикладу. Нормативні показники розглядаються відповідно до ДСТУ Б А.2.2-12. Методика може використовуватися як для оцінки величини викидів CO<sub>2</sub> наявних будівель, так і для вибору варіанту формування мікроклімату проєктованої будівлі. Особливо корисною методика може бути для вибору доцільної технології формування мікроклімату при реконструкції будівлі шляхом порівняння кількості викидів від різних варіантів.*

*Ключові слова: викиди парникових газів, вуглецевий слід, інженерні системи будівель, вентиляція з рекуперацією, опалення, кондиціонування повітря, формування мікроклімату енергоефективність, енергозбереження.*

**Постановка проблеми.** Інженерні системи будівель створюють для користувачів комфортне середовище, вимоги до якості якого постійно зростають. Відповідно, зростають і витрати енергії на функціонування інженерних систем. Це збільшує викиди парникових газів. Розвиток енергоефективних технологій формування мікроклімату дозволяє знизити витрати енергії, споживаної інженерними системами будівель.

Для вибору доцільних рішень слід розраховувати викиди парникових газів від інженерних систем. Розрахунки різних варіантів систем для однієї і тієї ж будівлі дозволяє обґрунтувати вибір інженерного обладнання задля мінімізації викидів парникових газів при забезпеченні заданих умов комфорту.

**Актуальність дослідження.** Для формування мікроклімату споживається понад 30 % енерговитрат України і половина енергетичного балансу Європейського Союзу [1]. Відповідно розподіляються і викиди вуглекислого газу CO<sub>2</sub>, що є одним з видів парникових газів. Уповільнення глобального потепління шляхом зниження забруднення атмосфери парниковими газами вимагає коректної оцінки їхніх викидів від основних споживачів, серед яких системи формування мікроклімату.

**Останні дослідження та публікації.** Попри актуальність, на сьогодні оцінці викидів CO<sub>2</sub>

для потреб формування мікроклімату приділяється недостатня увага. Серед останніх робіт відзначимо роботи, виконані в Київському національному університеті будівництва і архітектури [2-3] Вони присвячені зменшенню викидів CO<sub>2</sub> на формування мікроклімату завдяки озелененню покрівель. Викиди оцінювалися за методикою В. Н. Белоусова (2014 р.).

В Україні прийнято ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [4], де наведені питомі виділення CO<sub>2</sub> при горінні різного виду палива. Норми [4] – це єдиний легітимний український документ з інформацією про питомі викиди CO<sub>2</sub>. Однак, дані в ньому стосуються Швейцарії і датовані 1996 р. Європейські стандарти вимагають «національного визначення», якого в Україні немає. Тому доводиться користуватися застарілими даними.

Національні коефіцієнти викидів від «змішаної електроенергії» повинні ґрунтуватися систематично. Вони повинні відповідати поточному балансу між виробленням електроенергії вугільними, газовими й атомними електростанціями з урахуванням відновлюваних джерел і маневрових газових турбін. Крім цього, за [4] на 1 мВт-год виробленої енергії з деревини викидається в 16,5...82,5 рази менше CO<sub>2</sub> ніж при спалюванні природного газу. Подібні дані викликають обґрунтований сумнів і вимагають ретельної перевірки.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є розробка методики визначення викидів CO<sub>2</sub>, спричинених енергоспоживанням систем формування мікроклімату та інших інженерних систем будівель.

**Основна частина.** Параметри мікроклімату приміщень (табл. 1) визначатимемо на підставі стандарту [5].

Таблиця 1

Параметри мікроклімату приміщень будівель [5]

Параметр	Значення для класу комфортності			
	1	2	3	4
Повітрообмін, м <sup>3</sup> /(год·люд)	36	25	14	≤ 14
Температура ЗИМА, °С	21	<b>20</b>	18	н/н
Температура ЛІТО, °С	25	<b>26</b>	27	н/н
Відносна вологість ЗИМА, %	30	<b>25</b>	20	н/н
Відносна вологість ЛІТО, %	50	<b>60</b>	70	н/н
Незадоволених комфортом, %	15	20	30	≥ 30

**Примітки:** н/н – не наведено в стандарті; відносна вологість повітря 60 або 70 % є максимально допустимою за відповідним класом, у розрахунку прийматимемо 50 %

Зазвичай, клас комфортності приміщень вибирають 2 (оптимальні умови [6]). Винятком є будівлі, пов'язані з перебуванням людей, що потребують особливих умов (клас 1 – підвищені оптимальні умови [6]). У стандарті [5] зручно те, що дається конкретний усереднений показник параметра (а не інтервал значень, як у [6]), на який слід проводити розрахунок енергоспоживання.

На сьогодні у зв'язку з підвищенням ефективності теплоутилізаторів найбільш розповсюджено поєднання

- систем вентиляції з теплоутилізатором (часто без додаткового підігріву);
- системи опалення
- кондиціонування повітря кондиціонерами довідниками, що складається з зовнішнього блока та внутрішніх блоків у приміщеннях зі змінною витратою холодоагента (Variable Refrigerant Flow – VRF).

Такі системи не мають можливості зволоження та переохолодження з нагрівом для осушення. Однак, з використанням мембранних (ентальпійних) теплоутилізаторів навіть у холодний період року при достатніх надходженнях вологи (від людей) вдається підтримувати від-

носну вологість повітря на рівні 40 %.

У зв'язку зі значною зміною клімату внаслідок глобального потепління параметри зовнішнього повітря будемо приймати за [7]. Нетривалий час системи опалення та кондиціонування повітря можуть працювати одночасно залежно від внутрішніх теплонадходжень і конфігурації будівлі. Тому дані табл. 2 для розрахунку систем опалення та кондиціонування повітря перекривається. У ній наведено статистичні дані за останні вісім років.

Таблиця 2

Параметри зовнішнього повітря для міста Києва для розрахунку систем опалення та кондиціонування повітря

Температура $\theta_{ext}$ , °С	Відносна вологість $\phi_{ext}$ , %, при роботі		Тривалість періоду $z$ , год, при роботі	
	опалення	кондиціонування повітря	опалення	кондиціонування повітря
-24	98	—	5	—
-20	97	—	9	—
-15	96	—	19	—
-10	95	—	188	—
-5	94	—	391	—
0	81	—	1154	—
5	78	—	1534	—
10	69	—	1122	—
15	63*	68*	696	563
20	—	62	—	1381
25	—	50	—	765
30	—	40	—	332
35	—	32	—	117

\* Різницю можна пояснити тим, що при даній температурі кондиціонування повітря необхідне лише в сонячну погоду, коли активується випаровування вологи з ґрунту

Основними системами формування мікроклімату будівель є опалення та кондиціонування повітря. Тому розрахунок зручно проводити для цих систем окремо. Решта систем будівлі будуть працювати практично однаково для двох сезонів. Вони можуть долучатися до розрахунків у кожному конкретному

випадку об'єкта. У даній роботі розглянемо вплив наступних систем формування мікроклімату:

- опалення;
- кондиціонування повітря;
- припливно-витяжної вентиляції;
- витяжної вентиляції періодичної дії.

Будемо вважати, що перші три системи працюють цілий рік і цілодобово. Витяжна вентиляція вмикається періодично відповідно до реєму експлуатації відповідних приміщень. Її вплив на енергоспоживання оцінюється через коефіцієнт робочого часу. Таким же чином можливо в розрахунок залучити інше обладнання та системи, наприклад:

- освітлення;
- гаряче водопостачання;
- плита для приготування їжі

При цьому, коефіцієнти робочого часу для кожного об'єкта встановлюються індивідуально або вибираються з нормативних документів.

На даний час немає розповсюдженої практики підтримування параметра комфортності «відносна вологість повітря» у приміщеннях. Вплив зволоження та осушення повітря на енергоспоживання будівлі не достатньо вивчено. У даній роботі будемо оцінювати енерговитрати на зниження відносної вологості повітря (осушення) при роботі кондиціонерів-довідників і не враховувати цей параметр при роботі опалення. Для наочності і спрощення викладення розглянемо метод розрахунку на прикладі конкретного об'єкта – поверху семиповерхового навчального корпусу університету (рис. 1).

Для розрахунку необхідно попередньо підготувати дані щодо площ кожного приміщення, кількості людей і тепловидільного обладнання в кожному з них (табл. 4). На основі цих даних будемо вести розрахунок базового режиму роботи систем формування мікроклімату.

Попередньо слід розрахувати:

- продуктивність припливно-витяжної вентиляції в приміщеннях, у даній роботі використано EN15251 [5], а за основу взято нормативну витрату повітря на людину,  $\text{м}^3/(\text{год}\cdot\text{люд})$ ;
- витрату витяжного повітря з технологічних приміщень (туалети), у даній роботі визначена за кількістю обладнання та нормативною витратою повітря на одиницю обладнання,  $\text{м}^3/(\text{год}\cdot\text{од.обл.})$ ;
- розрахункові трансмісійні тепловтрати та теплонадходження з урахуванням надходження теплоти від сонячної радіації, мають визначатися за будь-якою доступ-

ною методикою; у даній роботі використано питомі теплонадходження та тепловтрати на одиницю площі,  $\text{кВт}/\text{м}^2$ , залежно від:

- типу приміщення;
- типу зовнішніх огорожувальних конструкцій;
- орієнтації до Сонця;
- внутрішні теплонадходження від людей та обладнання, що працює, у даному прикладі прийнято переважно для людей за [5] при легкій роботі:
  - при кондиціонуванні повітря – повні теплонадходження;
  - при опаленні – явні теплонадходження.

Теплові навантаження визначалися для приміщень, у яких передбачено постійне перебування людей і які обслуговуються відповідними системами формування мікроклімату. Наприклад, у туалетах використовується лише опалення. У них тепловтрати враховуються, а теплонадходження не враховуються.

Для визначення теплового навантаження на систему опалення й кондиціонування повітря з метою розрахунку енергоспоживання використовуємо аналогію з методикою [9]. Вона передбачає коефіцієнти робочого часу кожного навантаження. Ці коефіцієнти показують частку часу, протягом якої діють відповідні навантаження. Наприклад:

- трансмісійні тепловтрати діють постійно;
- витяжна вентиляція з туалетів працює протягом 16 годин в день, а вночі вимикається.
- штучне освітлення працює взимку протягом восьми годин, а влітку не працює.

Коефіцієнти робочого часу визначалися експертним чином з урахуванням специфіки роботи об'єкта. Для інших об'єктів вони повинні бути визначені індивідуально. Кількість робочих годин інженерних систем слід обчислювати для конкретного об'єкту, з урахуванням його режиму роботи.

Обчислення максимального теплового навантаження на системи формування мікроклімату зручно проводити в електронній таблиці (табл. 5). Враховано, що внутрішні теплонадходження в приміщеннях зменшують (віднімаються від) навантаження на систему опалення, і збільшують (додаються до) навантаження на систему кондиціонування повітря.

Прив'язка теплового навантаження від трансмісії саме до температури зовнішнього повітря обґрунтована і відповідає фізичному змісту. Вона дозволяє легко інтерпретувати теплові процеси, що відбуваються в будівлях.

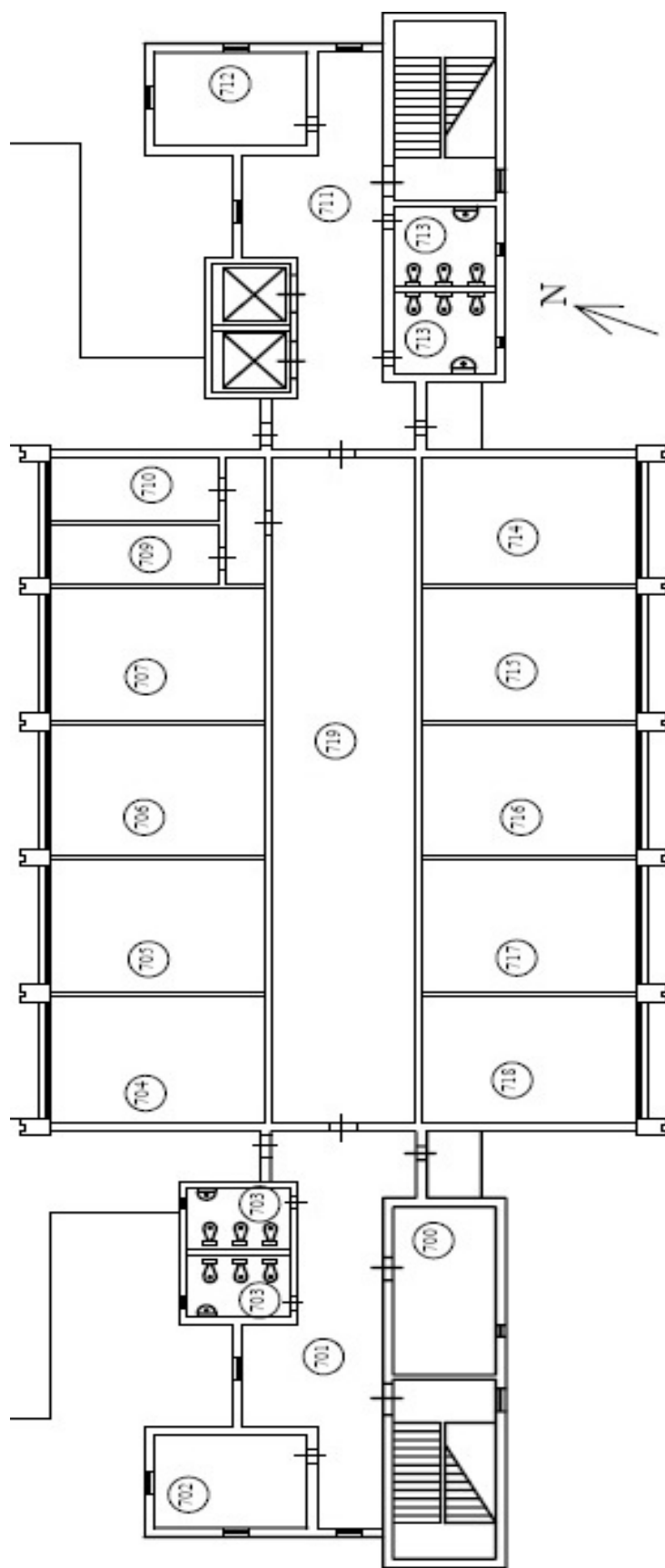


Рис 1. План типового поверху ВНЗ

## Специфікація приміщень з тепловими навантаженнями

Теплове навантаження для опалення, кВт, на вентиляцію:

– припливно-витяжну	24,8
– витяжну	16,5

Теплове навантаження для кондиціонування повітря, кВт, на вентиляцію:

– припливно-витяжну	10,3
– витяжну	6,5

№ приміщення	Призначення (жирним курсивом виділено корисні площі)	Площа м <sup>2</sup>	Кількість людей	Продуктивність, м <sup>3</sup> /год, вентиляції		Тепловтрати трансмісією, кВт	Теплонадходження, кВт,	
				припливно-витяжної	витяжної		трансмісійні*	внутрішні
701	коридор	46	—	—	—	1,8	1,4	—
<b>702</b>	<b>викладацька</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>125</b>	—	<b>1,6</b>	<b>2,2</b>	<b>0,7</b>
703	туалет	22	—	—	396	2,2	—	—
700	венткамера	38	—	—	—	—	—	—
<b>704</b>	<b>аудиторія</b>	<b>49</b>	<b>20</b>	<b>400</b>	—	<b>3,9</b>	<b>5,4</b>	<b>2,9</b>
<b>705</b>	<b>аудиторія</b>	<b>48</b>	<b>20</b>	<b>400</b>	—	<b>3,8</b>	<b>5,3</b>	<b>2,9</b>
<b>706</b>	<b>аудиторія</b>	<b>48</b>	<b>20</b>	<b>400</b>	—	<b>3,8</b>	<b>5,3</b>	<b>2,9</b>
<b>707</b>	<b>аудиторія</b>	<b>47</b>	<b>20</b>	<b>400</b>	—	<b>3,8</b>	<b>5,3</b>	<b>2,9</b>
<b>708</b>	<b>аудиторія</b>	<b>48</b>	<b>20</b>	<b>400</b>	—	<b>3,8</b>	<b>5,3</b>	<b>2,9</b>
<b>709</b>	<b>кабінет</b>	<b>19</b>	<b>6</b>	<b>120</b>	—	<b>1,5</b>	<b>2,1</b>	<b>1,9</b>
<b>710</b>	<b>кабінет</b>	<b>19</b>	<b>6</b>	<b>120</b>	—	<b>1,5</b>	<b>2,1</b>	<b>1,9</b>
711	коридор	46	—	—	—	1,8	1,4	—
<b>712</b>	<b>викладацька</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>125</b>	—	<b>1,6</b>	<b>2,2</b>	<b>0,7</b>
713	туалет	30	—	—	540	2,2	—	—
<b>714</b>	<b>аудиторія</b>	<b>47</b>	<b>20</b>	<b>400</b>	—	<b>3,6</b>	<b>5,8</b>	<b>2,9</b>
<b>715</b>	<b>аудиторія</b>	<b>49</b>	<b>20</b>	<b>400</b>	—	<b>3,7</b>	<b>5,9</b>	<b>2,9</b>
<b>716</b>	<b>аудиторія</b>	<b>49</b>	<b>20</b>	<b>400</b>	—	<b>3,7</b>	<b>5,9</b>	<b>2,9</b>
<b>717</b>	<b>аудиторія</b>	<b>49</b>	<b>20</b>	<b>400</b>	—	<b>3,7</b>	<b>5,9</b>	<b>2,9</b>
<b>718</b>	<b>аудиторія</b>	<b>49</b>	<b>20</b>	<b>400</b>	—	<b>3,7</b>	<b>5,9</b>	<b>2,9</b>
719	коридор	110	—	—	—	3,3	3,0	—
<b>Усього</b>		<b>853</b>	—	<b>4490</b>	<b>936</b>	<b>55</b>	<b>70</b>	<b>34</b>

Корисна площа, м<sup>2</sup> **561**

\* З урахуванням усереднених теплонадходжень від сонячної радіації крізь світлопрозорі конструкції

Для підтримання заданої температури, °С, у приміщеннях до них має бути передано або від них відібрано стільки теплоти, кВт, щоб компенсувати зовнішні впливи.

Характер зміни теплового навантаження від трансмісії залежить від типу будівлі та її конструктивних особливостей. Він достатньо вивчений і широко використовується виробниками систем автоматизації газових котлів змінної продуктивності та індивідуальних теплових пунктів для погодозалежного регулювання. Для точних розрахунків можливо обчислювати цей параметр для кожного температурного діапазону згідно з відповідними «градусо-годи-

нами».

Для даного прикладу наведемо зміни теплового навантаження від трансмісії залежно від температури зовнішнього повітря, °С, окремо для систем опалення й кондиціонування повітря (табл. 6). На підставі цих даних виконуємо розрахунок загального споживання енергоресурсів системою опалення, кВт·год (табл. 7).

Розрахункова методика для кондиціонування повітря буде складнішою. Отримане значення «холоду», кВт, слід перерахувати в електроенергію, кВт, яку споживає кондиціонер. Також до розрахунку долучається електроенергія, споживана допоміжними системами.

Таблиця 5

Теплові навантаження на системи опалення й кондиціонування повітря

Трансмісія		Вентиляція				Теплонадходження		Усього $\Phi_{mp} \times k_{mp} +$ $+ Q_{ne} \times k_{ne} +$ $+ Q_e \times k_e \pm$ $\pm Q_n \times k_n,$ кВт*
		припливно-витажна		витажна				
теплове навантаження $\Phi_{mp},$ кВт	коефіцієнт теплової витратності $k_{mp}$	теплове навантаження $\Phi_{ne},$ кВт	коефіцієнт теплової витратності $k_{ne}$	теплове навантаження $\Phi_e,$ кВт	коефіцієнт теплової витратності $k_e$	тепловий надходження $\Phi_n,$ кВт	коефіцієнт теплової витратності $k_n$	
55,0	1,0	24,8	0,5	16,5	0,7	34,2	0,5	$\Phi_{on} = 61,9$
70,4	1,0	10,3	0,5	6,5	0,7	34,2	0,5	$\Phi_{kn} = 97,2$

\* Мінус – опалення; плюс – кондиціонування повітря

Таблиця 6

Коефіцієнт теплового навантаження будівлі з ефективною теплоізоляцією (емпіричні дані автора з урахуванням дії сонячної радіації та інших зовнішніх впливів)

Температура $\theta_{ext},$ °С	Коефіцієнт теплового навантаження $k,$ %	
	на опалення	на кондиціонування повітря
-22	100	не працює
-20	96	не працює
-15	83	не працює
-10	67	не працює
-5	56	не працює
0	48	не працює
5	33	не працює
10	18	не працює
15	0	24
20	не працює	64
25	не працює	83
30	не працює	92
35	не працює	100

Таблиця 7

Річне споживання теплоти системою опалення

Температура зовнішнього повітря $\theta_{ext},$ °С	-22	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
Відносна вологість зовнішнього повітря $\phi_{ext},$ %*	98	97	96	95	94	81	78	69	63
Тривалість періоду $z,$ год	5	9	19	188	391	1154	1534	1122	696
Коефіцієнт теплового навантаження $k,$ %	100	96	83	67	56	48	33	18	0
Теплове навантаження $\Phi = k \Phi_{on} / 100,$ кВт	61,9	59,4	51,3	41,4	34,6	29,7	20,4	11,1	0
Споживання теплоти за період $Q_i = \Phi z,$ кВт·год	309	534	975	7791	13543	34260	31310	12491	0
Загальне споживання теплоти за рік $Q_{\Sigma} = \Sigma Q_i,$ кВт·год	<b>101213</b>								

\* необхідне для розрахунку теплового навантаження на вентиляцію

Врахуємо особливості споживання енергії:

1. Електроенергію споживає не тільки зовнішній блок, але і внутрішні блоки – 14 шт;
2. Холодопродуктивність кондиціонера залежить від температури зовнішнього повітря.

Детально ці особливості наведено в [9]. Обчислення будемо проводити в електронній таблиці (табл. 8).

Розглянемо внесок інших інженерних систем – освітлення, гарячого водопостачання та вентиляції. Залежно від типу будівлі в ньому можуть бути присутні інші системи, енергоспоживання яких слід враховувати аналогічно.

Розрахункові формули [4] споживання теплової енергії для гарячого водопостачання і

електричної енергії для освітлення споживачів аналогічні, відповідно:

$$Q = F k_1 z, \text{ кВт}\cdot\text{год.} \quad (1)$$

$$P = F k_1 z, \text{ кВт}\cdot\text{год.} \quad (2)$$

де  $F$  – корисна площа приміщень, м<sup>2</sup>, (за табл. 4  $F = 561\text{ м}^2$ );  $k_1$  – норматив витрати енергії на одиницю площі, кВт/м<sup>2</sup> за [4];  $z$  – час роботи системи за рік, год, за [4].

Якщо відома потужність електродвигунів інженерних систем (у даному випадку – вентиляції), то витрата електроенергії

Таблиця 8

**Споживання енергії системою кондиціонування повітря**

Кількість внутрішніх блоків  $n_{вн} = 14$       Потужність внутрішнього блока  $N_{вн} = 0,08$  кВт

Температура зовнішнього повітря $\theta_{ext}, ^\circ\text{C}$	15	20	25	30	35
Відносна вологість зовнішнього повітря $\phi_{ext}, \%$	68	62	50	40	32
Тривалість періоду $z_i$ , год	563	1381	765	332	117
Коефіцієнт теплового (холодильного) навантаження $k, \%$	24	64	83	92	100
Потреба холоду $\Phi_c = k \Phi_{кн} / 100$ , кВт	23,3	62,2	80,7	89,4	97,2
Робоча холодопродуктивність при відповідній температурі зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$ (за паспортними даними), $\Theta_0$ , кВт	96,3	100,0	95,6	88,9	84,5
Робоче споживання енергії при відповідній температурі зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$ , зовнішніми блоками (за паспортними даними), $N_0$ , кВт	15,6	16,6	18,2	19,8	21,4
Споживання енергії зовнішніми блоками на режимі $N_{зв} = N_0 \Theta_c / \Theta_0$ , кВт	3,8	10,3	15,4	19,9	24,6
Споживання за період $P_{зв,i} = N_{зв} z_i$ , кВт·год	2128	14261	11749	6612	2880
Споживання внутрішніми блоками за період $P_{вн,i} = N_{вн} n_{вн} z_i$ , кВт·год	631	1547	857	372	131
Споживання системою за період $P_i = P_{зв,i} + P_{вн,i}$ , кВт·год	2758	15808	12606	6984	3011
<b>Споживання системою за рік <math>P_\Sigma = \Sigma P_i</math>, кВт·год</b>	<b>41167</b>				

Таблиця 9

**Річне споживання енергії іншими інженерними системами**

Площа обслуговуваних приміщень  $F = 561$  м<sup>2</sup>

Система	Вид енергії	Норматив витрати енергії на одиницю площі $k_1$ , кВт/м <sup>2</sup>	Потужність обладнання $N$ , кВт	Тривалість роботи $z$ , год	Річна витрата теплоти $Q = F k_1 z$ або електроенергії $P = F k_1 z$ , $P = N z$ , кВт·год
Гарячого водопостачання	Теплова	0,01	—	2600	14586
Освітлення	Електрична	0,07	—	200	7854
Вентиляції	припливно-втяжна	—	1,1	2600	2860
	втяжна	—	0,2	2600	520
<b>Всього</b>	<b>Теплова</b>	—	—	—	<b>14586</b>
	<b>Електрична</b>	—	—	—	<b>11234</b>

$$P = N z, \text{кВт}\cdot\text{год.} \quad (3)$$

де  $N$  – потужність обладнання, кВт.

Результати розрахунку зазначених інженерних систем (табл. 9) показують суттєву частку енергоспоживання їх у загальних енергопотребках будівлі.

Насамкінець, обчислюємо кількість парникових газів, які викидаються в атмосферу інженерними системами. Скористаємося даними [9] і зведемо їх у таблицю (табл. 9) для оцінки «екологічного впливу» інженерних систем на різних видах палива.

Таким чином, отримано можливість проаналізувати ступінь шкідливого впливу від кожної системи при різних джерелах теплоти. У наведених в табл. 10 питомих викидах, кг/(МВт·год), вже враховані втрати енергії при

доставці.

Дані табл. 10 свідчать, що на даному об'єкті опалення та кондиціонування повітря викидають  $\text{CO}_2$ , відповідно, понад 60 % і 24 %. Таким чином, головним джерелом викидів  $\text{CO}_2$  є опалення. Наступним за значущістю є кондиціонування повітря. Частка гарячого водопостачання на даному об'єкті не перевищує 10 %. Штучне освітлення спричиняє викид менше 5 % від загального вивільнення  $\text{CO}_2$  через малу тривалість дії та високу ефективність сучасних ламп. На останньому місці опиняються системи вентиляції. Загалом вони спричиняють викид  $\text{CO}_2$  в межах лише 2,01 % від загального. Таким чином, результати розрахунку дозволяють обґрунтувати пріоритети оптимізації інженерних систем задля зменшення вуглецевого сліду будівлі.

Викиди за рік CO<sub>2</sub> від інженерних систем

Кількість однотипних поверхів  $n_{пов} = 7$

Вид палива	Питомі викиди CO <sub>2</sub> $f$ , кг МВт·год [9]	Викиди CO <sub>2</sub> за рік $fQ_{\Sigma}/1000, fP_{\Sigma}/1000$ , кг,								
		з одного поверху від							Сумарне за системами $M_{CO_2}$	За будівлею в цілому $n_{пов} M_{CO_2}$
		Опалення	Кондиціонування повітря	Вентиляції		Горяче водопостачання	Освітлення			
				припливно-витяжної	ви-тяж-ної					
при $Q_{\Sigma}$ або $P_{\Sigma}$ , кВт·год										
		101213	41167	2860	520	14612	7868			
мазут	330	33400	13585	944	172	4822	2596	55519	388636	
природний газ	277	28036	11403	792	144	4048	2179	46603	326219	
антрацит	394	39878	16220	1127	205	5757	3100	66287	464008	
буре вугілля	433	43825	17825	1238	225	6327	3407	72848	509937	
деревина (дрова)	14	1417	576	40	7	205	110	2355	16488	
деревина (пелети)	7	708	288	20	4	102	55	1178	8244	
змішана електроенергія	617	62449	25400	1765	321	9016	4855	103804	726631	
Відсоток у загальному викиді		60,16	24,47	1,70	0,31	8,69	4,68	—	—	

**Висновки.** Запропонована в роботі методика дозволяє:

- розрахувати викиди парникових газів від роботи інженерних систем реальних будівель різного призначення;
- вибрати джерело теплопостачання, холодопостачання, технологію вентиляції для мінімізації викидів парникових газів при реконструкції існуючих будівель;

- розрахувати викиди парникових газів від інженерних систем проектованої будівлі і вибрати технологію опалення, кондиціонування повітря й вентиляції для мінімізації викидів парникових газів;
- обґрунтувати пріоритети вдосконалення інженерних систем на конкретному об'єкті задля зменшення вуглецевого сліду будівлі.

**Література**

1. New report: District energy can decarbonize the EU heating and cooling sector [Electronic Resource]. – December 5, 2019. – URL: [https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/news/cf/new-report-district-energy-can-decarbonize-the-eu-heating-and-cooling-sector/?filter=segments%3Ddhs&fbclid=IwAR04mJGaIBRgOa8TwIoM\\_bHviLwpARw4jps2gcaS4LbtMYXvOhbXgM4JPYE](https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/news/cf/new-report-district-energy-can-decarbonize-the-eu-heating-and-cooling-sector/?filter=segments%3Ddhs&fbclid=IwAR04mJGaIBRgOa8TwIoM_bHviLwpARw4jps2gcaS4LbtMYXvOhbXgM4JPYE)
2. Ткаченко Т. М. Оцінка заощадження енергії та непрямого зменшення викидів CO<sub>2</sub> вертикальним озелененням / Ткаченко Т. М., Мілейковський В. О., Гунченко О. Н. // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2019. – Вип. 31. – С. 16-23
3. Tkachenko T. Research of cooling effect of vegetation layer of green structures in construction / T. Tkachenko, V. Mileikovskiy // International Scientific and Practical conference “World science”. – 2017. – Vol. 1. – no 7 (23). – pp 22-24.
4. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. – Чинні від 01.01.2016. – Київ: Мінрегіон України, 2015. – 145 с.
5. ДСТУ Б EN 15251:2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики. – Чинні від 01.01.2013. – Київ: Мінрегіон України, 2012. – 71 с.
6. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Чинні від 01.01.2014. – Київ: Укрархбудінформ, 2013. – V, 141 с.
7. Архів погоди в Києві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.meteoprog.ua/ua/fwarchive/kyiv/](http://www.meteoprog.ua/ua/fwarchive/kyiv/) Дата звернення 09-07-2014.
8. Кордюков М. І. Оцінка енергоспоживання систем вентиляції та кондиціонування повітря / М. І. Кордюков // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2016. – Вип. 20. – с. 46-53.
9. ДСТУ Б EN 15603:2013. Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки. – Чинні від 01.01.2014. – Київ: Мінрегіон України, 2014. – 92 с.



## References

1. New report: District energy can decarbonize the EU heating and cooling sector [Electronic Resource]. December 5, 2019 URL: [https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/news/cf/new-report-district-energy-can-decarbonize-the-eu-heating-and-cooling-sector/?filter=segments%3Ddhs&fbclid=IwAR04mJGaIBRgOa8TwIoM\\_bHviLwpARw4jps2gcaS4LbtMYXvOhbxgM4JPYE](https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/news/cf/new-report-district-energy-can-decarbonize-the-eu-heating-and-cooling-sector/?filter=segments%3Ddhs&fbclid=IwAR04mJGaIBRgOa8TwIoM_bHviLwpARw4jps2gcaS4LbtMYXvOhbxgM4JPYE)
2. Thachenko T., Mileikovskiy V., Hunchenko O. Otsinka zaoshchadzennia enerhii ta nepriamoho zmeshennia vykydiv CO<sub>2</sub> vertykalnym ozelenenniam. *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohapostachannia*. 2019. Iss. 31. pp. 16-23
3. T. Tkachenko, V. Mileikovskiy. Research of cooling effect of vegetation layer of green structures in construction. *International Scientific and Practical conference "World science"*. 2017. Vol. 1. no 7 (23). pp. 22-24.
4. *Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pry opalenni, okholodzhenni, ventyliatsii, osviltenni ta horiachomu vodopostachanni*. DSTU A.2.2-12:2015. Minrehion Ukrainy, 2015.
5. *Rozrakhunkovi parametry mikroklimatu prymishchen dlia proektuvannia ta otsinky enerhetychnykh kharakterystyk budivel po vidnoshenniu do yakosti povitria, teplovoho komfortu, osviltennia ta akustyky*. DSTU B EN 15251:2011. Minrehion Ukrainy, 2012.
6. *Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvannia*. DBN V.2.5-67:2013, Ukrarkhbudininform, 2013.
7. *Arkhiv pohody v Kyievi*. [www.meteoprog.ua/ua/fwarchive/kyiv/](http://www.meteoprog.ua/ua/fwarchive/kyiv/). Access date: 09.07.2014.
8. Kordiukov M. I. "Otsinka enerhospozhyvannia system ventyliatsii ta kondytsionuvannia povitria. *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohapostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Iss. 20, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2016, pp. 46-53.
9. *Enerhetychna efektyvnist budivel. Zahalne enerhospozhyvannia ta provedennia enerhetychnoi otsinky*. DSTU B EN 15603:2013. Minrehion Ukrainy, 2014.

УДК 697.9:628.87:504.05

## Метод расчёта выбросов парниковых газов от эксплуатации инженерных систем зданий

М.І.Кордюков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Асистент. Киевский Национальный Университет Строительства и Архитектуры. [melco@ukr.net](mailto:melco@ukr.net),  
ORCID: 0000-0003-4964-4176

*Аннотация. Снижение выбросов парниковых газов в настоящее время является приоритетной задачей человечества для уменьшения климатических изменений. Инженерные системы зданий (отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха, освещение и др.) дают значительный вклад в углеродный след. Методика, предложенная в этой статье, даёт возможность оценить величину выбросов от каждой из систем и наметить пути их снижения. Особенностью предлагаемой методики являются следующие положения. Рассматривается вклад в выбросы парниковых газов всех инженерных систем, обеспечивающих комфортность помещений здания. Комфортность помещений здания рассматривается в соответствии с EN 15251. Параметры окружающей среды определяются в соответствии с методикой автора. При разработке методики приняты следующие упрощения. Не рассматривается система увлажнения воздуха в зимнее время, тогда как осушения воздуха в летний период при кондиционировании воздуха учтено. Коэффициенты рабочего времени систем даны для примера. Нормативные показатели рассматриваются в соответствии с ДСТУ Б А.2.2-12. Методика может использоваться как для оценки величины выбросов CO<sub>2</sub> имеющихся зданий, так и для выбора варианта формирования микроклимата проектируемого здания. Особенно полезной методика может быть для выбора целесообразной технологии формирования микроклимата при реконструкции здания путём сравнения количества выбросов от различных вариантов.*

*Ключевые слова: выбросы парниковых газов, углеродный след, инженерные системы зданий, вентиляция с рекуперацией, отопление, кондиционирование воздуха, формирование микроклимата, энергоэффективность, энергосбережение.*

UDC 697.9:628.87:504.05

## Method for Calculating Greenhouse Gas Emissions from the Operation of Engineering Systems of Buildings

M. Kordyukov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Assistant. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, melco@ukr.net,  
ORCID: 0000-0003-4964-4176

*Abstract. Reducing greenhouse gas emissions is currently a priority for human civilization to reduce climate change. Engineering systems of buildings (heating, ventilation, air-conditioning, lighting, etc.) make a significant contribution to the carbon footprint. The methodology proposed in this article makes it possible to estimate the amount of emission from each of the systems and outline ways to reduce them. A feature of the proposed methodology is the following provisions. The contribution to the greenhouse gas emissions of all engineering systems that ensure the comfort of the building's premises is considered. The comfort of the building's premises is considered in accordance with EN 15251 "Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics". The environmental parameters are determined in accordance with the author's methodology. When developing the methodology, the following simplifications were made. The winter humidification system is not considered, while the dehumidification of air in summer during air conditioning is taken into account. Coefficients of working hours of systems are given as an example. Normative indicators are considered in accordance with DSTU B A.2.2-12 "Energy efficiency of buildings. Method of calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply". The technique can be used both for estimating the CO<sub>2</sub> emissions of existing buildings and for choosing the option of forming the microclimate of the designed building. An especially useful technique may be to select the appropriate microclimate formation technology for building reconstruction by comparing the amount of emission from various options. Priorities of improvement of the engineering systems can be grounded based on their share in whole CO<sub>2</sub> emission.*

*Keywords: greenhouse gas emissions, carbon footprint, engineering systems of buildings, ventilation with heat recovery, heating, air conditioning, microclimate formation, energy efficiency, energy saving.*

Надійшла до редакції / Received 05.06.2019.