

Хмельницький національний університет

Повна назва вищого навчального закладу

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Повна назва факультету

Кафедра будівництва та цивільної безпеки

Повна назва кафедри

ДИПЛОМНА РОБОТА

магістр

Освітній рівень

Галузь знань 26 – Цивільна безпека

Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 263 – Цивільна безпека

Шифр і назва спеціальності

Освітня програма Охорона праці (за галузями)

на тему «Використання енергоощадних технологій
при розробці системи вентиляції»

Шифр ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу група ЦВБмз-20-1 Мельничук А.О.

Підпис

Керівник: Мисліборський В.В.

Підпис, дата

До захисту допускаю: Калда Г. С.

Підпис, дата

Зав. кафедри _____

_____ 2021 р.

Хмельницький, 2021

ЗМІСТ.....	стр
ВСТУП.....	5
1. ВЕНТИЛЯЦІЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ В БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ.....	9
2. НОРМАТИВНІ ПАРАМЕТРИ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА У ПРИМІЩЕННІ.....	19
2.1 Мікрокліматичні параметри повітря в приміщенні	20
2.2 Розподіл параметрів повітря приміщення по його висоті	23
2.3 Інтенсивність турбулентності повітряного потоку	25
2.4 Типові варіанти управління I-d процесами	27
2.5 Поняття про елементарні процеси зміни тепловологісного стану на I-d діаграмі	28
2.6 Практичне застосування I-d діаграми.....	36
3. КЛАСИЧНІ ПРИНЦИПИ ВЕНТИЛЯЦІЇ БУДІВЛІ.....	38
3.1 Параметри повітря.....	38
3.2 Основні способи вентиляції будівель.....	43
3.3 Централізована припливно-витяжна вентиляція з утилізацією теплоти	48
3.4 Децентралізована механічна припливно-витяжна вентиляція	51
4. ЕНЕРГООЩАДНА ВЕНТИЛЯЦІЯ	58
4.1 Теплоутилізатори.....	58
4.2 Пластинчасті рекуператори	60
4.3 Роторні тепло утилізатори.....	63
4.4 Розрахунок економічної ефективності теплоутилізації будівлі.....	68

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Мельничук А.О.</i>			<i>Використання енергоощадних технологій при розробці системи вентиляції</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Мислідорський.В</i>					4	
<i>Реценз.</i>						<i>ХНУ ст. гр. ЦВБ_{нз} -20-1</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Паршенко К.А.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Калда Г.С.</i>						

ВИСНОВКИ.....	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	76
ДОДАТКИ.....	
ДОДАТОК А.....	
ДОДАТОК Б.....	

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		3

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		4

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
						5
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

*Нічого не коштує так дешево
і не ціниться так дорого,
як чисте повітря.*

На сьогодні всі будівлі як виробничих так і громадських приміщень повинні бути оснащені як приточною так і витяжною системою вентиляції. В залежності від того, які системи ми будемо використовувати і буде залежати застосування спеціальних систем для обробки повітря.

Однією з основних проблем, що вирішується світовою спільнотою на цей час, є енергозбереження. Одночасно реалізуються дві мети – збереження невідновлюваних енергоресурсів і скорочення шкідливих викидів в атмосферу продуктів згоряння, що є, зокрема, основним фактором глобального потепління.

Тепловий комфорт для людини можливо визначити як стан людини, задоволеною умовами оточуючого середовища, при яких вона не знає, чи хоче вона змінити умови середовища, в якому вона перебуває, чи вона хоче холодніше, чи вона хоче тепліше.

Так, можливе використання відомих на сьогодні таких систем, як вентиляція так і кондиціонування повітря. Призначення в них різне. Так, при вентиляції в приміщення подають для обміну повітря при видаленні тепла і вологи, шкідливих та інших теплових параметрів повітря, а при кондиціонуванні повітря, здійснюється автоматичне підтримання всіх режимів або окремих параметрів повітря, найбільш приємних для самопочуття людини та виконання технологічного процесу. Системи кондиціонування в своєму складі містять засоби очистки повітря від пилу, запахів та бактерій, підігріву, зволоженні та його осушенні. Основне обладнання, яке застосовується для приготування та забезпечення руху повітря по повітропроводам входить в пристрій, який називається кондиціонером. Всі вищезазначені пристрої споживають немалу кількість електричної енергії, питання ціни на яку досить велика і дискутується кожен день.

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В свою чергу кондиціонування повітря поділяється на комфортне та технологічне.

Комфортні системи кондиціонування в основному використовуються для створення та підтримання температури, відносної вологості, чистоти та швидкості руху повітря, які відповідають оптимальним санітарно-гігієнічним вимогам.

Технологічні системи кондиціонування використовують для забезпечення параметрів повітря, які в максимальній степені відповідають вимогам виробництва.

Питання енергоощадності вентиляції виноситься на перше місце. Тобто там де можливо, використовувати реверсні режими роботи вентиляційних пристроїв, в інших випадках застосовувати пристрої, які дадуть можливість енергозаощадити, тобто до таких пристроїв можемо віднести тепло утилізатори, пластинчасті рекуператори, роторні теплоізолятори.

Також непогані результати з точки зору затрат на роботу кондиціонерів можемо отримати при індивідуальному підході до систем вентиляції.

Об'єкт дослідження: енергоощадні технології вентиляції громадських приміщень з використанням вентиляції з рециркуляцією та рекуператором теплоти вентиляційного повітря

У роботі були поставлені і вирішені наступні задачі дослідження:

- місце та призначення різного роду вентиляцій з точки зору енергоощадності;
- нормативи параметрів повітряного середовища в громадських приміщеннях різного призначення;

коректування роботи вентиляційної системи через вплив на параметри I-d діаграми з точки зору енергоощадності;

повітрообмін на різних ділянках будівель та споруд.

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Предмет дослідження: аналіз енергоощадних технологій засобами утилізації теплоти вентиляційного повітря: рекуператор теплоти, рециркуляція вентиляційного повітря.

Наукова новизна результатів роботи полягає у наступному:

- підбрано оптимальні схеми роботи вентиляційної системи через вплив на параметри I-d діаграми з точки зору енергоощадності;
- здійснено підбір вентиляторів за їхніми характеристиками (для багато вентиляторних систем кондиціонування);
- здійснено підбір елементів вентиляції – повітрянагрівачів в холодний період року по теплоносію та параметрам повітря в робочій зоні приміщення;
- здійснено підбір елементів вентиляції – рекуператор теплоти, рециркуляція вентиляційного повітря.

Практичне значення отриманих результатів:

- запропоновані оптимальні схеми управління повітрообміну на виробництві;
- підбрані основні елементи вентиляції для багатокомпонентних систем обробки повітря;
- підготовлені остаточні висновки про шляхи поліпшення умов повітрообміну під час виконання робіт в цеху.

Магістерська робота була підготовлена до захисту на основі дослідження результатів автора та літературним джерелам. При її підготовці було використано методичні розробки інститутів праці, галузевих інститутів, Державних санітарних норм та стандартів, технічних джерел, що наведено в переліку посилань роботи.

Особливу подяку в допомозі підбору матеріалу висловлюємо кандидату технічних наук, технічному директору науково-виробничого центру вентиляції і кондиціонування Снозику Олександровичу Володимировичу.

									Арк.
									8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ				

1. ВЕНТИЛЯЦІЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ В БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ[7]

Під дією різних факторів повітря всередині приміщення може змінювати свій склад, температуру та вологість, що призводить до погіршення самопочуття людей або порушення нормального протікання технологічних процесів. Для того, щоб запобігти погіршенню якості повітря в приміщенні слід здійснювати обмін повітря, при якому з кімнати видаляється забруднене повітря, а надходить чисте.

Вентиляція – це сукупність заходів та пристроїв, які забезпечують розрахунковий обмін повітря в приміщенні.

Основна задача вентиляції полягає у забезпеченні обміну повітря в приміщенні. Пристрої вентиляції можуть забезпечувати окремі задачі:

- нагрівання повітря;
- очищення повітря;
- транспортування;
- розподіл повітря в приміщенні та ін.

Слід зазначити, що вентиляція повинна забезпечувати не просто обмін повітря, а розрахунковий обмін, тобто влаштування системи вентиляції вимагає обов'язкового проектування. Наприклад, якщо відкрити вікно в приміщенні, це не є розрахунковий обмін повітря. Але якщо провести розрахунки та визначити кількість повітря, яку потрібно подати та на який кут відчинити вікно, то це є процес влаштування розрахункової природної вентиляції в приміщенні.

Вентиляція буває природною та штучною. Системи вентиляції забезпечують мікроклімат приміщень і в загальній ієрархії знаходяться між системами опалення та системами кондиціювання повітря. Системи вентиляції не мають пристроїв для охолодження та осушення повітря, тому в теплий період

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

року не завжди забезпечує дотримання оптимальних мікрокліматичних умов, а тільки допустимих.

Система вентиляції здатна забезпечувати на потрібному рівні:

- температуру;
- рухливість;
- відносну вологість;
- запиленість повітря
- концентрацію шкідливих виділень

Кондиціонування – це створення та автоматичне підтримання в приміщеннях параметрів повітря на певному рівні з метою забезпечення оптимальних умов. Є більше складною, потужною та досконалою системою, яка здатна забезпечити в приміщенні дотримання всіх параметрів повітря. Відрізняється від системи вентиляції наявністю джерела холоду та охолоджувача повітря.

Обидві системи досить часто використовують для повітряного опалення, подаючи в систему перегріте повітря.

Вимоги до систем вентиляції та кондиціонування.

- санітарно-гігієнічні(полягають у дотриманні стану внутрішнього повітря, який відповідає санітарним нормам) ;
- технологічні(якість внутрішнього повітря повинна задовольняти вимоги технологічних процесів у приміщенні);
- енергетичні(системи вентиляції та кондиціонування повинні виконувати свою функцію з мінімальним споживанням теплової та електричної енергії);
- економічні(вартість самих систем та їх експлуатування повинні бути якомога меншими);
- конструктивно-технологічні(передбачають сучасні ефективні способи виробництва систем вентиляції та кондиціонування) ;
- експлуатаційні (забезпечення мінімально можливих витрат під час експлуатації);

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
						10
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- вимоги пожежної безпеки(максимально можливе зменшення шансу виникнення пожежі при експлуатації систем вентиляції та перекидання полум'я з одного приміщення в інше через систему вентиляції);
- екологічні(робота систем В та К не повинна забруднювати довкілля);
- архітектурно-будівельні(елементи систем В та К не повинні порушувати внутрішній інтер'єр приміщення);
 - будівельно-монтажні(системи В та К повинні монтуватися із застосування технологічних засобів, які забезпечують високу якість системи в цілому).

Існують два основні методи вентиляції приміщення – розбавленням та витісненням.

Використання такого методу передбачає надходження в приміщення одного або декількох повітряних струменів поза робочою зоною. При цьому повітряний потік підхоплює велику кількість внутрішнього повітря, яке змішується з приливним струменем. Струмінь розподіляється приміщенням, розширюється, але втрачає швидкість. Проектування вентиляції цього типу повинно передбачати достатньо низьку швидкість повітряного струменя в робочій зоні.

Вентиляція виконує два основних завдання: забезпечення комфортних умов у будівлі та утримання її конструкцій у належному стані.

При сучасному центральному опаленні, якісній теплоізоляції та герметичних віконних конструкціях вентиляція має величезне значення. У будівництві, як правило, основний постулат будь-якого проєктувальника чи архітектора зводиться до найпростішого: чим менше будівля втрачає теплоти, тим менша кількість енергії необхідна для поповнення теплових втрат.

Тому, на перший погляд, найбільш простим та раціональним способом заощадження енергії на опалення є спосіб підвищення теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій (рисунок 1.1) [12].

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Прагнення до створення будівель із малими тепловтратами викликало збільшення вимог до теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій (у Європі – в 70-х роках минулого століття, в Україні – з 1996 року). Стосовно стін та покриття, вимоги до опору теплопередачі зросли на 150...200 %, до вікон – на 20...30 %. На вентиляцію у звичайних будівлях витрачається орієнтовно близько 40...50 % усієї теплоти, яка віддається системою опалення.

При покращенні теплоізоляції будівлі частка теплоти, яка втрачається разом із вентиляційним повітрям, зростає.



Рисунок 1.1 – Можливі втрати теплоти в будівлі

Коли планується модернізація чи будівництво будівлі, що передбачає його теплоізоляцію та герметизацію, необхідно розуміти, як модернізація вплине на існуючу або заново змонтовану систему вентиляції. Вона здатна значно змінити ситуацію та створити проблеми в приміщеннях, коли сирість та її побічні ефекти непомітно виникають під дошками підлоги або на горіщі. При цьому активно розвиваються грибки та пліснява, які виділяють токсичні канцерогенні речовини і спори, що крім провокування появи ракових пухлин або захворювання на мікози можуть викликати раптові гострі алергічні реакції (анафілактичний шок, набряк Квінке, напад бронхіальної астми) з летальними наслідками. [7]

Більшість будівельних матеріалів виділяють найбільшу кількість забруднювальних речовин у перший час після виготовлення. Скорочення термінів здачі об'єктів замовникові часто призводить до того, що в процесі будівництва нові будівлі забруднюються більше, ніж за весь інший час їхньої експлуатації.

У приміщеннях за ДБН В.2.5-67:2013 нормується мінімальна питома витрата вентиляційного повітря (таблиця 1.1).



Рисунок 1.2 – Нормування мінімальної питомої витрати вентиляційного повітря

Для визначення повітрообміну L , м³/год, у приміщенні, площа та об'єм якого за внутрішніми обмірами становлять, відповідно, S , м², та V , м³, використовується або питома витрата повітря $q = L/S$, м³/(год·м²) або кратність повітрообміну $K_p = L/V$, год⁻¹ [7]:

В свою чергу

$$L = q S = K_p V, \text{ м}^3 / \text{год.} \quad (1.1)$$

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Для визначення мінімальної витрати зовнішнього повітря додають потребу в зовнішньому повітрі на людей (кількістю n) та на розбавлення забруднень (на площу):

$$L_{tot} = n q_p + S q_v, \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (1.2)$$

де q_p – питома витрата зовнішнього повітря на людину, $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{люд.})$,

q_v – питома витрата зовнішнього повітря на розбавлення будівельних забруднень, $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$.

Таблиця 1.1 - Мінімальні питомі витрати вентиляційного повітря за ДБН В.2.5-67:2013[1]

Умови мікроклімату	Повітрообмін ¹⁾		Житлові та спальні кімнати, витрата зовнішнього повітря		Витрата повітря, яке видаляється, $\frac{\text{дм}^3/\text{с}}{\text{м}^3/\text{год}}$		
	$\frac{\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)}{\text{м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)}$	год ⁻¹	$\frac{\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{люд.})}{\text{м}^3/(\text{год} \cdot \text{люд.})}$	$\frac{\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)}{\text{м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)}$	кухня	ванна	туалет
Підвищені оптимальні	<u>0,49</u> 1,764	0,7	<u>10</u> 36	<u>1,4</u> 5,04	<u>28</u> 100,8	<u>20</u> 72	<u>14</u> 50,4
Оптимальні	<u>0,42</u> 1,512	0,6	<u>7</u> 25,2	<u>1,0</u> 3,6	<u>20</u> 72	<u>15</u> 54	<u>10</u> 36
Допустимі	<u>0,35</u> 1,26	0,5	<u>4</u> 14,4	<u>0,6</u> 2,16	<u>14</u> 50,4	<u>10</u> 36	<u>7</u> 25,2

За наявності в приміщенні обладнання, в якому відбувається горіння з використанням внутрішнього повітря, слід забезпечити достатній приплив повітря для підтримання горіння згідно з паспортними даними. За наявності газового обладнання потужність понад 30 кВт (наприклад, котли) у приміщенні мінімальна витрата витяжного повітря з нього за ДБН В.2.5-20-2001 становить 3 год⁻¹ [6].

Таблиця 1.2 – Кратність повітрообміну деяких приміщень

Приміщення	Вимоги до повітрообміну		
	Приплив	Витяжка	
Загальна кімната, спальня, кабінет	0,8 год ⁻¹ *	–	
Кухня	–	за повітряним балансом квартири, але не менше $\text{м}^3/\text{год}$:	
Кухня-їдальня	0,8 год ⁻¹ *		90
Ванна	–		25
Туалет	–		25
Суміщений санвузол	–		50
Гардеробна	–	1,5 год ⁻¹	
Пральня	–	0,5 год ⁻¹	

Припливне повітря повинно подаватися через вікна. При встановленні вікон без кватирок і з герметичним притулом слід застосовувати модифікації вікон із вбудованими провітрювачами. При проектуванні будівель II категорії має забезпечуватися однократний повітрообмін [4].

При правильних розрахунках цей спосіб забезпечує високу ефективність вентиляції. При такому методі розподільники повітря розташовують на незначній висоті над підлогою і повітря подається безпосередньо в робочу зону. Нагріте внутрішнє повітря, яке знаходилось у приміщенні раніше, підіймається вгору і видаляється через витяжні отвори, розташовані в стелі. Правильно спроектована система забезпечує високу якість повітря.

Широкому застосуванню цієї системи перешкоджають наступні фактори:

- розподільники повітря мають великі розміри та займають багато місця;
- розподільники часто закриваються;
- через високу швидкість повітря виникає проблема протягів.

Вентиляційне обладнання. Вентилятор[7].

Це механічний пристрій, призначений для транспортування повітря в системах механічної вентиляції.



а.)



б.)



в.)

Рисунок 1.2 - Конструкції вентиляторів – а.) радіальні, б.) осьові, в.) відцентрові

					ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Конденційне обладнання. Кондеціонери [7]. Охолодження у кондиціонерах здійснюється за рахунок поглинання тепла під час кипіння спеціальної рідини – фреону. Ефективність циклу охолодження оцінюють коефіцієнтом корисної дії або коефіцієнтом термічної ефективності. Коефіцієнт термічної ефективності визначається як відношення зміни тепловмісту холодоагенту (фреону) у випарнику до зміни тепловмісту холодоагенту під час стиснення. Фактично цей коефіцієнт показує співвідношення холодинної та електричної потужності. Наприклад, якщо його значення становить 2,5, то це значить, що на кожен одиницю електроенергії, яку споживає холодильна машина, виробляється 2,5 одиниці холоду.

Компресійний кондиціонер[7].

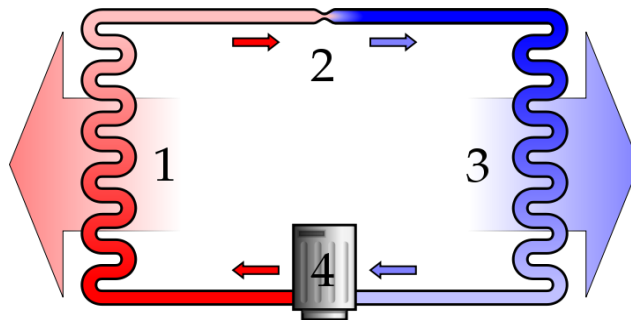


Рисунок 1.3 - Основні вузли кондиціонера

Основними вузлами місцевого кондиціонера компресійного типу є:

1. Компресор – стискає робоче середовище, тобто холодоагент (як правило, фреон) і підтримує його рух по холодильному контуру.
2. Конденсатор – радіатор, розташований у внутрішньому блоці. У конденсаторі газ переходить із газоподібного стану в рідкий. Для високої інтенсивності та довготривалої експлуатації переважно виготовляється з міді та алюмінію.
3. Випарник – радіатор, розташований у внутрішньому блоці. У випарнику при різкому зниженні тиску фреон переходить з рідкого стану у газоподібний (кипіння). В основному виготовляється з міді та алюмінію

4. Терморегулюючий вентиль – знижує тиск фреону перед випарником.

5. Вентилятори – створюють потік повітря, що обдуває випарник та конденсатор. Використовуються для більш інтенсивного теплообміну з навколишнім повітрям.



Рисунок 1.4 - Кондиціонери спліт-систем

Кондиціонери спліт-систем – отримали найбільше поширення для кондиціонування повітря житлових та офісних приміщень.

Складаються з внутрішнього (випарного) та зовнішнього (компресорно-конденсаторного) блоків. Зовнішній блок розташовується на стіні будівлі, даху або балконі. Внутрішній блок безпосередньо у приміщенні, призначається для охолодження чи нагрівання повітря. Блоки з'єднані між собою трубками та електричним кабелем[7].



Рисунок 1.5 - Шафові кондиціонери

Шафові кондиціонери – це моноблок, який встановлюється в приміщеннях, де потрібно щоденно та цілодобово регулювати температуру та підтримувати чистоту повітря. Холодильна потужність – від 11 до 80 кВт. Можуть бути як з водяним (дешевші), так і з повітряним охолодженням конденсатора. Переваги: простота монтажу та обслуговування, оскільки всі агрегати розташовані у внутрішньому блоці[7].

Презиційні[7] кондиціонери – це різновид шафових, які обладнані системами мікропроцесорного управління і можуть підтримувати в приміщенні як температуру, так і вологість. Вони встановлюються в музеях, комп'ютерних залах, фармацевтичних лабораторіях, тощо.

Технічні характеристики:

- мають точність підтримання температури в 1°C та вологості в 2%
- надійні в безперервній експлуатації
- працюють в широкому діапазоні температур зовнішнього повітря
- сумісні з системами диспетчерського контролю та управління мікрокліматом будівлі

Кондиціонери з водяним охолодженням складаються з одного блоку, з повітряним охолодженням мають зовнішній і внутрішній блоки. Виконуються з нижньою або верхньою подачею повітря.

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. НОРМАТИВНІ ПАРАМЕТРИ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА У ПРИМІЩЕННІ

Говорячи про комфорт перебування людини в будь-якій точці приміщення визначаються її можливістю розсіяти до навколишнього середовища вироблену в результаті метаболізму Q_{met} та отриману іншими шляхами (теплове випромінювання від гарячих поверхонь, гарячі страви та напої, людський чинник) теплоту без додаткового напруження системи терморегуляції (перша умова комфортності). Тепловий баланс організму [7],



Рисунок 2.1 - Надходження або втрати теплоти

$$Q_{met} \pm Q_R \pm Q_C - Q_{Ev} - Q_{MP} \pm Q_D \pm \Delta Q = 0, \quad (2.1)$$

де Q_R – надходження (плюс) або втрата (мінус) радіаційної теплоти, що залежить від середньої температури навколишніх поверхонь (радіаційної температури);

Q_C – надходження (плюс) або втрата (мінус) теплоти безпосередньо від/до навколишнього повітря (конвективної теплоти), що залежить від темпе-

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

ратури навколишнього повітря, його усередненої в часі швидкості та турбулентних пульсацій швидкості, а також від відносної вологості повітря та термічного опору одягу людини;

Q_{Ev} – втрата теплоти випаровуванням вологи людиною, залежить від відносної вологості повітря;

Q_{MP} – корисні витрати енергії на механічну роботу та на фізіологічні процеси;

Q_{FD} – теплота, що набута (плюс) або втрачена (мінус) з гарячими або холодними стравами та напоями;

2.1 Мікрокліматичні параметри повітря в приміщенні [7]

Температура повітря. Температура повітря t_{wz} , °С, безпосередньо впливає на конвективну складову тепловіддачі від поверхні людини площею s , м², з середньою температурою τ , °С, та середнім коефіцієнтом тепловіддачі α , Вт/(м² К):

$$Q_c = \alpha A(\tau - t_{wz}), \text{Вт} \quad (2.1.1)$$

Крім цього, температура повітря впливає на термічний опір шкіри, оскільки залежно від неї (та від інтенсивності метаболічних процесів) організмом регулюється витрата крові в поверхневих судинах. При зменшенні температури та/або інтенсивності метаболізму судини звужуються, що зменшує тепловіддачу людини. При занадто низькій температурі за рахунок піломоторного рефлексу (ефекту гусячої шкіри) теплозахисні властивості шкіри значно підвищуються. Також виникає озноб (тремтіння м'язів) для посилення метаболізму і компенсації тепловтрат.

Переохолодження знижує імунітет і призводить до застудних захворювань. Висока температура призводить до посилення випаровування та втрати рідини. Значне перевищення допустимої температури призводить до тепло-

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ				

вого удару, наслідки якого можуть бути важкими або летальними, особливо для людей з серцево-судинними захворюваннями.

Результати багатьох досліджень показують, що відхилення температури на 1–2 °С вгору або вниз може суттєво знизити працездатність[7].

Для регулювання оптимальної температури повітря в приміщенні рекомендовані такі заходи:

- відрегулювати систему опалення в холодний період року;
- використовувати для освітлення сучасні лампи з низьким енергоспоживанням та низьким тепловиділенням, а саме світлодіодні лампи;
- не залишати вікна відчиненими на ніч, оскільки це зменшить ефективність системи повітрообміну та вентиляції;
- застосовувати кондиціонування повітря;
- для охолодження приміщення використовувати більш холодне нічне повітря в теплий період року. Для цього вночі вмикати витяжні вентилятори.

Відносна вологість повітря. Відносна вологість повітря – це відношення парціального тиску водяної пари p_{H_2O} , Па, в ньому (тобто тиску, який утвориться, якщо без зміни об'єму вилучити з повітря всі інші компоненти, крім водяної пари) до тиску насиченої водяної пари $p^*_{H_2O}$, Па, (у рівновазі з водою в рідкому стані) за тієї самої температури, що і розглянуте повітря. Зазвичай вона виражається у відсотках[7]:

$$\varphi = \frac{100p_{H_2O}}{p^*_{H_2O}}, \% \quad (2.1.2)$$

Відносна вологість повітря в приміщенні – суттєвий параметр, який впливає на стан людини та інших живих істот (грибки, пліснява тощо), а також оздоблення, меблів і обладнання. Підвищення відносної вологості повітря, особливо понад 60 %, призводить до відчуття сирості, швидкого розмноження грибків та плісняви. Висока відносна вологість повітря може пошкодити механізми, побутову та комп'ютерну техніку з причини зниження елек-

									Арк.
									21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ				

троїзоляційних властивостей повітря та активації корозії. Недостатня відносна вологість призводить до пересушування слизових оболонок та шкіри і до гальмування роботи ворсистого епітелію бронхів. Останнє погіршує природну фільтрацію людиною повітря, яке вдихається, тобто знижує рівень захисту від гострих респіраторних вірусних інфекцій, призводить до застою секрету в бронхах і появи кашлю. Суттєві коливання відносної вологості призводять до деформації достатньо гігроскопічних дерев'яних конструкцій та меблів. До 2013 р. оптимальним вважався діапазон 40...60 %.

Однак задля можливості системами опалення підтримувати оптимальні умови мінімальна відносна вологість повітря для промислових і громадських будівель була знижена до 25 %. Для забезпечення максимального рівня комфорту та захисту від ГРВІ рекомендується, за можливості, не знижувати відносну вологість нижче 40 %. При зниженні температури відносна вологість зростає. Таким чином, найперше, що необхідно зробити, коли повітря у приміщенні надто сухе – це знизити його температуру, але в межах оптимальних значень.

Швидкість повітряного потоку[7]. Для того, щоб повітря в приміщенні зберігало високу якість, воно не повинно застоюватися. Застійне повітря накопичує забруднювачі та погіршує тепловіддачу людини. Загальне призначення вентиляції – видалення відпрацьованого повітря з приміщення і заміна його на свіже зовнішнє повітря. Однак, якщо швидкість повітряного потоку висока, люди відчувають дискомфорт. При цьому інтенсифікується тепловіддача від людини та звужуються судини. Найчутливішими є потилиця та щиколотки. Протяг для багатьох так само неприємний, як і задуха. Більшість людей переживають неприємні відчуття при швидкості повітряного потоку 0,25 м/с і більше, а 18 найбільш чутливі до протягів – при 0,15 м/с. Орієнтовно можна вважати, що зростання швидкості на 0,15 м/с еквівалентне зниженню температури на 1 °С. Підлогові, настільні, настінні та стельові вентилятори у приміщенні саме таким способом зменшують перегрівання людей під

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

час спекотної погоди, хоча вони не охолоджують (навпаки, нагрівають за рахунок енергії двигуна) повітря. Таким чином, для забезпечення якісної вентиляції приміщень повинно бути передбачене регулювання швидкості повітряного потоку.

2.2 Розподіл параметрів повітря приміщення по його висоті [7]

Параметри повітря в різних точках простору приміщення розподіляються нерівномірно. Найважливішою є зона обслуговування, де перебувають люди. Висота такої зони приймається рівною $h_{wz} = 2$ м від підлоги (якщо люди лише сидять тоді 1,5 м). Параметри повітря зони обслуговування позначені індексом wz : t_{wz} , ϕ_{wz} тощо. Температура витяжного повітря на рівні стелі розраховується за відомою температурою повітря в робочій зоні t_{wz} , °С, та за градієнтом температури Δt , °С/м[7]:

$$t_l = t_{wz} + \Delta t (H - h_{wz}) = t_{wz} + \Delta t (H - 2), \text{ °С.} \quad (2.2.1)$$

У теплий період року його орієнтовно приймають $\Delta t \approx 0,7$ °С/м для гарячих приміщень (кухні) під час роботи обладнання та $\Delta t \approx 0,5$ °С/м – для інших приміщень або гарячих приміщень, коли обладнання не працює.

Для холодного періоду року, відповідно, $\Delta t \approx 0,5$ °С/м та $\Delta t \approx 0,3$ °С/м. Середня температура верхньої зони приймається як середня температура між робочою зоною та витяжним повітрям:

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$t_l = t_{wz} + \Delta t(H - h_{wz}) = t_{wz} + \Delta t(H - 2), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.2.2)$$

У теплий період року його орієнтовно приймають $\Delta t \approx 0,7 \text{ } ^\circ\text{C/м}$ для гарячих приміщень (кухні) під час роботи обладнання та $\Delta t \approx 0,5 \text{ } ^\circ\text{C/м}$ – для інших приміщень або гарячих приміщень, коли обладнання не працює. Для холодного періоду року, відповідно, $\Delta t \approx 0,5 \text{ } ^\circ\text{C/м}$ та $\Delta t \approx 0,3 \text{ } ^\circ\text{C/м}$ [7].

Середня температура верхньої зони приймається як середня температура між робочою зоною та витяжним повітрям[7]:

$$t_{uz} = \frac{t_{wz} + t_l}{2} = t_{wz} + \left(\frac{\Delta t}{2}\right)(H - h_{wz}) \quad (2.2.3)$$

Середня температура повітря приміщення для орієнтовних розрахунків низьких приміщень приймається як така, що дорівнює температурі робочої зони $t_{int} = t_{wz}$, іноді – за формулою (4), що справедливо лише якщо висота значно перевищує висоту робочої зони.

Найбільш правильно підраховувати її як середньозважену за висотою зон:

$$t_{int} = \frac{t_{wz}h_{wz} + t_l(H - h_{wz})}{H} = \frac{2t_{wz} + t_l(H - 2)}{H} \quad (2.2.4)$$

Розподіл інших параметрів за висотою в приміщеннях розглядається рідко.

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

2.3 Інтенсивність турбулентності повітряного потоку[7]

У приміщенні повітряні потоки є турбулентними, тобто їхня швидкість змінюється (пульсує) в часі. Пульсації швидкості інтенсифікують тепловіддачу і впливають на тепловий комфорт людини. Тому останнім часом до параметрів мікроклімату долучено ступінь або інтенсивність турбулентності.

Ступінь турбулентності Tu повітряного потоку – це відношення пульсаційної швидкості до усередненої в часі. У ДБН В.2.5-67:2013[1] вона виражена у відсотках. Розподіл повітря у приміщенні впливає на інтенсивність турбулентності в робочій зоні.

Середня температура поверхонь приміщення визначає теплообмін випромінюванням:

$$t_R = \frac{\sum \tau_i S_i}{\sum S_i}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.3.1)$$

де τ_i та S_i – температура, $^\circ\text{C}$, та площа, m^2 , кожної поверхні.

Системи вентиляції промислових будівель не можуть ефективно впливати на радіаційну температуру, але вона є одним із факторів вибору оптимальної температури повітря робочої зони. У більшості приміщень середня температура поверхонь мало відрізняється від температури повітря. Якщо використовується підлогова або стінова система опалення, то температуру повітря можна знизити.

Значення температури у п. 1 (ДБН В.2.5-67:2013 на рис. Д.3 додатку Д[6]) стосуватимуться не температури повітря, а результуючої температури, тобто середньої між температурою повітря та радіаційною температурою. З урахуванням формули (8) результуюча температура становить

					ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_{res} = \frac{t_R + t_{wz}}{2} = \frac{\left(\frac{\sum \tau_i S_i}{\sum S_i}\right) + t_{wz}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.3.2)$$

Забруднення повітря мало впливає на теплообмін людини, тому його концентрацію не вважають параметром мікроклімату. Основний забруднювач повітря будинків – вуглекислий газ, що продукується людиною. Зазвичай у приміщенні є декілька джерел забруднення повітря. Через вентиляційну систему, а також через різноманітні отвори всередину будівлі надходить неочищене зовнішнє повітря.

Сучасні вентиляційні системи оснащені фільтрами[7], які очищують повітря від пилу, газів та пилку залежно від типу та класу фільтрації. Для забезпечення правильного функціонування фільтра необхідне проведення відповідного обслуговування, а також своєчасна заміна фільтрувального елемента при зменшенні ефективності фільтрації.

Внутрішні джерела забруднень – сама людина, промислове виробництво, будівельні та оздоблювальні матеріали, меблі, побутова та комп'ютерна техніка, водопровідна вода (вивільнюється хлор), страви тощо.

Вміст шкідливих речовин у повітрі обмежується гранично допустимою концентрацією ГДК, мг/м³. Для вуглекислого газу в житлових приміщеннях – ГДК = 1830 мг/м³. При постійному [1] перебуванні дітей та хворих – ГДК = 1280мг/м³. Для більшості житлових приміщень дані табл. 1.1 і 1.2 враховують потребу в зовнішньому повітрі для розбавлення оксиду вуглецю до ГДК.

З цього випливає, що вирішувати проблеми формування мікроклімату приміщень необхідно на початку будівництва, ремонту чи реконструкції. Вимоги до вентиляційної системи повинні бути сформульовані перш ніж буде визначено тип, характеристики та архітектуру системи.

					ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

2.4 Типові варіанти управління I-d процесами

При вентиляції приміщень спеціального призначення (басейни, зимові сади тощо), а також при розрахунках центральних систем кондиціонування повітря або сумісної роботи систем вентиляції та охолодження необхідно розраховувати процеси зміни стану вологого повітря.

У 1918 році відомий теплотехнік Л. К. Рамзін склав діаграму стану вологого повітря, яка відома на сьогодні (додаток А) як I-d діаграма, діаграма Рамзіна, діаграма Рамзіна-Мольє або діаграма Мольє (за іменем німецького теплотехніка Р. Мольє, який побудував її незалежно від Л. К. Рамзіна в 1923 р.).

Кожна I-d діаграма будується для конкретного атмосферного тиску, що має обов'язково відповідати розрахунковому атмосферному тиску міста будівництва або найближчого великого міста до місця будівництва. Діаграма побудована в косокутних координатах ентальпія I , кДж/кг – вологовміст d , г/кг.

Вологовміст d , г/кг – це маса водяної пари, г, на одиницю маси сухого повітря (кг). Якщо процес над певною масою повітря йде зі зміною вологовмісту, то при цьому маса випарюваної або конденсованої вологи дорівнює масі повітря у процесі, помноженій на різницю вологовмісту наприкінці та на початку процесу.

Ентальпія I , кДж/кг – це тепловміст вологого повітря, тобто теплота, кДж, на одиницю маси сухого повітря (кг), що виділяється або споживається при переході вологого повітря від даного стану до певного нульового стану, який прийнятий при нульовій температурі та вологовмісті. Кількість теплоти у процесі дорівнює добутку маси повітря у процесі та різниці ентальпій на початку та наприкінці процесу.

Лінії постійного вологовмісту $d = \text{const}$ побудовані вертикально. Лінії постійної ентальпії $I = \text{const}$ спрямовані зліва-згори праворуч-донизу. Лінії постійної температури спрямовані під незначним кутом до горизонталі. Вони не паралельні. Лінії постійної відносної вологості криволінійні.

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Під лінією $\varphi = 100\%$ точки стану вологого повітря не можуть існувати. Отже, для кожної точки I-d діаграми можна визначити значення температури t , °С, відносної вологості φ , %, ентальпії I , кДж/кг та вологовмісту d , г/кг.

Для побудови точки достатньо мати будь-які два параметри з перелічених. На окремих I-d діаграмах наносять додаткові параметри, які рідше використовуються у вентиляції. Наприклад, на **рис. 2.5.2.** пунктирними похилими лініями показано лінії постійної густини ρ , кг/м³ (яка в більшості розрахунків вентиляції приймається 1,2 кг/м³), а в нижній частині наведено лінію (або криву) парціального тиску водяної пари. Щоб знайти цей тиск для довільної точки необхідно опуститися від неї до лінії парціального тиску водяної пари, а далі рухатися праворуч до шкали парціального тиску водяної пари P_{H_2O} , кПа. Оскільки цей тиск залежить лише від вологовмісту, то на деяких I-d діаграмах парціальний тиск водяної пари наводять на горизонтальній шкалі під шкалою вологовмісту, над шкалою вологовмісту або згори. За потребою густина повітря розраховується за спрощеною формулою з достатньою для вентиляції точністю[7]:

$$\rho = 353 / (273 + t), \text{ кг/м}^3. \quad (2.4.1)$$

Для зручності та точності отриманих результатів рекомендується використовувати I-d діаграми формату не менше А3 або електронні версії. Схематично процеси зображують на схемі I-d діаграми, що містить лише вертикальну вісь та криву $\varphi = 100\%$.

2.5 Поняття про елементарні процеси зміни тепловологісного стану на I-d діаграмі

Сукупність станів вологого повітря, що послідовно змінюються, називається процесом. Початковий і кінцевий стан повітря можуть позначатись цифрами або буквами. Елементарним є процес в одному окремому теп-

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

ло(масо)обмінному апараті або приладі – повітронагрівачі, повітроохолоджувачі, зволожувачі, осушувачі тощо. Найбільш часто складні елементарні процеси спрощують до прямої лінії, яка сполучає початкову та кінцеву точки процесу. Процес, який відбувається в приміщенні, називають процесом асиміляції тепловологонадлишків у приміщенні і в більшості випадків розглядають як елементарний процес.

Комплексним є процес обробки вологого повітря, що складається з кількох елементарних процесів, що здійснюються послідовно в окремих апаратах або приладах.

Такий процес найчастіше зображується на I-d діаграмі ламаною лінією. У вентиляції обробка повітря відбувається в потоці масовою витратою G , кг/с або кг/год. Для переводу з інших одиниць [7] слід використовувати **таблицю 2.5.1**

Таблиця 2.5.1 – Зведена таблиця переводу одиниць вимірювання на витрати

Дана витрата в	Потрібна витрата в					
	дм ³ /с (л/с)	дм ³ /год (л/год)	м ³ /с	м ³ /год	кг/с	кг/год
	Потрібна(і) операція(ї)					
дм ³ /с (л/с)	–	× 3600	÷ 1000	× 3,6	× 0,001ρ	× 3,6ρ
дм ³ /год (л/год)	÷ 3600	–	÷ 3600000	÷ 1000	× ρ/3600000	× 0,001ρ
м ³ /с	× 1000	× 3600000	–	× 3600	× ρ	× 3600ρ
м ³ /год	÷ 3,6	× 1000	÷ 3600	–	× ρ/3600	× ρ
кг/с	÷ (0,001ρ)	× 3600000/ρ	÷ ρ	× 3600/ρ	–	× 3600
кг/год	÷ (3,6ρ)	× 1000/ρ	÷ (3600ρ)	÷ ρ	÷ 3600	–

У кожному процесі відбувається обмін теплоти та вологи. Процеси можуть перебігати з випаровуванням та конденсацією вологи. При цьому розрізняють три види теплоти[7]:

явна – це енергія хаотичного руху молекул. За нею можна розраховувати процеси без випаровування та конденсації вологи. При витраті потоку повітря G , кг/с, зміні температури на Δt , °C, та середній питомій теплоємності повітря

$$Q = c G \Delta t \cdot 10^3 = 1006 G \Delta t, \text{Вт} \quad (2.5.1)$$

при витраті потоку повітря G в кг/год

$$Q = c G \Delta t / 3,6 = 0,2794 G \Delta t, \text{Вт}; \quad (2.5.2)$$

- прихована – це теплота випаровування водяної пари в повітрі;
- повна – це сума явної та прихованої теплоти, що використовується для будь-яких процесів.

При зміні ентальпії повітря на ΔI , кДж/кг, при витраті повітря в кг/с

$$Q = G \frac{\Delta I}{3,6}, \text{Вт} \quad (2.5.3)$$

при витраті потоку повітря G в кг/год

$$Q = G \frac{\Delta I}{3,6}, \text{Вт} \quad (2.5.4)$$

Процес нагрівання повітря в повітронагрівачі. Нагрівання повітря в повітронагрівачі здійснюється без вологообміну, тому він перебігає вертикально вгору (рис.2.5.1, процес 1-2). Цей процес найчастіше здійснюється в холодний період року для підігрівання зовнішнього повітря.

При цьому :

- температура зростає від t_1 до t_2 , °C;

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

- ентальпія збільшується від I_1 до I_2 , кДж/кг;
- вологовміст залишається незмінним ($d_1 = d_2$, г/кг);
- відносна вологість зменшується від ϕ_1 до ϕ_2 , %;
- споживається теплота у кількості: при витраті G у кг/с

$$Q = c G(t_2 - t_1) \cdot 10^3 = 1006 G(t_2 - t_1) = G(I_2 - I_1) \cdot 10^3, \text{Вт}; \quad (2.5.5)$$

- при витраті G у кг/год

$$Q = G \frac{\Delta I}{3,6}, \text{Вт} \quad (2.5.6)$$

- для стандартної густини повітря $\rho = 1,2$ кг/м³

при витраті L у м³/с

$$Q = G \frac{\Delta I}{3,6}, \text{Вт} \quad (2.5.7)$$

при витраті L у м³/год

$$Q = G \frac{\Delta I}{3,6}, \text{Вт} \quad (2.5.8)$$

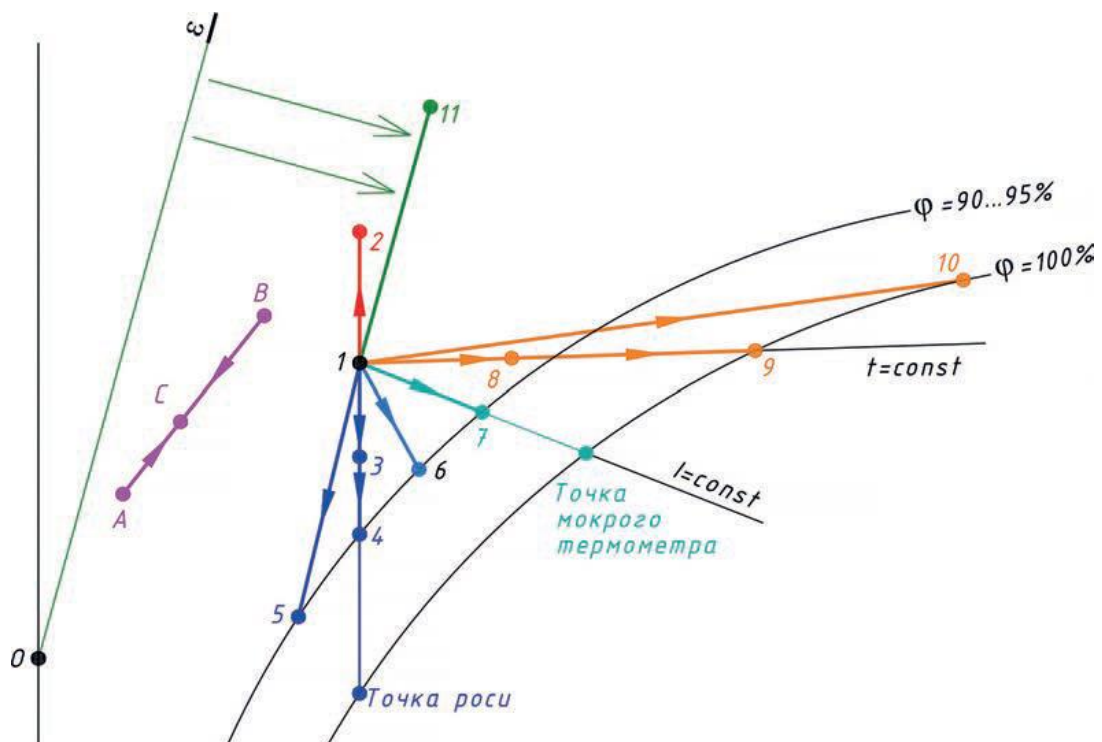


Рисунок 2.5.1 - Елементарні процеси на I-d діаграмі

									Арк.
									31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ				

Аналогічний процес перебігає у вентиляторі та повітроводах за рахунок перетворення механічної енергії потоку на теплову (втрат тиску). При цьому різниця температури приймається $t_2 - t_1 = 1...1,5$ °С.

Процеси охолодження повітря в поверхневому повітроохолоджувачі[7]. Процес зволоження перебігає залежно від параметрів повітря. Найпростішим є процес без вологообміну, коли відносна вологість повітря наприкінці процесу не перевищує $\phi_4 = 90...95\%$ (рис. 2.4.1, процеси 1-3 та 1-4). При цьому:

температура знижується від t_1 до t_3 або до t_4 , °С;

ентальпія зменшується від I_1 до I_3 або до I_4 , кДж/кг;

вологовміст залишається незмінним ($d_1 = d_3 = d_4$, г/кг);

відносна вологість зростає від ϕ_1 до ϕ_2 або до ϕ_4 , %;

відбирається теплота (т.з. кількість холоду) у кількості:

при витраті G у кг/с

$$Q = c G(t_1 - t_{3,4}) \cdot 10^3 = G(I_1 - I_{3,4}) \cdot 10^3, \text{Вт} \quad (2.5.9)$$

при витраті G у кг/год

$$Q = c \frac{G(t_1 - t_{3,4})}{3,6} = 0,278 c \frac{G(t_1 - t_{3,4})}{3,6} = \frac{G(I_1 - I_{3,4})}{3,6} = 0,278 G (I_1 - I_{3,4}), \text{Вт} \quad (2.5.10)$$

Процес подальшого зволоження нижче точки 4 перебігає з виділенням конденсату (рис. 2.5.1, процес 1-5). Теоретично точка 4 має лежати на кривій $\phi = 100\%$.

Однак з причини нерівномірного розподілу температури між теплообмінними поверхнями досягти цього в потоку технічно неможливо. При цьому процесі[7]: температура знижується від t_1 до t_5 , °С;

ентальпія зменшується від I_1 до I_5 , кДж/кг;

вологовміст зменшується від d_1 до d_5 , г/кг);

відносна вологість зростає від ϕ_1 до $\phi_5 = \phi_4 = 90...95$ %;

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

кількість відібраної теплоти при конденсації вологи може бути розрахована тільки за різницею ентальпії, а розрахунок за різницею температури дає значну похибку, що відповідає теплоті конденсації:

при витраті

$$Q = G(I_1 - I_5) \cdot 10^3, \text{ Вт}, \quad (2.5.11)$$

при витраті G у кг/год

$$Q = \frac{G(I^1 - I^5)}{3,6} = 0,278 G (I_1 - I_5), \text{ Вт} \quad (2.5.12)$$

витрата конденсату в г/с, якщо витрата повітря G у кг/с, або в г/год, якщо витрата повітря G у кг/год:

$$G_w = G(d_1 - d_5), \frac{\text{г}}{\text{с}} \text{ або } \frac{\text{г}}{\text{год}}. \quad (2.5.13)$$

Повітроохолоджувачі, які працюють у такому режимі, обладнуються піддоном для відбору конденсату та відводом конденсату з нього. При близькій до нуля або від'ємній кінцевій температурі t_5 , °С, виникає обмерзання теплообмінника, що вимагає спеціальних заходів для його розморожування.

Процес зрошення – процес взаємодії повітря з водою. Перебіг процесу зрошення залежить від температури води. Якщо температура води близька до точки роси (тобто точки перетину лінії постійного вологовмісту, що проходить через дану точку, з лінією $\phi = 100 \%$), то процес відповідає лінії 1-4 на рис. 2.5.1.

Якщо температура води нижча, на її поверхні відбувається конденсація водяної пари і процес відповідає лінії 1-5. Якщо температура води вища за температуру точки роси, відбувається охолодження та зволоження повітря (процес 1-6 на рис. 2.5. 1). При цьому[7]:

температура знижується від t_1 до t_6 , °С;

					ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ентальпія зменшується від I_1 до I_6 , кДж/кг;
 вологовміст зростає від d_1 до d_6 , г/кг;
 відносна вологість зростає від ϕ_1 до $\phi_6 = 90...95$ %;
 кількість відібраної теплоти (т.з. кількість холоду) визначається за формулою (22) або (23) після заміни індексу «5» на індекс «6»;
 витрата води, що випаровується, у г/с,
 якщо витрата повітря G у кг/с, або в г/год,
 якщо витрата повітря G у кг/год:

$$G_w = G(d_1 - d_5), \frac{\text{г}}{\text{с}} \text{ або } \frac{\text{г}}{\text{год}}. \quad (2.5.14)$$

Окремо розглядається процес зрошення не охолодженою водою (процес 1-7 на рис. 2.5.1), якій перебігає при приблизно постійній ентальпії (практично адіабатно). Теоретично він має досягати точки мокрого термометра (перетину лінії постійної ентальпії з кривою $\phi = 100$ %, однак на практиці досягають $\phi_7 = 90...95$ %. Цей процес має назву «пряме випарне охолодження» і використовується для зниження температури повітря без холодильної машини. Цей процес відбувається у струминах водограїв і є причиною прохолоди біля них. При цьому, на відміну від попереднього випадку, ентальпія залишається практично незмінною, тобто $I_1 \approx I_7$ кДж/кг, а інші положення залишаються справедливими після заміни індексу «6» на індекс «7» для відбору конденсату та відводом конденсату з нього. Процес зрошення теплою водою проходить аналогічно, але зі зростанням ентальпії.

Процес парового зволоження. При подачі водяної пари до потоку повітря процес (1-8 та 1-9 на рис. 2.5.1) зазвичай іде при постійній температурі:

температура залишається незмінною, тобто $t_1 = t_8 = t_9$, °С;
 ентальпія зростає від I_1 до I_8 або до I_9 , кДж/кг;
 вологовміст зростає від d_1 до d_8 або d_9 , г/кг;
 відносна вологість зростає від ϕ_1 до ϕ_8 або до $\phi_9 \approx 100$ %;

						Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ	

витрата пари визначається за формулою з заміною індексу «6» на індекс «8» або «9». При подальшому збільшенні витрати пари процес продовжується вздовж кривої $\phi \approx 100\%$ (процес 1-10 **на рис.2.5.1**).

При цьому[7]:

температура зростає від t_1 до t_{10} , °С;

ентальпія зростає від I_1 до I_{10} , кДж/кг;

вологовміст зростає від d_1 до d_{10} , г/кг;

відносна вологість зростає від ϕ_1 до $\phi_{10} \approx 100\%$;

витрата пари визначається з заміною індексу «6» на індекс «10».

Процес змішування. Розглянемо процес змішування потоків повітря А і В. Витрата потоків, кг/с або кг/год, становить, відповідно, G_A і G_B . Витрата суміші становить

$$G_c = G_A + G_B \quad (2.5.14)$$

Початкові параметри повітря потоків відповідають точкам А і В. Тоді процес перебігає вздовж відрізка АВ. Точка суміші (С) може бути знайдена з балансу вологи або теплоти. Вона ділить відрізок АВ зворотно пропорційно витраті потоків:

$$\frac{|AC|}{|BC|} = \frac{G_B}{G_A}; \quad |AC| = \frac{|AB|G_B}{G_c}; \quad |BC| = \frac{|AB|G_A}{G_c}; \quad (2.5.15)$$

Узагальнений процес тепловологообміну. Найбільш узагальнений процес тепловологообміну відбувається, якщо повітрю передавати певну кількість повної теплоти ΔQ_{hf} , Вт, та вологи W , г/год. Такий процес відбувається у приміщеннях, і тоді він називається процесом асиміляції тепловологонадлишків приміщення. Для його побудови (рис. 2.5.1. процес 1-10) використовують пропорцію між переданою теплотою (теплонадлишками), вологою (вологонадлишками), приростом ентальпії [7]:

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$\Delta I = I_{10} - I_1, \text{ кДж/кг,}$$

та приростом вологовмісту

$$\Delta d = d_{10} - d_1, \text{ г/кг:}$$

Тоді

$$\frac{3,6\Delta Q_{hf}}{W} = \frac{\Delta I}{\Delta d} = \frac{I_{10} - I_1}{d_{10} - d_1} = \varepsilon, \frac{\text{кДж}}{\text{г}}, \quad (2.5.16)$$

де ε – (кутовий) коефіцієнт променя процесу, кДж/г. Він може змінюватися від мінус нескінченності до нескінченності. Якщо сполучити точку $I = 0$, та $t = 0$ з позначкою кутового коефіцієнта променя процесу (розташовані вздовж периметра діаграми), буде отримано напрямок процесу. Далі через відому точку (початкову, кінцеву, проміжну) проводять лінію, паралельну попередній. За відомим одним параметром повітря на цій лінії можна знайти початкову або кінцеву точку.

2.6 Практичне застосування I-d діаграми

У приміщенні термометр показує температуру $t_1 = 25$ °С, а гігрометр – $\phi_1 = 15$ %. У людей, які перебувають у приміщенні, виникло відчуття сухості повітря. Чи можна створити оптимальну відносну вологість повітря шляхом зниження температури?

Оптимальна температура повітря $t = 22 \pm 2$ °С, оптимальна відносна вологість повітря $\phi = 25...60$ %. Одразу ж відзначимо перегрівання приміщення понад максимальну оптимальну температуру повітря $22 + 2 = 24$ °С. Точне розв'язання цієї задачі вимагає додаткової інформації щодо тепловологонадлишків, роботи вентиляції тощо. Спробуємо надати орієнтовний розв'язок, якщо припустити, що зниження температури відбуватиметься без зміни вологовмісту.

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Побудуємо точку 1 за температурою $t_1 = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ та відносною вологістю повітря $\phi_1 = 15\%$. (рис. 2.6.1). Проведемо вертикальну лінію вниз від неї. Оскільки мінімальна оптимальна температура становить $22 - 2 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, точку 2 побудуємо на перетині цієї вертикальної лінії з ізотермою $t_2 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Відповідна відносна вологість повітря становить $\phi_2 = 20\%$. Це значення не досягає мінімального оптимального значення $\phi = 25\%$. Щоб його досягти, необхідно знизити температуру до $16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким чином, досягти оптимальних умов мікроклімату зниженням температури неможливо. Слід або надягти тепліший одяг (для зниження оптимального діапазону температури) та знизити температуру до $16\text{ }^{\circ}\text{C}$, або дозволювати повітря в приміщенні (вологе прибирання, зволожена тканина на опалювальні прилади, встановлення зволожувачів тощо) [7].

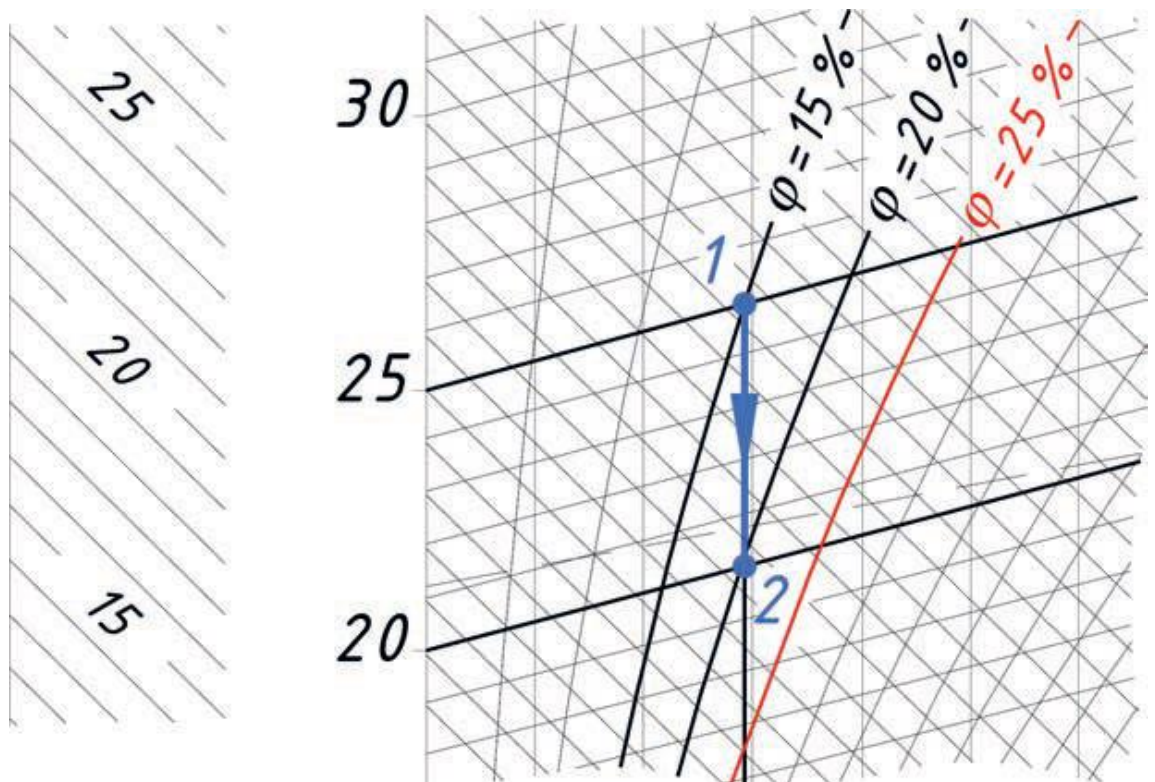


Рисунок 2.6.1 - Розв'язання задачі на I-d діаграмі

									Арк.
									37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ				

3. КЛАСИЧНІ ПРИНЦИПИ ВЕНТИЛЯЦІЇ БУДІВЛІ

3.1 Параметри повітря

Неправильний вибір параметрів зовнішнього та внутрішнього повітря призводить або до неспроможності системи вентиляції створити оптимальні умови мікроклімату протягом певного періоду, або до вибору обладнання більшого типорозміру, ніж потрібно, тобто до підвищених капітальних вкладень. При виборі параметрів зовнішнього повітря слід враховувати теплову інерцію огорожувальних конструкцій. Ця властивість конструкцій призводить до затухання коливань температури. Якщо температура зовнішнього повітря коливається протягом 5 діб, це несуттєво позначається на температурі внутрішнього повітря. Тому на сьогодні параметри зовнішнього повітря приймаються усередненими за п'ять днів, що йдуть один за одним (найжаркіша п'ятиденка та найхолодніша п'ятиденка). За теорією імовірності, які б ми параметри не прийняли, завжди існує імовірність, що в певний рік вони будуть перевищені. Тому вводиться поняття забезпеченості.

Нехай за 100 років 92 роки прийняті параметри зовнішнього повітря були дотримані, а 8 років – ні. Тоді забезпеченість параметрів становить 0,92. Неможливо визначити параметри зовнішнього повітря з забезпеченістю 1,00 через неспроможність точного прогнозування майбутніх змін клімату.

У холодний період року температура зовнішнього повітря t_{ext} , °С, приймається як температура найхолоднішої п'ятиденки забезпеченістю 0,92 за табл. 2. ДСТУ Н Б В.1.1-27:2010 [4] (стовпчик 18) для міста будівництва або найближчого великого міста з табл. Якщо замовника не задовольняє забезпеченість 0,92, і він має відповідні фінансові можливості, то він може замовити розрахунок на забезпеченість 0,98 (стовпчик 17). Відповідний другий параметр для побудови точки зовнішнього повітря у зазначеному ДСТУ відсутній.

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Оскільки вищезазначені дані мало відрізняються від параметрів «Б» у СНиП 2.04.05-91 (втратив чинність, але залишається у відкритому доступі), то інженери використовують дані ентальпії I_{ext} , кДж/кг, з таблиці додатку 8, стовпчик 9.

У крайньому разі, щоб не використовувати не чинний нормативний документ, можна скористатися найменшою середньомісячною відносною вологістю за місяці опалювального періоду ϕ_{ext} , %, за табл. 24 ДСТУ Н Б В.1.1-27:2010[4].

Хоча ці дані не зовсім відповідають температурі, однак лінії відносної вологості при від'ємній температурі знаходяться достатньо близько (рис. 1.2) і похибка буде допустимою.

Температуру зовнішнього повітря t_{ext} , °С, слід приймати як температуру найжаркішої п'ятиденки t_{ext} , °С, з забезпеченістю 0,99 (у табл. 1.2. ДСТУ Н Б В.1.1-27:2010, стовпчик 20). Однак ці дані суттєво занижені. Наприклад, для Києва $t_{ext} = 23$ °С, а у СНиП 2.04.05-91 за параметрами Б $t_{ext} = 28,7$ °С. До часу виходу змін до ДСТУ Н Б В.1.1- 27:2010 допускається приймати більшу температуру зовнішнього повітря за завданням замовника. Однак більшість замовників не ведуть постійної фіксації погоди і не повинні бути спроможними самі визначити розрахункову температуру зовнішнього повітря. Інженери пропонують використовувати дані для параметрів «Б» СНиП 2.04.05-91 (таблиця додатку 8, стовпчики 8-9).

Іншим, але значно складнішим виходом зі значними витратами часу є використання сервісів архівів погоди в Internet. Ці сервіси дозволяють завантажити інформацію про погоду щодня за останні роки. Далі за допомогою електронних таблиць слід проаналізувати ці дані й визначити розрахункову температуру найжаркішої п'ятиденки. Можна прийняти запас на недостатню достовірність даних за короткий період аналізу.

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Параметри внутрішнього повітря[7]. Температура повітря в зоні обслуговування приймається з таких умов. У приміщеннях людина перебуває у стані від розслабленого з рівнем метаболізму 58 Вт (1 умовна одиниця «мет») до стоячої легкої роботи з рівнем метаболізму 93 Вт ($93/58 = 1,6$ мет). ДСТУ Б EN 15251:2001 рекомендує [5] (додаток А табл. а.2) приймати для приміщень 1,2 метрів як для сидячої діяльності, а в коморах і холах – 1,6 метрів як для стояння або ходьби. Термічний опір одягу (визначається в умовних одиницях кло) є другим визначальним фактором вибору розрахункової температури повітря. Та сама таблиця рекомендує приймати в холодний період року 1,0 кло, а в теплий період року – 0,5 кло.



Рисунок 3.1 - Класична витяжна система

За ДБН В.2.5-67:2013 додаток Д рис. Д.2. [6] результуюча температура для, віталень, адміністративних кабінетів становить у холодний період року 22 ± 2 °С, а у теплий період року – $24,5 \pm 1,5$ °С. Зазвичай у холодний період року приймають 20...22 °С, а у теплий період року – 24...26°С (жирним курсивом виділено найбільш енергоощадні значення). У ДБН В.2.5-67:2013 на рис. Д.3 додатку Д наведено графік оптимальної температури, а в табл. Д2-Д5 наведено рівні метаболізму при різній діяльності людини та термічний опір типових комбінацій одягу, що дозволяє визначити для себе оптимальні параметри повітря

						Арк.
					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залежно від способу життя. За відсутності обігріву поверхонь конструкцій приміщення результуюча температура і є температурою повітря в зоні обслуговування. За наявності підлогового або стінового опалення температуру повітря в холодний період року потрібно зменшити. Температура підлоги за ДБН В.2.5-67:2013 [6] (табл. Д.6 додатку Д) не повинна перевищувати 29 °С. Припустимо, що площа поверхонь приміщень, нагрітих системою опалення до температури t_h , °С, становить S_h , м². Площа поверхонь у зоні обслуговування приміщення з температурою t_{wz} , °С, становить S_{wz} , м². Площа поверхонь у верхній зоні приміщення з температурою t_{uz} , °С, становить S_{uz} , м².

$$x = \frac{2s_h(2t_{res} - t_h) + 2S_{uz}t_{res} + (S_{uz} + 2S_t)[2t_{res} - (H - h_{wz})\Delta t]}{2(S_h + 2(S_{uz} + S_t))}$$

$$= \frac{4(\sum S_l)t_{res} - 2S_h t_h - (S_{uz} + 2S_t)(H - h_{wz})\Delta t}{4(\sum S_l) - 2S_h}, \text{ } ^\circ\text{C.} \quad (3.1.1)$$

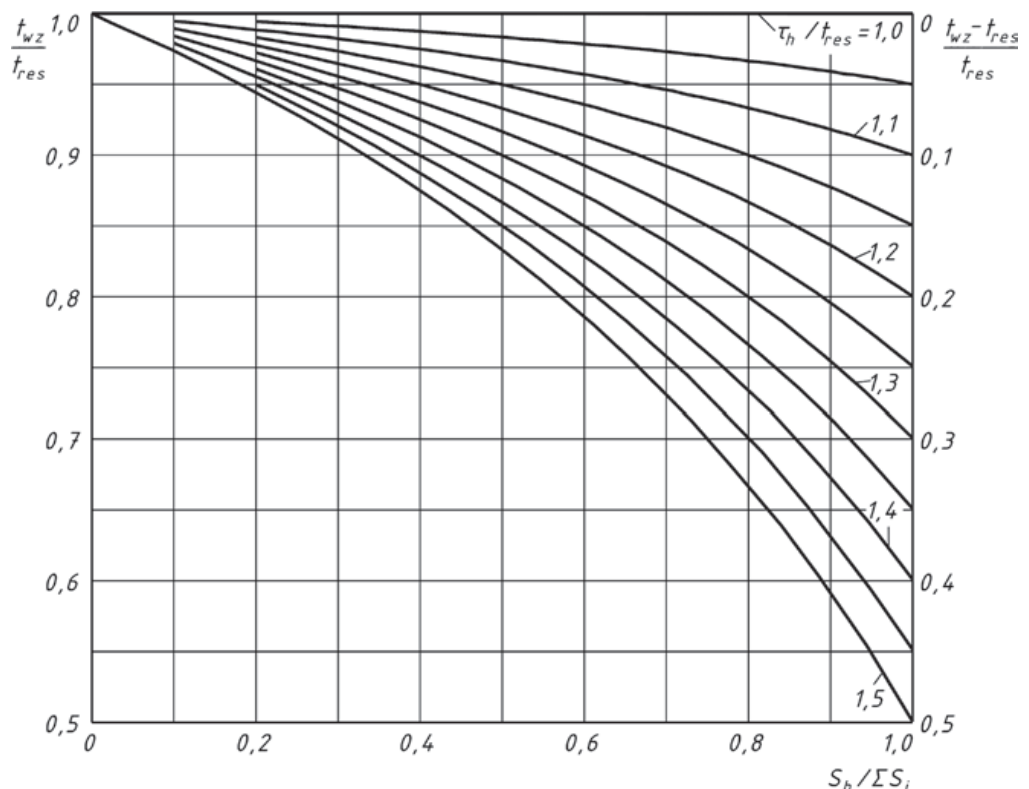


Рисунок 3.1.1 - Графік для визначення температури повітря зони обслуговування за наявності підлогового, стінового або стельового опалення

З формули (3.1.1) видно (множник у квадратних дужках), що врахування градієнта доцільне лише для високих приміщень (наприклад, атріуми, зали елітних будинків). Для більшості приміщень будинків $(H - h_{wz}) \Delta t \ll 2 t_{res}$, тобто градієнт температури не має суттєвого впливу на потрібну температуру в робочій зоні:

$$t_{wz} \approx (2t_{res}(\sum S_i) - S_h t_h) / (2(\sum S_i) - S_h), \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3.1.2)$$

Підлогове, стінове та стельове опалення дозволяє знизити температуру повітря в робочій зоні. Збільшення площі поверхонь обігріву корисно впливає на зниження температури в робочій зоні, що дозволяє, відповідно, подавати повітря з нижчою температурою і заощадити теплову енергію на вентиляцію. Опалювальні радіатори, тим паче конвектори, не слід враховувати при розрахунку температури повітря в робочій зоні. При цьому приймається температура в робочій зоні, що дорівнює результуючій.

Максимальна швидкість повітря приймається залежно від ступеня турбулентності Tu за рис. Д.4. додатку Д ДБН В.2.5-67:2013[6]. Максимальна допустима швидкість повітря для найбільш розповсюдженого ступеня турбулентності $Tu = 40 \%$ наведені у таблиці 3.1.1.

Таблиця 3.1.1 - Максимальна швидкість (оптимальні умови) залежно від температури

Результуюча температура t_{res} , $^\circ\text{C}$	20	21	22	23	23,6	24	25	25,3	25,7	26
Макс. швидкість v_{max} , м/с	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25

Примітка. При проміжному значенні температури за найближчим значенням. Результуюча температура - t_{res} , $^\circ\text{C}$

Оптимальна відносна вологість повітря за ДБН В.2.5-67:2013[1] становить 25...60 %, але задля мінімізації ризику застудних захворювань рекомендується підтримувати її не менше 40 %.

3.2 Основні способи вентиляції будинків

У більшості будинків використовується найпростіша система вентиляції з природним спонуканням – так звана природна вентиляція. Такий тип вентиляції використовує природну тягу, в результаті якої відносно тепле повітря з приміщень будинку повітрододами або каналами проходить до даху і виходить назовні через коникові або покрівельні викиди повітря. Приплив повітря забезпечується за рахунок встановлення припливних каналів у вікна або стіни будівлі.

Рух повітря здійснюється під дією сил (тяги), спричинених різницею температури повітря на виході та вході каналу (тепле повітря в приміщенні легше за холодне зовнішнє повітря). Природний гравітаційний тиск, що спонукає рух повітря [7]

$$\Delta p_g = (\rho_{ext} - \rho_{int}) g H, \text{ Па}, \quad (3.2.1)$$

де ρ_{ext} – густина холодного зовнішнього повітря, кг/м³, що приймається за температури зовнішнього повітря + 5 °С (тобто за вищої температури виникає нестача повітрообміну);

ρ_{int} – густина теплого повітря в приміщенні;

$g = 9,80665 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння, H – висота між входом та виходом витяжного каналу, м.

Під дією вітру, швидкість якого становить v_w , на поверхнях будівель виникає надлишковий статичний тиск

$$\Delta p = \frac{c_e \rho_{ext} V_w^2}{2}, \text{ Па} \quad (3.2.2)$$

де c_e – аеродинамічний коефіцієнт, що є часткою динамічного тиску вітру $p_d = c_e \rho_{ext} V_w^2$, Па, яка переходить у статичний тиск на поверхні Δp .

Цей коефіцієнт може бути додатним, від'ємним або нульовим. Він залежить від напрямку вітру. Визначити його розподіл поверхнею будівлі з достат-

									Арк.
									43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ				

ньою точністю можна експериментально в спеціальній установці – аеродинамічній трубі.

Інший спосіб – використовувати програмне забезпечення обчислювальної гідромеханіки, що дозволяє отримати наближені результати. Якщо приплив повітря виконується через один припливний отвір, біля якого аеродинамічний коефіцієнт становить $c_{e,in}$, і витяжка – однією системою вентиляції, біля викиду повітря якої аеродинамічний коефіцієнт становить $c_{e,out}$, – то вітровий наявний тиск [7]

$$\Delta p_w = \frac{(c_{e,in} - c_{e,out}) p_{ext} V_w^2}{2}, \text{ Па.} \quad (3.2.3)$$

Якщо навколо будинку ведеться будівництво більш високих об'єктів, будинок надбудовується або виростають високі дерева, то вітровий потік сильно збурюється, і аеродинамічні коефіцієнти можуть змінити знак. Відбувається задування системи вентиляції. Вона може припинити роботу або замість видалення почати подавати повітря. Оскільки витяжні решітки не призначені для подачі повітря, виникає висока ймовірність перевищення допустимої швидкості повітря в зоні обслуговування, появи протягів такої швидкості, що легкі предмети будуть скидатися зі столів. Для стабілізації та посилення тяги встановлюють дефлектори, які перетворюють енергію вітру на додаткову тягу.

У нашій країні в теплий період року (за потреби в більшому повітрообміні) швидкість вітру менша за її значення в холодний період року (за потреби у мінімальному повітрообміні). Тому виникає вихолодження приміщень. Таким чином, дефлектори не можуть покращити роботу вентиляції опалюваних приміщень і застосовуються лише для провітрювання неопалюваних приміщень, наприклад, льохів та комор.

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

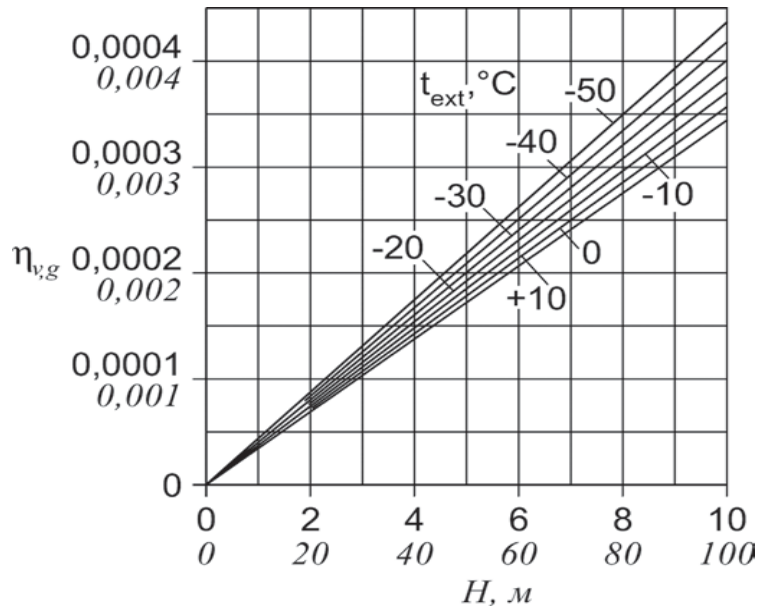


Рисунок 3.2.1 - Коефіцієнт ефективності природної вентиляції

Недоліки такого типу вентиляції:

неконтрольований повітрообмін у приміщеннях – надлишковий у холодний період року, практично відсутній у теплий період року;

можливість перекидання напрямку роботи системи вентиляції з утворенням неприпустимо високої швидкості повітря;

відсутність фільтрації припливного повітря;

можливий дискомфорт від холодного припливного повітря;

обмежений радіус дії у плані та обмежена кількість відводів (поворотів), оскільки наявний тиск є незначним;

завищені експлуатаційні витрати: збільшене навантаження на систему опалення у зв'язку з необхідністю підігрівання холодного припливного повітря.

Були виконані дослідження коефіцієнта ефективності $\eta_{v,g}$ природної вентиляції, тобто відношення витрат енергії на переміщення повітря до наявного енергетичного потенціалу цього повітря. Отримано значення (рис. 3.2.1) $\eta_{v,g} < 0,0044$ або 0,44 % при висоті каналу до 100 м (до 33 поверхів) [7].

Для будинків до трьох поверхів $\eta_{v,g} < 0,00044$ або 0,044 %. Маємо практично нульову ефективність використання енергетичного потенціалу витяжного повітря.

Значно кращим варіантом вентиляції будинку є механічна витяжна вентиляція з побутовими каналними вентиляторами [7] (рис. 3.2.2).

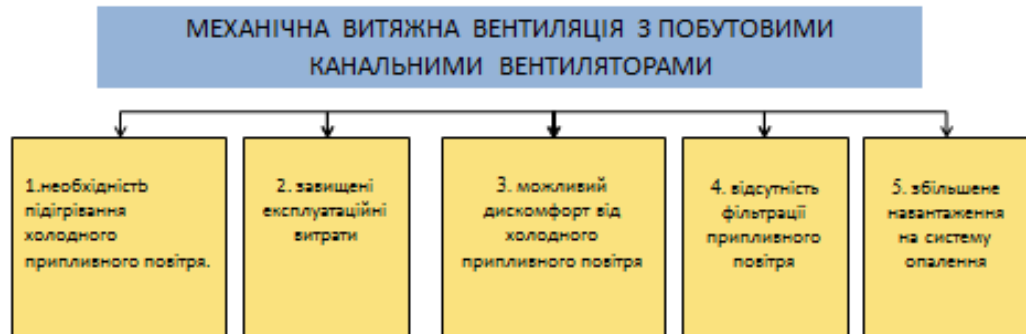


Рисунок 3.2.2 – Механічна витяжна вентиляція з каналним вентилятором

Конструкція такої системи вентиляції аналогічна до системи вентиляції з природним спонуканням, але при цьому можливі горизонтальні ділянки різної протяжності з будь-якою кількістю відводів (поворотів). Рух повітря каналами здійснюється під дією вентилятора.

Вентилятори обираються за таким принципом:

- санвузли – витяжні вентилятори, зблоковані з освітленням, зі зворотним клапаном та автоматикою на основі таймера затримки вимкнення;
- ванни та душові – витяжні вентилятори зі зворотним клапаном та автоматикою на основі датчика вологості;
- кухні – витяжні вентилятори зі зворотним клапаном та автоматикою на основі датчика вологості з можливістю примусового запуску. Приплив повітря забезпечується за рахунок встановлення припливних клапанів у вікна або стіни будівлі.

Недоліки такого типу вентиляції:

- відсутність фільтрації припливного повітря;
- можливий дискомфорт від холодного припливного повітря;
- завищені експлуатаційні витрати: збільшене навантаження на систему опалення у зв'язку з необхідністю підігрівання холодного припливного повітря.

Використання енергетичного потенціалу припливного повітря взагалі відсутнє. Однак повітрообмін у системі підтримується відповідно до потреб у повітрі, що зменшує витрати енергії на підігрівання хоча б непотрібного зовнішнього повітря.

Найсучаснішим та найпрактичнішим способом створення комфортного мікроклімату та необхідного повітрообміну в будинках є центральна механічна припливно-витяжна вентиляція з утилізацією теплоти (рис. 3.2.3).

Такий тип вентиляції передбачає використання припливно-витяжної установки з утилізацією теплоти, припливних та витяжних повітроводів, повітрязабірних пристроїв. Ці елементи системи забезпечують вентиляцію приміщень. У санвузлах, ванних кімнатах та в кімнатах підготовки їжі встановлюються витяжні вентилятори зі зворотним клапаном та автоматикою на основі датчика вологості з можливістю примусового запуску[7].

Переваги такої системи вентиляції:

- свіже, чисте повітря з допустимою концентрацією шкідливих речовин і пилу та без підвищеної вологості;
- автоматичне забезпечення необхідного повітрообміну;
- догрівання припливного повітря до температури приміщення;
- скорочення витрат теплоти в приміщеннях завдяки утилізації теплоти витяжного повітря;
- захист від шуму та підвищена безпека завдяки зачиненим вікнам.

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

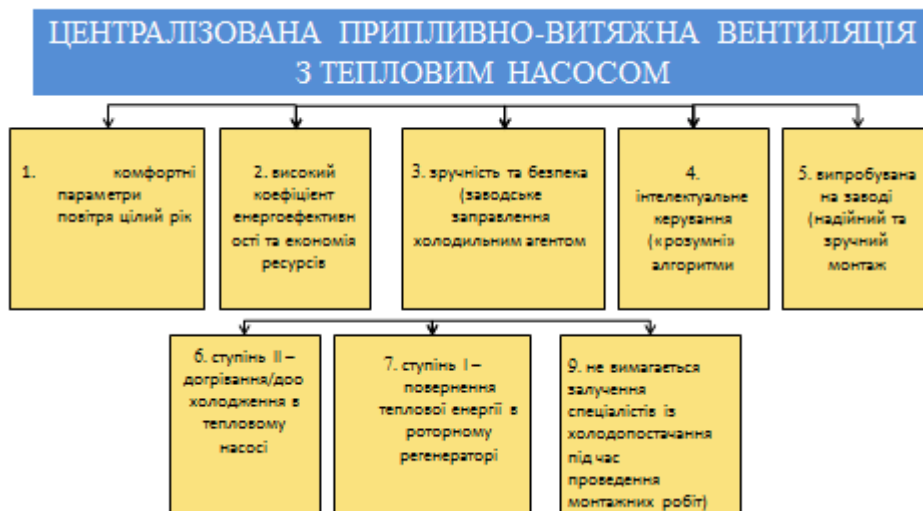


Рисунок 3.2.3 – Механічна витяжна централізована
вентиляція з тепловим насосом

Під час тривалої експлуатації будинку з використанням припливно-витяжної вентиляції з утилізацією теплоти забезпечується висока економія теплоти порівняно з механічною та природною вентиляцією. Звісно, витрати на придбання та монтаж припливно-витяжної вентиляції з утилізацією теплоти дещо перевищують витрати на монтаж та придбання обладнання для вентиляції без такої утилізації[7].

Під час тривалої експлуатації будинку з використанням припливно-витяжної вентиляції з утилізацією теплоти забезпечується висока економія теплоти порівняно з механічною та природною вентиляцією. Звісно, витрати на придбання та монтаж припливно-витяжної вентиляції з утилізацією теплоти дещо перевищують витрати на монтаж та придбання обладнання для вентиляції без такої утилізації.

3.3 Централізована припливно-витяжна вентиляція з утилізацією теплоти -

Установки серії ВУТ (рис. 3.3.1) [7]:

- продуктивність від 100 до 3500 м³ /год;

					ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ	Арк. 48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- поставляються як із нагрівачем, так і без нього;
- різноманітні варіанти монтажу (підлоговий, настінний, підвісний);
- алюмінієвий, полістирольний рекуператор;
- 20 різноманітних модифікацій.



**Припливно-витяжна установка
ВУТ 300 Е2В ЕС**

Витрата повітря: 50–270
м³/год. Розмір: 700x373x650
мм.

**Припливно-витяжна установка
ВУТ2 250 П ЕС (2 рекуператори)**

Витрата повітря: 200 м³/год.
Розмір: 580x770x220 мм.
Нагрівання: відсутнє.

Пульт керування: виносний, індикаторний.
Нагрівання: водяне/електричне.
Пульт керування: виносний, РК.



**Припливно-витяжна установка
ВУТ 300 В, Г міні ЕС**

комфо Витрата повітря: 300
м³/год. Розмір: 660x402x250 мм.
Рекуператор: алюміній.

Панель керування зі світлодіодною інди-
кацією.

**Припливно-
витяжні
устано-
вки ВУТ ВБ ЕС**

Технічні дані наве-
дені в таблиці.



Рисунок 3.3.1 - Припливно-витяжні установки фірми «ВЕНТС» [7]

					ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Застосування напівжорстких пластикових повітроводів FlexiVent, які виробляються компанією «Вентс», у поєднанні з припливно-витяжними установками з утилізацією теплоти дозволить значно зекономити час для монтажних робіт, а також зменшити капітальні вкладення під час будівництва чи реконструкції індивідуального житлового будинку.

Модульна система розподілу повітря FlexiVent базується на використанні компактних гофрованих повітроводів круглого перерізу діаметром 75 мм з ударостійкого пластику. На відміну від стандартної системи повітроводів, яка монтується лише під стелею, система FlexiVent має у своєму розпорядженні ширші можливості. Повітроводи можуть встановлюватися у стелі, стінах та підлозі.

Переваги та особливості системи FlexiVent:

- компактність, сумісність із нестандартними стелями зі складним дизайном, а також підлогами з підігріванням;
- матеріал та форма напівжорстких каналів дозволяють їм витримувати високе зовнішнє навантаження (наприклад, тиск бетонної стяжки підлоги);
- естетичний дизайн інтер'єру (вентиляційні комунікації ховаються під підлогою, єдиний видимий елемент – підлогові вентиляційні решітки, через які здійснюється приплив та витяжка повітря);
- низький рівень шуму;
- сумісність із системою повітроводів Пластивент;
- швидке та зручне складання за рахунок гнучкості каналів та універсальних з'єднувальних-монтажних елементів. Не вимагається спеціального інструмента і підготовки.

Повітроводи FlexiVent виготовлені з високоякісного пластику методом коекструзії (поєднання двох видів сировини). Коекструдований пластиковий профіль має низку переваг: стійкий до температурних змін, ударостійкий, простий у догляді. Гофрована форма напівжорстких повітроводів надає

									Арк.
									50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ				

їм високої гнучкості. Це дає можливість виконувати повороти в будь-якому місці без додаткового обладнання.

У багатьох випадках застосування припливно-витяжної вентиляції з утилізацією теплоти вимагає внесення будівельних чи архітектурних змін до вже готового інтер'єру будівлі, але при цьому необхідно забезпечити ефективне рішення для вентиляції[7].

3.4 Децентралізована механічна припливно-витяжна вентиляція

Основу такої системи становлять компактні децентралізовані провітрювачі (модель ВЕНТС ТвінФреш Комфо РА1-50 або інші з цієї серії).

Встановлення таких провітрювачів – чудовий спосіб створення якісної вентиляції в окремих кімнатах та приміщеннях малоповерхового будинку. Децентралізовані реверсивні провітрювачі з утилізацією теплоти здатні забезпечити подачу свіжого теплого повітря до приміщення, його фільтрацію та видалення забрудненого повітря назовні. При цьому немає необхідності купувати додаткове вентиляційне обладнання чи його елементи. У санвузлах, ванних кімнатах і на кухні встановлюються витяжні вентилятори зі зворотним клапаном та автоматикою на основі датчика вологи з можливістю примусового запуску. Система монтується на етапі чистового оздоблення будівлі або в процесі експлуатації при виникненні необхідності додаткової механічної вентиляції будинку[7].

Переваги такої системи вентиляції:

- фільтрація припливного повітря;
- стабільний повітрообмін;
- утилізація теплоти витяжного повітря, що дозволяє економити до 75 % теплоти порівняно з природною вентиляцією.

					ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.4.1 - Установка серии Мікра 150 (настінний варіант монтажу) продуктивністю 20–150 м³/год з пластинчастим рекуператором (ефективність до 75 %) та позисторним нагрівачем 350 Вт. [7]



Рисунок 3.4.2 - Установка серии ТвінФреш Комфо РА 1-50[7]

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52



Рисунок 3.4.3 - Припливно-витяжна установка з тепловим насосом ВЕНТС[7]

Інноваційним рішенням системи вентиляції для будівлі є використання припливно-витяжних установок зі вбудованим тепловим насосом для нагрівання, охолодження та вентиляції приміщень (рис. 3.4.3).

Переваги припливно-витяжної установки з тепловим насосом[7]:

- комфортні параметри повітря цілий рік (робота реверсивного теплового насоса в режимі «нагрівання» або «охолодження» забезпечує комфортні параметри повітря в приміщенні);
- високий коефіцієнт енергоефективності та економія ресурсів (двоступенева система енергозаощадження: ступінь I – повернення теплової енергії в роторному регенераторі, ступінь II – догрівання/доохолодження в тепловому насосі);
- додаткові переваги для клімату в приміщенні (нагрівання та повернення вологи в холодний період року, охолодження та осушення в теплий період року);
- рішення «все разом» (не вимагається приєднання компресорно-конденсаторного блоку (ККБ), холодильної машини (чилера), трубопроводів, допоміжного обладнання);

- зручність та безпека (заводське заправлення холодильним агентом, не вимагається залучення спеціалістів із холодопостачання під час проведення монтажних робіт);
- інтелектуальне керування («розумні» алгоритми автоматичного керування та використання надійних компонентів гарантують безпечну та ефективну експлуатацію обладнання);
- екологічна безпека та захист (використовується безпечний для озонного шару планети холодильний агент R410A, заправлення одного контуру не перевищує 10 кг);
- установка випробувана на заводі (надійний та зручний монтаж, введення в експлуатацію та експлуатація за принципом Plug & Play).

Система вентиляції з роторним регенератором і тепловим насосом дозволяє забезпечити приміщення чистим повітрям із комфортною температурою, суттєво зменшуючи таким чином навантаження на системи опалення чи охолодження.

Під час спільної роботи теплового насоса і роторного регенератора співвідношення виробленої та споживаної енергії становить 1:8, тобто для досягнення 8 кВт теплової потужності необхідно витратити 1 кВт теплової енергії.

Компанія «Вентиляційні системи» випускає сучасні припливно-втяжні установки з тепловим насосом серій ВУТР, ТН, ЕГ, ЕС продуктивністю до 955 м³ / год з ефективністю рекуперації до 85 %. Установки конструктивно та функціонально відповідають найсучаснішим вимогам із кліматизації житлових приміщень. Установки оснащуються реверсивним тепловим насосом для нагрівання або охолодження повітря. Застосовується високоефективний ротаційний компресор з малим рівнем шуму. Робочою речовиною в тепловому насосі є високотехнологічний холодильний агент R410A, що має ви-

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

сокі термодинамічні властивості, а також не руйнує озонового шару ти[7].

Особливістю автоматики припливно-витяжних установок з тепловим насосом серії ВЕНТС ВУТР ТН є наявність додаткових систем інтелектуального керування, які дозволяють забезпечити високу функціональність роботи установки в період її експлуатації.

За вимогами ДБН В.2.5-67:2013 забір зовнішнього повітря слід виконувати з якомога більш чистим і менш вологим повітрям, а крім цього, у теплий період року воно повинно мати якомога нижчу температуру. Для цього не допускається забирати повітря ближче 8 м по горизонталі від сміттєзбірника, зони паркування автомобіля на три або більше паркомісця, проїздів, зон вантаження, вентиляційних отворів каналізації, верхівок димових труб та інших джерел забруднення і запахів. Заборонено забирати повітря з фасаду, який виходить на вулицю з активним рухом. Ці вимоги можна виконати за достатньої площі земельної ділянки. Якщо ці вимоги виконати неможливо, вимагається виконати повітрязабір якомога вище від землі.

При виборі місця повітрязабору слід унеможливити захоплення витяжного повітря або диму від котлів і печей. За однакових умов на покрівлі або на різних стінах перевагу слід віддавати навітряному боку. Якщо навколо забудови немає значних перешкод вітру, то цей напрямок відповідатиме напрямку найбільш швидкого і повторюваного вітру за ДСТУ Н Б В.1.1-27:2010.

Припливний пристрій рекомендується захищати від сонячно світла. За неможливості цього слід уникати забору нагрітого повітря. При заборі повітря з покрівлі її бажано виконувати з матеріалу, що якомога більше розсіює сонячне проміння. Таким матеріалом може бути оцинкована сталь. Використання матеріалів для покрівлі з умістом азбесту в Україні заборонені через сильну канцерогенну активність. Однак покрівлі з азбошиферу залишаються у ста-

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

рих будівлях навіть після модернізації через брак коштів. Це взагалі унеможливило забір повітря з покрівлі або верхньої частини стін.

Низ повітрязабірного пристрою має бути не нижче 2 м від рівня землі та не нижче 1 метра від рівня стійкого снігового покриву. Якщо є можливість інтенсивного перенесення пилу і піску, то після повітрязабору слід передбачити камеру для осадження великих часток. Низ забору або викиду повітря на покрівлі має бути в 1,5 рази вищим за максимально можливу висоту снігового покриву. Допускається менша висота за умови застосування засобів від снігового покриву (наприклад, заслін від снігу).

Викид витяжного повітря слід здійснювати з виконанням умови унеможливлення загрози здоров'ю людини чи шкоди для будівлі і навколишнього середовища.

Для природної вентиляції викид повітря має бути виконаний таким чином, щоб унеможливити перекидання циркуляції (задування). Над плоскою покрівлею без парапету викид повітря має здійснюватися не нижче 0,5 м.

Якщо навколо будинку є інші більш високі будівлі, то викид вентиляції слід виводити вище лінії, проведеної під 10° до горизонту за дотичною до найвищої сусідньої будівлі. Тому, якщо навколо ділянки з'явиться висотна новобудова, то виникне необхідність переробки природної вентиляції або переведення її на механічне спонукання. Якщо одразу влаштувати механічну вентиляцію, то будинок буде незалежним від майбутніх новобудов.

Викид повітря механічної витяжної вентиляції з приміщень індивідуального житлового будинку виконується на даху[7].

Допускається виконувати викид у стінах, якщо виконані всі наступні умови:

- повітря видаляється не з санвузла;
- відстань від викиду витяжного повітря до найближчої сусідньої будівлі не менше ніж 8 м;

					ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- відстань між викидом витяжного повітря та забором зовнішнього повітря на одній стіні не менше ніж 2 м (як правило, викид витяжного повітря слід розташовувати вище забору повітря);
- витрата витяжного повітря не більше ніж 0,5 м³/с або 1800 м³/год (в індивідуальних житлових будинках виконується практично завжди);
- швидкість повітря в пристрої для викиду витяжного повітря не менше ніж 5 м/с.

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		57

4. ЕНЕРГООЩАДНА ВЕНТИЛЯЦІЯ

4.1 Теплоутилізатори[7]

Під час будівництва індивідуального житлового будинку або капітального ремонту квартир бюджет на правильну механічну вентиляцію, як правило, є значним. Такі рішення доступні лише громадянам з високим рівнем доходів та призводять до зменшення висоти підвісних стель над рівнем підлоги.

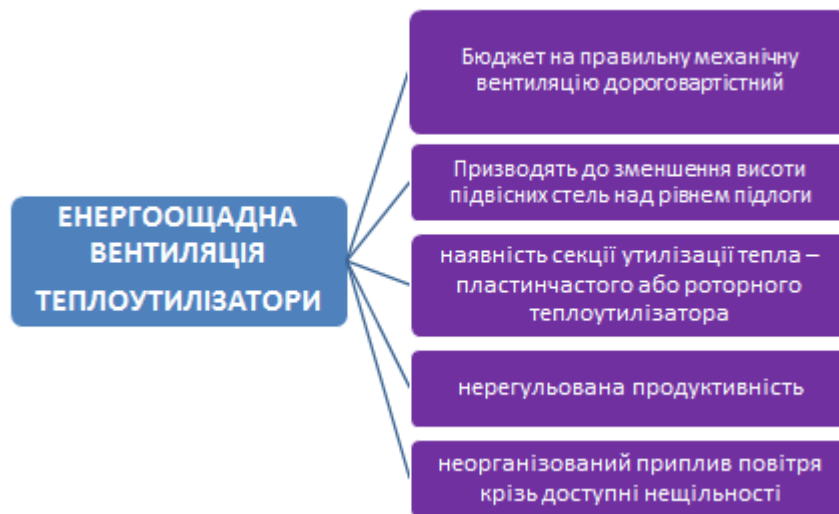


Рисунок 4.1.1 – Енергоощадна вентиляція. Теплоутилізатори

Природна вентиляція (вентиляційні канали з виходом на дах) спричиняє проблеми, серед яких:

- зворотна тяга, що найчастіше виникає під дією вітру після надбудови частини будинку або побудови більш високих будівель і споруд навколо нього;
- залежність від швидкості вітру;
- нерегульована продуктивність;
- можливе випадання конденсату;
- складність прочищення;
- неорганізований приплив повітря крізь доступні нещільності.

Така система виносить більшу частину теплоти з будинку в холодний період, що призводить до переплати за опалення. Навіть добре утеплений будинок не може бути економним без утилізації теплоти витяжного повітря. За існуючими оцінками, лише половина енергії, що отримується за рахунок спалювання палива, корисно використовується на обігрівання будинку. Хоча облаштування ефективної теплоізоляції зменшує теплові втрати, багато енергії втрачається з витяжним повітрям (тепловтрати на вентиляцію або інфільтрацію).

Явні тепловтрати на вентиляцію[7]:

- при витраті витяжного повітря $G\ell$, кг/с

$$Q_{inf} = c G_l(t_{int} - t_{ext})/3,6, \text{ Вт} \quad (4.1.1)$$

- при витраті витяжного повітря $G\ell$, кг/год

$$Q_{inf} = c G_l(t_{int} - t_{ext})/3,6, \text{ Вт} \quad (4.1.2)$$

де t_{int} і t_{ext} – температура внутрішнього і зовнішнього повітря, °С.

Нехай спальня площею $S = 20 \text{ м}^2$ має розрахункову температуру внутрішнього повітря $t_{int} = 20 \text{ °С}$. Температура зовнішнього повітря $t_{ext} = -22 \text{ °С}$. Ця кімната вимагає (табл. 1) $q_p = 25,2 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{люд})$ та $q_v = 3,6 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$ зовнішнього повітря. Загальна витрата зовнішнього повітря

$$L_{tot} = n q_p + S q_v = 1 \cdot 25,2 + 20 \cdot 3,6 = 97 \approx 100 \text{ м}^3/\text{год}$$

Масова витрата повітря за табл. 3 становить:

$$G = 100 p = 100 \cdot 1,2 = \frac{120 \text{ кг}}{\text{год}}$$

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Відповідні тепловтрати на вентиляцію

$$Q_{inf} = 1,006 \cdot 120 \cdot \frac{20 - (22)}{3,6} = 1408 \text{Вт} \approx 1410 \text{Вт}.$$

Витрату повітря у м³/год і кг/год та теплоту у Вт і кДж/год прийнято заокруглювати до десяти, зазвичай, у більший бік.

При хорошій теплоізоляції приміщення площею 20 м² може мати тепловтрати не більше 500 Вт, тому тепловтрати на інфільтрацію перевищують тепловтрати крізь огорожувальні конструкції практично втричі. Застосування припливно-витяжної системи вентиляції з утилізацією теплоти є на сьогодні одним із основних методів енергозаощадження в будівлі.

Припливно-витяжна установка зі вбудованим рекуператором[7].

Саме ці установки найчастіше розглядаються як метод енергозаощадження, при якому повітря, що видаляється з будівлі, використовується теплої пори року для попереднього охолодження, а в холодний період – для підігрівання припливного повітря зі зменшенням на це витрат енергії. Щоб відібрати теплоту з повітря, що видаляється, його потрібно пропустити крізь припливно-витяжну установку. Основною відмінною особливістю установок є наявність секції утилізації тепла – пластинчастого або роторного теплоутилізатора.

4.2 Пластинчасті рекуператори [7]

Перед тим, як видалити витяжне повітря назовні, в теплоутилізаторі від нього забирається теплота, яка згодом використовується для нагрівання припливного повітря в холодний період року. Такі системи дозволяють економити до 90 % енергії, що витрачається на нагрівання зовнішнього холодного повітря.

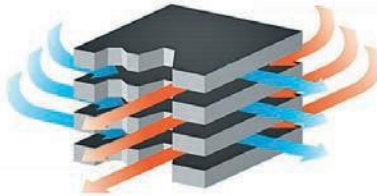
Припливне повітря та повітря, що видаляється, проходять по обидва боки ряду пластин. Тут практично унеможлиблюється контакт припливного пові-

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

тря з повітрям, яке видаляється. Такі рекуператори повинні бути оснащені відводами конденсату, оскільки існує ймовірність його утворення на пластинах.

Зовнішнє повітря

Тепле витяжне повітря



Відпрацьоване повітря

Підігріте зовнішнє повітря

Рисунок 4.2.1 - Схема дії пластинчастого рекуператора[7]

Випадання конденсату може призвести до утворення льоду, тому необхідна система розморожування. Утилізація теплоти може регулюватися за допомогою перепускнуго клапана, який контролює витрату повітря, яке проходить крізь рекуператор. Пластинчастий рекуператор не має рухомих частин.



Рисунок 4.2.2 - Установки з пластинчастими рекуператорами[7]

					ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Припливно-витяжні установки з пластинчастими рекуператорами дозволяють зменшити витрати на підігрівання припливного повітря на 10...70 %. В основі таких пристроїв лежить пластинчастий перехреснопотоковий рекуператор – пакет тонких металевих пластин, листів пластику або спеціально обробленої целюлози, між якими залишені проміжки. Повітря, що видаляється з приміщення, протікає в кожному другому проміжку між пластинами, а зовнішнє повітря, що надходить до приміщення, проходить крізь решту каналів. Рекуператори з пластинами із целюлози мають ще й властивість вирівнювати концентрацію водяної пари у припливному та витяжному повітрі (здатність осушувати або зволожувати припливне повітря). Завдяки цьому влітку можна помітно скорочувати тривалість роботи системи кондиціонування повітря. Окрім рекуператора, в корпусі припливно-витяжної установки є припливний та витяжний вентилятори, фільтри, які забезпечують очищення повітря від пилу, електронагрівач та інші елементи (рис. 4.2.1). Контроль температури здійснюється за допомогою системи автоматичного регулювання потужності за показниками датчика температури, встановленого в потоці повітря, що подається до приміщення.

При температурі, нижчій ніж $-3 \dots -8 \text{ }^\circ\text{C}$ (це приблизна температура, яка залежить від відносної вологості потоків повітря), між пластинами рекуператора може утворитися лід, що призведе до зменшення ефективності роботи системи.

Використовують кілька способів боротьби з обмерзанням рекуператора. Найрадикальнішим є попереднє підігрівання припливного повітря. В каналі перед входом в установку монтується електронагрівач, який доводить припливний потік до «безпечної» температури. Цей спосіб попередження обмерзання рекуператора найбільш витратний. Він суттєво зменшує ефективність використання рекуператора й дещо підвищує вартість системи механічної вентиляції[7].

Є й інший спосіб. Для цього припливно-витяжна установка повинна бути обладнана керованою заслінкою та обвідним каналом (байпасом). Під час

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

розморожування 5-10 хвилин на годину через рекуператор проходить лише тепле повітря з приміщень. Заслінка на вході в установку в цей період закрита, і припливне повітря надходить до приміщення обвідним повітряним каналом. Конденсат відводиться в каналізацію. Обвідний повітряний канал використовується також і в теплий період року, коли температура зовнішнього повітря є оптимальною і потреба в рекуперації відпадає.

4.3. Роторні теплоутилізатори[7]

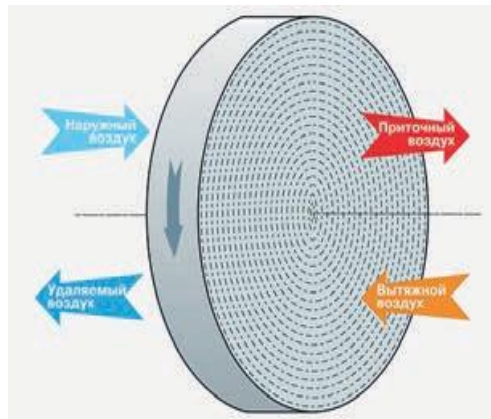


Рисунок 4.3.1 - Роторний теплоутилізатор

Роторні теплоутилізатори [7] (рис. 4.3.1). Теплообмін відбувається за допомогою ротора, який безперервно обертається між припливним та витяжним каналами. Ротор – це короткий циліндр, заповнений по чергово навитими плоскими та гофрованими стрічками, між якими утворені дрібні повітропроникні канали (комірки). При обертанні ці комірки по чергово опиняються в гарячому та холодному потоці. У гарячому потоці комірки відбирають теплоту і нагріваються. У холодному потоці вони віддають теплоту й охолоджуються. Теплообмінники, в яких теплообмінна поверхня по черзі контактує з потоками, називаються регенеративними теплообмінниками або регенераторами теплоти.

Такі теплоутилізатори мають суттєвий недолік – існує ймовірність того,

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

що запахи й забруднювачі, які виділяються людьми, меблями, будівельними матеріалами можуть переміщуватися з повітря, що видаляється, до припливного. Правильне розташування вентиляторів зменшує цей недолік. Рівень утилізації теплоти регулюється швидкістю обертання ротора. В роторних теплоутилізаторах присутні рухомі частини.

Припливно-витяжні установки з роторними теплоутилізаторами краще, ніж агрегати з перехресно-потоким рекуператором адаптовані до українського клімату, у тому числі до найлютіших морозів. Це обладнання дещо дорожче (у 1,5–2 рази), ніж аналогічне за продуктивністю та потужністю з перехресно-потоким рекуператором. Але наведена вартість системи механічної вентиляції, що враховує витрати на її експлуатацію, в разі застосування роторного агрегата часто виявляється нижчою.

Найважливіша характеристика такого обладнання – коефіцієнт використання теплоти, що відводиться, або ефективність теплоутилізатора. Це відношення фактичної кількості переданої теплоти до максимально можливої кількості теплоти, яку передає ідеальний протипотоковий теплообмінник за тих самих умов. Якщо не враховувати зміну питомої теплоємності повітря, ефективність теплоутилізатора[7]

$$E = \frac{100G_r(t_{r,1}-t_{r,2})}{\min(G_r, G_x)(t_{r,1}-t_{x,1})} = \frac{100G_x(t_{x,2}-t_{x,1})}{\min(G_r, G_x)(t_{r,1}-t_{x,1})}, \% \quad (4.3.1)$$

де G_r і G_x – масова витрата гарячого і холодного потоків, кг/с або кг/год;

$t_{r,1}$ і $t_{r,2}$ – початкова й кінцева температура гарячого потоку, °С;

$t_{x,1}$ і $t_{x,2}$ – початкова й кінцева температура холодного потоку, °С;

$\min(G_r, G_x)$ означає скористатися меншим значенням витрати потоку.

Якщо витрата потоків однакова, тоді

						ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			64

$$E = \frac{100(t_{r,1} - t_{r,2})}{(t_{r,1} - t_{x1})} = \frac{100(t_{x,2} - t_{x,1})}{(t_{r,2} - t_{x,1})}, \%$$

При однаковій витраті припливного та витяжного повітря ефективність роторного теплоутилізатора може сягати 85 %. В індивідуальних житлових будинках можливо застосовувати припливно-витяжні установки з так званим ентальпійним ротором. За рахунок витяжного потоку вони в теплий період року дозволяють осушувати, а в холодний період року зволожувати зовнішнє повітря, яке подається до приміщення (аналог целюлозного рекуператора).

Припливно-витяжні установки з роторним теплоутилізатором можуть застосовуватися без попереднього підігрівання повітря. Крім цього, завдяки високому коефіцієнту використання теплоти, що відводиться, в припливно-витяжній установці з роторним теплоутилізатором часто можна не використовувати навіть штатний повітрянагрівач.



Рисунок 4.3.2 Система автоматичного керування (САК) припливно-витяжних установок [7]

Небезпека появи льоду в комірках роторного теплообмінника виникає лише за температури зовнішнього повітря нижче $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Розморювання пристрою здійснюється двома способами. У найдосконаліших апаратах за допомогою регулятора частоти зменшується швидкість обертання ротора. Якщо тепло-

обмінник не обладнаний регулятором швидкості, то при розморожуванні зупиняється припливний вентилятор і закривається заслінка всмоктування зовнішнього повітря. Зрештою, як і у випадку з пластинчастим рекуператором, повне блокування припливу має суттєвий недолік: у вентильованих приміщеннях утворюється відчутний вакуум. Тому для уникнення дискомфорту застосовувати цей спосіб не рекомендується.

Під час вибору припливно-витяжної установки з роторним теплоутилізатором важливо звернути увагу на можливості та функціональність автоматики.

Системи автоматичного керування (САК) припливно-витяжних установок останнього покоління керують роботою роторного теплообмінника й дозволяють з високою точністю регулювати температуру повітря в припливних та витяжних повітроводах, а також у приміщеннях, регулювати витрату повітря, реагувати на підвищення концентрації в приміщенні вуглекислого газу та шкідливих речовин (рис. 28). Тривалість роботи обладнання може бути розписана по хвилинах за допомогою сучасних контролерів. Деякими установками з роторним теплоутилізатором можна керувати з мобільного телефону за допомогою технології Wi-Fi.

Характерно, що функція керування припливно-витяжною вентиляційною системою за допомогою мобільного телефону надає користувачеві можливість вмикати та вимикати установку, задавати той чи інший режим. Наприклад, дорогою з роботи до дому можна увімкнути провітрювання приміщень з підігріванням припливного повітря, наприклад, до 28 °С, і установка буде переведена в економічний режим. Якщо забути вимкнути вентиляційну установку, то за наявності зв'язку ця проблема вирішується з будь-якої точки земної кулі. Більше того, за необхідності система сама зв'яжеться із сервісною службою та передасть інформацію про несправності в роботі обладнання, необхідність заміни фільтрів тощо[7].

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Саме ці системи найчастіше розглядаються як метод енергозаощадження, при якому повітря, що видаляється з будівлі, використовується теплої пори року для попереднього охолодження, а в холодний період – для підігрівання припливного повітря зі зменшенням на це витрат енергії. Щоб відібрати теплоту з повітря, що видаляється, його потрібно пропустити крізь припливно-витяжну установку. Основною відмінною особливістю установок є наявність секції утилізації[7].

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		67

4.4 Розрахунок економічної ефективності теплоутилізації будівлі

Припливно-витяжна установка з утилізацією теплоти дозволяє забезпечити подачу зовнішнього повітря до приміщення, його фільтрацію та видалення забрудненого повітря на вулицю. Оскільки приміщення постійно втрачає теплоту природним шляхом, установка з утилізацією теплоти є найактуальнішим рішенням для економії коштів на енергоносії.

Для розрахунку економічної ефективності утилізації теплоти, що застосовується в будинку, необхідно мати розрахункову витрату повітря для забезпечення необхідного повітрообміну.

В будинку спроектовано систему вентиляції із застосуванням припливно-витяжної установки ВЕНТС ВУЕ2 250 П ЕС).

Розрахункова витрата повітря – $L = 170 \text{ м}^3/\text{год}$.

Максимальна ефективність теплоутилізатора установки ВЕНТС ВУЕ2 250 П ЕС становить 89 %. Розрахункова середня ефективність рекуперації цієї установки $E = 70 \%$.

Розрахункова середня температура зовнішнього повітря (м. Хмельницький) в опалювальний період $t_{ext} = -0,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Тривалість опалювального періоду $NOП = 176$ днів (ДСТУ–Н Б В.1.1-27-2010, табл. 2). Висота поверху від підлоги до стелі $H = 4,0$ м. Температура повітря в зоні обслуговування прийнята $t_{wz} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура витяжного повітря розраховується за градієнтом температури (4):

$$t_l = 22 + 0,3 (4,0 - 2,0) = 22,6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температура повітря після теплоутилізатора визначається за формулою (37)

$$\begin{aligned} t_y = t_{x,2} &= t_{x,1} + (E/100) (t_{z,1} - t_{x,1}) = t_{ext} + (E/100) (t_l - t_{ext}) = \\ &= -0,1 + 0,7(22,6 - (-0,1)) = 15,79 \text{ }^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

З урахуванням нагрівання повітря у вентиляторі та повітроводах на $\Delta t_{en} = 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ температура припливного повітря становить

$$t_{in} = t_y + \Delta t_{en} = 15,79 + 1,5 = 17,29 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Робочий перепад температури, тобто різниця між температурою повітря зони обслуговування і температурою припливного повітря становить

$$\Delta t_p = t_{wz} - t_{in} = 22 - 17,29 = 4,71 \text{ }^\circ\text{C}.$$

					ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Такий робочий перепад температури при правильному спрямуванні потоку припливного повітря є допустимим. Тому додаткове підігрівання повітря не потрібне.

Якщо б теплоутилізатора не було, то на аналогічне нагрівання припливного повітря була б витрачена електрична потужність, що дорівнює витраті теплоти

$$P = 0,3353 L (t_y - t_{ext}) = 0,3353 \cdot 170 \cdot (15,79 - (-0,1)) = 860 \text{ Вт.}$$

Загальні витрати електроенергії за опалювальний період становлять:

$$АОП = 24 \text{ НОП } P/1000 = 24 \cdot 176 \cdot 900 / 1000 = 3801 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Тариф на електроенергію станом на липень 2021 року становить $T = 1,68$ грн/(кВт·год) понад 100 спожитих кВт·год на місяць. Тобто за відсутності теплоутилізатора споживач мав би сплатити за опалювальний період

$$T \text{ АОП} = 1,68 \cdot 3801 = 6386 \text{ грн.}$$

Припливно-витяжна установка з утилізацією теплоти ВЕНТС ВУЕ2 250 П ЕС нагріває холодне повітря без витрат електроенергії. При цьому заощаджується 3801 кВт·год електроенергії або (за тарифами станом на липень 2021 р.) 6386 грн за опалювальний період.

Розглянемо як приклади на підтвердження енергоощадних технологій інші факти з роботи науково-виробничого центру вентиляції та кондиціонування під керівництвом канд.. техн.. наук, технічного директора Снозика О.В..

Порівняльний розрахунок економічної ефективності різних видів опалення			
на прикладі приміщення площею 9000м ² і потужністю опалення 900кВт			
потужність тепла	електрика	природний газ	тепловий насос
1 кВт	1кВт	0,125 м ³ /кВт	1:3,5 кВт
поточні ціни на 1.11.2021.	4,6 грн/кВт	36 грн/м ³	1,31 грн/кВт
Ціна 1 кВт тепла	4,6	4,5	1,31
вартість при потужності 900 кВт	4 140	4 050	1 179
вартість за день//12 годин	49 680	48 600	14 148
вартість за січень//31 день	1 540 080	1 506 600	438 588
економія за січень	0	33 480	1 101 492
економія за опалювальний сезон	0	100 440	3 304 476
вартість мультизональної системи 900 кВт			15 000 000
повна окупність			до 5 років

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Тепловий насос: реальний досвід використання. Чи правда, що тепловий насос дозволяє суттєво заощаджувати на опаленні?

Історії наших клієнтів свідчать про те, що це — беззаперечний факт! Досвідом використання поділився один із наших клієнтів. Олександр встановив у приватний будинок площею 200 кв.м. тепловий насос Hitachi потужністю 14 кВт і користується ним вже понад шість років. Перед встановленням теплового насоса в Олександра були вагомі аргументи на користь такої системи опалення.



Найперший — бажання зекономити.

Спалювання газу — звичайний спосіб опалення для пересічного українця — не влаштовувало через великі експлуатаційні витрати, зокрема, на підключення газу. Пошук і розрахунки привели його до того, що основним джерелом тепла можна і доцільно обрати тепловий насос, і використовувати його ще й для гарячого водопостачання та кондиціонування будинку. Така схема давала можливість використовувати один пристрій відразу для трьох потреб. Далі Олександр аналізував різні види теплових насосів, прагнучи обрати найкращий

Рисунок 4.4.1 - Тепловий насос Hitachi

У півфінал вийшли геотермальний насос та “повітря-вода”. Олександрові провели детальні розрахунки, врахували різні фактори, у тому числі деградацію ґрунту. Виявилося, що за капітальними витратами насос повітря-вода — оптимальний варіант. З приводу виробника обладнання сумнівів не було -

									Арк.
									70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ				

Hitachi. Сучасні теплові насоси Hitachi дозволяють опалювати будинок умовах української зими, тобто $+6^{\circ}\text{C}$ шість місяців опалювального періоду, і працювати з високим COP — високим індексом енергетичної ефективності. Діапазон роботи насосу — до -25°C . У будинку, де проживає велика родина з дітьми, потрібен був максимально надійний варіант, адже тепловий насос не просто єдине джерело тепла — він є джерелом комфорту. Японська якість Hitachi себе виправдала — за весь час експлуатації не було жодних нарікань до обладнання.

Останні шість років насос працює фактично постійно — якщо не на опалення або на кондиціонування, то на підготовку води. Також він використовується для підігрівання води у басейні - 4,5 тони води нагріваються за одну ніч. За спостереженнями Олександр, найбільш ефективний період використання - влітку, коли ТН використовується для гарячого водопостачання - у цей період COP наближається вищий за 5. У нічний час кіловат коштує близько 10 копійок. Завдяки дводіапазонному лічильнику вночі тариф вдвічі нижче, і це дає можливість отримувати майже безкоштовну гарячу воду влітку, чим родина користується для того, щоб наповнити басейн.



Рисунок 4.4.2 – Об’єкт, який обслуговується

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Система опалення заснована на бочці-акумуляторі, заправленому теплою водою з насоса. Вода через змішувальні вузли подається у радіатори, на теплу підлогу та вентустановку.

Автоматизувавши приміщення за температурою можна централізовано керувати процесом опалення, встановивши тижневий графік роботи, де заплановано зниження температури, коли вдома нікого немає. Це дозволяє заощаджувати на експлуатації у такі періоди. Також Олександр знайшов спосіб ефективно контролювати вологість у приміщенні. Взимку вона підтримується на рівні близько 50%. У цьому ключову роль також відіграє тепловий насос. У вентиляційну систему встановлено централізований адіабатичний зволожувач. Це поверхневий зволожувач, на який подається очищена вода зі свердловини. Теплообмінник-водяний нагрівач, встановлений у вентсистему, підігріває повітря, щоб зволожувач міг працювати.

Зволоження — енерговитратна частина, перенісши витрати на ТН, ви суттєво економите. Треба відзначити, що родина Олександра перший рік жила у будинку, де вологість повітря не контролювалася. Після запровадження системи різниця була очевидною. Для кондиціонування використовується вентиляційна система з рекуперацією, система з теплообмінником, який бере холодну воду з теплового насоса та охолоджує повітря що подається в будинок. Вода — основне джерело холоду, і він використовує максимальну потужність теплового насоса.

Для підтримки температури у спальнях використовуються радіатори, на які подається вже змішана вода з бочки-акумулятора для того, щоб уникнути конденсації. Про цю можливість не всі здогадуються, але якщо встановити у будинку великі радіатори, розраховані на роботу з низькотемпературним джерелом тепла, можна застосовувати фактично їх цілорічно, у тому числі для кондиціонування. Разом з тим, проблема конденсації на радіаторах відсутня. Температура води, яка подається, підтримується автоматично. Досягається така температура, що запобігає конденсації у контурі змішування радіатору. У будинку

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ку для кондиціонування використовуються дві температури води. “Гостра вода” — найхолодніша, працює у системі, там, де можна зібрати конденсат. Якщо немає такої можливості — використовується вода +16°C. Тепловий насос має великий запас потужності для охолодження. Але основний аргумент Олександра на користь застосування насосу для охолодження — відсутність додаткових зовнішніх блоків. Блоків кондиціонерів немає всередині, відсутні фреонопроводи та конденсатопроводи, на фасаді немає компресорно-конденсаторних блоків. Вигляд фасаду не псується, немає загрози руйнування будівлі через конденсат. Також треба розуміти, що спліт-система — це додаткове капіталовкладення, і у такому випадку робити його не має сенсу. У будинку Олександра впроваджена система вентиляції, яка забезпечує чисте повітря, і на відміну від природної гарантує повітряний потік без бруду та шуму. Це фундаментальне рішення для комфорту. Додаткові речі, якими “прокачали” вентсистему — зволоження та кондиціонування. Це дає можливість використовувати її на 120%.

Врешті відповідаємо на питання, яке цікавить усіх найбільше. Скільки ж коштує експлуатація будинку 200 кв.м?

Розрахунки Олександра підтвердилися. У приватному будинку, де проживає постійно шість осіб тепловий насос “повітря-вода” використовується для опалення, кондиціонування, вентиляції та зволоження. Витрати на електроенергію впродовж року — близько 2000 гривень на місяць. Більше жодних експлуатаційних витрат немає. Розрахунковий термін окупності насосу становить 4 роки, за умови, що обладнання використовується тільки для опалення. Проте, коли насос використовується на підготовку гарячої води, кондиціонування та зволоження, термін скорочується, й складає 2-3 роки.

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Для регулювання оптимальної температури повітря в приміщенні рекомендовані такі заходи:

- відрегулювати систему опалення в холодний період року;
- використовувати для освітлення сучасні лампи з низьким енерго споживанням та низьким тепловиділенням, а саме світлодіодні лампи;
- не залишати вікна відчиненими на ніч, оскільки це зменшить ефективність системи повітрообміну та вентиляції;
- застосовувати кондиціонування повітря;
- для охолодження приміщення використовувати більш холодне нічне повітря в теплий період року. Для цього вночі вмикати витяжні вентилятори.

Більшість людей переживають неприємні відчуття при швидкості повітряного потоку 0,25 м/с і більше, а 18 найбільш чутливі до протягів – при 0,15 м/с. Орієнтовно можна вважати, що зростання швидкості на 0,15 м/с еквівалентне зниженню температури на 1 °С. Підлогові, настільні, настінні та стельові вентилятори у приміщенні саме таким способом зменшують перегрівання людей під час спекотної погоди, хоча вони не охолоджують (навпаки, нагрівають за рахунок енергії двигуна) повітря. Таким чином, для забезпечення якісної вентиляції приміщень повинно бути передбачене регулювання швидкості повітряного потоку.

Забруднення повітря мало впливає на теплообмін людини, тому його концентрацію не вважають параметром мікроклімату. Основний забруднювач повітря будинків – вуглекислий газ, що продукується людиною. Зазвичай у приміщенні є декілька джерел забруднення повітря. Через вентиляційну систему, а також через різноманітні отвори всередину будівлі надходить неочищене зовнішнє повітря.

З цього випливає, що вирішувати проблеми формування мікроклімату приміщень необхідно на початку будівництва, ремонту чи реконструкції. Вимо-

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ги до вентиляційної системи повинні бути сформульовані перш ніж буде визначено тип, характеристики та архітектуру системи.

Якщо навколо будинку ведеться будівництво більш високих об'єктів, будинок надбудовується або виростають високі дерева, то вітровий потік сильно збурюється, і аеродинамічні коефіцієнти можуть змінити знак. Відбувається задування системи вентиляції. Вона може припинити роботу або замість видалення почати подавати повітря. Оскільки витяжні решітки не призначені для подачі повітря, виникає висока ймовірність перевищення допустимої швидкості повітря в зоні обслуговування, появи протягів такої швидкості, що легкі предмети будуть скидатися зі столів. Для стабілізації та посилення тяги встановлюють дефлектори, які перетворюють енергію вітру на додаткову тягу.

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
						75
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Чинні від 2014-01-01. – Київ: «Укрархбудінформ», 2013. – V, 149 с.
2. ДБН В.2.2-15-2005. Житлові будинки. Основні положення. – Чинні від 2006-01-01. – Київ: «Укрархбудінформ», 2005. – 38 с.
3. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. – Чинні від 2017-05- 01. – Київ: «Укрархбудінформ», 2017. – 30 с.
4. ДСТУ–Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. – Чинні від 2011-11-01. – Київ: «Укрархбудінформ», 2011. – 127 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 2013-01-01. – Київ: «Укрархбудінформ», 2012. – 71 с.
6. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування . -К.: Мінрегіон України, 2013.-147 с
7. Мілейковський В. О., Вентиляція індивідуального житлового будинку Котелков Л.М. – Дніпро: Середняк Т. К., 2018, М 60 — 156 с.
8. Довгалюк В. Б. Аеродинаміка вентиляції: Навчальний посібник / В. Б. Довгалюк. – Київ: ІВНВКП «Укреліотех», 2015. – 368 с.
9. Вентиляция. Проектирование, монтаж, эксплуатация: Справочник / ред. И. Ю. Алаев. – Харьков : Пософік, 2008. – 728 с.
10. Теплогазопостачання та вентиляція : Навчальний посібник / О. Т. Возняк, О. О. Савченко, Х. В. Миронюк та ін. – Львів: видавництво Львівської політехніки, 2013. – 276 с.
11. OHSAS 18001: 2007 "Система менеджменту охорони здоров'я та безпеки персоналу".
12. ДСТУ ISO 14001-97 "Системи управління навколишнім середовищем". - Київ, Держстандарт України.

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. "Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу". - № 528. - 2001.
14. "Порядок складання та вимоги до санітарно-гігієнічних характеристик умов праці". - № 614. - 2004.
15. "Інструкція про застосування переліку професійних захворювань". - №374/68/338. - 2000.
16. "Порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці". - №442-92.
17. ДСТУ ISO 6309: 2007.
18. "Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій". - №112-99 (із змінами №224. - 2007).
19. Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. та інші. Основи охорони праці: Підручник. – Київ: Основа. - 2006. – 444 с.
20. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. – Київ: Каравела. - 2006. – 392 с.
21. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці: Підручник. -Київ: Основа. - 2002.- 320 с.
22. Зеркалов Д. В. Основи охорони праці. Навчальний посібник. -К.: Наук. Світ. - 2000. - 278 с.
23. Пістун І.П. Безпека життєдіяльності: Навч.посіб. – Суми: Видавництво “Університетська книга”, 1999. – 301 с.
24. Економіка праці і соціально-трудова відносини: Навчальний посібник/ В. М. Ковальов, В. С. Рижиков, О. Л. Єськов та ін; Мін-во освіти і науки України, Донбаська державна машинобудівна академія. - К.: Центр навчальної літератури, 2006. - 255 с.
25. Руководящий материал по центральным кондиционерам КТЦЗ. Ч.1. - Харьков, 1987.
26. Справочник проектировщика. Вентиляция и кондиционирование воздуха/Под общ. ред. И.Г.Староверова. - М.: Стройиздат, 1978.

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

27. Тихомиров К.В., Сергиенко Э.С. Теплотехника, теплоснабжение и вентиляция. - М.: Стройиздат, 1991.
28. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. - М.: Стройиздат, 1982.
29. Кокорин О.Я., Дерипасов А.М. Отечественное оборудование для создания систем вентиляции и кондиционирования воздуха. - М., ИКФ „КАТАЛОГ”, 2002.
30. КАТАЛОГ бытовых кондиционеров ВЕНТС, 2001.
31. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. Евроклимат, 2000.
32. Международный каталог оборудования Rheem, 2002.
33. Каталог оборудования фирмы ВЕЗА. Кондиционеры центральные каркасно-панельные КЦКП.
34. Каталог оборудования фирмы ВЕЗА. Кондиционеры компактные панельные ККП.
35. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ.– Харків.: Форт – 2011 – 728 с

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
						78
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ДОДАТОК А

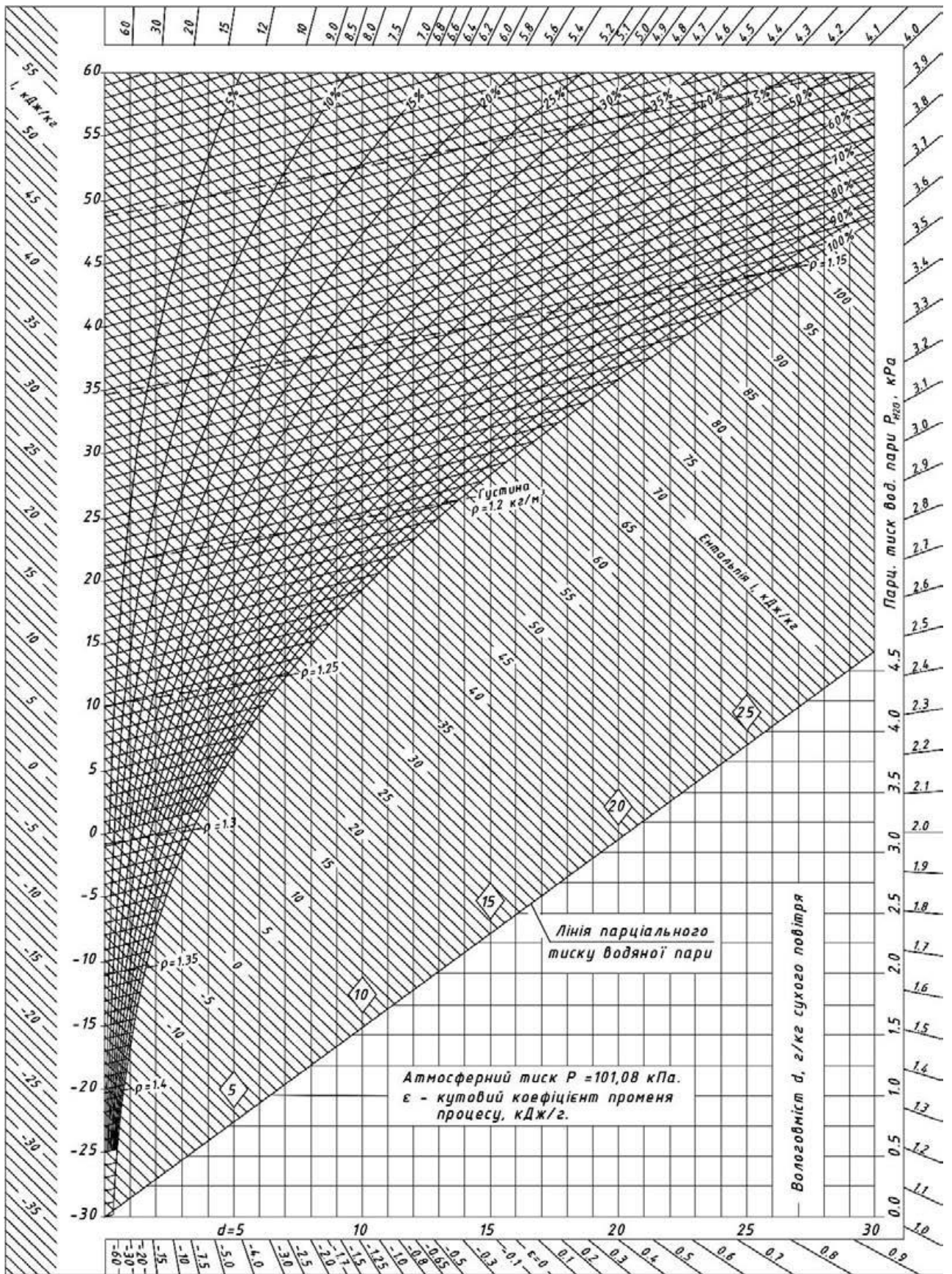
					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		79

ДОДАТОК Б

					<i>ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		80

ДОДАТКИ

					ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



I-d діаграма вологого повітря для атмосферного тиску 101,08 кПа

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДРЦВБ.20276.21.01.00 ПЗ

Арк.

82