

Имя пользователя:  
Баранюк Александр Владимирович

ID проверки:  
1011561590

Дата проверки:  
13.06.2022 14:13:45 EEST

Тип проверки:  
Doc vs Internet + Library

Дата отчета:  
13.06.2022 14:17:13 EEST

ID пользователя:  
100007114

Название файла: TF81-HershtunDD-diploma-2022

Количество страниц: 49 Количество слов: 6969 Количество символов: 55274 Размер файла: 2.24 MB ID файла: 1011432691

## 9.76% Совпадения

Наибольшее совпадение: 2.93% с Интернет-источником (<https://patriot-nrg.com/node/196>)

8.24% Источники из Интернета 66 ..... Страница 51

5.08% Источники из Библиотеки 321 ..... Страница 52

## 0% Цитат

Исключение цитат выключено

Исключение списка библиографических ссылок выключено

## 0% Исключений

Нет исключенных источников

## Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы 8

## РЕФРАТ

ДР: 44 с. , 22 рис. , 31 джерел

Об'єкт дослідження – процеси теплообміну в перехресно-проточному полімерному теплообміннику типу “повітря-повітря”.

Предмет дослідження – вплив початкових значень температур і швидкостей теплоносіїв на інтенсивність теплопередачі в перехресно-проточному полімерному теплообміннику типу “повітря-повітря”.

Мета роботи – експериментально дослідити теплообмінні та гідродинамічні характеристики теплообмінника, з метою підвищення ефективності роботи рекуперативного перехресно-проточного полімерного теплообмінника-утилізатора типу “повітря-повітря”.

Метод дослідження – експериментальне дослідження.

На лабораторній дослідній установці, в якій робочим елементом є сконструйований перехресно-проточний полімерний теплообмінник типу “повітря-повітря” проведено серію експериментальних досліджень по впливу початкових температур і швидкості теплоносіїв на теплопередачу і гідравлічні втрати в теплообміннику. За обраною методикою проведено розрахунок ефективності роботи теплообмінника в залежності від зазначених параметрів. Визначено діапазон оптимальних швидкостей теплоносіїв, що забезпечують високу ефективність роботи рекуперативного перехресно-проточного полімерного теплообмінника.

Результати досліджень можуть бути використані при проектуванні перехресно-проточних полімерних теплообмінників утилізаторів теплоти відносно невеликого потенціалу.

ПЕРЕХРЕСНО-ПРОТОЧНИЙ ПОЛІМЕРНИЙ ТЕПЛООБМІННИК ТИПУ “ПОВІТРЯ-ПОВІТРЯ”, СОТОВИЙ ПОЛІКАРБОНАТ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛООБМІННИКА, КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ, ГІДРАВЛІЧНІ ВТРАТИ.

## ABSTRACT

DR: 44 s. , 22 Fig. , 31 sources

The object of research is the processes of heat exchange in the cross-flow polymer heat exchanger type "air-to-air".

The subject of research is the influence of initial values of temperatures and velocities of heat carriers on the intensity of heat transfer in the cross-flow polymer heat exchanger of the air-to-air type.

The purpose of the work is to experimentally investigate the heat exchange and hydrodynamic characteristics of the heat exchanger, in order to increase the efficiency of the recuperative cross-flow polymer heat exchanger-utilizer type "air-to-air".

Research method – experimental research.

A series of experimental studies on the influence of initial temperatures and coolant velocities on heat transfer and hydraulic losses in the heat exchanger were carried out at the laboratory research installation, in which the working element is a designed cross-flow polymer heat exchanger of the air-to-air type. According to the chosen method, the efficiency of the heat exchanger is calculated depending on the specified parameters. The range of optimal velocities of heat carriers is determined, which provide high efficiency of recuperative cross-flow polymer heat exchanger.

The results of the research can be used in the design of cross-flow polymer heat exchangers of heat recovery units of relatively small potential.

CROSS-FLOW POLYMER AIR-AIR TYPE HEAT EXCHANGER,  
CELLULAR POLYCARBONATE, HEAT EXCHANGER EFFICIENCY,  
COPEFETIC

## Зміст

РЕФРАТ.....	3
ВСТУП.....	6
1. Аналіз останніх досліджень і публікацій.....	7
1.1. Класифікація теплообмінників.....	7
1.2. Конструкції регенеративних і рекуперативних теплообмінників-утилізаторів.....	11
1.3 Конструкції теплообмінників-утилізаторів перехресного типу.....	16
2. Опис експериментальної установки.....	25
2.2. Витяжний вентилятор.....	28
2.3. Електричний підігрівач повітря.....	29
3. Методика проведення дослідів та обробки результатів.....	36
3.2 Методика обробки результатів.....	37
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	47

## ВСТУП

При проектуванні сучасного енергетичного і промислового обладнання, модернізації існуючих або розробці нових промислових технологічних ліній, важливим питанням є максимально повна утилізація теплоти відпрацьованих теплових потоків для подальшого корисного застосування. Ці задачі ефективно вирішуються включенням в технологічні лінії теплообмінних апаратів різноманітних конструкцій. Основними матеріалами, що зазвичай застосовуються при конструюванні теплообмінників типу повітря - повітря є метали з високим коефіцієнтом теплопровідності: мідь та алюміній. Їх головним недоліком вважається висока вартість.

Використання полімерних матеріалів при виробництві теплотехнічних пристроїв останнім часом набуває все більшого поширення. Ця тенденція спостерігається і при створенні теплообмінного обладнання типу повітря-повітря для утилізації теплоти відносно невисокого потенціалу.

Полімерні теплообмінники найчастіше є пластинчастими перехресно-проточного типу. Пластини виготовляють методом штампування або вакуумного формування з певним типом ребрення, яке при складанні теплообмінника утворює канали певної конфігурації, що в свою чергу дозволяє збільшити площу теплообмінної поверхні, зменшити вагу апарата та спростити технологію його виробництва. Перехресні потоки теплої витяжки і холодного повітря розділені між собою стінками теплообмінних поверхонь і не стикаються один з одним. Таке конструктивне рішення виключає перенесення вологості, забруднень, запахів і мікробів з одного повітряного потоку в інший.

## 1. Аналіз останніх досліджень і публікацій

### 1.1. Класифікація теплообмінників

Теплообмінники - це пристрої, в яких відбувається теплопередача між теплоносіями з різною температурою.

Щоб класифікувати велике різноманіття теплообмінників, їх поділяють за певними критеріями.

У теплообмінниках протікають майже всі види теплових процесів. В залежності від виконуваних функцій їх поділяють на такі основні групи: обігрівачі, випарники та котли, холодильники та конденсатори, випарні апарати, пастеризатори, утилізатори, регенератори, деаератори та ін.

Залежно від стану робочих середовищ (теплоносіїв) розрізняють теплообмінники типів [1]:

– “рідина-рідина”,

коли обидва теплоносії є рідинними середовищами;

– “паро-рідинний”,

коли теплопередача здійснюється між паровим і рідинним теплоносіями;

– газо-рідинний,

коли одне з середовищ є газовим, а друге – рідиною;

– газ - газ - під час теплопередачі між двома газовими теплоносіями

[1].

Залежно від способу теплообміну розрізняють поверхневі і змішувальні теплообмінники.

У поверхневих теплообмінниках тепло передається через поверхню нагріву. У змішувальних теплообмінниках відбувається теплообмін з безпосереднім змішуванням теплоносіїв. Поверхневі теплообмінники бувають рекуперативними і регенеративними [2].

У рекуператорах теплоносії, між якими відбувається теплообмін, розташовані на протилежних сторонах стінки, що їх розділяє. Передача теплоти здійснюється від гарячого теплоносія до стінки, і від стінки до холодного теплоносія. У регенераторах одна і та ж поверхня приладу по черзі омивається то охолоджувачем, віддаючи теплоту, то гарячим теплоносієм, акумулюючи теплоту. Останні знайшли застосування при передачі теплоти від високотемпературних продуктів згоряння до повітря або інших продуктів харчовій промисловості [3–4]. Тому далі іменуватимуться як «поверхневі теплообмінники» або просто «теплообмінники». Під цими значеннями будемо розуміти рекуперативні теплообмінники.

За тепловим режимом розрізняються [5] теплообмінники періодичної дії, в яких спостерігається нестационарний тепловий процес, і безперервної дії, де теплопередача проходить у встановленому режимі, коли розподіл температур теплоносіїв по довжині каналів є сталим.

За конфігурацією поверхні теплообміну, розрізняють теплообмінники [5]: трубчасті, пластинчасті, спіральні, оболонкові і з оребреною поверхнею. Трубчасті теплообмінники, в свою чергу поділяються на кожухотрубні, змієвикові, типу "труба в трубі", елементні секційні, зрощувальні і комбіновані.

Крім наведених основних класифікаційних ознак теплообмінних апаратів, їх можна класифікувати за додатковими ознаками [5]. Так за напрямом руху робочих середовищ розрізняють теплообмінники прямоточні, протитечійні, з перехресною течією і зі змішаною течією; за числом ходів теплоносія розрізняють теплообмінники одноходові і багатходові; за жорсткістю конструкції – теплообмінники жорсткого, напівжорсткого і нежорсткого типу.

Кожухотрубні теплообмінник можуть бути виготовлені одно-, дво-, чотири-, шестиходовими по трубному простору, з перегородками або без них у міжтрубному просторі.

По принципу дії, теплообмінники поділяються на:

а) рекуперативні, б) регенеративні, в) змішувальні.

В рекуперативних теплообмінниках теплоносії омиває стінку з двох сторін, зазвичай це теплоносії різної температури і між ними відбувається теплопередача. Процес теплообміну є неперервною операцією і зазвичай має стаціонарний характер. Рекуперативні теплообмінники поділяють залежно від напрямку руху теплоносіїв.

Якщо теплоносії рухається паралельно в однаковому напрямку – теплообмінник називають проточним, а при протилежному напрямку руху – протиточними. У теплообміннику з перехресним струмом теплоносія рухається у взаємно перпендикулярних напрямках, при цьому можливий одноразовий і багаторазовий перехресний струм.

У регенеративному теплообміннику сама поверхня промивається по черзі гарячим або холодним теплоносієм. При контакті з гарячим теплоносієм стінка накопичує тепло, а потім віддає його холодному теплоносію. Для правильної роботи теплообмінника його робочі стінки повинні мати значну теплоємність [6].

У разі змішувальних теплообмінників процес теплообміну супроводжується змішуванням гарячого і холодного теплоносіїв. Тобто вони безпосередньо контактують один з одним. Тому змішувальні теплообмінники ще називають контактними. Процес теплообміну в такому пристрої є стаціонарним і супроводжується випаровуванням рідини.

Споживання тепла на опалення зовнішнього повітря за сучасними методами захисту становить до 80% теплового навантаження обігрівачів у житлових будинках і більше 90% у громадських будівлях. Тому енергозберігаючі системи опалення в сучасних будівельних конструкціях можна створити лише за рахунок використання тепла відпрацьованого повітря для підігріву зовнішнього припливного повітря [7].

Для утилізації теплоти в опалювальних приміщеннях поширеними є припливно-відвідні агрегати вентиляційних систем з роторними рекуператорами та пластинами [7]. Для забезпечення безперебійної роботи



рекуператора на вході зовнішнього повітря необхідно підтримувати температуру не менше  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При цьому температура кипіння холодоагенту у випарнику в повітропроводі не повинна опускатися нижче  $0\dots5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , щоб запобігти його замерзанню.

З цих трьох розглянутих видів теплообмінників більш широке та всебічне застосування виявляють рекуперативні теплообмінники. Види теплообмінників за конструкцією можуть бути: об'ємним; пластинчастим; швидкохідним (також називають кожухотрубним); спіральним.

У об'ємному теплообміннику одне середовище зосереджено в резервуарі великого об'єму, а інше тече через змійовик. У корпусно-трубних теплообмінниках [8] середовища рухаються з досить високою швидкістю зі збільшенням коефіцієнта тепловіддачі.

Сам теплообмінник являє собою великий корпус (трубку), що містить багато маленьких трубок. Одне його середовище переміщується в міжтрубовому просторі, інше – всередині каналців. Зазвичай трубки мають «брудніше» середовище, оскільки їх легко чистити [8].

Сучасні пластинчасті теплообмінники (рис. 1.1) складаються з набору пластин. Середовище, в якому він переміщується між пластинами.

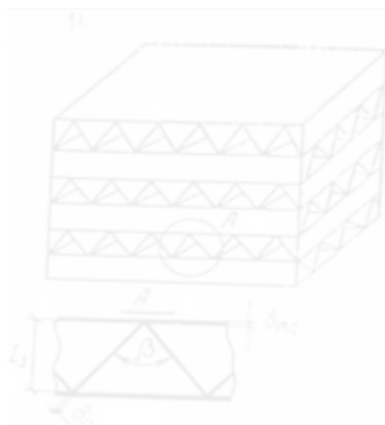


Рисунок 1.1 – Схема пластинчатого рекуператора типу повітря-повітря [9]

Цей теплообмінник простий у виготовленні (з прокладками між штампованими пластинами, складеними в комплект пластин), легко модифікується і дуже ефективний.

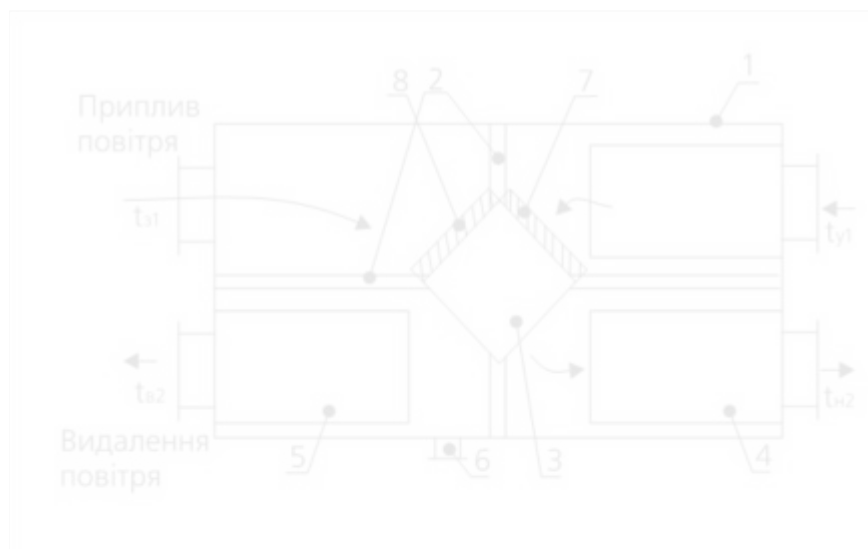
## 1.2. Конструкції регенеративних і рекуперативних теплообмінників-утилізаторів

Схема використання регенеративного теплообміну та використання тепла в системі вентиляції та кондиціонування повітря показана на рисунку 1.2. Припливне повітря, що проходить через теплообмінник 3, нагрівається або охолоджується через потік відпрацьованого повітря. Ефективність тепловіддачі цього пристрою досягає 75 %. Крім того, в систему кондиціонування повітря додатково вводять обігрівачі 3, 6 та зволожувач 5, які працюють за таким принципом (рис. 1.3) [9].

Принципова схема ротаційного регенеративного теплообмінника в цих системах показана на рисунках 1.3 і 1.4. Ці теплообмінники складніші в експлуатації і вимагають додаткової енергії задля приводу ротора для обертання двигуна. Крім того, до 2% відпрацьованого повітря може змішуватися з повітрям – це пов'язано з конструктивними особливостями такого типу теплообмінників.

Роторно-форсункові регенеративні теплообмінники (рис. 1.5) являють собою плоскі корпуси з генеративними насадками з листів або решіток.

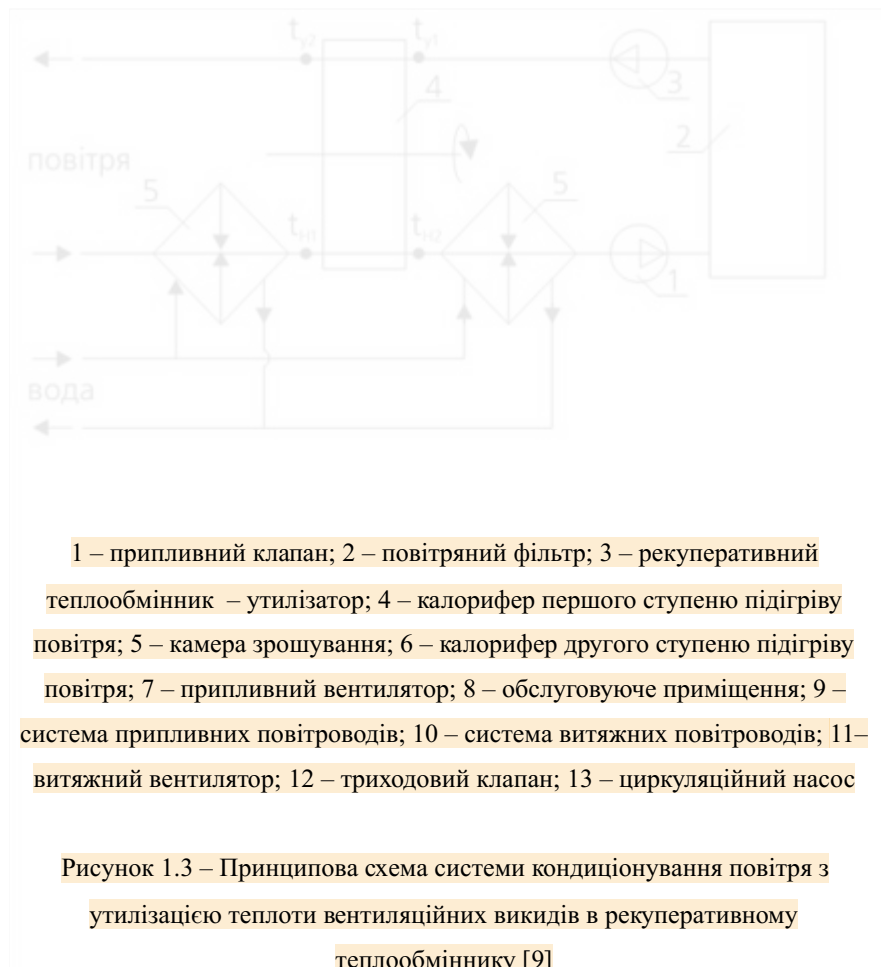
У теплових конденсаторах область заповнення наповнюється вузьким картоном та іншими матеріалами, обробленими сольовим розчином. Насадка повертається, теплота відпрацьованих газів нагріває форсунки у вхідний потік, охолоджуючи решту насадок у вихідний потік. Цей процес періодично повторюється в міру обертання сопла.

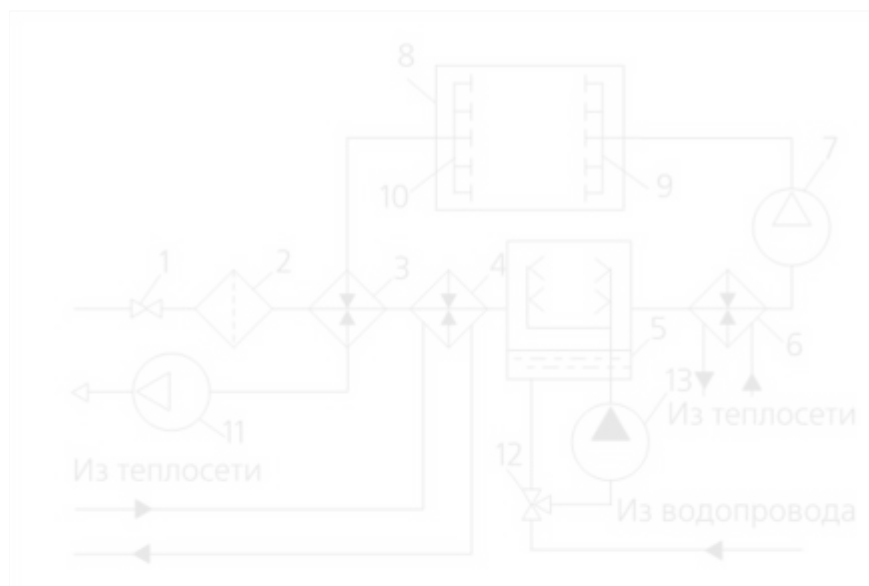


1 – корпус; 2 – перегородка; 3 – теплообменник-утилизатор; 4 – припливный вентилятор; 5 – вытяжной вентилятор; 6 – дренаж конденсата; 7–8 – фильтры

Рисунок 1.2 – Блок припливно – вытяжной вентиляції з пластинчастим теплообмінником-утилізатором [9]

Відоме інше рішення, в якому сопло не обертається, але через нього в камеру нагнітається повітря, а потім виганяється. Принципова схема вентиляційної системи показана на рисунку 1.4. В цій схемі використовуються два теплообмінники, що з'єднані між собою проміжним контуром і циркулюючим теплоносієм. Необхідність прийняття такого рішення виникає, коли припливну та витяжну труби неможливо об'єднати в одну.

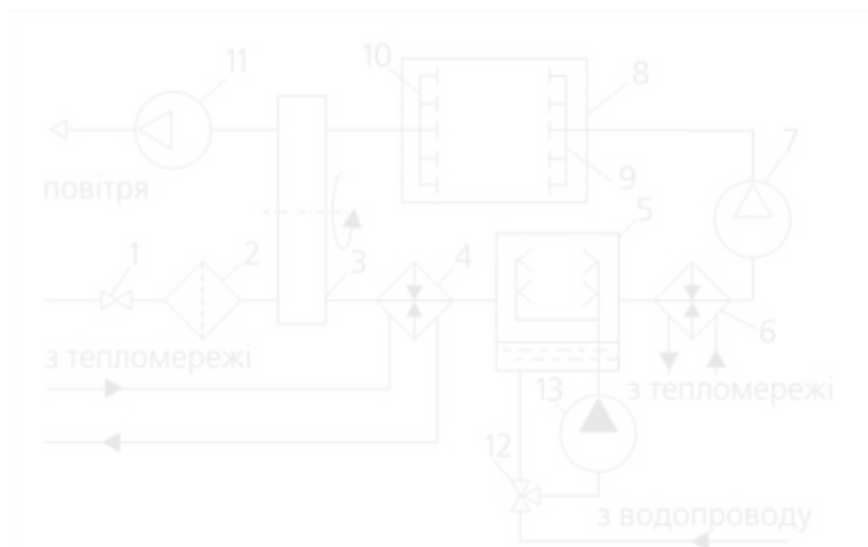




1 – припливний вентилятор; 2 – вентиляване приміщення; 3 – витяжний вентилятор; 4 – регенеративний теплообмінник з насадкою, що обертається; 5 – рекуперативні теплообмінники «повітря-рідина».

Рисунок 1.4 – Принципова схема припливно-витяжної вентиляції з регенеративним теплообмінником - утилізатором роторного типу [9]

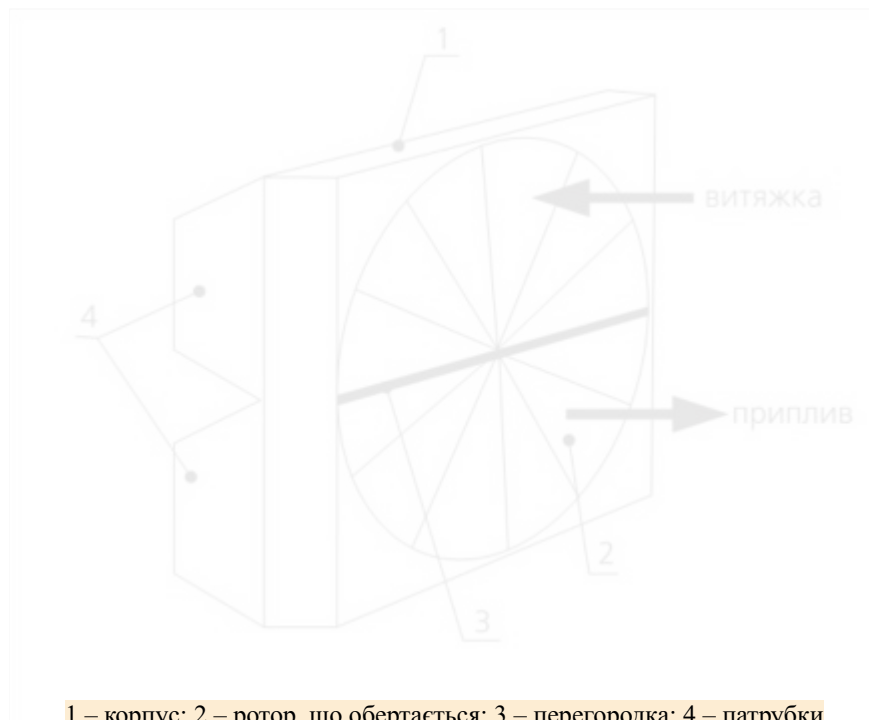
До недоліків можна віднести те, що відомі моделі теплообмінників зі смугоподібними проточними каналами не можуть істотно підвищити коефіцієнт тепловіддачі і не можуть обмежити робочий тиск теплоносія. Недоліком також є неможливість відрегулювати подачу теплоносіїв так, щоб поверхня теплообмінних пластин була використана повністю.



1 – припливний клапан; 2 – повітряний фільтр; 3 – регенеративний теплообмінник роторного типу; 4 – калорифер першого ступеню підігріву повітря; 5 – камера зрошення; 6 – калорифер другого ступеню підігріву повітря; 7 – припливний вентилятор; 8 – обслуговуюче приміщення; 9 – система припливних повітроводів; 10 – система витяжних повітроводів; 11 – витяжний вентилятор; 12 – триходовий клапан; 13 – циркуляційний насос.

Рисунок 1.5 – Принципова схема системи кондиюнування повітря з утилізацією теплоти вентиляційних викидів в регенеративному теплообміннику роторного типу [9]

Ще одним недоліками можна вважати те, що така конструкція не передбачає регулювання потоку теплоносія при його проходженні через канали теплообмінник-користувач для збільшення інтенсивності теплообміну та зміни ламінарного потоку теплоносія в приграничному шарі.



1 – корпус; 2 – ротор, що обертається; 3 – перегородка; 4 – патрубки

Рисунок 1.6 – Схема регенеративного теплообмінника з насадкою, що обертається [9]

Метою створення регенеративного теплообмінника з насадкою, що обертається є збільшення потоку між пластинами за рахунок зменшення аеродинамічного опору та мінімізації площі теплообміну пластин, збільшуючи тим самим інтенсивність теплопередачі.

### 1.3 Конструкції теплообмінників-утилізаторів перехресного типу

Теплообмінники-утилізатори перехресного типу зазвичай мають несучу каркасну конструкцію, яка складається з бічних стінок, верхньої та нижньої кришок, які жорстко закріплені на рамі, та гофрованих теплообмінних

пластин. Бічні стінки монтуються переважно перпендикулярно до верхніх і нижніх кришок (рис. 1.7). Рекомендовано вертикальне встановлення теплообмінних пластин. Суміжні панелі омиваються теплоносієм по всій довжині теплообмінного каналу. Пластина також містить щонайменше один генератор коливального збудження, регулятор поперечного перерізу потоку теплоносія і пристрій регулювання перерізу потоку теплоносія, котрий є гофрованим.

Пластини теплообмінника є переважно прямокутними, бічні стінки виконані подібно до теплообмінників з гофрованими стінками по всій довжині [10], а у гофровані теплообмінники встановлюються плити таким чином, що утворюють прохід.

Теплоносій, встановлений один відносно одного з проміжком, що змінюється вздовж поздовжньої осі потоку. Крайні гофровані теплообмінні пластини і бічні стінки в торцевих каналах встановлені з проміжком, який змінюється вздовж поздовжньої осі потоку охолоджуючої рідини (рис. 1.7).

Відомий теплообмінник, що містить несучу конструкцію-каркас із нерухомим пакетом гофрованих теплообмінних пластин, які встановлено паралельно одна одній, які також мають вхідні і вихідні колекторні отвори в кутових частинах пластини. Пластини утворюють в теплообміннику дві системи каналів, поверхня теплообміну всередині каналів обмежена стінками і вузлами, а канали для теплоносія пов'язані з гофрованими пластинами, нахиленими до вихідних каналів [11].





1 – каркас; 2 – бічна стінка; 3 – верхня кришка; 4 – нижня кришка; 5, 15, 16 – гофровані теплообмінні пластини; 6 – генератор збудження коливань; 7 – регулятор площини поперечного перерізу теплоносія; 8 – пристрій керування регулятором площини поперечного перерізу; 9 – основа з шарнірно закріпленими на ній пелюстками; 10 – перша пара пелюсток; 11 – друга пара пелюсток; 12 – механізм керування крайніх (Позиція 11) пелюсток; 13 – теплообмінний канал; К – система суміжних теплообмінних каналів; К<sub>1</sub> – проточні теплообмінні канали; Т – теплоносій;

Г – гофра по довжині каналу.

Рисунок 1.7 – показана конструктивно-компонувальна схема теплообмінника – утилізатора [12]

Також відома конструкція теплообмінника-утилізатора з перехресно-точним рухом теплоносіїв є теплообмінник-рециклер [12]. В цьому

теплообміннику канали, що розташовані біля бічних стінок утворюють по всій довжині проточні теплообмінні канали, які сходяться перехресно. Сусідні гофровані пластини, жорстко закріплені до верхньої та нижньої кришок, гофровані виступи на теплообмінних пластинах виконані з певним нахилом за напрямом проходження теплоносіїв через канали.

Недоліками такого теплообмінника є, що запропоновані рішення істотно збільшують ціну і вагу апарата. Окрім того, нерівні стіни та рифлені елементи у каналах понижують коефіцієнт ефективності у зазначеного теплообмінника-утилізатора. Також, в даній конструкції не передбачено регулювання швидкості і напрямку руху теплоносія при проходженні крізь канали, що є основним шляхом інтенсифікації теплопередачі.

Основним завданням цієї моделі є скорочення аеродинамічного опору і мінімізації теплообмінної поверхні пластин, щоб гарантувати підвищення швидкості струменя між пластинами і більшої інтенсивності теплообміну [12].

В [12] запропоновано конструкцію теплообмінника-утилізатора з перехресно-точним рухом теплоносіїв, в якій бугристі теплообмінні пластинки виконані переважно прямокутними, а бічні стіни виконані гофрованими теплообмінними пластиночками по всій довжині теплообмінника.

Бугристі теплообмінні пластини, що роблять між собою канал для проходження теплоносія, поставлені один на одній. В кожному із зазначених каналів для проходження теплоносія встановлений щонайменше один регулятор площини поперечного перерізу струменя теплоносія, до кожного з позначених регуляторів шарнірно закріплено щонайменше по дві пари пелюсток і механізм управління. Базу розміщено в проточному теплообмінному каналі для проходження теплоносіїв у вертикальній площині.

Зазначені пелюстки знаходяться паралельно між собою і поздовжньою віссю струменя теплоносія в каналі до максимуму, що обумовлено сумарною

шириною зазначених пелюсток і шириною каналу в місці розташування основи регулятора площини поперечного перерізу потоку теплоносія.

Компанія ZERN ENGINEERING – спеціалізується на виробництві рекуператорів перехресного типу для широкого спектру режимних параметрів. В переліку її пропозицій присутні полімерні теплообмінники типу “повітря-повітря” (Рис.1.8).

В якості полімерного матеріалу для виготовлення пластин виробник застосовує спеціальний ударостійкий полістирол. На відміну від полікарбонату він має нижчі граничні температури, при яких зберігає свої властивості [13]. Це має перевагу при можливості роботи з теплоносіями, що потребують нагрівання від температури  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , однак температури теплоносіїв, теплота яких утилізується обмежена  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Крім того, такі температурні режими не є безпечними, оскільки продукти розкладання полістиролу, що утворюються при термодеструкції та при термоокислювальній деструкції, токсичні. Тому в інструкції по використанню зазначено [13]: «Категорично забороняється зберігання рекуператорів на відкритих майданчиках із потраплянням прямих сонячних променів».

Площа теплообмінних поверхонь  $200 \times 200$  мм, а товщина від 0,2 мм до 0,3 мм. Герметизація теплообмінників здійснюється за допомогою спеціального устаткування і клею-розплаву з синтетичних полімерів, що гарантує надійну герметизацію [13].



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд та схематичне зображення пластинчастого перехідного теплообмінника Нр – ЕХ4 200 [13]

#### 1.4 Особливості процесів тепломасообміну рекуператора повітря-повітря в опалювальний період

У опалювальний сезон утилізація теплоти в системах вентиляції дозволяє значно знизити навантаження на систему опалення будинків за рахунок використання теплоти витяжного повітря для нагрівання припливного. Фінансова обґрунтованість застосування теплообмінників-утилізаторів очевидна за умов клімату України [14]. При цьому великої різниці температур зовнішнього повітря і в приміщенні немає, що умовлено більш ефективним застосуванням.

Але при використанні передових вискоефективних теплообмінників в холодний період на поверхні теплообміну відбувається конденсація і утворення інію. Щоб уникнути або пом'якшити вплив цих явищ на роботу теплоутилізатора використовуються різні підходи, а саме: попередній підігрів зовнішнього повітря, регулювання витрати струменів повітря і періодичне розморожування теплообмінника.

На прикладі пластинчастих рекуператорів перехресного типу серії НР-ЕХ4, що в залежності від потреб можуть використовуватись окремо (рис. 1.8) або збиратися в блоки по кілька штук (рис. 1.9) з розміром грані до 1000x1000 мм.



Рисунок 1.9 – Чотири модульних рекуператора 1000x1000 мм [13]

Блокова конфігурація перехресно-точних теплообмінників забезпечує більш складне циркулювання гарячого і холодного теплоносіїв (Рис. 1.10), (Рис. 1.7), (Рис. 1.8), при якому зменшується перепад температур між ними і мінімізується вірогідність замерзання сконденсованої пари.



Рисунок 1.10 – Схема руху теплоносіїв в модулі з двох блоків, утворених пластинчастими перехресно-проточними теплообмінниками [13]



Рисунок 1.11 – Схема руху теплоносіїв в модулі з двох блоків [13]

Питаннями конденсації та утворення інію на поверхнях теплообміну систем вентиляції займалися Е. Вишневський [15], О. Липа [16], Т. Нілсен [17], М. Дискін [18]. У [15] процес конденсації враховується крізь поправку до "сухого" температурного коефіцієнта продуктивності (ставлення фактичного очевидного утилізованого термічного струменя теоретично ймовірному найбільшому в бездоганному теплообміннику) і перепаду тиску в залежності від вологи повітря в приміщенні.



Рисунок 1.12 – Схема руху теплоносіїв в модулі з трьох блоків [13]

Ці дані дають усвідомлення всебічної картини процесу. Чим більша відносна вологість повітря в приміщенні – тим більша кількість конденсату утворюється і, відповідно, тим вище температурний коефіцієнт продуктивності. У роботі [16] наводяться дані про максимальну температуру зовнішнього повітря при різних температурних коефіцієнтах ефективності залежно від відносної вологості повітря в приміщенні для теплообмінника з протитечією. Питання конденсації водяної пари з парогазових сумішей за

допомогою аналогії між процесами перенесення теплоти і конденсату є в розгляді [17].

Основна частина досліджень з конденсації та утворення інію спрямовані на тестування роботи морозильної техніки і не завжди можуть використовуватися для ТО типу "повітря-повітря" в системах вентиляції. Ще в роботах не спостерігається вивчення теплообмінників з паропроникною мембраною, в тому числі з перехресним перебігом теплоносіїв з погляду конденсації та утворення інію.

Проблема утворення льоду або інію на поверхні теплоутилізаторів при їх використанні в районах з холодним кліматом найважливіша при роботі цих систем.

Потрібно також чітко відрізнити етап контролю замерзання від розморожування. Стратегії контролю за замерзанням відносяться до способів або механізмів, що попереджають складання інею в теплообмінних апаратах [18]. Стратегії розморожування відносяться до методів або механізмів видалення інію з поверхні теплообміну до того, як його ефективність істотно знизиться, що призведе до виходу з ладу обладнання.

Вибіркове замерзання теплообмінника може бути дозволено по ряду причин: громадські будівлі не експлуатуються в нічний час, коли температура знижується; вибіркове обмороження теплообмінника на незначний час не впливає значною мірою на енергетичну ефективність; вологовміст при -20 у приміщеннях досить рідко перевищує значення 3,8 г/кг [19], тому досить часто конденсації і утворення інею не відбувається .

Між стратегіями контролю за замерзанням розрізняють: підготовчий підігрів припливного повітря перед теплообмінником; регулювання відносини світових витрат припливного і витяжного повітря та зниження коефіцієнта теплопередачі у межах зони конденсації та утворення інею. До стратегій розморожування відносяться абсолютне або вибіркове розморожування теплообмінника при вимкненні припливного вентилятора та розморожування за рахунок рециркуляції теплого повітря [19] .

При цьому режим розморожування може регулюватися за зовнішньою температурою, температурою витяжного повітря в межах зони утворення інею та за зміною тиску витяжного повітря.



## 2. Опис експериментальної установки

### 2.1 Дослідний елемент

В Інституті технічної теплофізики був сконструйований полімерний перехресно-проточний теплообмінник-рекуператор типу “повітря-повітря” для забезпечення утилізації теплоти відпрацьованих в технологічних процесах сушіння повітряних теплоносіїв. Основною метою було створити ефективний теплообмінний апарат з точки зору теплопередаючих властивостей, енергетичних витрат на його роботу та вартісних показників. Для виявлення енергетичних характеристик потребується проведення досліджень теплообміну і гідродинаміки в створеному апараті.

Для виготовлення теплообмінних поверхонь було вирішено використовувати широко розповсюджений сьогодні полімер – сотовий полікарбонат. Було обрано листи сотового полікарбонату розміром 250x250 мм з висотою сот 4 мм і товщиною стінки 0,15 мм. Лист полікарбонату розпускався навпіл таким чином, що утворювались дві орєбрені стінки з висотою ребра 2 мм [20]. Їх склали під кутом 90° відносно повздовжніх осей сот в пакет висотою 150 мм з перехресними каналами перетином 4x2 мм.

Полікарбонат [21] – це полімерний пластик, який має унікальні властивості, що знайшли широке застосування в різних галузях промисловості, сільському господарстві та в побуті. Структурна формула найпоширенішого з полікарбонатів ефіру бісфенолу А представлена на рис. 2.1

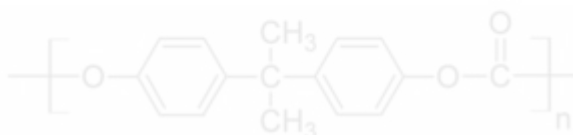


Рис. 2.1 Структурна формула полікарбонату — ефіру бісфенолу А [21].

Полікарбонати використовуються у випадках, коли для матеріалу висуваються умови високої міцності, теплопровідності, термостійкості (при використанні сотового полікарбонату), мала текучість, стабільність розмірів виробів, негорючість, діелектричні властивості, **незначне водопоглинання, фізіологічна інертність і стійкість до дії різних хімічних реагентів.**

Густина монолітного полікарбонату вдвічі менша ніж звичайного скла, на 15 відсотків менша за полівінілхлорид та на 6 відсотків менша за поліестер. Густина сотового полікарбонату (Рис.3.2) менша від монолітного в кілька разів [22].

Теплоізоляційні властивості полікарбонату на 25 відсотків більші ніж у скла та поліетилену. Використання сотового полікарбонату підвищує ці властивості у рази.

Прозорість полікарбонату така ж як і у скла – показник заломлення дорівнює 1,59. Ударостійкість полікарбонату оцінюється величиною 900 – 1100 кДж/м<sup>2</sup> (без надрізу) [23–24].

В зазначено, що термічний аналіз показав можливість застосування сотового полікарбонату до температури 130 °С. Цей матеріал при температурах 250 – 290 °С переходить у рідку фазу.

В дослідному елементі експериментальної установки – полімерному **перехресно-проточному теплообміннику** – встановлені навпіл перерізані листи сотового полікарбонату розміром 250x250 мм [25].

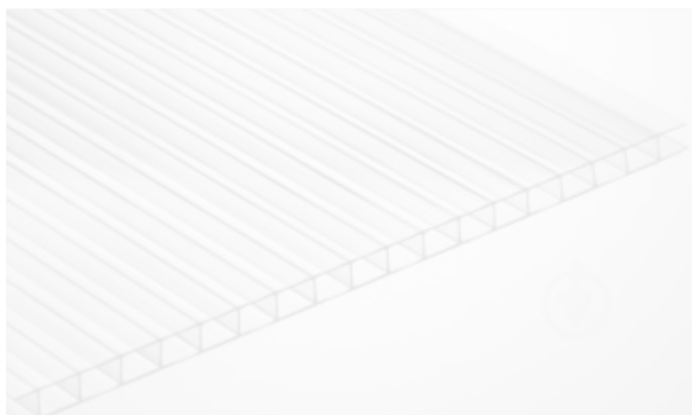


Рисунок 2.2 – Видял сотового полікарбонатного листа

Було обрано полікарбонат з осередками перетином 4 мм та товщиною стінки 0,15 мм. Лист полікарбонату розпускався навпіл, утворюючи дві ребрені стінки розмірами 250x250 мм та висотою ребра 2 мм. Їх склали під кутом 90° відносно повздовжніх осей сот в пакет висотою 150 мм з перехресними каналами 4x2 мм.

Після того, як лист було розпущено, отримані поверхні склалися за принципом перехрестя каналів опорною стінкою до низу. В результаті утворювались канали для входу і виходу холодного і теплого теплоносія (Рис. 2.2).



1 – вхід холодного теплоносія в канали рекуператора. 2 – закрита (тилова) частина для холодного теплоносія. 3 – вхід теплого теплоносія в канали рекуператора. 4 – закрита (тилова) частина для теплого теплоносія.

Рисунок 2.3 – Пакет полікарбонатних сот

В нашому випадку цей пакет із сот складається в шар висотою 150 мм. Тобто залучено 75 сот в пакеті.

## 2.2. Витяжний вентилятор

Також ми підключаємо до системи рекуператора-утилізатора вентилятор типу BVN BMFX для прогонки теплоносія (Рис. 3.3) [26]. Канальні осьові вентилятори змішаного типу серії BMFX розроблені спеціально для роботи з каналами великої протяжності та в умовах підвищених вимог до низького рівня шуму у приміщенні де вони встановлюються. Швидкість потоку теплоносія регулюється за допомогою спеціального перемикача.



Рисунок 2.3 – Вентилятор BVN BMFX 125

Вентилятор підключається до труби, яка в свою чергу підключена до перехресно-проточного рекуператора типу «Повітря-повітря».

### 2.3. Електричний підігрівач повітря

Для забезпечення теплообміну і підігріву повітря в рекуперативному теплообміннику і в дослідному контурі, ми підключаємо електричний підігрівач типу Вентс НК 100 – 0 (Рис. 2.4).

Підігрівач може працювати в діапазоні від 0 до 100 градусів, коли в наших дослідях ми беремо робочі температури від 22 до 84 градусів.



Рисунок 2.4 – Электрический нагреватель Вентс НК 100-0,8-1

Электрический нагреватель Вентс [27] НК 1000,81 с мощностью 0,8 кВт складывается из корпуса, коммутационной коробки и нагревательных элементов из нержавеющей стали. Для герметичного соединения с воздуховодами нагреватель обеспечен резиновыми уплотнителями. Канальный нагреватель НК оборудован двумя термостатами защиты от перегрева:

1. Основной защит с автоматическим перезапуском (температура срабатывания +50 °С). После охлаждения термостат автоматически замыкает управляющий цепь нагревателя.
2. Аварийный защит с ручным перезапуском (температура срабатывания +90 °С). В случае срабатывания, живления на нагреватель можно подать только после ручного сброса аварии.

Для проведення досліджень процесів теплообміну і гідродинаміки в сконструйованому полімерному теплообміннику з метою узагальнення залежності ефективності теплопередачі від термодинамічних характеристик теплоносіїв в ІТТФ НАНУ створено лабораторну установку, представлену на рис. 2.6.



1 – приміщення; 2 – вентилятор витяжного повітря; 3 – перехрестно-протоочний полімерний теплообмінник; 4 – електричний нагрівач повітря

Рисинок 2.6 – Принципова схема теплоутилізаційної установки з рекуперативним пластинчастим полімерним теплообмінником перехресного ходу

Робочим елементом дослідної установки є самостійно сконструйований рекуперативний перехресно-протоочний полімерний повітря-повітряний теплообмінник 3. Повітря з приміщення 1, в якому розташована установка, вентилятором 2 спрямовується в канали холодної частини теплообмінника. Після проходження холодної частини повітря потрапляє в герметичний канал, в якому розташовано електричний нагрівач 4. Проходячи крізь нього повітря нагрівається і направляється в перехресні канали гарячої частини

теплообмінника. В теплообміннику відбувається теплопередача між холодним і гарячим повітрям, після чого охолоджене повітря викидається в приміщення 1. Зазначена схема забезпечує однакову витрату гарячого і холодного теплоносія.

Загальний вид лабораторної установки представлено на рис. 2.7.

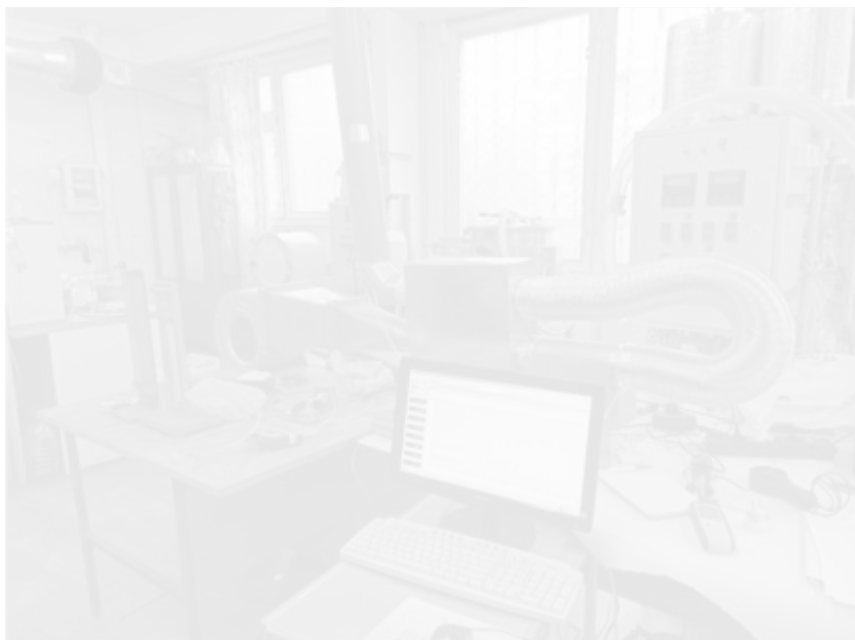
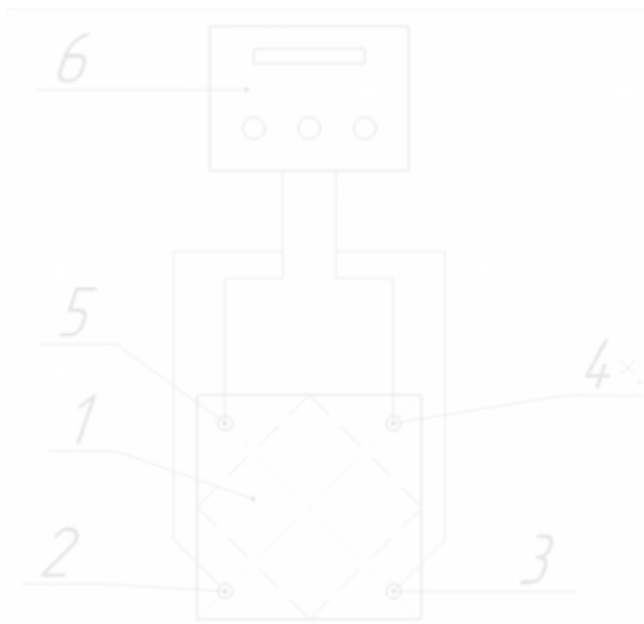


Рисунок 2.7 – Загальний вид лабораторної установки

Теплообмінні поверхні теплообмінника виготовлялись з листів сотового полікарбонату (рис. 2.8).





1 –пластинчатый полимерный теплообменник; 2 – термопара  $t_{21}$ ; 3 – термопара  $t_{12}$ ; 4 – термопара  $t_{22}$ ; 5 – термопара  $t_{11}$ ; 6 – реестратор температуры

Рисунок 2.8 – Принципова схема установки-утилизатора тепла

Встановлення, рис. 3.8 складається з теплообмінника 1, зібраного з панелей стільникового полімеру, в якому два потоки повітря – видалений і зовнішній, повністю розділені та не контактують один з одним.

Зовнішнє повітря, нагнітається припливним вентилятором, проходячи встановлену термопару 5 входить в рекуператор, за якою визначається його температура, що фіксується за допомогою реєстратора 6 температур, потрапляє в рекуператор 1, де нагрівається від повітря, що видаляється, і проходить за поділяючою полімерною стінкою. Термопарою 3 реєструється температура припливного вже нагрітого повітря на виході з установки.

Витяжне повітря, що видаляється з приміщення за допомогою вентилятора, проходить термопару 4, вимірювання на якій фіксується на реєстраторі температури 6. Далі тепле витяжне повітря, проходячи через

щілинні канали рекуператора, віддає теплоту через повітронепроникну стінку припливному повітрю. Температура на виході витяжного повітря вимірюється за допомогою термопари 1. Відпрацьоване витяжне повітря видаляється з приміщення.

Температура фіксується за допомогою термопар, які дають сигнали на автоматизований потенціометр 6, типу КСП – 4 [28].

Багатоканальний автоматичний реєструючий прилад – потенціометр КСП-4 (Рис. 2.9). Він призначений для вимірювання сили та напруги постійного струму, а також неелектричних величин, перетворених на електричні сигнали та активний опір.



Рисунок 2.9 – Автоматичний реєструючий прилад – потенціометр КСП4

Швидкість повітря в рекуператорі вимірюється за допомогою анемометра типу Venetech GM8909 (Рис. 2.10).



Рисунок 2.10 – Анемометр Venetech GM8909

Показники анемометра відображаються на екрані планшета, який підключено до самого анемометра. Анемометр є дуже чутливим, тому мінімальна швидкість вимірювання 0,1 м/с.

### 3. Методика проведення дослідів та обробки результатів

#### 3.1 Методика проведення експериментальних досліджень

При проведенні дослідів на експериментальній установці необхідно дотримуватись такої послідовності дій:

1. Підключається вентилятор і підігрівач повітря до живлення.
2. Вмикається вентилятор на мінімальну позначку.
3. На підігрівачі повітря виставляється потужність 300 Вт.
4. Слід почекати, поки не буде досягнуто сталого теплового режиму, який фіксується КСП – 4 і відображається на екрані монітору у вигляді горизонтальної лінії.
5. Як температура на екрані стабілізується в горизонтальну пряму, включається автоматичний запис фіксації всіх температур на термодатчиках.
6. До труби, де виходить підігріте повітря підноситься анемометр і фіксується швидкість повітря. Результати вносяться в журнал вимірювань.
7. Потужність вентилятора змінюється і дослід повторюється для нового гідродинамічного режиму.
8. Виконання пунктів 4 – 6 слід повторювати 8 – 10 разів, постійно збільшуючи потужність вентилятора. Потужність змінюється перемиканням відповідного тумблера на вентиляторі на наступну позначку.

В ході виконання досліджень було проведено серію експериментів в діапазоні швидкостей теплоносіїв від 2,2 до 9 м/с, та початкових температур від 10 до 16 °С і 30 до 70 °С.

Після першого етапу дослідів при потужності електронагрівача 300 Вт, в результаті виконання якого визначаються температури гарячого і холодного теплоносіїв на вході і на виході з каналів теплообмінника. Для отримання масиву даних змінюється потужність вентилятора, змінюється швидкість руху теплоносіїв і фіксуються нові значення температур. Результати записуються в таблицю, що представлена нижче (Таблиця 3.1).

Таблица 3.1 – Результаты эксперимента при потужності 300 Вт

V	$T_{BX}^X$	$T_{ВИХ}^X$	$T_{BX}^Г$	$T_{ВИХ}^Г$
м/с	°C	°C	°C	°C
2,2	11,57	55,55	58,27	20,78
2,7	11,07	49,32	49,94	17,20
3,1	11,26	34,03	37,50	17,61
3,5	9,33	27,65	29,98	14,06
4,1	14,97	55,26	60,48	25,94
4,5	15,34	40,92	49,58	28,03
4,8	14,31	35,12	39,14	21,08
5,4	14,60	42,57	50,37	26,55
5,7	15,45	49,54	58,91	29,60
6	15,33	31,36	38,03	25,24
6,5	15,52	31,22	37,83	25,42
7	14,44	43,57	55,81	31,54
7,6	14,09	45,27	59,11	33,12
8	15,70	31,01	37,45	25,48
8,3	14,02	21,18	24,13	18,60
9	14,85	25,93	30,48	21,34

Як можна помітити, зі збільшенням швидкості руху теплоносіїв майже в чотири рази, значення температури  $T_{ВИХ}^X$  холодного теплоносія на виході з теплообмінника зменшується майже вдвічі, тоді як для гарячого теплоносія температури  $T_{ВИХ}^Г$  на виході змінюються неістотно.

### 3.2 Методика обробки результатів

Далі, для визначення коефіцієнтів теплопередачі для кожного дослідю, результати потребують обробки. Для розрахунку характеристик найпростішим є режим роботи теплообмінника без фазового переходу у каналі. Для встановлених в ході проведення дослідів на експериментальній установці режимів, конденсації пари при охолодженні гарячого теплоносія не спостерігалось.

При оцінці ефективності роботи теплообмінних апаратів достатньо поширеним є метод чисел одиниць переносу теплоти [29]. Відхід від залучення в обрахування традиційних коефіцієнтів теплопередачі пов'язано зі значними труднощами визначення істинної поверхні контакту теплоносіїв [30]. Залучення більш укрупнених величин дозволяють більш точно оцінити ефективність роботи теплообмінника.

Згідно з методом чисел одиниць переносу теплоти, ефективність рекуператорів визначається як відношення кількості теплоти, що передається через теплообмінну поверхню до повної кількості теплоти, яка могла би бути передана у досконалому теплообміннику (з ККД 100 %).

Отже, основною характеристикою теплообмінника є величина NTU – кількість одиниць теплообміну, яка дорівнює:

$$NTU = \frac{k \cdot F}{W_{\min}}, \quad (3.1)$$

де  $k$  – загальний коефіцієнт теплопередачі, віднесений до одиниці поверхні, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$F$  – загальна площа однієї сторони теплообмінної поверхні, м<sup>2</sup>;

$W_{\min}$  – мінімальний водяний еквівалент, що вибирається зі значень  $W$  для холодного і гарячого теплоносія,  $W = c_p \cdot G$ , Вт/°C,

де  $c_p$  – питома ізобарна теплоємність середовища, Дж/(кг·°C);

$G$  – масова витрата, кг/с.

40

З використанням величини NTU ефективність теплообмінника визначається формулою:

$$\eta = \frac{1 - \exp \left[ -NTU \cdot \left( 1 - \frac{W_1}{W_2} \right) \right]}{1 - \frac{W_1}{W_2} \exp \left[ -NTU \cdot \left( 1 - \frac{W_1}{W_2} \right) \right]} \quad (3.2)$$

Тут індекси 1 та 2 відносяться до двох каналів теплообмінника. Для випадку рівних масових витрат вираз для ефективності теплообмінника спрощується і має вигляд:

$$\eta = \frac{NTU}{1 + NTU} \quad (3.3)$$

Проблемним моментом розрахунку NTU є визначення значення k. Оскільки вимірювання проводяться при встановленні в теплообміннику сталого режиму, коефіцієнт теплопередачі приймається постійною величиною, яка розраховується по формулі:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1CT}} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3.4)$$

Тут  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  – коефіцієнти тепловіддачі на поверхні теплообміну з боку першого та другого середовищ Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності стінки Вт/(м·°C);

$\delta$  – товщина стінки полікарбонатної соти, м.

Для порівняння термічного опору пластин з полікарбонату та пластин з міді, було прораховано термічний опір обраної для теплообмінних поверхонь стінки з полікарбонату товщиною 0,000015 м, і мідної стінки товщиною

стінки 0,001 м. Значення  $\lambda_{ст}$  у обох випадках дорівнює 0,013. Це свідчить про те, що за рахунок малої товщини полікарбонатних стінок досягається мале значення термічного опору теплопередачі.

Визначимо коефіцієнти тепловіддачі  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$  у каналах теплообмінника.

У припливних та витяжних каналах середнє значення коефіцієнта турбулентного потоку повітря  $\alpha_i$  ( $i=1,2$ ) у каналі теплообмінника можна розрахувати наступним чином:

$$\alpha_i = 3,51 \cdot v_i^{0,8} \cdot d^{0,2}, \quad (i=1,2) \quad (3.5)$$

де  $v_i$  – швидкості руху повітря в каналах рекуператора, м / с;

$d$  – еквівалентний діаметр каналу, яким рухається повітря в теплообміннику.

При ламінарному режиму руху повітря в каналах теплообмінника та при великих значеннях відношення довжини каналу теплообмінника до його ефективного діаметра, величина  $\alpha_i$  ( $i=1, 2$ ) стає практично постійною і визначається лише ефективним діаметром каналу.

$$\alpha_i = 0,1 \cdot d^{-1} \quad (3.6)$$

Для оцінки вірогідності виникнення конденсації вологи та замерзання теплообмінників визначається розподіл температури по довжині теплообмінника. Наведено залежність значення температури по довжині протиточного теплообмінника при різних та рівних масових витратах теплообмінного середовища.



При рівних масових витратах повітря у припливному та витяжному каналах теплообмінника отримаємо залежність віддаленої температури повітря від відстані від точки входу до теплообмінника у вигляді:

$$T(x) = T_{in} - \frac{(T_{in} - T_{out}) \cdot x}{L + (\beta_1 + \beta_2)}, \quad (3.7)$$

де  $T_{in}$  – це температура на вході;

$T_{out}$  – температура на виході;

$l$  – довжина каналу в рекуператорі;

$$\beta_1 = \frac{c_p G_1}{\alpha_{out} l}, \quad \beta_2 = \frac{c_p G_2}{\alpha_m l}.$$

$\beta_1$  і  $\beta_2$  – коефіцієнти,

Для випадку різних значень витрати повітря в каналах залежність температури повітря, що йде від відстані до точки його входу в рекуператор набуває вигляду

$$T(x) = T_{in} - \frac{T_{in} - T_{out}}{K+1} \cdot \frac{1 - e^{-\gamma x}}{1 - e^{-\gamma L}}. \quad (3.8)$$

Тут  $\gamma$  – коефіцієнт, що має розмірність  $m^{-1}$ ,  $\gamma = \frac{1 - \delta}{\beta_1 + \delta \beta_2}$ , де  $\delta = \frac{G_1}{G_2}$ .

При перестановці температур повітря у приміщенні та зовнішнього повітря виходить аналогічне рівняння для залежності температури припливного повітря від відстані до нього від входу теплообмінник.

По представленій виразами (3.1) – (3.8) методиці обробки вимірюваних даних розраховано теплові потоки, коефіцієнти теплопередачі, на основі яких визначалась величина NTU, ефективність теплообмінника  $\eta$  в залежності від швидкості руху теплоносіїв. Результати обробки дослідних даних представлені в таблиці 3.2.

Графічна інтерпретація залежності ефективності сконструйованого перехресно-проточного полімерного теплообмінника типу “повітря-повітря” в залежності від швидкості руху теплоносіїв приведена на рис. 3.11.

Ефективність теплообмінника запропонованої конструкції досягає 90% при швидкості теплоносіїв 2 м/с та знижується до 82 % при зростанні швидкості до 3 м/с. Подальше підвищення швидкості призводить до зниження ефективності роботи теплообмінника по експонентній залежності. Слід зазначити, що швидкості в діапазоні 1,5 .... 3 м/с є застосовуваними в сушильних установках, де пропонується підігрівання свіжого повітря з низькою відносною вологістю, що частково замінює відпрацьований сушильний агент. Також зазначений діапазон швидкостей має місце в системах вентиляції виробничих і житлових приміщень, теплиць та тваринницьких ферм.

Таблиця 3.2. Результати обрахунків на базі досліджень

W	NTU	$\beta_1$	$\beta_2$	T(x)1	$\eta$	G	T(x)2
Вт/С				С		кг/с	С
0,0227	0,00057	0,21831	0,21831	23,3122	0,00057	0,0227	48,264
0,02786	0,00047	0,26792	0,26792	20,2982	0,00047	0,02786	42,0362
0,03199	0,00041	0,30762	0,30762	16,3638	0,00041	0,03199	33,0387
0,03612	0,00036	0,34731	0,34731	13,1636	0,00036	0,03612	26,6486
0,04231	0,00031	0,40685	0,40685	22,6371	0,00031	0,04231	53,9048
0,04644	0,00028	0,44654	0,44654	19,9336	0,00028	0,04644	45,7095
0,04954	0,00026	0,47631	0,47631	17,8943	0,00026	0,04954	36,033
0,05573	0,00023	0,53585	0,53585	19,0476	0,00023	0,05573	46,5802
0,05882	0,00022	0,56562	0,56562	20,6774	0,00022	0,05882	54,4167
0,06192	0,00021	0,59538	0,59538	17,6996	0,00021	0,06192	36,1358
0,06708	0,00019	0,645	0,645	17,7144	0,00019	0,06708	36,0989
0,07224	0,00018	0,69462	0,69462	18,2967	0,00018	0,07224	52,5986
0,07843	0,00017	0,75415	0,75415	17,967	0,00017	0,07843	55,8713
0,08256	0,00016	0,79385	0,79385	17,5322	0,00016	0,08256	36,0165
0,08566	0,00015	0,82362	0,82362	14,8537	0,00015	0,08566	23,4854
0,09288	0,00014	0,89308	0,89308	16,0603	0,00014	0,09288	29,4812

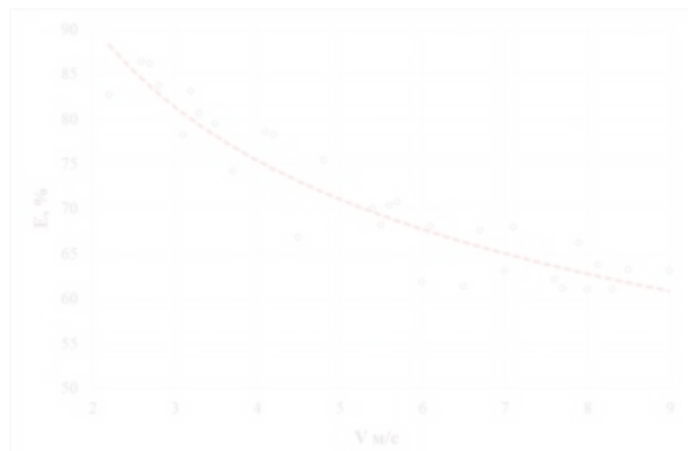


Рисунок 3.11 – Залежність ефективності рекуператора від каналної швидкості теплоносія

Важливим питанням для вибору потужності вентилятору, що забезпечує надійну роботу теплообмінника є визначення величини гідравлічних втрат.

Гідравлічні втрати визначаються різницею тисків теплоносія на вході в канали теплообмінника і виходу з них.

Для вимірювання тиску теплоносіїв на вході і виході з каналів лабораторної установки залучався диференційний манометр Testo 521-2 німецького виробництва в комплекті з трубкою Піто.

Фактичний діапазон роботи диференційного манометра Testo 521-2 є:

- По температурі: від -40 °С до 150 °С з похибкою в 0,1 °С;
- По тиску: від 0 до 100 гПа з роздільною здатністю в 0,01 гПа [31];
- Для діапазону швидкостей 1...12 м/с залучається зонд тиску 100 гПа.

Оновлення дисплею здійснюється раз в дві секунди .

Трубка Піто цього пристрою поміщалась спочатку в потік холодного теплоносія перед каналами подачі холодного теплоносія в теплообмінник, а

потім на виході з каналів гарячого теплоносія. Для цього в поверхнях стінки, що обмежує потік холодного теплоносія, за вентилятором перед каналами теплообмінника, і за каналами гарячого теплоносія теплообмінника, було зроблено технологічні отвори. Швидкість руху теплоносіїв на початку проведення дослідів встановлювалась максимальною – 12,2 м/с, а потім поступово зменшувалась до 1,5 м/с. Показники фіксувались на екрані манометра, після чого заносились до відповідної таблиці (табл. 3.3).

Графічна інтерпретація результатів вимірювання представлена на рис. 3.12, а результати падіння тиску при проходженні теплоносія крізь канали теплообміннику на рис. 3.13.

При збільшенні швидкості теплоносіїв у 8 разів, гідравлічні втрати зростають більше, ніж у 11,5 разів.

Таблиця 3.3 – Результати досліджень гідравлічних втрат

№	м/с	мм.в.ст	Па	мм.в.ст	Па	ΔР, Па
1	12,2	18,6	182,5319	7	68,6948	113,8371
2	12	18,5	181,5505	6,8	66,73209	114,8184
3	11,8	18,3	179,5878	6,7	65,75074	113,8371
4	11,5	17,8	174,6811	6,5	63,78803	110,893
5	11	16,7	163,8862	5,7	55,93719	107,949
6	7,8	11,3	110,893	3,7	36,31011	74,58292
7	7	6,3	61,82532	1,9	18,64573	43,17959
8	5	5,5	53,97448	1,2	11,77625	42,19823
9	4,2	3,7	36,31011	0,9	8,832188	27,47792
10	2,9	2,4	23,5525	0,4	3,925417	19,62709
11	2,4	1,9	18,64573	0,3	2,944063	15,70167
12	1,5	1,2	11,77625	0,2	1,962709	9,813543

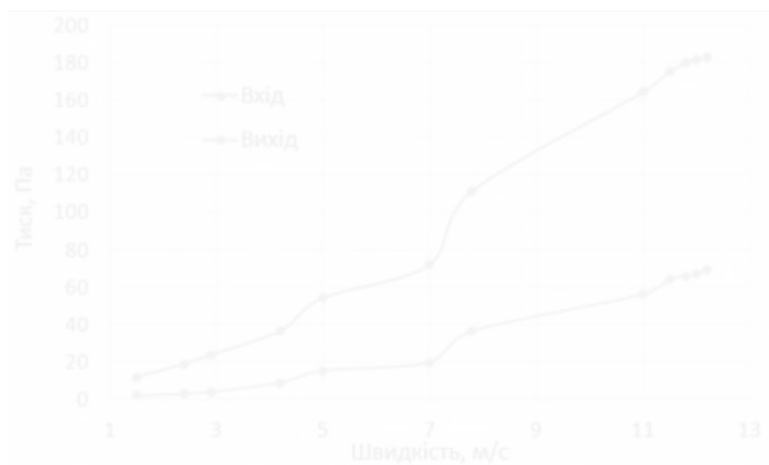


Рисунок 3.12 – Залежності тисків холодного теплоносія на вході в теплообмінник і гарячого теплоносія на виході з теплообмінника від швидкості руху

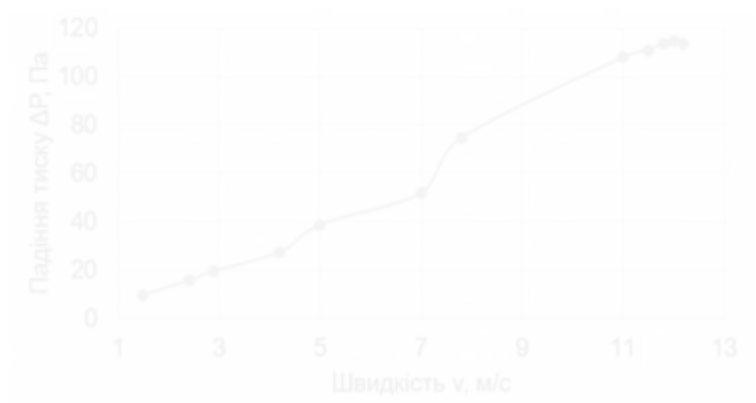


Рисунок 3.12 – Залежність гідравлічних втрат в лабораторному теплообміннику від швидкості руху теплоносіїв

## ВИСНОВКИ

1. Запропоновано конструкцію рекуперативного перехресно-проточного полімерного теплообмінника типу «повітря-повітря» для утилізації теплових потоків відносно невисокого потенціалу, в якому теплообмінні поверхні виготовлені з унікального по своїм властивостям матеріалу – полікарбонату.

2. Створено лабораторну установку для дослідження процесів теплообміну і гідродинаміки в рекуперативному перехресно-проточному полімерному теплообміннику типу «повітря-повітря», в якій холодне повітря з приміщення лабораторії вентилятором спрямовується в канали холодної частини теплообмінника, після проходження яких в гнучкій частині трубопроводу здійснюється його нагрівання електронагрівачем і спрямування в канали гарячої частини теплообмінника. Таким чином забезпечується постійна витрата гарячого і холодного теплоносіїв.

3. Проведено експериментальні дослідження теплопередачі і гідродинаміки в широкому діапазоні швидкостей теплоносіїв і початкових температур гарячого теплоносія.

4. Обрано методику обробки результатів вимірювання, що базується на методі чисел одиниць переносу теплоти, який на відміну від традиційного методу визначення коефіцієнту теплопередачі дозволяє зразу оцінити ефективність роботи теплообмінника.

5. Результати досліджень дозволяють обрати оптимальні режими роботи теплообмінника (в діапазоні швидкості теплоносіїв від 1,5 до 3 м/с), що забезпечать середню ефективність 90 %.

6. Про результати проведених досліджень доповідалось на XXIII міжнародній науково-практичній онлайн-конференції "Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті", та подано на XX міжнародну науково-практичну конференцію молодих вчених та студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» (присвячену 90-річчю ТЕФ).

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Анацький А.С. Процеси і апарати біотехнологічних виробництв та енерготехнологія – Конспект лекцій – Укладач: к.т.н., доцент кафедри ПБЗХ Анацький А.С., Кам’янське, ДДТУ, 2020 р. – 125 с.
2. Проектування процесів та апаратів харчових виробництв. За ред. Стабнікова В.М. -К.: Вища школа. Головне вид-во, 1982.-199с.
3. Процеси і апарати харчових виробництв / За редакцією Поперечного А.М. -К.: Центр учбової літератури, 2007, - 301 с.
4. Улановський А.А. Теплообмінні апарати [Електронний ресурс] – Лекція №14 2020 С. 1 – 4 Режим доступу до ресурсу: <https://ulanovskyi.blogspot.com/2020/04/14-1.html> (звернення 12.05)
5. Теплообмінник-утилізатор. Гура В.Г., Гайдук О. В., Рубарх Я. С., Кузьменко Д. С., Голубцова Н. Ю., Лапшин Ю. С., Яковлев О. Я., Гура Є. В., Паріков Л. Ю., Патент на корисну модель 52575 Україна: МПК F28F 9/00, F28F 13/00, F28F 27/00, F28F 17/00. № u201004388. Заявл. 15.04.2010; Опубл. 25.08.2010; Бюл. №16. 3с. <http://uapatents.com/12-52575-teploobminnik-utilizator.html> (звернення 15.05)
6. Пиир А.Э. , Козак О. А. , Кунтыш В. Б. , Сухоцкий А. Б. Тепловой расчет пластинчатых рекуператоров для систем вентиляции. Труды БГТУ. 2018. Серия 1, №2. С. 236–243.
7. Теплообмінник-утилізатор. Гершуні О. Н., Нищик О. П., Письменний Є. М., Очеретяний Д. Ю. Патент на корисну модель 26932 Україна: МПК F28D 15/00, F28D 15/02, F28F 1/10, F28F 13/00. № u200706288. Заявл. 07.06.2017; Опубл. 10.10.2007; Бюл. №16. 3с. <http://uapatents.com/5-26932-teploobminnik-utilizator.html> (звернення 16.05)
8. Опалення, вентиляція і кондиціонування [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://patriot-nrg.com/content/vidpovid->

- fahivcyu-na-pytannya-stosovno-dbn-v25-67-2013-opalennya-ventylyaciya-i (звернення 16.05)
9. Утилізація теплоти вентиляційних викидів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://patriot-nrg.com/content/utyilizaciya-teploty-ventylyaciynyh-\[vykydiv](https://patriot-nrg.com/content/utyilizaciya-teploty-ventylyaciynyh-[vykydiv) (звернення 16.05).
  10. Что такое утилизаторы [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://opeks.energy/utilizatory/> (звернення 17.05)
  11. Устройство и Конструкция пластинчатого теплообменника [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ktto.com.ua/konstruktsiya/pta> (звернення 17.05)
  12. Деклараційний патент України на винахід №53972 А «Теплообмінник» від 15.05.2003р., МПК (2006) F 28 F 9 – 00, Бюл. № 5.
  13. Електронний ресурс — ТОВ "ZERN ENGINEERING" — пластинчатые рекуператоры перекрёстного типа. С.16—19. Режим дотупу до ресурсу: [https://zern-engineering.com/wp-content/uploads/2020/02/Z\\_Heat\\_exchangers\\_catalogue\\_2021\\_03\\_RU.pdf](https://zern-engineering.com/wp-content/uploads/2020/02/Z_Heat_exchangers_catalogue_2021_03_RU.pdf) (звернення 22.05.2022)
  14. Теплова енергія навколишнього середовища [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.vaillant.ua/dlia-klientiv/korisna-informatsia/available-energy-sources-for-heating/environmental-heat-energy/> (звернення 20.05)
  15. Вишнеvский Е.П. Особенности обеспечения эффективной работы пластинчатых теплообменников рекуперативного типа в суровых климатических условиях – С.О.К. 2005. № 1. С. 84 – 91.
  16. Липа А.И. Кондиционирование воздуха. Основы теории. Современные технологии обработки воздуха. — 2-е изд., перераб. и доп. — Одесса: Изд-во ВМВ, 2010. — 607 с.



17. Nielsen T.R., Rose J., Kragh J. Dynamic model of counter flow air to air heat exchanger for comfort ventilation with condensation and frost formation – Applied Thermal Engineering, 2009. N 29. P. 462 – 46.
18. Дискин М.Е. Эффективность рекуперации теплоты в системах вентиляции при температурах наружного воздуха ниже температуры опасности обмерзания. Вентиляция. Отопление. Кондиционирование: АВОК. 2006. № 4. С. 40 – 42
19. Теплообмінник. Нищик О. П., Гершуні О. Н., Письменний Є. М. Декларійний патент на корисну модель 4872 Україна: МПК F28F 1/10, F28F 13/00, F28D 15/00. № 20040503524. Заявл. 11.05.2004; Опубл. 15.02.2005; Бюл. №2. 2с. <http://uapatents.com/2-4872-terploobminnik.html> (звернення 19.05)
20. Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации. — М.:Энергия, 1977. — 240 с
21. Wikipedia [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <http://wp.wikiwiki.ru/wp/index.php/Поликарбонаты> Дата звертання 15.05.2022.
22. Дешко В.І., Крот І.О. Утилізація теплоти в системах вентиляції – Нова Тема. 2009. № 2. С. 9 – 11.
23. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во МЭИ, 2005. 550 с
24. An investigation of freezing control strategies for residential air-to-air heat exchangers: RP-543. ASHRAE, Inc., 1989. 95 p.
25. Електронний ресурс: ТОВ “Епіцентр К” – Полікарбонатний лист SOTON сотовий полікарбонат 4 мм 250x250 мм прозорий – Режим доступу: <https://epicentrk.ua/ua/shop/list-soton-sotovyuy-polikarbonat-250kh250-mm-prozrachnyy.html> (Звернення 22.05)
26. Електронний ресурс: ТОВ “Провент” – Вентилятор BVN BMFX 125. Режим доступу: <https://provent.com.ua/product/ventilyator-bmfx-125/> (Звернення 22.05)

27. Электронный ресурс : ТОВ “ОВК Комплект” — ВЕНТС НК 100-0,8-1 - электрический нагреватель — Режим доступа до ресурсу: [https://ovk.ua/shop/product/vents-nk-100-08-1?gclid=Cj0KCQjw1tGUBhDXARIsAIJx01kW9e0qo\\_OvQBFv35lscrbnB CUpaXt1GHСcx0QxDV85yNBMTif3ToaAqijEALw\\_wcB](https://ovk.ua/shop/product/vents-nk-100-08-1?gclid=Cj0KCQjw1tGUBhDXARIsAIJx01kW9e0qo_OvQBFv35lscrbnB CUpaXt1GHСcx0QxDV85yNBMTif3ToaAqijEALw_wcB) (Звернення 23.05)
28. Электронный ресурс: ТОВ НВФ "Стандарт-М" — КСП-4. Режим дотупу: [http://standart-m.com.ua/kipia/registratoriy/pribor-ksm-4\\_-ksp-4\\_-ksu-4](http://standart-m.com.ua/kipia/registratoriy/pribor-ksm-4_-ksp-4_-ksu-4) (Звернення 22.05)
29. Гельмут Ф., Хайнц-Вернер Ф., Тосіказу Х., Суміо У., Тадао І., Хісая М., Ясухіро Ф., Ханс-Йозеф Б., Доротея Г., Вільфрід П. (2002). «Похідні фенолу». Енциклопедія промислової хімії Ульмана . Вайнхайм: Wiley-VCH. DOI : 10.1002/14356007.a19\_313 ISBN 978-3527306732.
30. Pivnenko, K., Pedersen, G. A., Eriksson, E., & Astrup, T. F. Bisphenol A and its structural analogues in household waste paper. Waste Management. 2015. Т.44, С. 39–47. Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.017>. [https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/118749778/PostPrint\\_Davidsen\\_JoH\\_1\\_.pdf](https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/118749778/PostPrint_Davidsen_JoH_1_.pdf) (Звернення 22.05)
31. іPS: Контрольно-вимірювальні прилади в Україні [Електронний ресурс]: інтер. магазин. Режим доступу: <https://www.promsystem.com.ua/product/testo-521-2-dyfferencyalnyj-manometr/> Дата звернення : 10.06.2022

## Совпадения

Источники из Интернета

66

1	<a href="https://patriot-nrg.com/node/196">https://patriot-nrg.com/node/196</a>	2.93%
3	<a href="https://ulanovskyi.blogspot.com/2020/04/14-1.html">https://ulanovskyi.blogspot.com/2020/04/14-1.html</a>	1.56%
4	<a href="https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00192596_0.html">https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00192596_0.html</a>	2 источника 1.51%
5	<a href="https://uapatents.com/patents/f28f-13-00">https://uapatents.com/patents/f28f-13-00</a>	0.59%
6	<a href="https://research-journal.org/technical/raschet-vozduxo-vozdushnyh-rekuperatorov-dlya-pritochno-vytyazhnoj-sistem">https://research-journal.org/technical/raschet-vozduxo-vozdushnyh-rekuperatorov-dlya-pritochno-vytyazhnoj-sistem</a>	3 источника 0.53%
7	<a href="https://www.semanticscholar.org/paper/New-counter-flow-heat-exchanger-designed-for-in-Kragh-Rose/ef7b65ca5dd">https://www.semanticscholar.org/paper/New-counter-flow-heat-exchanger-designed-for-in-Kragh-Rose/ef7b65ca5dd</a>	4 источника 0.4%
9	<a href="http://fmv.nau.edu.ua/wp-content/uploads/2020/06/%D0%97%D0%91%D0%86%D0%A0%D0%9D%D0%98%D0%9A-VI-%D0%9...">http://fmv.nau.edu.ua/wp-content/uploads/2020/06/%D0%97%D0%91%D0%86%D0%A0%D0%9D%D0%98%D0%9A-VI-%D0%9...</a>	0.36%
10	<a href="https://www.mdpi.com/2227-9717/9/11/1946/htm">https://www.mdpi.com/2227-9717/9/11/1946/htm</a>	0.36%
11	<a href="http://adl.nouu.org.ua/wp-content/uploads/2017/12/Mater_conf_Kyiv.pdf">http://adl.nouu.org.ua/wp-content/uploads/2017/12/Mater_conf_Kyiv.pdf</a>	0.34%
12	<a href="http://psychology-naes-ua.institute/files/pdf/diser_bazilenko_1521722465.pdf">http://psychology-naes-ua.institute/files/pdf/diser_bazilenko_1521722465.pdf</a>	0.34%
14	<a href="https://www.colorado.edu/lab/sbs/sites/default/files/attached-files/c40_modelling_air-to-air_plate-fin_heat_exchang">https://www.colorado.edu/lab/sbs/sites/default/files/attached-files/c40_modelling_air-to-air_plate-fin_heat_exchang</a>	2 источника 0.3%
18	<a href="http://www.repository.hneu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2056/1/%D0%A1%D1%82%D1%83%D0%B4%20%D1%81%D0%...">http://www.repository.hneu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2056/1/%D0%A1%D1%82%D1%83%D0%B4%20%D1%81%D0%...</a>	0.24%
29	<a href="http://eeng.onaft.edu.ua/wp-content/uploads/2016/04/zbirnyk_2016_sekcia_1.pdf">http://eeng.onaft.edu.ua/wp-content/uploads/2016/04/zbirnyk_2016_sekcia_1.pdf</a>	2 источника 0.16%
31	<a href="https://vent-a.com.ua/pr3126-ua/nagrivach-kanalnij-vents-nkd-200-20-1">https://vent-a.com.ua/pr3126-ua/nagrivach-kanalnij-vents-nkd-200-20-1</a>	2 источника 0.16%
32	<a href="http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/6932/3/04%20Vasylenko%20Osnovu%20teplomasoobminu.pdf">http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/6932/3/04%20Vasylenko%20Osnovu%20teplomasoobminu.pdf</a>	0.16%
33	<a href="http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/3832/1/prohramy_2012_Kontrol%20ta%20keruv.pdf">http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/3832/1/prohramy_2012_Kontrol%20ta%20keruv.pdf</a>	0.16%
34	<a href="https://pnu.edu.ua/depart/Chemistry/resource/file/%D0%A2%D0%95%D0%9F%D0%9B%D0%9E%D0%92%D0%86%20">https://pnu.edu.ua/depart/Chemistry/resource/file/%D0%A2%D0%95%D0%9F%D0%9B%D0%9E%D0%92%D0%86%20</a>	2 источника 0.16%
35	<a href="http://www.sociology.chnu.edu.ua/res/sociology/metodyvyk.pdf">http://www.sociology.chnu.edu.ua/res/sociology/metodyvyk.pdf</a>	0.16%
37	<a href="https://wikizero.com/uk/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%B1%D0%BE%D0%BD%D0%B0%...">https://wikizero.com/uk/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%B1%D0%BE%D0%BD%D0%B0%...</a>	0.16%
40	<a href="http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/8_2020/57.pdf">http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/8_2020/57.pdf</a>	0.14%
41	<a href="https://ventilation-system.com/ua/download/17545">https://ventilation-system.com/ua/download/17545</a>	0.14%

49	<a href="http://ma.cfuv.ru/docs/235728/%D0%A2.20%20%E2%84%963v3%202017.pdf">http://ma.cfuv.ru/docs/235728/%D0%A2.20%20%E2%84%963v3%202017.pdf</a>	30 источников	0.13%
50	<a href="http://ir.nmu.org.ua/jspui/bitstream/123456789/155042/1/151-153.pdf">http://ir.nmu.org.ua/jspui/bitstream/123456789/155042/1/151-153.pdf</a>		0.13%
51	<a href="https://core.ac.uk/download/pdf/323534166.pdf">https://core.ac.uk/download/pdf/323534166.pdf</a>		0.13%
56	<a href="https://srhe.tandfonline.com/doi/full/10.1080/0260293042000188465">https://srhe.tandfonline.com/doi/full/10.1080/0260293042000188465</a>		0.11%
57	<a href="http://dspace.pdpu.edu.ua/bitstream/123456789/862/1/Polyakova...dis.pdf">http://dspace.pdpu.edu.ua/bitstream/123456789/862/1/Polyakova...dis.pdf</a>		0.11%
58	<a href="https://lektsii.org/3-101591.html">https://lektsii.org/3-101591.html</a>		0.11%

Источники из Библиотеки 321

2	Студенческая работа	ID файла: 1005685477	Учебное заведение: Zaporizhzhya National University	3 Источники	1.66%
8	TYA71mn-YankovskyiVG-thesis-2019	ID файла: 11989520	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	61 Источники	0.36%
13	Студенческая работа	ID файла: 1000064131	Учебное заведение: National University of Life and Environmental Sciences		0.34%
15	TE-61-2-Kharchenko-diploma-2020-mod	ID файла: 1004076919	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	11 Источники	0.29%
16	TF41-ZhurakivskuiAV-diploma-2018	ID файла: 5990707	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	4 Источники	0.27%
17	Степаненко В А (1)	ID файла: 1005745767	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"		0.26%
19	Студенческая работа	ID файла: 1000049607	Учебное заведение: Izmail State University of Humanitarian Studies	29 Источники	0.23%
20	AndreevDM_TI81_bakalavr2022	ID файла: 1011397212	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"		0.22%
21	Студенческая работа	ID файла: 6010925	Учебное заведение: National University of Water Management and Environmental Engineering	7 Источники	0.19%
22	TF01mn-Plovinkin_diploma-2022	ID файла: 1011420096	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	3 Источники	0.19%
23	Студенческая работа	ID файла: 1342536	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	2 Источники	0.19%
24	Студенческая работа	ID файла: 1008109413	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	3 Источники	0.17%
25	магістерська_Адах В Г	ID файла: 1000773595	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"		0.17%
26	TF71_PechernaE_diploma_2021	ID файла: 1008315727	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	5 Источники	0.17%
27	Студенческая работа	ID файла: 1009723313	Учебное заведение: National Aviation University		0.16%
28	Студенческая работа	ID файла: 1005745210	Учебное заведение: National Aviation University	2 Источники	0.16%

30	Теорія теплопровідності_посібник_v2	ID файла: 1005662312	Учебное заведение: National Technic	4 Источник	0.16%
36	Студенческая работа	ID файла: 1010965584	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National Universit	37 Источник	0.16%
38	Студенческая работа	ID файла: 1002069561	Учебное заведение: Zhytomyr National Agroecological	5 Источник	0.14%
39	Мачуська ІБ_стаття ПРАВО	ID файла: 1005152905	Учебное заведение: National Technical University	28 Источник	0.14%
42	Студенческая работа	ID файла: 8471785	Учебное заведение: Donetsk National Technical University	12 Источник	0.14%
43	Бакалаврська Міхалін В.І. ЕД-71 Осн.Част.	ID файла: 1008329288	Учебное заведение: National Technical Un...		0.14%
44	TagirovDR_PK51_bakalavr_2020	ID файла: 1003921858	Учебное заведение: National Technical University	4 Источник	0.13%
45	Студенческая работа	ID файла: 1009739595	Учебное заведение: Zhytomyr National Agroecological	2 Источник	0.13%
46	Лівіщенко	ID файла: 6011089	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic In...		0.13%
47	Студенческая работа	ID файла: 1009736584	Учебное заведение: National Aviation University	7 Источник	0.13%
48	Савченко_МП62204.00.000.ПЗ	ID файла: 1004210984	Учебное заведение: National Technical Universi	27 Источник	0.13%
52	Рижа Л. І._СЕ-71_бакалаврська 2021	ID файла: 1008366704	Учебное заведение: National Technical	23 Источник	0.11%
53	8_1_Прокопова ПІ-61м	ID файла: 5460281	Учебное заведение: National Technical University of Ukrain	18 Источник	0.11%
54	Студенческая работа	ID файла: 1009412847	Учебное заведение: Ternopil Volodymyr Hnatiuk Natio	12 Источник	0.11%
55	Disser_Vozniuk_20210208	ID файла: 1006526593	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Ку...		0.11%
59	Dis Kozlovets_O.A_	ID файла: 4593191	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytec...		0.11%
60	Студенческая работа	ID файла: 1000942428	Учебное заведение: National Aviation University		0.11%
61	ТҮа41-BasyukRV-diploma-2018	ID файла: 5976194	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "...		0.11%
62	Паньков_ПБ-72мп-2018	ID файла: 8178576	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv ...		0.11%