

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЙ АЕРОПОРТІВ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри

_____ О.Тамаргазін

"__" _____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

ЗА ОСВІТНО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ
«ТЕХНОЛОГІЇ РОБІТ ТА ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ АЕРОПОРТІВ»

Тема: Заходи по мінімізації витрат нафтопродуктів від випаровувань під час зберігання

Виконавець: здобувач вищої освіти групи ТА-206М
Мікуцький Нікіта Іванович
(група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: д.т.н., професор Тамаргазін Олександр Анатолійович
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант розділу «Охорона праці»: _____ Коваленко В.В.
(підпис) (П.І.Б.)

Консультант розділу
«Охорона навколишнього середовища»: _____ Бовсуновський Є.О.
(підпис) (П.І.Б.)

Нормоконтролер: _____ Білякович О.М
(підпис) (П.І.Б.)

КИЇВ 2021

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Заходи по мінімізації витрат нафтопродуктів від випаровувань під час зберігання»: сторінок 106, ілюстрацій 17, таблиць 9, інформаційних джерел 33.

Об'єктом досліджень є процеси втрат нафтопродуктів, заходи по мінімізації втрат від випаровування в зоні зберігання, які масово використовуються, і перспективні – геліотеплонасосні системи.

Метою роботи є дослідження процесів втрат нафтопродуктів та розробка заходів по мінімізації втрат від випаровування у зоні зберігання.

Виходячи з мети кваліфікаційної роботи у пояснювальній записці сформульовано та вирішено наступні задачі:

1. Провести інформаційний пошук з тематики магістерської роботи з метою обґрунтування її актуальності.

2. Проаналізувати основні методи запобігання втрат нафтопродуктів при зберіганні.

3. Провести дослідження зміни загального коефіцієнту теплопередачі сонячного абсорбера геліотеплонасосної системи в залежності від стану поверхні, витрати теплоносія, рухомості повітря при різних кутах його нахилу до горизонту.

4. Розробка рекомендацій, що до поліпшення охорони праці та екологічної безпеки при проведенні робіт з приймання, зберігання і контролю якості паливно-мастильних матеріалів та заправлення авіапаливом повітряних суден.

ВТРАТИ, ВИПАРОВУВАННЯ НАФТОПРОДУКТІВ, ЗОНА ЗБЕРІГАННЯ, МІНІМІЗАЦІЯ ВТРАТ, ПЕРСПЕКТИВНІ ЗАХОДИ, ТЕПЛОВИЙ НАСОС, СОНЯЧНИЙ АБСОРБЕР, ГЕЛІОТЕПЛОНАСОСНА СИСТЕМА, КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ ВТРАТ НАФТОПРОДУКТІВ ТА ЗАХОДИ ПО ЇХ СКОРОЧЕННЮ	11
1.1. Класифікація втрат нафтопродуктів	11
1.2. Втрати від випаровування в резервуарах	13
1.2.1. Втрати від «великих дихань».....	13
1.2.2. Втрати від «малих дихань»	14
1.2.3. Втрати від вентиляції газового простору	15
1.2.4. Втрати від насичення газового простору	16
1.3. Заходи щодо боротьби з втратами.....	16
1.3.1. Організаційні заходи по зменшенню втрат від випаровування	17
1.3.2. Технічні заходи по зменшенню втрат від випаровування	18
1.3.3. Теплозахисні заходи	22
1.3.3.1. Заглиблені резервуари	22
1.3.3.2. Офарблювання резервуарів.....	23
1.3.3.3. Екранізація та захисна теплова ізоляція	25
1.3.3.4. Водне зрошення резервуарів	26
1.3.3.5. Застосування газоурівнюючої системи	27
Висновки до розділу 1.....	29
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ПЕРЕДОВОГО ДОСВІДУ ПО ЗАПОБІГАННЮ ВТРАТ НАФТОПРОДУКТІВ	30
2.1. Класифікація теплових насосів.....	32
2.2. Принцип дії теплового насосу	33
2.3. Термодинамічні цикли теплових насосів	35
2.3.1. Цикл з механічною компресією пари.....	35
2.3.2. Реальний цикл.....	39
2.4. Основні елементи конструкції теплових насосів.....	41

2.4.1. Вибір робочого тіла.....	41
2.4.2. Компресор	46
2.4.3. Конденсатори	47
2.4.4. Випарник	49
2.5. Геліосистеми та їх класифікація.....	51
2.6. Основні елементи активних геліосистем.....	53
2.6.1. Сонячні адсорбери.....	53
2.6.2. Акумулятори теплоти.....	56
Висновки до розділу 2.....	57
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО	
ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕЛІОТЕПЛОНАСОСНОЇ СИСТЕМИ	
3.1. Принципова схема експериментальної установки	58
3.2. Описання вимірювального комплексу.....	63
3.3. Методика проведення експериментальних досліджень.....	68
3.4. Експериментальні результати дослідження геліотеплонасосної системи	72
3.5. Оцінка точності результатів вимірювання	78
Висновки до розділу 3.....	80
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	
4.1. Законодавча та нормативна база України про охорону праці.....	81
4.2. Небезпечні та шкідливі виробничі чинники при роботах на складі або об'єкті паливо-мастильних матеріалів.....	83
4.3. Технічні та організаційні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників	85
4.4. Розрахунок засобів гасіння пожежі.....	87
4.5. Розрахунок блискавкозахисту складу паливо-мастильних матеріалів	89
Висновки до розділу.....	92
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	
5.1. Вплив на навколишнє середовище та здоров'я людей при експлуатації складів паливо-мастильних матеріалів.....	93
5.2. Рекомендації щодо обмеження негативного впливу авіапалив	94

5.3. Розрахунок нафтопастки та визначення його ефективності.....	96
Висновки до розділу 5.....	101
ВИСНОВКИ.....	102
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	104

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ККД – Коефіцієнт корисної дії;

КОП – Коефіцієнт перетворення енергії;

ПММ – Паливо-мастильні матеріали;

ПС – Повітряне судно;

Т – Теплообмінник

ЦН – Циркуляційний насос

ВСТУП

Запобігання втратам нафтопродуктів — один з важливих напрямів економії паливно-енергетичних ресурсів, що має одне з головних значень у розвитку економіки. Під час транспортування, зберігання та виконання різних технологічних операцій з паливами відбувається процес їх випаровування, що супроводжується втратою цінних летких фракцій даних нафтопродуктів. Вуглеводнева пара заповнює вільний простір у резервуарах і з більшою або меншою інтенсивністю поступає до атмосфери. Інтенсивність утворення паливо-повітряної суміші та її викид до атмосфери залежить від фракційного складу нафтопродуктів, температурного режиму технологічних операцій та періодичності заповнення та звільнення резервуару. Збитки, завдані цими втратами, полягає у зменшенні кількості паливних ресурсів, вартості продуктів і зниженні якості палива, а й у негативних екологічних наслідках, які є результатом забруднення довкілля нафтопродуктами. Тому боротьба з втратами нафтопродуктів дає не лише економічний ефект, а й життєво важлива для забезпечення охорони природи.

У зв'язку з цим розробка та дослідження способів та методів зниження втрат нафтопродуктів є одними з пріоритетних напрямків сучасної нафтової науки та практики.

У якості засоби боротьби з випаром нафти в резервуарах на сьогодні застосовуються різні способи:

- плаваючі дахи та понтони, однак, їх застосування обмежено кліматичними умовами та низькою ефективністю експлуатації;
- система уловлювання легких фракцій парів нафти на промислах-одна з найефективніших технологій, але вимагає наявності достатньої кількості вільного газу;
- плаваючі захисні емульсії;
- мікрокульки із пластмас;
- струминно-компресорні установки;

- низькотемпературні методи;
- абсорбційні та адсорбційні методи та ін.

Як випливає з наведеного в даній роботі аналізу втрат із резервуарів, на сьогодні немає досконалих технологій скорочення технологічних втрат нафтопродуктів із резервуарів.

Основною причиною втрат нафтопродуктів є підвищення їх температури. В роботі пропонується зменшувати втрати нафтопродуктів шляхом відведення надлишкового тепла від резервуарів за допомогою геліотеплонасосних систем.

Застосування геліотеплонасосних систем дозволить вирішити такі актуальні проблеми:

- зменшення втрат нафтопродуктів і, як наслідок, покращення їх якості;
- покращена екологічна ситуація, шкідливі пари не будуть потрапляти в атмосферу і впливати на довкілля;
- зменшення витрат на опалення і гаряче водопостачання;
- покращення пожежної безпеки.

РОЗДІЛ 1

КЛАСИФІКАЦІЯ ВТРАТ НАФТОПРОДУКТІВ ТА ЗАХОДИ ПО ЇХ СКОРЕЧЕННЮ

1.1. Класифікація втрат нафтопродуктів

Основний відсоток втрат нафтопродуктів при транспортних і складських операціях (від 60 до 80 %) приходить на період зберігання в резервуарах. Причини виникнення втрат нафтопродуктів зазвичай поділяють на природні, експлуатаційні та аварійні, а по характеру – на кількісні, якісні та змішані, при яких відповідно зменшується кількість нафтопродукту, який зберігають, погіршуються його якісні показники [1].

До природніх втрат відносяться втрати від випаровування. Вони залежать від природньо–кліматичних умов, від фізико–хімічних властивостей нафтопродукта і від конструкції технологічного обладнання резервуарів складів. Ці втрати практично не піддаються повній ліквідації, однак можуть бути скорочені в результаті здійснення відповідних технічних і організаційних заходів.

До експлуатаційних втрат, які виникають внаслідок несправностей чи неправильної експлуатації нафтоскладського обладнання, відносяться втрати від проливів, витоків, неповного зливу, забруднення і обводнення нафтопродуктів. При зберіганні в резервуарах причини виникнення витоків можуть бути різні, наприклад:

- негерметичності швів стінок і днища;
- виникнення тріщин в облицюванні залізобетонних резервуарів;
- ушкодження запірної арматури;
- спуск підтоварної води через сифонний кран без спостереження.

Цей вид втрат може бути повністю усунений при умові дотримання необхідних заходів: технічно грамотна організація зберігання нафтопродуктів, своєчасне і якісне проведення періодичного обслуговування і попереджувально–профілактичних ремонтів резервуарів і технологічного обладнання складів, чіткого планування і правильного здійснення зливо–наливних операцій.

До аварійних втрат відносяться втрати від проливів, пожеж і вибухів. Звичайно вони виникають внаслідок пошкодження чи руйнування резервуарів, трубопроводів та іншого нафтоскладського обладнання при стихійних лихах і в інших випадках. Резервуар може опинитися в аварійному стані за таких причин:

- перевищення надлишкового тиску або вакууму всередині резервуара;
- збільшення внутрішньої напруги металу;
- погіршення механічних властивостей металу;
- поява “хлопунів” і вм’ятин;
- збільшення нерівномірності осадки, що впливає на зміну геометричної форми резервуара;
- посилення вібрації резервуара при великих швидкостях наповнення;
- перевищення встановленого рівня наповнення;
- пошкодження і порушення герметичності коробів понтонів, їхнє затоплення, яке призводить до деформації напрямних труб, кронштейнів;
- зменшення товщини металу через корозію;
- дефекти зварних швів.

Запобігти цим втратам можна здійснюючи профілактичні заходи, направлені на підвищення живучості будівель складу, на запобігання займання нафтопродуктів, а також шляхом ліквідації наслідків аварії за допомогою пристроїв для збору пролитого нафтопродукту, наявністю ефективних засобів пожежогасіння.

Природні втрати, які виникають при випаровуванні нафтопродуктів, по своєму характеру є змішаними, тобто кількісно–якісними, що викликано нерівномірністю випаровування різних вуглеводнів, які входять до складу нафтопродукту.

Кількісно-якісні втрати відбуваються внаслідок дії таких факторів, як:

- кліматичні умови та температурний режим зберігання;
- нерівномірне усідання, яке впливає на зміну геометричної форми резервуара;
- посилення вібрації резервуара при великих швидкостях наповнення;
- перевищення встановленого рівня наповнення.

Кількісні втрати нафтопродуктів відбуваються через незадовільний технічний стан складу, при невчасному проведенні профілактичного ремонту і порушенні

првил технічної експлуатації устаткування, а також в результаті недбального і халатного ставлення до роботи.

Якісні втрати характеризуються погіршенням якості нафтопродуктів. Вони відбуваються при змішуванні різних сортів нафтопродуктів внаслідок недбального або неправильного виконання операцій по прийому, зберіганню і відпусканні нафтопродуктів, при обводненні, забрудненні механічними домішками і зміні властивостей нафтопродуктів під дією зовнішніх факторів (світла, температури і кисню), при недоброякісному зачищенні резервуарів [2].

1.2. Втрати від випаровування в резервуарах

Основна частина втрат нафтопродуктів при зберіганні (до 75 % від загальної кількості сумарних втрат) припадає на випаровування. Це найбільш значні втрати, які відносяться до категорії кількісно–якісних втрат, через те що в атмосферу при випаровуванні переходять найбільш легкі вуглеводні, що не тільки зменшує кількість, але й погіршує якість авіапалив [3].

Причини втрат від випаровування - високий тиск насичених парів нафти і нафтопродуктів. Випаровування збільшується при підвищенні температури поверхні нафтопродуктів, або тиску в газовому просторі резервуарів. При зберіганні нафтопродуктів в резервуарах розрізняють такі основні види втрат від випаровування: втрати від «великих дихань»; втрати від «малих дихань»; втрати від «зворотнього видиху»; втрати від «додаткового видиху»; втрати від вентиляції газового простору резервуарів.

1.2.1. Втрати від «великих дихань»

Ці втрати відбуваються при заповненні резервуару нафтопродуктом, в результаті чого з газового простору витискається в атмосферу пароповітряна суміш.

При викачці нафтопродукту в газовий простір резервуару потрапляє через дихальний клапан атмосферне повітря, концентрація парів в газовому просторі різко знижується і стає нище концентрації насичення. В наслідок цього починається випаровування з поверхні нафтопродукта, яке відбувається в процесі викачки і після

її закінчення (при наявності залишка палива в резервуарі). Випаровування триває до того часу, доки парціальний тиск парів в газовому просторі не стане рівним пружності насичених парів даного нафтопродукту при даній температурі. Від моменту закінчення викачки до моменту насичення газового простору резервуара парами зазвичай проходить 2–3 доби в залежності від об'єму резервуару. Коли в цей резервуар починає надходити нафтопродукт, то відбувається витискання цієї суміші, тобто має місце факт втрат нафтопродуктів через так зване «велике дихання».

В герметичних резервуарах, розрахованих на роботу під тиском, «велике дихання» не розпочинається одразу, з моменту початку заповнення нафтопродукту. Спочатку нафтопродукт, надходячи в місткість, стискає пароповітряну суміш. «Видих» розпочинається тільки тоді, коли тиск в газовому просторі досягає значення тиску при якому спрацьовує та відкривається дихальний клапан [4].

Втрати від «великого дихання» залежать, в основному, від об'єму та температури нафтопродукту, який закачується, концентрації його парів в пароповітряній суміші, їх щільності, тиску, який підтримується в газовому просторі.

1.2.2. Втрати від «малих дихань»

Добові коливання температури, а отже, і парціальний тиск парів викликають відповідне коливання абсолютного тиску в газовому просторі резервуара. Якщо абсолютний тиск в газовому просторі стає нижче за тиск навколишнього середовища і досягає значення вакууму, на яке відрегульований дихальний клапан, останній відкривається і в резервуар надходить атмосферне повітря - відбувається “вдих”. В цей момент абсолютний тиск в газовому просторі визначають за формулою (1.1):

$$P_z = P_a - P_{к.в}, \quad (1.1)$$

де P_a - атмосферний (барометричний) тиск.

Коли температура газового простору і парціальний тиск досягають мінімальних значень, вхід повітря припиняється. Таким чином, втрати від “малих дихань” відбуваються внаслідок циклічних коливань температури і парціального тиску в газовому просторі, спричинених добовою дією сонячної радіації і атмосферних умов на стінки і покрівлю резервуарів. Тривалість повного циклу, як правило, дорівнює

добі. Опівдні розпочинається «вдих», а на світанку – «видих». Відхилення спостерігаються при атмосферних умовах (хмарність, зміна барометричного тиску, опади), коли всередині добового циклу зміна погоди обумовлює декілька “вдихів і «видихів».

Втрати нафтопродуктів від «малих дихань» та навантаження дихальних клапанів резервуарів залежать від об'єму газового простору, інтенсивності сонячної радіації, інтенсивності переносу парів від поверхні нафтопродукту і насиченості парами газового простору. При інших рівних умовах втрати від “малих дихань” зростають зі збільшенням об'єму газового простору. З підвищенням сонячної радіації зростають амплітуди коливань температури газового простору резервуару, відповідно зростає об'єм витискуємої в атмосферу пароповітряної суміші і парціальний тиск парів нафтопродукту в ній. Збільшення інтенсивності переносу парів від поверхні нафтопродукту і насиченості газового простору обумовлює великий парціальний тиск (концентрацію) парів в витискаємій пароповітряній суміші.

Оскільки втрати від «малих дихань» відбуваються через підвищення тиску в газовому просторі резервуарів при коливанні температури і парціального тиску парів, то можна встановити дихальний клапан на такий надлишковий тиск, при якому цих втрат не буде. На цьому ґрунтується застосування резервуарів спеціальних конструкцій (кулькові, сферичні та інші).

1.2.3. Втрати від вентиляції газового простору

Втрати від вентиляції газового простору - втрати, що виникають в результаті невірному технологічного встановлення дихальних клапанів, недостатньої герметичності покрівлі резервуарів. Розмір цих втрат може перевищувати втрати від «малих» і «великих» дихань.

При негерметичності даху резервуару відбувається вивітрювання газового простору. Більш важкі пари продукту виходять через нижні отвори, а повітря з зовні у відповідній кількості надходить через верхні отвори. Таким чином, буде відбуватися беззупинна циркуляція повітря в газовому просторі резервуару.

При наявності вітру втрати від вентиляції газового простору можуть бути в багато разів більші ніж втрати при безвітряній погодію.

1.2.4. Втрати від насичення газового простору

Якщо в порожню ємкість (нову чи після зачистки і ремонту) закачати продукт, то він почне випаровуватися, причому випаровування буде продовжуватися до стану насичення повітря парами продукта, який міститься в ємкості.

При насиченні газового простору парами (наприклад, в результаті випаровування залишка після викачки нафтопродукта з резервуару) відбувається витиснення з газового простору в атмосферу деякої кількості пароповітряної суміші (втрати від «зворотнього видиха» чи від «насичення газового простору»).

Вивчення процесу випаровування в резервуарах і виявлення причин і розмірів втрат дало можливість розробити найбільш ефективні засоби боротьби з цим явищем. Основне направлення – це скорочення газового простору резервуару. Дійсно, якщо повністю ліквідувати в резервуарі газовий простір, то практично припинеться процес випаровування, а отже, ліквідуються втрати. На цьому принципі і заснований ефект застосування плаваючих дахів, які дозволяють скоротити втрати від випаровування на 80 – 85 %.

Однак це не єдиний можливий напрямок. Значну перспективу має покриття поверхні нафтопродукту поверхнево–активними речовинами, створення резервуарів спеціальних конструкцій, підземних сховищ і так далі..

1.3. Заходи щодо боротьби з втратами

Боротьба з втратами нафтопродуктів при їх транспортуванні та зберіганні є обов'язковим заходом і передбачається вимогами Держстандартів.

Втрати нафтопродуктів від випаровування з резервуарів можуть бути скорочені в результаті здійснення певних заходів:

- зменшення об'єму газового простору резервуарів;
- зберігання нафти і нафтопродуктів під надлишковим тиском в резервуарах;

- зменшення амплітуди коливань температур поверхні нафтопродуктів і газового простору резервуарів;
- вловлювання парів нафтопродуктів, які виходять з резервуарів;
- раціональна експлуатація резервуарів та інших споруд, пов'язаних з транспортуванням і зберіганням нафтопродуктів.

Конструкція сучасного нафтоскладського обладнання при вірній його експлуатації дозволяє значно знизити втрати нафтопродуктів від випаровування, однак кардинальне скорочення цих втрат можливе тільки при комплексному здійсненню заходів як технічного, так і організаційного порядку.

1.3.1. Організаційні заходи по зменшенню втрат від випаровування

Досвід експлуатації резервуарних парків показує, що важливу роль в боротьбі з втратами від випаровування відіграють заходи організаційного характеру. Заходи ці доволі ефективні, хоча їх здійснення не потребує застосування будь-якого додаткового обладнання.

Втрати від випаровування в значній мірі можуть бути скорочені шляхом правильного вибору графіка і режимів проведення операцій видачі і прийому нафтопродуктів в резервуари. В будь-якому випадку належить прагнути до організації (в залежності від виробничих умов) раціональної експлуатації резервуарів. Втрати від випаровування нафтопродуктів при заповненні і опорожненні резервуарів можуть бути знижені при дотриманні наступних вимог:

- швидкість заповнення резервуарів має бути максимально можливою;
- швидкість повної викачки з резервуарів із послідуною їх зачисткою та дегазацією також повинна бути максимально можливою;
- швидкість часткової викачки з резервуара повинна бути визначена в залежності від послідуною операції, а саме якщо резервуар після часткового спустошення може бути швидко заповнений, то викачку належить проводити з максимально можливою швидкістю; в разі, якщо резервуар повинен тривалий час стояти із залишком, викачку необхідно проводити повільно, наскільки тільки можливо;

- проміжок часу між суміжними циклами часткової викачки і заповнення повинен бути мінімальним [5].

До числа організаційних заходів відноситься також систематична перевірка герметичності резервуарів і їх дихальної арматури.

Враховуючи взаємопов'язаність операцій, коли зменшення витрат при одній з них може призвести до збільшення втрат при інших, у випадку організації раціональної експлуатації резервуарів завжди необхідно розглядати роботу резервуарного парка в цілому, та вишукувати рішення, що призведуть до мінімально можливих сумарних втрат.

1.3.2. Технічні заходи по зменшенню втрат від випаровування в зоні зберігання

До спеціальних технічних заходів зниження втрат від випаровування відносять: резервуари, конструкція яких передбачає зменшення їх газового простору або зберігання нафтопродуктів під підвищеним тиском; застосування плавучих речовин (емульсії, мікрокульки); застосування газорівнюючої системи або газоуловлюючих установок; тепловий захист резервуарів і так далі.

Розглянемо ці технічні заходи детальніше.

Плаваючі емульсії представляють собою в'язку білу масу, густина якої є меншою за густину захищеної рідини, в даному випадку нафтопродукту, внаслідок чого вони спроможні перебувати на її поверхні (плавати). В якості дисперсного середовища в них застосовується вода, а дисперсною фазою є нафтопродукт (паливо). Для отримання емульсій застосовують також емульгатори, пластифікатори і антифриз. Приблизний склад однієї з таких емульсій приведений в таблиці 1.1. Ця емульсія досить проста у виготовленні і застосуванні, що дозволяє використовувати її в резервуарах різних конструкцій, в тому числі старих, без їх реконструкції [6].

Останнім часом проводились дослідження по утворенню стійких захисних емульсій з поверхневоактивних речовин. Розтікаючись по поверхні нафтопродукту вони утворюють стійкі плівки. Зниження пружності парів в 4 рази під плівкою з таких поверхневоактивних речовин призводить до скорочення втрат нафтопродукту від

випару на величину до 75%. Було визначено, що саме фторвміщуючим речовинам притаманні великі коефіцієнти розтікання. Але суттєвим недоліком практичного застосування відомих емульсій є недовготривалість їх служби та низька економічна ефективність, через що широкого вжитку вони не набули.

Таблиця 1.1

Склад плаваючої емульсії

Компоненти	Маса, кг на 1 м ³ емульсії
Вода	175
Паливо ТС-1	460-444
Прямогонний бензин	115-111
Сухі солі жирних кислот	7,5
Гліцерин	40-60
Етиленгліколь	10
Сухий желатин	2,4

Мікрокульки з пластмаси. Для скорочення втрат від випаровування нафтопродуктів в звичайних вертикальних резервуарах використовують засоби захисту поверхні продукту – порожні мікрокульки з фенольноформальдегідної чи карбамідної смоли, діаметром 5 – 500 мкм. Вони можуть бути, заповнені інертним газом – азотом. Об’ємна маса мікрокульок з фенольноформальдегідних смол дорівнює 139 кг/м³, з карбамідних смол дорівнює 59,2 кг/м³.

Покриття з мікрокульок прошарком 25 мм дозволяє знизити втрати від випаровування на 80 – 90 %.

Кульки в резервуар можуть бути введені через верхній люк, або ж шляхом ежектування спільно з паливом, внаслідок під’єднання до прийомної труби спеціальної лінії. В резервуарі кульки спливають і утворюють покриття на поверхні нафтопродукту. Товщина шару мікрокульок повинна бути тим більша, чим більша обертаємость резервуара. Зазвичай вона досягає 15-50 мм. Проведені випробовування з покриття мікрокульками поверхні нафтопродукту в резервуарі підтвердили досить високу ефективність їх застосування.

Однак, поряд із цим, були виявлені деякі недоліки мікрокульок, через які, цей метод не набув широкого застосування:

- порушення цілісності шару покриття при великій швидкості заповнення або викачки нафтопродукту з резервуара, тому, при їх використанні, перекачку нафтопродуктів належить проводити з малою швидкістю, а між закачкою і викачкою нафтопродукту з резервуара, необхідно дотримуватись часового інтервалу 5-20 годин, відведеного на те, щоб мікрокульки сплили і розташувались на поверхні нафтопродуктів;
- унесення мікрокульок в трубопровід під час проведення викачки нафтопродукту, щоб уникнути цього необхідно облаштувати прийомо-роздавальний потрубок спеціальним фільтруючим обладнанням;
- змерзання мікрокульок при мінусових температурах;
- зволоження водою, яке може призвести до затоплення мікрокульок.

Мікрокульки не отримали широкого застосування в промислових умовах.

Резервуари з плаваючими дахами. Принцип зменшення газового простору, як засобу зниження втрат нафтопродуктів від випаровування, є одним із найбільш ефективних, особливо для резервуарних парків, що характеризуються високим обертанням, тому що в цих умовах переважна кількість втрат відбувається за рахунок “великих і малих дихань”. Тому доцільно застосовувати резервуари з плаваючими дахами. Плаваючі покрівлі газовий простір резервуара зводять майже нанівець. При їх застосуванні втрати від “великих і малих дихань” скорочуються на 70-80%.

Відомі в світовій практиці конструкції плаваючих дахів можуть бути зведені до чотирьох основних типів: дискові; однопрошаркові з кільцевим коробом чи з кільцевим і центральним коробом; двошаркові.. Дисковий дах конструктивно виконаний у вигляді металевого диску з цільним вертикальним бортом. Ця конструкція є однією з перших. Вона не надійна в експлуатації. Поява течії в будь-якій її частині, яка стикається з нафтопродуктом, призводить до заповнення внутрішньої чаши і, веде до затоплення. Перевагою дахів цього типу є простота конструкції і найменша витрата металу. Ефективним напрямком вдосконалення

конструкції цих дахів може бути надання їм непотопляючості шляхом заповнення внутрішньої чаши легким шпористим матеріалом типу пінополіуретана.

Плаваючі дахи другого типу складаються з кільцевого понтону. Який розташований по периферії металевого диску, чи з кільцевого і центрального понтонів, які з'єднані металевим настилом. Однак ці конструкції мають підвищену металоємність.

Двопрошаркові плаваючі дахи виготовляють з двох металевих дисків, між якими встановлюють металеві вертикальні перегородки, які утворюють герметичні відсіки. Дахи цього типу витримують рівномірне вертикальне навантаження до 1962 Па і не тонуть при появі течії в 85 % відсіків. Ці дахи найбільш металоємні [7].

Для забезпечення нормальної роботи при заповненні та спорожненні резервуару з плаваючим дахом, який знаходиться в крайньому нижньому положенні, вона обладнується дихальними клапанами, які підбираються в залежності від технологічного режиму роботи резервуару.

Дослідження і випробування плаваючих дахів показали, що вони мають достатню міцність і працездатність.

Резервуари з понтонами. Понтон є ефективним засобом скорочення втрат нафтопродуктів від “малих” і “великих дихань” та “зворотнього видиху” резервуару.

Незважаючи на те, що вартість резервуарів з понтонами вища за вартість резервуарів із плаваючими покрівлями, вони витісняють резервуари з плаваючими дахами, оскільки стаціонарна покрівля захищає понтон від атмосферних опадів. В результаті цього виключається необхідність спорудження малонадійних в експлуатації дренажних систем і драбини, що може переміщуватися коченням, полегшуються умови роботи ущільнюючих затворів і виключається можливість забруднення нафтопродуктів.

Ефективність застосування понтонів для скорочення втрат нафтопродуктів визначається ступенем герметизації зазору між понтоном і стінкою резервуару і навколо направляючих стійок, що залежить від конструкції ущільнюючого затвору.

Широкого застосування в якості ущільнення, набули затвори так званого м'якого типу. В цих затворах всередині еластична оболонка, яка легко деформується при зміні зазора, утворює і підтримує його надійну герметизацію.

Застосовуються понтони різних конструкцій, основними з яких є металеві та синтетичні.

Понтони з синтетичних матеріалів складаються з окремих елементів. Вони в порівнянні з металевими практично не тонуть, мають задовільну гнучкість, дозволяють вести ремонт без застосування вогневих робіт в резервуарі. Їх можна збирати в діючих резервуарах без демонтажу частини даху чи корпусу. В них значно менша маса і невелика витрата металу. При їх використанні корисна ємкість резервуару зменшується незначно [8].

Резервуари з понтонами дозволяють істотно знизити втрати нафтопродуктів від випаровування і знизити загазованість резервуарних парків.

1.3.3. Теплозахисні заходи

Існують різні способи теплового захисту резервуарів, в тому числі заглиблення в ґрунт, тепловідбиваюче офарблення, теплоізоляція, екранування, охолодження водою тощо. Накопичено значний досвід застосування цих способів боротьби з втратами від випаровування, що дає можливість порівняти ефективність різних пристроїв, які застосовують для теплового захисту резервуарів.

1.3.3.1. Заглиблені резервуари

При зберіганні нафтопродуктів в горизонтальних резервуарах найпростішим методом їх термостатування є заглиблення в ґрунт. Відомі три види розташування резервуарів: наземне, коли вони розміщуються на поверхні чи заглиблені менш ніж на половину своєї висоти; напівзаглиблені; заглиблені, коли резервуар розташований під шаром ґрунту не менше 0,2 м чи має обсіпку відповідної товщини.

Якщо втрати бензина від випаровування при наземному розташуванні горизонтальних резервуарів прийняти за 100 % , то при їх напівзаглибленні втрати знизяться до 60 % , а при повному заглибленні – до 30 %.

Висока ефективність боротьби з випаровуванням нафтопродуктів з резервуарів шляхом заглиблення пояснюється тим, що добові коливання температури в ґрунті на глибині 30 – 40 см практично відсутні, і на заглиблений резервуар діють тільки сезонні зміни температури. При такому розташуванні виключається також вплив вітру на процес вентиляції газового простору резервуару [9].

1.3.3.2. Офарблювання резервуарів

Величина втрат нафтопродуктів від випаровування в значній мірі залежить від величини зміни температури пароповітряної суміші в резервуарі. Щоб зменшити амплітуду коливань температури в резервуарі, застосовують зовнішнє променевідбиваюче офарблення його корпусу і покрівлі. Найбільшого поширення для цього набула алюмінієва фарба. Фарбування зовнішньої поверхні резервуарів у світлі тони найбільше широко застосовується в практиці експлуатації резервуарів із світлими нафтопродуктами, тому що це помітно зменшує амплітуду коливання температури газового простору в результаті чого знижуються втрати від випаровування. Фарби, що застосовуються з цією метою повинні мати коефіцієнт відзеркалення більший 0,8. В таблиці 1.2 приведена відбиваюча здатність фарби в залежності від її кольору.

Таблиця 1.2.

Відбиваюча здатність фарби в залежності від її кольору

Колір фарби	Відбиваюча здатність, %
Дзеркальна	100
Біла	90
Блакитна	85
Світло-зелена	78,5
Алюмінієва	67
Сіра	10
Непофарбована поверхня	0
Чорна	0

Проте світловідбиваюча здатність фарби з часом знижується внаслідок забруднення її поверхні, а також хімічних змін і механічних ушкоджень лакофарбового покриття, тому потрібно періодичне її відновлення.

Для резервуарів з плаваючими покрівлями і понтонами офарблення корпусу і покрівлі не має такого принципового значення, оскільки добові коливання температури в таких резервуарах незначні, і при обиранні кольору офарблення головним чином керуються строками служби покриття.

Експериментальні дослідження довели, що для скорочення втрат від “малих дихань” ефективно застосовувати не тільки зовнішнє, але і внутрішнє офарблювання стінок резервуару, наприклад, лакофарбовим покриттям ЕП-755, ХС-717, ХС-720, ФЛ-24 та ін.

Теоретичні передумови цього методу скорочення втрат наступні.. Згідно з законом теплового випромінювання тіла кількість випроміненої енергії залежить від ступеня чорноти тіла. Окислена внутрішня поверхня стінок резервуару має високий ступінь чорноти. Якщо знизити ступінь чорноти цієї поверхні шляхом офарбування її в світлий тон, кількість випромінюємої енергії зменшиться, а, отже, зменшиться температурний перепад пароповітряної суміші і значення втрат парів нафтопродуктів.

Парам нафтопродуктів притаманні досить інтенсивні полоси поглинання в інфрачервоних проміннях. Значить, чим менше енергії будуть випромінювати внутрішні стінки резервуарів, тим менше її буде поглинатися парами нафтопродуктів.

Для визначення ефективності вказаного засобу скорочення втрат від випаровування були проведені порівняльні випробування двох резервуарів місткістю 100 м³ кожен. Внутрішня поверхня одного з них була в два шара пофарбована білилами, розведеними на олифі.. Зовнішні поверхні резервуарів перед початком випробувань покрили алюмінієвою фарбою. Середнє скорочення втрат нафтопродуктів за період спостереження (27 діб) з пофарбованого всередині резервуару становило 32,5% в порівнянні з нефарбованим резервуаром [9].

Одночасне фарбування внутрішньої і зовнішньої поверхонь резервуарів може зменшити втрати нафтопродукту від випаровування на 40 - 30 % в порівнянні з резервуарами, які мають непофарбовані поверхні.

1.3.3.3. Екранізація та захисна теплова ізоляція

Для захисту резервуарів зі світлими нафтопродуктами від дії сонячної радіації розроблена двохшарова збірно–розбірна теплова асбоцементна ізоляція. Вона зменшує теплову дію повітря і сонячної радіації, а також скорочує амплітуди коливань температури в газовому просторі резервуара і тим самим знижує втрати нафтопродуктів від випаровування.

Теплоізоляція має достатню спроможність відбивати сонячне проміння, вогнестійка і стійка до атмосферних опадів і корозії, достатньо міцна і виготовляється з недефіцитних матеріалів. Крім того, ізоляція проста в монтажі та зручна в експлуатації.

Ізоляція виконується у вигляді щитів–екранів з асбоцементних листів з повітряним ізолюючим прошарком. Кожен щит складається з двох хвилястих (або хвилястого і плоского) асбоцементних листів, які утворюють повітряні прошарки на покрівлі і корпусі резервуара. Тепловий потік, проходячи послідовно через низку шарів з різноманітним термічним опором, зменшується, внаслідок чого скорочується амплітуда коливань температури пароповітряної суміші і поверхні нафтопродукту в резервуарі, тобто скорочуються втрати нафтопродуктів від “малих дихань”.

Для збільшення відбиваючої спроможності асбоцементних щитів їх офарблюють з зовнішньої і внутрішньої сторін алюмінієвою фарбою АЛ – 177. На резервуарі ця ізоляція монтується без застосування будь–яких зварювальних робіт.

Зі зменшенням ступеня екранування корпусу резервуара, а також з підвищенням ступеня наповнення резервуара ефективність екранізації для скорочення втрат від «малих дихань» резервуарів зростає. По серії проведених експериментів, було встановлено, що концентрація парів нафтопродукту в газовому

просторі ізолюваного і неізолюваного резервуарів відрізняється незначно. Тому екранізація практично не скорочує втрати від «великих дихань».

До переваг екранізації відноситься можливість застосування її для скорочення втрат від «малих дихань» в резервуарах з різними конструкціями дахів. Але наявність екранів значно ускладнює процес технічного обслуговування резервуарів.

Теплова ізоляція представляє собою теплоізоляційні матеріали, які наносять на стінку і покрівлю резервуара. Це покриття зменшує теплопровідність від матеріалу до стінки резервуара в денні години. Однак у нічний час теплоізоляційне покриття при зменшенні температури навколишнього середовища перешкоджає охолодженню резервуара, в результаті чого середня температура газового простору, в порівнянні з середньою температурою навколишнього повітря вночі підвищується. В резервуарах з таким захистом втрати від «малих дихань» скорочуються, а від «великих дихань» підвищуються, ось чому теплоізоляцію найбільш раціонально застосовувати на резервуарах з малою обертаємістю [10].

1.3.3.4. Водне зрошення резервуарів

При зрошенні резервуара вода покриває тонкою плівкою його поверхню, забирає на себе частину сонячної енергії, внаслідок чого зменшується нагрів покрівлі і стінок, а отже, газового простору резервуару та нафтопродукту.

Зрошувальні установки монтують на даху резервуара, для підвищення ефективності зрошення. По периметру крівлі з листової сталі монтується огорожувальне кільце, утворюється, так би мовити, своєрідний басейн, в якому вода перебуває постійно, і по мірі необхідності доливається до потрібного рівня. Для захисту даху від корозії він покривається гудроном і тонким шаром цементного розчину.

Щоб отримати максимальний ефект від зрошувальних систем, їх включення в роботу проводять в сонячні дні чи в дні з мінливою хмарністю не пізніше ніж через 1 - 1,5 години після сходження сонця, а вимкнення - не раніш ніж за 2 - 2,5 години до заходу сонця. Це пов'язано з тим, що розширення пароповітряної суміші в газовому просторі резервуара відбувається з ранку і до обіду. По досягненні газовим

простором резервуара максимальної температури розширення суміші «видих» припиняється. З початком зменшення температури газового простору розпочинається «вдих». Однак зрошувальні установки повинні продовжувати роботу і під час «вдиху», через те що при несвоєчасному їх відключенні (менш ніж за 2-2,5 години до заходу сонця) відбувається додаткове «мале дихання».

Для отримання максимального ефекту в скороченні втрат від випаровування при використанні водяного зрошення доцільно процес включення-вимикання зрошувальних установок автоматизувати.

До переваг цього методу слід зарахувати те, що він є достатньо простий, бо не потребує великих витрат та конструктивних змін резервуара. Поряд з цим він є досить високоефективним заходом боротьби з втратами від “малих дихань”, оскільки в залежності від погодних умов може скорочувати їх на 20-35%. А що до недоліку цього методу то він досить суттєвий. Це необхідність захисту резервуарів і фундаментів від корозії та стікаючої води [9].

1.3.3.5. Застосування газоурівнюючої системи

Ефективне зниження втрат нафтопродуктів досягається також при використанні газоурівнюючих систем. Можливі два варіанти з'єднання газових просторів резервуарів: без газозбірника та з ним, або з резервуаром з перемінним об'ємом газового простору (газгольдером).

Газоурівнюючу систему без газозбірника застосовують на однотипних резервуарах при співпаданні операцій заповнення одної групи резервуарів і зпорожнення іншої в часі, при цьому частина пароповітряної суміші перерозподіляється між резервуарами. При неспівпаданні операцій пароповітряна суміш з газового простору резервуарів, які заповнюються, виходить в атмосферу. Газову обв'язку застосовують при коефіцієнті співпадання операцій 0,6 і вище.

При наявності газозбірника в системі обмін пароповітряною сумішю відбувається тільки між газовими просторами резервуарів і газозбірників, коли частина резервуарів заповнюється чи спорожняється.

В газоурівнюючу систему слід підключати резервуари з однаковими нафтопродуктами, щоб уникнути якісних втрат нафтопродуктів. В газоурівнюючу систему можна підключати також транспортні ємкості при проведенні зливо–наливних операцій.

Конструктивно система газової обв'язки повинна забезпечувати максимальний об'єм пароповітряної суміші, яка проходить, при проведенні операцій приймання і відгрузки нафтопродуктів.

Щоб забезпечити надійної роботу системи її обладнують дихальною арматурою, вогнезапобіжниками, збірником конденсата і насосом для його перекачки. Дихальні клапани в газозбірнику повинні спрацьовувати при максимальному і мінімальному тиску.

Найбільш доцільне застосування газоурівнюючої системи з газгольдером для вловлювання парів нафтопродуктів в процесі «малих дихань». Для ліквідації викидів при «великих диханнях» необхідно додадково обладнати газоурівнюючу систему пристроями конденсації парів нафтопродуктів.

Висновки до розділу 1

Проведено аналіз втрат нафтопродуктів, які можливі при зберіганні їх в резервуарній групі складу паливно-мастильних матеріалів авіапідприємства. Розглянуті головні чинники, що найбільш впливають на втрати від «великих і малих» дихань, вентиляції газового простору і від насичення газового простору легкими фракціями нафтопродуктів.

В результаті аналізу встановлено, що основна частина втрат (близько 75%) припадає на процес випаровування при зберіганні в резервуарах.

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД ПЕРЕДОВОГО ДОСВІДУ ПО ЗАПОБІГАННЮ ВТРАТ НАФТОПРОДУКТІВ

Розглянувши причини втрат авіапалив при зберіганні в резервуарах і чинники, які викликають збільшення втрат від випаровування авіапалива при зберіганні, можна стверджувати, що найголовнішими факторами є підвищення температури палива і тиску у надпаливному просторі. Щоб зменшити температуру палива застосовують різні заходи: зрошення резервуарів, їх офарблення чи встановлення захисних екранів. Тиск зменшують застосовуючи технічні заходи (понтони, плаваючі дахи та ін.), або використовуючи газову обв'язку.

У світі розробляються нові технології та нова техніка. Стало також важливим вирішення питань енергозбереження. Широко запроваджуються енергозберігаючі заходи, одним з яких є геліосистема, яка перетворює енергію сонячного випромінювання в теплову. Тому застосувавши її на складах паливно-мастильних матеріалів можна не тільки відвести тепло від резервуарів, що допоможе зменшити втрати авіапалива від випаровування, але й дасть можливість використовувати це тепло на потреби виконання технологічних процесів авіапідприємства.

В світі широко використовуються теплові насоси. Масово використовуються теплові насоси в США, Швеції, Данії, Австрії, Канаді, Румунії і в багатьох інших країнах. Так, в США експлуатується близько 8 млн. теплових насосів, що становить 11% загальної кількості опалюваних установок. Тільки в 1993 році тут збудовано 1 млн. житлових будинків, з яких 346 тисяч обладнано тепловими насосами для потреб опалення.

В Швеції працює 250 тисяч теплових насосів загальною потужністю 2920 МВт, що забезпечує 20% потреб теплової енергії і зменшує споживання нафтопродуктів на 1,2 млн. тон в рік. Щорічно у Швеції встановлюється близько 35 тисяч теплових насосів.

Теплові насоси це пристрої, в яких підвищується потенціал робочого тіла в межах температур до 100 °С. В якості низькотемпературних джерел теплової енергії широко використовують енергію стічних і ґрунтових вод, атмосферного повітря та інших джерел.

Першими використовувати теплові насоси для опалення будівель почали німці. Так, вже в 1981 році фірма «Stiebel Eltron» випустила понад 1000 установок, які надійно працювали при температурі атмосферного повітря до плюс 8 °С. Якщо температура повітря падала нище плюс 8 °С, включався водонагрівач з прямим електричним нагрівом. В наступні роки мінімальний температурний режим був знижений до мінус 5 °С.

В 1997 році Австрія випустила понад 5000 установок з тепловими насосами загальною вихідною потужністю 37,5 МВт. З них 33,1 МВт використовувалися для опалення, а 4,4 МВт для гарячого водопостачання.

Фірма Ochsner Wärmepumpen має 20-річний досвід випуску водонагрівачів з тепловими насосами. Розроблено вже 4-е покоління теплових насосів зі спіральними компресорами, які використовують в якості робочого тіла рідину R407C. Фірма випустила більше ніж 50000 установок.

В Німеччині, Австрії, США, Росії по розширеним науковим програмам йде пошук робочого тіла для теплових насосів (фреон-12 заборонений, як той що руйнує озоновий шар атмосфери). Досліджено теплові насоси, які працюють на бромолітєвих сумішах, фреоні-22, пропані-R290, різних двофазних і багатofазних сумішах.

Розробляються і проходять випробування нові типи приводу для теплового насосу. В Росії запропоновано тепловий насос з приводом від двигуна внутрішнього згорання, за рахунок чого збільшується в 2 – 3 рази вихід теплової енергії відносно первинної енергії палива.

Як не дивно роботи по енергозбереженню ведуться в найбільш розвинутих країнах, які мають свої дешеві енергоносії (нафта, газ).

В порівнянні з іншими країнами Україна немає достатнього досвіду використання теплових насосів в суспільному господарстві. В кліматичних умовах

України, можна використовувати теплову енергію оточуючого нас атмосферного повітря. Максимальні від'ємні температури взимку на Україні не перевищують мінус 30 °С.

2.1. Класифікація теплових насосів

Теплові насоси відрізняються схемами, робочими тілами і за устаткуванням, яке використовується. Одної певної класифікації теплових насосів не існує. В різних літературних джерелах зустрічаються різні терміни та позначення.

В зв'язку з цим важливо провести кваліфікацію установок, що дозволить розглядати їх властивості відповідно до тієї чи іншої групи. Всі теплові насоси можна класифікувати по ряду певних ознак. Кожний тип відображає тільки одну характерну рису установки.

Насамперед класифікацію теплових насосів здійснено по їхнім робочим циклам. При цьому можна виділити такі основні типи:

- повітряно-компресорні теплові насоси;
- теплові насоси з механічною компресією пара;
- абсорційні теплові насоси;
- теплові насоси засновані на використанні ефекту Ранка;
- теплові насоси засновані на використанні подвійного циклу Ренкіна;
- теплові насоси, що працюють за циклом Стірлінга;
- теплові насоси, що працюють за циклом Брайтона;
- термоелектричні теплові насоси;
- теплові насоси з використанням теплоти плавлення;
- теплові насоси з використанням механо-хімічного ефекту;
- теплові насоси з використанням магнето-калоричного ефекту.

За принципом взаємодії робочих тіл усі теплові насоси можна об'єднати в дві групи:

1. відкритого циклу, у яких робоче тіло забирається і віддається у зовнішнє середовище;

2. замкнутого циклу, у яких робоче тіло рухається по замкнутому контуру, взаємодіючи з джерелом і споживачем теплоти лише за допомогою теплообміну в апаратах поверхневого типу.

Також розрізняють теплові насоси по таким ознакам:

- За кількістю ступенів: одно- , двоступінчасті і каскадні теплові насосні установки, а також теплові насосні установки з послідовним з'єднанням.
- За призначенням: стаціонарні та пересувні.
- За продуктивністю: великі, середні, дрібні.
- За температурним режимом: високотемпературні, середньотемпературні та низькотемпературні.
- За режимом роботи: беззупинні чи циклічні.
- За видом холодильного агента: повітряні, аміачні, фреонові, на сумішах холодильних агентів.
- За видом споживаної енергії: з приводом від електродвигуна та від газової турбіни, що працюють вторинних енергоресурсах.
- По принципу роботи теплові насосні установки поділяються на: копресійні, сорбційні та термоелектричні.

2.2. Принцип дії теплового насосу

В природі, виробництві, сільському господарстві, побуті є значні запаси розсіяної низькотемпературної теплової енергії, яку можна ефективно використовувати. Для її концентрації застосовують теплові насоси. Це пристрій, який за допомогою механічної або електричної енергії трансформує теплову енергію низького потенціалу в теплову енергію більш високих параметрів. Схема теплового насосу (рисунок 2.1.) складається з випарника; компресора; конденсатора; дросельного вентиля. У випарнику низькотемпературний теплоносіє (хладон) має тиск, при якому температура кипіння його нижча за температуру навколишнього середовища. Цей тиск підтримується за допомогою компресора. Під час пароутворення теплоносіє забирає тепло Q_0 від середовища, яке має більшу температуру, і поступає в компресор, де пари хладону стискаються і нагнітаються в

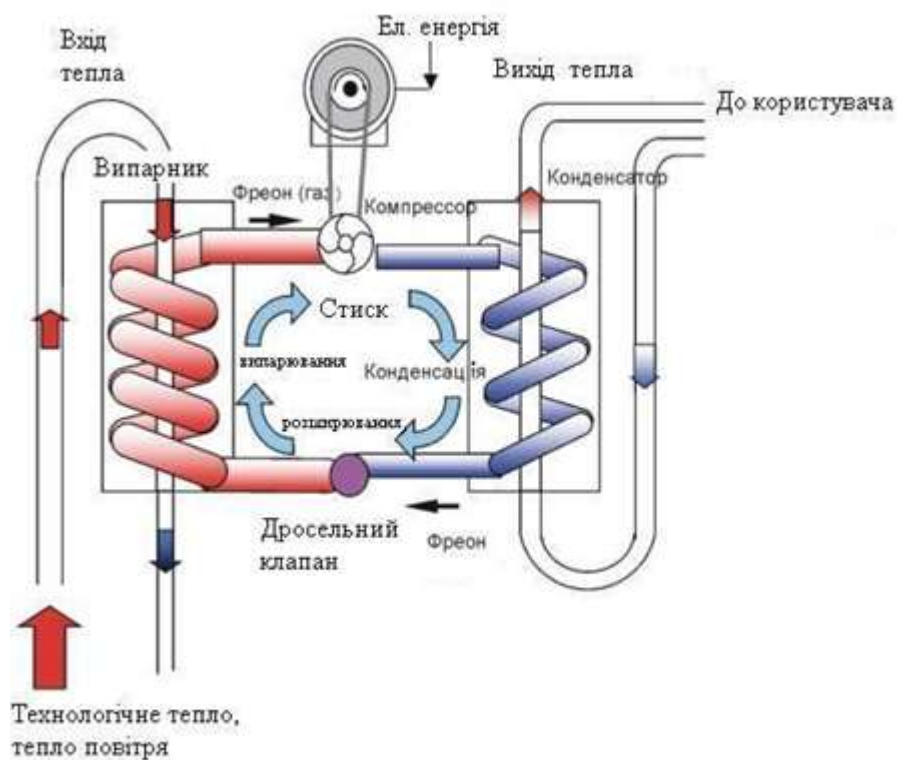


Рис. 2.1. Принцип дії теплового насосу

конденсатор. При цьому витрачається робота A_1 . Під час стискання температура і тиск теплоносія підвищуються, після чого тепло Q передається середовищу, яке має вищу температуру, ніж вода або повітря. Тепло Q передається вторинному теплоносію, який циркулює через конденсатор, завдяки відведенню тепла при високому тиску теплоносія конденсується. Конденсат високого тиску проходить через дросельний вентиль. Тут відбувається часткове утворення пари і зниження температури та тиску до їх значення у випарнику. Такі цикли у теплоустановці постійно відтворюються. Ефективність теплової насосної установки характеризується відношенням тепла Q_1 , отриманого при температурі T , до затраченої механічної роботи A_1 , яке прийнято називати коефіцієнтом перетворення. Він завжди більше одиниці, бо завжди виконується рівність $Q_1 = Q_0 + A_1$, тобто тепловий насос це обернена теплова машина [10].

Коефіцієнт корисної дії теплової насосної установки враховує не тільки дроселювання, але і втрати в трубопроводах, в обладнанні при перетворенні первинної енергії в приводному двигуні і передачі її до компресора, при

виробництві первинної енергії і передачі її до двигуна. Так при використанні електричної енергії для роботи теплової насосної установки, її коефіцієнт корисної дії можна визначити з виразу (2.1):

$$\eta_{\text{ТНУ}} = \frac{Q_{\text{к}}}{L} \cdot \eta_{\text{ТП}} \cdot \eta_{\text{ЕМ}} \cdot \eta_{\text{ТЕС}} \cdot \eta_{\text{ЕЛ}} \quad (2.1)$$

де $Q_{\text{к}}$ - теплота, передана в конденсаторі;

L - робота стискування в компресорі від тиску P_0 до $P_{\text{к}}$;

$\eta_{\text{ТП}}$ - коефіцієнт корисної дії теплового потоку, який враховує втрати енергії і робочого агента в трубопроводах і обладнанні теплової насосної установки;

$\eta_{\text{ЕМ}}$ - електромеханічний коефіцієнт дії двигуна і компресора;

$\eta_{\text{ТЕС}}$ - коефіцієнт корисної дії джерела, яке виробляє додаткову електричну енергію;

$\eta_{\text{ЕЛ}}$ - коефіцієнт корисної дії електричних ліній передач.

При середніх значеннях $Q_{\text{к}}/L = 2,7$, $\eta_{\text{ТП}} = 0,78$, $\eta_{\text{ЕМ}} = 0,96$, $\eta_{\text{ТЕС}} = 0,42$, $\eta_{\text{ЕЛ}} = 0,91$, коефіцієнт корисної дії теплової насосної установки дорівнює 0,77 , тобто в межах коефіцієнта корисної дії районної котельної [11].

2.3. Термодинамічні цикли теплових насосів

Призначення цього розділу дати читачу достатні теоретичні основи для аналізу і порівняння різних теплонасосних циклів з різними робочими рідинами. Знання теорії допоможе оцінити можливості теплових насосів. Цей розділ присвячений теплонасосному циклу с механічною компресією пару та реальному пароконпресорному циклу, тому що теплові насоси з такими циклами найбільш розповсюджені.

2.3.1. Цикл з механічною компресією пари

З метою наближення до ідеального циклу Карно (ідеальний цикл Карно зображено на рисинунку 2.2), тобто з метою створення практично корисного теплового насосу, необхідно прагнути до підведення тепла при умовах, близьких до ізотермічних.

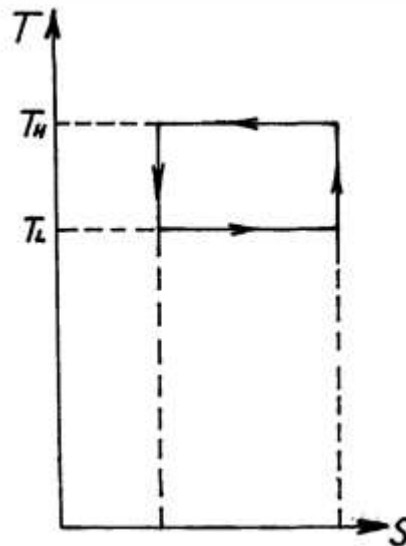


Рис.2.2. Ідеальний цикл Карно.

Для цього підбираються робочі тіла, що змінюють агрегатний стан при необхідних температурах і тисках. Вони поглинають тепло при випаровуванні і віддають при конденсації. Ці процеси утворюють ізотерми циклу. Стиск пари, як правило, вимагає, щоб пара була сухою, що викликано особливостями механіки більшості компресорів. Потрапляння рідини разом з паром на вхід компресора може пошкодити його клапани, а надходження великої кількості рідини в компресор може взагалі вивести його з ладу (якщо не застосувати запобіжні заходи, наприклад, підпружинена голівка циліндра) [12].

Цикл із механічною компресією пари і його зображення на T - S (температура - ентропія) діаграмі показані на рисунку 2.3.

Розглянемо цикл тільки з сухою компресією пару і розширенням в дросельному клапані. Цей клапан представляє собою чи регульоване сопло чи отвір, або капілярну трубку. Вибір між ними визначається вимогами в регулюванні. Відсутність розширювальної машини в циклі означає, що деяка кількість корисної роботи втрачається і коефіцієнт перетворення зменшується.

Процес розширення в соплі необоротний, він показаний пунктиром на T - S діаграмі (див. рисунок 2.3). Звичайно він розглядається як адіабатичний, тобто він проходить без підводу чи відводу тепла при розширенні робочого тіла [12].

Цей рисунок варто розглянути уважно. Стиснуте робоче тіло під високим тиском залишає компресор у точці 1. Оскільки на вхід у компресор надходить тільки сухий пар і завдяки нахилу лінії постійної ентропії, в точці 1 пар перегрітий. Перш ніж пара почне конденсуватися в точці 2, його потрібно охолодити при постійному тиску. Між точками 2 і 3 відбувається конденсація при постійній температурі (якщо немає витоків пари). Звідси видно, що теплообмінний апарат, у якому відбувається конденсація (конденсатор), завжди повинний бути розрахований на прийом перегрітої пари. Адіабатичне розширення зображується на $p-h$ діаграмі вертикальною прямою 3—4, і в цьому зручність такої діаграми. Для розрахунку циклу необхідно знати стан робочого тіла тільки на вході в компресор і виході з нього. Інше зображується прямими лініями. Випаровування відбувається при постійних тиску та температурі між точками 4 і 5. Слід зазначити, що розширення відбувається фактично в суміші рідини і пари. Суміш, яка входить у випарник, містить значну частину пари, іноді до 50 % по масі, і ця частина робочого тіла вже не бере участі в процесі випаровування і поглинання тепла. Між точками 5 і 1 відбувається ізоентропійне стиснення сухої пари. На практиці його реалізувати не можна, але тут ми розглядаємо ідеалізований цикл. Його ефективність менша, ніж у циклу Карно, через незворотність процесу розширення.

Розглянемо ще одну важливу перевагу $p-h$ діаграми. Оскільки на горизонтальній осі відкладається ентальпія, вона допускає прямий відлік Q_H (кількість тепла при температурі T_H), Q_L (кількість тепла при температурі T_L) і W (робота стисання). Просте співвідношення $Q_H = Q_L + W$ з діаграми очевидне. Одночасно діаграма дозволяє відразу оцінити значення коефіцієнту перетворення. Для одержання високого коефіцієнту перетворення значення Q_H повинне бути велике, а W повинна бути мала. Придатність того чи іншого робочого тіла можна швидко оцінити при погляді на його $p-h$ діаграму.

Описаний парокompресійний цикл однаковий і для теплового насосу і для холодильної машини. Його часто називають зворотнім циклом Ренкіна.

більше, ніж в ідеалізованому циклі, що також підвищує вихідну температуру. На рисунк 2.5 це показано точкою 1. Підвищення ентальпії оцінюється ізоеентропічним коефіцієнтом корисної дії компресора. Підвищення ентальпії в реальному компресорі позначається W' , а при ідеальному ізоеентропічному стисненні W . Ізоеентропічний коефіцієнт корисної дії дорівнює W / W' .

На практиці поршневі компресори мають ізоеентропічний коефіцієнт корисної дії приблизно 70 %. Відмітимо, що ізоеентропічний стиск вимагає мінімальної роботи при неохолоджуваному компресорі. Роботу можна знизити шляхом його охолодження, але оскільки задачею теплового насоса є віддача тепла при високій температурі, таке охолодження не вигідне чи фактично неможливо.

Існують ще два показники ефективності компресора. Механічний коефіцієнт корисної дії (ККД) (формула 2.2) показує, яка частка роботи, підведеної до вала компресора, віддана робочому тілу:

$$\text{Механічний ККД} = \frac{\text{Збільшення ентальпії} \times \text{масова витрата}}{\text{Потужність підведена до компресору}} \quad (2.2)$$

Звичайно він дорівнює 95%. Помітимо, що обидва ці ККД однаково важливі, тому що вони впливають на коефіцієнт перетворення енергії (КОП) реального теплового насоса.

Нарешті, є ще об'ємний ККД, що впливає не на КОП, а на капіталовкладення в устаткування, оскільки визначає розміри компресора визначають за формулою (2.3):

$$\text{Об'ємний ККД} = \frac{\text{Масова витрата} \times \text{питомий об'ємна вхід}}{\text{Об'єм, що видаляє поршень в одиницю часу}} \quad (2.3)$$

Його типове значення також близько 95%.

Втрати є не тільки в компресорі, а й в інших елементах робочого циклу. Коли робоче тіло проходить через теплообмінник, тиск трохи знижується. Швидкість звичайно прагнуть підтримувати достатньо високою і виключити застійні зони, в яких збирається мастило. Вплив цього падіння тиску виявляється у відхиленні від ізотермічних умов при теплообміні (див. рисунок 2.5). Фактично відхилення звичайно не переверщує градуса, і на рисунку його вплив трохи перебільшений. Воно проявляється як у випарнику, так і в конденсаторі.

Останнє відхилення від реального циклу, що тут розглядається, пов'язане з переохолодженням. В ідеальному циклі дроселювання починалося від точки 3 на лівій граничній кривій. Однак будь-які втрати в трубопроводах між конденсатором і дроселем викликають деяке випаровування, що погіршує роботу дроселя. Бажано ввести переохолодження до точки 3. Переохолодження також знижує частку пари, що надходить у випарник, але щоб здійснити переохолодження, потрібно мати теплоносій з досить низькою температурою. Звичайно вода чи повітря, які відводять тепло від конденсатора, не можуть служити для цього, тому що задача теплового насоса заключається в підтримці їхнього потоку максимально нагрітим .

Раніше було пояснено необхідність перегріву робочого тіла після випаровувача, що призвело до такого рішення: тепло, яке відводиться від конденсатора при переохолодженні з температурою T_H , використовується для перегріву засмоктуємого в компресор пару з температурою T_L шляхом встановлення проміжного теплообмінника – переохолоджувача.

Переохолоджувач не впливає на коефіцієнт перетворення, оскільки надлишок ентальпії, який отриманий при високій температурі між точками 3 і 3', не віддається споживачу, а використовується всередині циклу між точками 5 і 5' (див. рисунок 2.5). Однак побічно переохолоджувач підвищує коефіцієнт перетворення, оскільки дозволяє сприймати тепло при T_L більш близьке до ізотерми.

2.4. Основні елементи конструкції теплових насосів

Після вибору циклу необхідно дослідити конструкцію елементів теплових насосів. Цей розділ основам конструювання, вибору основних компонентів необхідних для ефективної роботи установки.

2.4.1. Вибір робочого тіла

Діапазон робочих тіл фактично безмежний. Кожна рідина, здатна випаровуватися в інтервалі тисків від 0,1 до 2 МПа при прийнятній температурі, становить інтерес.

Дотримуючися встановившоїся практики, пронумеруємо хладагенти у відповідності зі стандартним переліком ASHRAE. Вони поділені на галоїдовугливодневі, циклічні органічні сполуки, азеотропи вуглеводневі, кисневі сполуки, азотні з'єднання, неорганічні з'єднання і ненасичені органічні сполуки. Далі розглядаються в основному галоїдовугливодневі сполуки, відомі по їхніх торговим назвам: Фреон, Арктон, Генетрон і т.п. Відповідно до позначень ASHRAE вони далі позначаються просто, наприклад, як R12 (CCl_2F_2).

На перший погляд, вибір робочого тіла безпосередньо впливає на коефіцієнт перетворення. На практиці, однак, коефіцієнт перетворення залишається майже постійним для широкого набору хладагентів з істотно різними тисками і густинами, якщо при цьому температури випаровування і конденсації однакові (таблиця 2.1). В таблиці 2.1 коефіцієнт перетворення для різних хладагентів підрахований для температури випаровування - 13 і температури конденсації 30°C. Передбачалося, що всмоктується насичена пара у всіх випадках, крім R113, R114 і R115. Для них передбачалося, що при всмоктуванні пар перегрітий, а на виході з компресора досягаються умови насичення. Таке допущення пов'язане з прийнятим у розрахунку припущенням про стиск по ізентропі, яка для зазначених хладагентів на $p - h$ діаграмі приводить до лінії насичення.

Відзначимо, що коефіцієнт перетворення залишається постійним у межах $4,8 \pm 10\%$. Важливим виключенням є також хладагенти, в яких температура конденсації 30°C близька до критичної. Причина стає зрозумілою з рисунок 2.4. По мірі наближення температури до критичної зкрита теплота пароутворення швидко зменшується. Теплоту віддає перегріта пара, але при істотному зниженні коефіцієнта перетворення. Прикладом служить R170 (КОП=2,41, критична температура 32°C) і R744 (КОП=2,56, критична температура 31°C).

Як видно з порівняння хладагентів, найкращий шлях для підвищення ефективності є у віддаленні від критичного тиску. На практиці, однак, це веде до зниження густини пари і ще більш серйозним обмеженням, ніж втрата ефективності.

Тепер відзначимо в таблиці 2.1 графу «Об'ємна витрата». Об'єм, який проходить поршень компресора в одиницю часу, для різних хладагентів

Таблиця 2.1.

Властивості хладагентів

Шифр	Хладагент	Тиск в випарнику, 0.1 МПа	Тиск в конденсаторі, 0.1 МПа	Відношення тиску	Холодовироб-ляємість, кДж/кг	Витрата хладоагента, КГ/С	Питомий об'єм при всмоктуванні, М ³ /КГ	Об'ємна витрата, Ю ⁻³ М ³ /с	Потужність на валу, кВт	КОП	Температура стиску, °С	Критична температура, °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
170	Етан	16,3	46,6	2,86	136	25,8	0,033	0,86	1,46	2,41	50	82
744А	Окись азота	21,3	64,6	3,03	198	17,8	0,017	0,31	0,98	3,60		37
744	Двуокись вуглецю	22,9	72,1	3,15	129	27,4	0,017	0,45	1,37	2,56	66	31
13В1	Бромтрифторметан	5,38	18,0	3,36	68	51,9	0,024	1,24	0,77	4,25	51	67
1270	Пропилен	3,56	12,5	3,51	402	8,3	0,163	1,43	0,78	4,51	42	92
290	Пропан	2,89	10,7	3,70	281	12,5	0,155	1,93	0,77	4,58	36	97
502	22/115 Азеотроп	3,49	13,1	3,75	106	33,1	0,051	1,70	0,80	4,37	37	82
22	Хлордифторметан	2,95	11,9	4,03	163	21,6	0,077	1,68	0,75	4,66	53	96
115	Хлорпентафторетан	2,66	10,4	3,89	68	52,0	0,048	2,50	0,87	4,02	30	80
717	Аміак	2,36	11,7	4,94	1103	3,2	0,509	1,62	0,74	4,76	99	133
500	12/152а	2,14	8,79	4,12	141	24,9	0,094	2,34	0,75	4,65	41	106
12	Дихлордифторметан	1,82	7,44	4,08	116	30,2	0,091	2,75	0,75	4,70	38	112
40	Метилхлор ид	1,46	6,53	4,48	349	10,0	0,28	2,81	0,72	4,90	78	143
600а	Ізобутан	0,90	4,10	4,54	259	13,5	0,40	5,43	0,81	4,36	27	135

Закінчення таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
764	Двуокись сірки	0,81	4,58	5,63	329	10,7	0,40	4,29	0,72	4,87	88	158
630	Метиламін	0,68	4,24	6,13	707	5,0	0,97	4,83	0,73	4,81		175
600	Бутан	0,57	2,85	5,07	299	11,8	0,62	7,32	0,71	4,95	31	152
114	Дихлортетрафторетан	0,47	2,53	5,42	100	35,1	0,27	9,50	0,78	4,49	30	146
21	Діхлорфторметан	0,36	2,15	5,96	208	16,9	0,57	9,64	0,70	5,01	61	178
160	Етилхлорид	0,32	1,86	5,83	331	11,0	1,07	11,7	0,68	5,21	41	187
631	Етиламін	0,23	1,70	7,40	525	6,7	2,02	18,3	0,64	5,52		183
11	Трихлорфторметан	0,21	1,25	6,19	155	22,6	0,76	17,2	0,70	5,03	44	198
611	Метилформат	0,13	0,96	7,74	440	8,0	3,01	24,1				214
610	Етиловий ефір	0,10	0,85	8,20	294	11,9	2,18	26,1	0,61	5,74		194
30	Метиленхлорид	0,081	0,69	8,60	313	11,3	3,12	35,1	0,72	4,90	96	237
113	Трихлортрифторетан	0,071	0,54	8,02	125	28,2	1,71	48,2	0,73	4,84	30	214
1130	Діхлоретилен	0,058	0,48	8,42	266	13,2	3,97	52,5	0,73	4,83		243
1120	Трихлоретилен	0,014	0,13	11,65	213	16,5	14,32	237	0,73	3,82		271

змінюється більш ніж в 500 разів при порівняно малій зміні потужності. Очевидно, що ціна й ефективність різних компресорів, необхідних для кожного з хладоагентів, має більше значення, ніж теоретична величина коефіцієнта перетворення. Зазначені обставини змушують працювати в області температур, більш близьких до критичних, ніж це впливає з вимог енергетичної ефективності. Зіставлення цифр для ступеня стиску приводить до того ж висновку: робота при низьких тисках пари веде до непропорційно великих компресорів.

Ці роздуми залишають діапазон можливих хладоагентів від R13B1 до R40 (метилхлорид), з якого і підбираються підходящі робочі тіла. Всі ці речовини дуже близькі по ступеню стиску та об'ємній витраті, так що остаточний вибір робиться на основі розуміння безпеки, енергетичній ефективності і вартості.

З точки зору безпеки такі горючі речовини, як пропілен, пропан, метилхлорид, виключаються з розгляду. Їх не можна застосовувати в тих випадках, коли не може бути забезпечена задовільна технічна експлуатація, зокрема при теплопостачанні житла.

Аміак небажаний через його токсичність, яка вища тільки в сірчистого ангідриду. Як видно з таблиці 2.1, найбільш прийнятним є негорючі нетоксичні галоїдовугливодневі з'єднання, серед яких можна зробити вибір. Було б занадто поспішним давати тут рекомендації по одній з рідин, але з приведених цифр стає зрозуміло, чому так широко застосовуються R22 і R12. Перевага азеотропних сумішей, у тому числі недавно винайдених 12B1 і 13B1, не вигідно використовувати через їхню дорожнечу.

Хімічна стабільність має істотне значення для теплових насосів. В холодильниках і кондиціонерах робочі рідини застосовують вже багато років, але в теплових насосах робочі температури істотно вищі. Руїнування хладоагента в основному відбувається на виході з компресора — у найбільш гарячій точці циклу. Тут металеві поверхні відіграють роль каталізатора розкладання хладоагента в суміші з невеликою кількістю мастала, що рухається з великою швидкістю. Моделювати такі умови в дослідах із запаяними трубками чи інших випробуваннях на сумісність дуже важко. Варто опиратися на прямий досвід експлуатації, що дає

можливість [13] вказати максимальну температуру тривалої витримки для хладагентів (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2.

Максимально допустима температура хладагентів
в присутності мастила, сталі та міді

Хладагент	Температура, °C	Хладагент	Температура, °C
R11	107	R114	121
R113	107	R22	135 – 150
R12	121	R502	135 – 150
R500	121	R13	>150

Продукти розкладання хладагентів звичайно мають кислотний характер. Вони шкідливо впливають на металеві деталі й обмежують ресурс машини.

2.4.2. Компресор

У холодильній техніці застосовують компресійні холодильні машини, вони придатні і для теплових насосів. Першорядне значення мають поршневі компресор, звичайно називаний також компресором зі зворотно-поступальним рухом поршня чи просто поршневим, гвинтовий компресор і турбокомпресор (радіальний). У залежності від типу з'єднань із приводним двигуном застосовують наступні конструкції поршневих компресорів:

- герметичні (компресор і електродвигун в звареному корпусі);
- напівгерметичні (компресор і електродвигун в рознімному корпусі);
- відкриті (компресор приєднаний до двигуна через стандартну муфту).

Гвинтові та турбокомпресори виконуються напівгерметичними і відкритими [24].

До компресорів теплових насосів пред'являються підвищені вимоги:

1) більш висока температура конденсації (приблизно 60 °C); звідси передумови для застосування холодоагенту R222 з максимальним тиском при постійному режимі близько 2,35 МПа;

- 2) більш висока допустима температура стиску (близько 160 °С) і відповідно підвищена температура мастила;
- 3) високий коефіцієнт корисної дії, включаючи привід;
- 4) висока експлуатаційна надійність при зміні навантажень;
- 5) по можливості плавне регулювання продуктивності без її втрат;
- 6) невисокий рівень акустичної потужності.

Отже, компресор для теплового насоса повинен бути потужним, мати плавний хід, мати високий коефіцієнт корисної дії як при повному навантаженні, так і в інтервалі часткових навантажень, мати тривалий термін експлуатації.

При виборі компресорів необхідно враховувати максимально можливий коефіцієнт перетворення при використанні в теплових насосах, вплив окремих втрат в компресорі, включаючи двигун для його приводу.

2.4.3. Конденсатори

Конденсатори в тепловому насосі служать для відводу теплоти при температурі, що перевищує температуру навколишнього середовища чи охолоджуючої речовини. При цьому холодоагент переходить з пароподібного стану в рідке, тобто конденсується. У теплонасосному циклі ця теплота, відібрана в холодоагенту, являє собою корисну теплоту. В якості охолоджуючих речовин для конденсаторів можна застосовувати як рідини, так і гази. Тип охолоджуючої речовини, яка сприймає теплоту конденсації, залежить у теплонасосному циклі від способу застосування. При використанні рідини в якості речовини, яка охолоджує конденсатор, її функцією часто є лише транспортування корисної теплоти від конденсатора до місця її споживання .

В зв'язку з великим розходженням у значеннях коефіцієнтів теплообміну газів і рідин застосовують різні конструкції конденсаторів з газовим і рідинним охолодженням.

Конденсатори з рідинним охолодженням по конструктивному рішенню підрозділяються на кожухотрубні, двотрубні («труба в трубі») і змієвиково-трубні спеціальної конструкції.

Оскільки коефіцієнти теплообміну коденсуючого холодоагенту нижче коефіцієнта теплообміну потоку рідини приблизно рівні, в якості теплопередаючого елемента також застосовують гладкі труби чи труби зі збільшеною поверхнею (ребристі труби) з боку холодоагенту.

Кожухотрубну конструкцію також найбільш часто застосовують і в конденсаторах. При цьому охолоджувана речовина пропускається всередині труб, а холодоагент конденсується на зовнішній стороні труб в міжтрубному просторі (рисунок 2.6.). Причому пара холодоагенту надходить у порожнину кожуха зверху, що сконденсувався холодоагент видаляється знизу. Щоб одержати можливо більш високе нагрівання охолоджуючої речовини, необхідно забезпечити її рух знизу нагору. Поліпшена реалізація принципу протипоку і більш ефективно використання температури перегрітої пари холодоагенту, який надходить у конденсатор, можуть бути досягнуті при застосуванні так названого елементного (багатосекційного) конденсатора, де декілька кожухотрубних теплообмінників з відносно невеликим числом труб в кожному розташовані один над одним.

Двохтрубна конструкція. Перевага двотрубних теплообмінників («труба в трубі») — створення повного протипотоку обох речовин. При цьому завдяки використанню теплоти перегріву досягається більш висока температура теплоносія на виході. Таку конструкцію рекомендується застосовувати також при роботі на неазеотропних сумішах в якості холодоагентів. Холодоагент може подаватися як у внутрішню трубу, так і в зазор між зовнішньою і внутрішньою трубою (причому з метою підвищення міцності, а для теплових насосів і з метою підвищення термодинамічних характеристик, більш доцільно пропускати холодоагент всередині труб).

Змієвиковотрубна конструкція. Оскільки коефіцієнти теплообміну холодоагенту, що конденсується, більше, ніж від потоку газу, в конденсаторах з повітряним охолодженням у якості теплопередаючого елемента завжди застосовують труби зі збільшеною поверхнею (пластинчасті чи ребристі труби) з боку газу. З метою досягнення більшої компактності апарату і його здешевлення

здійснюється примусовий рух газу чи повітря через пучки пластинчастих чи ребристих труб. Частіше всього застосовують змієвиково-ребристі теплообмінники.

2.4.4. Випарник

Випарник в теплових насосах служить для того, щоб при низькій температурі відбирати тепло з навколишнього середовища чи від теплоносія; при цьому холодоагент переходить з рідкої фази в газоподібну. В зв'язку з значним розходженням коефіцієнтів теплообміну потоку газів і рідин застосовуються і різні конструкції випарників для охолодження рідин і газів.

Випарники для охолодження рідин у залежності від конструкції можна розділити на наступні групи: кожухотрубні, типу «труба в трубі», змієвикові.

Кожухотрубна конструкція. Кожухотрубна конструкція широко застосовується у випарниках для охолодження рідин. Охолоджувана рідина може проходити як всередині труб (рисунок 2.6), так і між ними (рисунок 2.7).

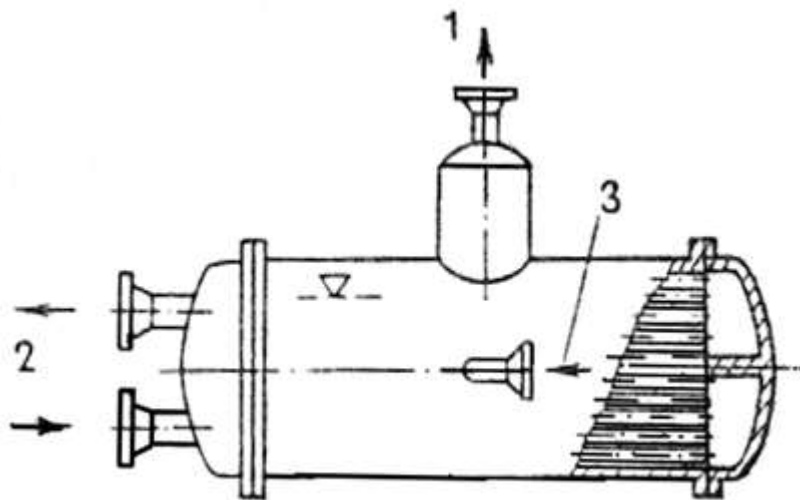


Рис. 2.6. Кожухотрубний випарник з рухом теплоносія всередині труб.

1- холодоагент (пар), 2-охолоджувана речовина (теплоносій),

2- 3- холодоагент (рідина).

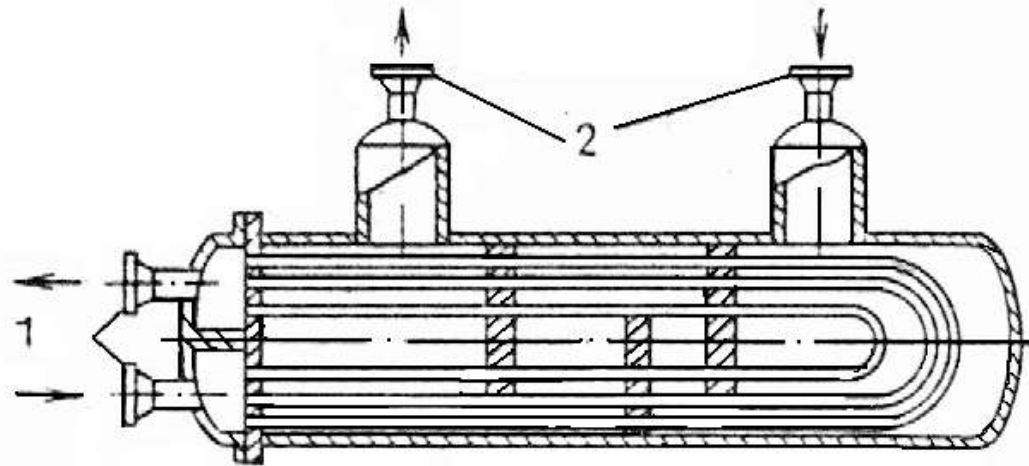


Рис. 2.7. Кожухотрубний випарник з рухом теплоносія в міжтрубному просторі
1-охолоджувана речовина, 2 – холодоагент.

У випадку використання сталевих внутрішніх труб для підвищення корозійної стійкості і зменшення прилипання забруднень рекомендується покривати внутрішню поверхню труб тонким шаром пластмаси (дуропласта). Деяке зниження коефіцієнта теплопередачі, викликане пластмасовим покриттям, можливо лише в початковий період експлуатації, тому що через деякий проміжок часу теплообмінники з пластмасовим покриттям починають мати більш високий коефіцієнт теплопередачі, ніж звичайні, завдяки меншому шару забруднень.

У випарниках з міжтрубним рухом теплоносія всередину труб за допомогою термостатичних регулюючих вентилів вприскується лише стільки рідкого холодоагенту, скільки необхідно, щоб на виході з випарника утворилася ледве перегріта пара. Повернення мастила з випарника в компресор звичайно не представляє проблеми, тому що швидкість пари холодоагенту після повного випаровування настільки висока, що він сам захоплює мастило і відводить його назад до компресора. Інша перевага такої технології полягає в тому, що випарник заповнений рідким холодоагентом у меншій кількості, ніж при експлуатації випарників затопленого типу.

Двохтрубна конструкція («Труба в трубі») застосовується в основному для малих продуктивностей (< 40 кВт). Перевага такої конструкції полягає в тому, що

обидві рідини, що беруть участь у теплопередачі, одержують зустрічний напрямок, що точно відповідає протипотоку. Це має значення при використанні неізотропних сумішей холодоагенту в холодильних установках, тому що випаровування сумішей відбувається не при постійній, а при зростаючій вздовж напрямку потоку температурі.

Змієвикові, регисторні, пластинчасті конструкції. Холодоагент, призначений для випаровування, подається всередину змієвика, реєстра чи пластин. Такі конструкції застосовують у тих випадках, коли випарники вмонтовані в круглі чи багатокутні резервуари, де протікає охолоджувана рідина..

Найбільше поширення отримали змієвико - трубні конструкції. В випарниках, які охолоджують повітря чи газ, можливі два режими експлуатації: повне і неповне випаровування.

Для повного випару в ряд паралельних змієвиків через термостатичні регулюючі вентилі і розподільники подається стільки холодоагенту, скільки необхідно, щоб на виході з випарника утворилася злегка перегріта пара холодоагенту. При неповному випаровуванні в ряд паралельних змієвиків за допомогою насоса подається збільшене в n раз ($n = 2-4$) кількість холодоагенту, що випаровується.

Коефіцієнти теплообміну холодоагентів, що випаровуються, менші чи майже рівні таким же коефіцієнтам для потоку рідини, як елемент, що передає тепло, використовують гладку трубу чи трубу зі збільшеною поверхнею (орєбрена труба) з боку холодоагенту. Важливо не забувати, що теплоносій часто забруднює систему і викликає корозію. Ці особливості впливають на вибір випарника.

2.5. Геліосистеми та їх класифікація

Системи, які перетворюють енергію сонячного випромінювання в теплову, можна умовно розділити на дві групи: пасивні (приймачем випромінювання є сама споруда) і активні (енергія уловлюється і трансформується в спеціальних установках).

Пасивні системи самі прості та дешеві, тому що не потребують додаткових пристроїв для поглинання, перетворення і розподілу сонячної енергії. Пасивне використання сонячної енергії опалення будівель відбувається за рахунок відповідних архітектурно-проектувальних і конструктивних рішень задач [15].

Незважаючи на деякі переваги пасивних систем, більше поширення для опалення і гарячого водопостачання будівель одержали активні системи, тобто системи зі спеціально встановленими пристроями для поглинання, перетворення, акумулювання і розподілу сонячної енергії. Активні геліосистеми можуть бути підрозділені:

- за призначенням (системи гарячого водопостачання, опалення, комбіновані системи для цілей теплохолододопостачання);
- за видом використовуваного теплоносія (рідинні - вода, антифриз і повітряні);
- за тривалістю роботи (цілорічні, сезонні);
- за технічним рішенням схем (одно-, двох-, багатоконтурні).

Широко розповсюджені теплоносії в геліосистемах рідини (вода, водні розчини незамерзаючих рідин) і повітря, кожний з яких має певні переваги і недоліки.

Повітря є широко розповсюдженим незамерзаючим у всьому діапазоні робочих параметрів теплоносієм. При застосуванні його в якості теплоносія можливе сполучення систем опалення з системою вентиляції. Однак повітря малотеплоємний теплоносій, що веде до збільшення витрати металу на улаштування систем повітряного опалення в порівнянні з водними системами.

Вода є теплоємним і широко доступним теплоносієм. Однак при температурах нижче 0°C в неї необхідно додавати незамерзаючі рідини, що веде до деякого зниження її теплотехнічних властивостей. Крім того, потрібно враховувати, що вода, насичена киснем, викликає корозію трубопроводів і апаратів. Але витрата металу в водних геліосистемах значно нижче, що в великій ступені сприяє більш широкому їхньому застосуванню.

Сезонні геліосистеми звичайно одноконтурні та функціонують в літні та перехідні місяці, в періоди з плюсовою температурою зовнішнього повітря. Вартість сезонних геліосистем гарячого водопостачання може складати від 5 до 15 % вартості об'єкта і залежить від кліматичних умов району будівництва.

Значний інтерес представляють комбіновані геліосистеми, в яких в якості трансформатора теплоти використовується тепловий насос, який працює в літній період в режимі охолодження, а в зимовий – в опалювальному режимі. Це дозволяє повисити ефективність цих геліосистем.

2.6. Основні елементи активних геліосистем

Основними елементами активної сонячної системи є геліоприймач, акумулятор теплоти, додаткове джерело чи трансформатор теплоти (тепловий насос), її споживач (системи опалення і гарячого водопостачання). Вибір і компонування елементів в кожному конкретному випадку визначаються кліматичними умовами, призначенням об'єкта, режимом теплоспоживання, економічними показниками.

2.6.1. Сонячні абсорбери

Розглянемо прості по конструкції неосклянені геліоприймачі – сонячні абсорбери, які дозволяють ефективно використовувати сонячну енергію не тільки в південних, але й в північних широтах, при будь – яких погодних умовах і в ночі.

Сонячні абсорбери складаються з теплосприймаючої панелі з каналами, по яким циркулює теплоносій. Теплосприймаюча панель не ізолюється склом з боку, який повернений до сонця, а частково і теплоізоляцією зі зворотної сторони. В зв'язку з цим відпадає необхідність в корпусі, що значно знижує вартість даної конструкції в порівнянні із сонячними колекторами. Теплоносій подається з постійною температурою на 3...5°C градусів нижче температури навколишнього повітря. Охолодження теплоносія відбувається за допомогою теплового насоса. За рахунок цього можливо корисне використання не тільки прямої і розсіяної сонячної радіації, але і теплоти атмосфери, опадів, фазових перетворень при конденсації і

утворенні інею на їхній поверхні [15]. Можлива також утилізація тепловтрат через огорожувальні конструкції при сполученні з ними абсорбера.

Сонячні абсорбери фактично не мають втрат тепла [26, 25]. Лише 5...10 % падаючої на їхню поверхню сонячної радіації відбивається від неї в залежності від кольору і якості покриття. Власне теплове випромінювання абсорбера на небозвід і навколишні поверхні також чи відсутнє, чи абсорбер сам сприймає довгохвильове випромінювання небозводу і навколишніх поверхонь. Абсорбери не потребують очищення від пилу, тому що він збільшує коефіцієнт поглинання сонячної радіації. До пристрою сонячних абсорберів пред'являються наступні вимоги: високі поглинальні властивості поверхні за рахунок її структури, кольору, орієнтації, високі теплопровідність, довговічність (корозійностійкість), низька вартість.

В якості абсорційних геліоприймачів частіше всього використовуються теплосприймаючі панелі двох типів: типу лист – труба і штамповані панелі з алюмінію і сталі. Недоліком першої конструкції є невелика площа контакту труб з листом. Недоліком іншої конструкції є низький термін служби, бо така панель бисто кородує з внутрішньої сторони.

Сонячні абсорбери встановлюють на даху чи можуть бути її конструктивними елементами, а також застосовуються в вигляді облицювочних стін або елементів огорожі. Абсорбери монтуються під кутом до горизонту, який дорівнює географічній широті місцевості $\pm 15^\circ$.

Основний недолік сонечних абсорберів – необхідність підтримки постійно низького температурного рівня теплоносія, через що не можливе його використання для опалення і гарячого водопостачання будівель в зимовий період. Для підвищення потенціалу низькотемпературного носія застосовують тепловий насос.

Розрахункова схема сонячного абсорбера приведена на рисунок 2.8.

Сонячна радіація (пряма й дифузна) поступає на поверхню сонячного абсорбера, поглинається панелью і перетворюється в теплову Q_{CP} , яка від теплопоглинаючої панелі передається теплоносію $Q_{ж}$ (рідині), який циркулює в каналах абсорбера. Одночасно відбувається теплообмін теплопоглинаючої панелі з наружною $Q_{н}$ і внутрішніми $Q_{вн}$ середовищами.

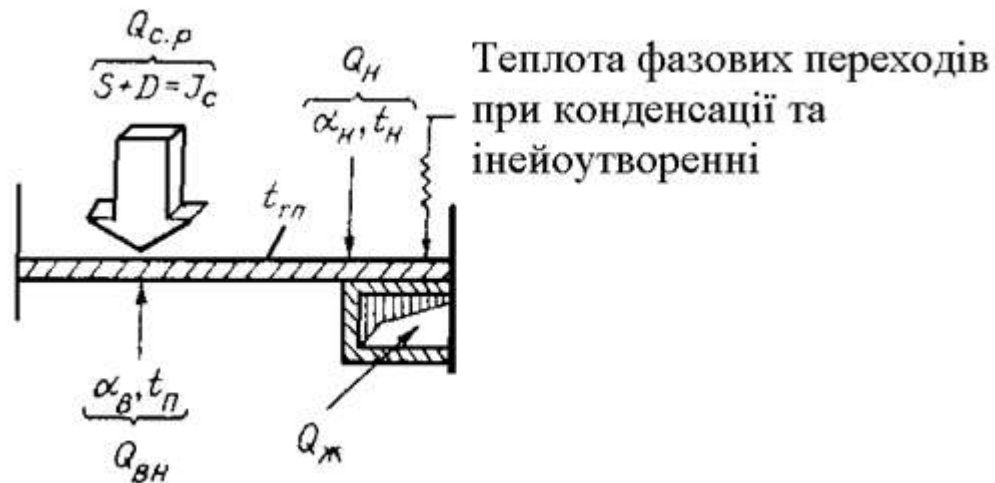


Рис. 2.8. Розрахункова схема сонячного абсорбера

Рівняння (2.4) теплового балансу одиниці довжини сонячного абсорбера може бути записане у вигляді:

$$Q_{c.p} + Q_H + Q_{BH} = Q_{ж}. \quad (2.4)$$

Розшифрувавши важливу складову теплового балансу за формулою 2.5 з врахуванням конструкції абсорбера (рисунок. 2.8.), отримаємо:

$$J_{cp} p F + \alpha_H F (t_H - t_{TP}) + \alpha_B F \eta_{OP} (t_{II} - t_{TP}) = Q_{ж}, \quad (2.5)$$

де J_{cp} – інтенсивність сумарної сонячної радіації, Вт/м², розрахована при обробці багаторічних метеорологічних даних метеостанції;

p – коефіцієнт поглинання панелі абсорбера, отриманий в результаті його теплотехнічних випробувань;

F – площа одиниці довжини по ходу теплоносія теплопоглинаючої поверхні панелі абсорбера, м²;

α_H – коефіцієнт теплообміну конвекцій на зовнішні теплопоглинаючі панелі, Вт/(м² К);

α_B – сумарний коефіцієнт теплообміну конвекцій і випромінюванням між повітрям приміщення і внутрішньою ребреною стороною абсорбера, Вт/(м² К);

t_H – температура зовнішнього повітря, °С;

t_{TP} – температура теплопоглинаючої поверхні панелі, °С;

t_{II} – температура повітря в тіні, °С;

η_{OP} – коефіцієнт термічної ефективності оребрення, який розраховується з врахуванням конструктивної особливості абсорбера розраховують за формулою (2.6):

$$\eta_{OP} = 1 + \frac{F_p}{F} \eta_p \quad (2.6)$$

де F_p – площа бокових поверхонь ребер одиниці довжини абсорбера, м²;

η_p – термічна ефективність ребра, в залежності від його геометричних розмірів.

2.6.2. Акумулятори теплоти

Баки-акумулятори - важливий компонент системи сонячного опалення і гарячого водопостачання, тому що головною особливістю сонячної радіації є періодичність її надходження на поверхню землі протягом доби, місяця, року і розбіжність максимумів навантаження теплоспоживання і теплопостачання. Баки-акумулятори звичайно представляють собою металеву ємність. Корпус бака ізолюється теплоізоляцією чи міститься в ґрунті.

В акумуляторах з рідкими чи твердими наповнювачами енергія накопичується за рахунок теплоємності матеріала наповнювача. В фазових акумуляторах тепла енергія накопичується при плавленні матеріала наповнювача і від дається при його затвердінні. В термохімічних акумуляторах енергія накопичується при проходженні ендотермічних хімічних реакцій і віддається при екзотермічних.

Акумулятори з твердим наповнювачем прості поустановці, але їх питома теплоємність в 4 рази менша, а густина вдвічі більша в порівнянні з водою. З техніко-економічної точки зору найбільш ефективні рідинні акумулятори. Вони можуть виготовлятися на базі ємкосних нагрівачів води, що випускаються індустріально, розширювальних баків, акумуляторів систем гарячого водопостачання і холоду холодильних машин, а також виготовлятися індивідуально в майстернях і на заводах. У геліосистемах обсяг бака-акумулятора вибирається з розрахунку на 1 м² сонячного абсорбера від 30 до 80 літрів води і розрахований звичайно на запас теплоти протягом 1...3 діб [15, 16, 17].

Висновки до розділу 2

Проведено аналіз сучасних засобів запобігання втратам, що застосовуються в найбільш розвинутих країнах світу. Визначені найбільш ефективні методи ресурсозберігаючих технологій, що можуть бути застосовані в специфічних умовах авіапідприємства.

Наведено класифікацію і межі використання теплових насосів (принцип дії та термодинамічні цикли).

Розглянуті і проаналізовані основні складові конструкцій теплових насосів. Обґрунтований вибір робочого тіла, компресорів, конденсаторів і випарників

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕЛІОТЕПЛОНАСОСНОЇ СИСТЕМИ

3.1. Принципова схема експериментальної установки

Активні геліосистеми опалення і гарячого водопостачання звичайно багатоконтурні і мають пристрої для прийому і перетворення сонячної енергії в теплову, акумулювання і розподілу її споживачам.

Розроблена геліосистема опалення із сонячними абсорберами і тепловим насосом, принципова схема якої приведена на рисунок 3.1. Вона складається з чотирьох основних контурів – геліоконтур з сонячним абсорбером, паливного теплообмінника, теплового насосу і споживача і двох проміжних. Зв'язок між основними і проміжними контурами здійснюється за допомогою теплообмінників, змонтованих у баках-акумуляторах.

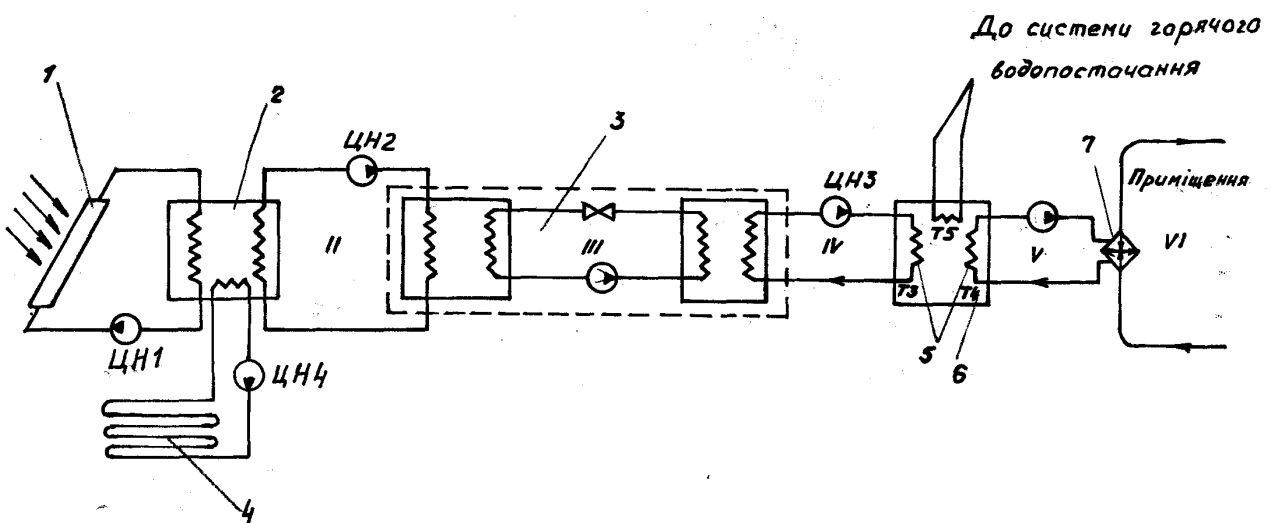


Рис. 3.1. Схема теплонасосної установки з сонячними абсорберами і паливним теплообмінником

- 1-сонячний абсорбер; 2-низькотемпературний бак-акумулятор; 3-тепловий насос; 4-паливний теплообмінник; 5-теплообмінники в низько- і високотемпературному баках-акумуляторах; 6-високотемпературний бак-акумулятор; 7-теплообмінник повітряної системи опалення

Геліосистема містить наступні основні елементи: сонячний абсорбер, паливний теплообмінник, низько- і високотемпературний баки-акумулятори, тепловий насос, споживач теплоти.

Сонячна радіація, яка поглинається, перетворюється в тепло в сонячному абсорбері і передається за допомогою теплоносія, яким в літку служить вода, а взимку водяний розчин етиленгліколю.

Контур теплового насоса складається з випарника, компресора, конденсатора, терморегулювального вентиля. З його допомогою можлива передача теплової енергії від джерела теплоти з низькою температурою до приймача теплоти з високою температурою при підведенні ззовні енергії для привода компресора. В якості робочого агента теплового насоса використовується хладон R-12.

До складу геліоконтурів входять сонячні абсорбери, відцентровий насос, змієподібний теплообмінник у низькотемпературному баці-акумуляторі.

Контур паливного теплообмінника складається з паливного теплообмінника, циркуляційного насоса, змієподібного теплообмінника в баці- акумуляторі.

Паливний теплообмінник являє собою вертикальний трубчастий змієвик, розташований вздовж стінок в резервуарі. Накопичена в паливі теплота являє собою акумульовану сонячну енергію. Теплообмінник відбирає теплоту з палива. Теплоносій з температурою $+2...+4^{\circ}\text{C}$ подається через паливний теплообмінник. Забираючи тепло з палива, він нагрівається і відводить його в низькотемпературний бак-акумулятор. Отриманий високотемпературний теплоносій ($60 - 70^{\circ}\text{C}$) подається на потреби споживача.

В якості теплообмінника застосовується регісторний вертикально-трубний випарник для охолодження рідини. Бак-акумулятор і трубопроводи ізолювані мінераловатними матами.

Сонячний абсорбер поглинає сонячну енергію і перетворює її в теплову, яка через стінки каналів теплопровідністю і тепловіддачею передається теплоносію. В якості теплоносія в геліоконтурі використовується незамерзаюча рідина. В зв'язку з тим, що температурний рівень теплоносія вибирається нижче температурного рівня навколишнього повітря, поверхня сонячного абсорбера сприймає теплоту

навколишнього повітря. При цьому, якщо температура частини чи всієї поверхні нижче температури точки роси, на ній відбувається конденсація водяних парів, і якщо вона також нижче температури замерзання, то відбувається утворення інею. Тепло цих процесів через стінку передається теплоносію. Його циркуляція в контурі сонячних абсорберів здійснюється циркуляційним насосом ЦН1.

Теплоносій транспортує засвоєну теплоту в низькотемпературний бак-акумулятор, де вона накопичується. Для передачі теплоти від теплоносія сонячного контуру акумулюючій рідині в нижній частині низькотемпературного бака-акумулятора змонтований теплообмінник Т1. Аналогічно відбувається і відбір теплоти з резервуарів з паливом, тут у роботу включаються теплообмінник Т2 і насос ЦН2. З низькотемпературного бака-акумулятора тепла енергія передається через теплообмінник Т3, який змонтований в верхній частині бака, теплоносію, що циркулює в контурі випарника теплового насоса і спонукуваному циркуляційним насосом ЦН3.

У випарнику тепло передається від теплоносія робочому тілу теплового насоса, що при цьому випаровується. Пари робочого тіла надходять у компресор теплового насоса, де відбувається їхній стиск за рахунок підведення енергії від електричного двигуна, у результаті чого підвищуються їхній тиск і температура. Потім пари робочої речовини подаються в конденсатор, де конденсуються, віддаючи при цьому теплоту теплоносію, який циркулює в контурі високотемпературного бака-акумулятора і спонукуваному циркуляційним насосом ЦН3. Нагрітий теплоносій передає теплоту через теплообмінник Т4 у високотемпературний бак-акумулятор, в якому відбувається акумуляція енергії високого потенціалу, яка передається споживачу. Теплота з високотемпературного бака-акумулятора передається теплоносію через теплообмінник Т5, змонтований в верхній частині бака, і направляється в систему споживача.

З конструктивної точки зору найбільш прийнятна для використання в якості сонячного абсорбера модель РСВ 5-1-6, теплотехнічна характеристика якої досліджується в данні роботі. Цю модель можна застосовувати як елемент екранування резервуарів.

Конструкція РСВ 5-1-6 типу лист-труба з трубами квадратного чи прямокутного перетину, яка дозволяє усунути недоліки існуючих конструкцій абсорберів типу лист-труба і містить у собі наступні основні елементи: теплопоглинаючий лист товщиною 1...1,5 мм; зварений трубний реєстр з труб квадратного чи прямокутного перетину; приєднувальні штуцера; прямокутні чи квадратні скоби і пластини, які притискають за допомогою болтів трубний реєстр до теплопоглинального листа.

Сталевий теплопоглинаючий лист розмірами 1950×1850×1,5 мм виконаний з отворами діаметром 7 мм під болтами, а зі сторони, поверненої до сонця, пофарбований в чорний матовий колір.

Трубний реєстр зварюється з труб квадратного (ГОСТ 8639-82) чи прямокутного (ГОСТ 13663-68) перетину розмірами 25×28×1,5 мм і містить вертикальні труби, що з'єднують розподільний і збірний колектори, до яких з нижньої сторони приварені штуцери діаметром 15 мм. За їх допомогою сонячний абсорбер приєднується до подаючого і зворотнього трубопроводів. Відстань між центрами колекторів 1552 мм, а між центрами вертикальних труб 150 мм, що відповідає оптимальним теплотехнічним характеристикам сонячного абсорбера.

Труби прямокутного перетину, мають велику площу контакту і щільно контактують з теплопоглинаючим листом за рахунок притиснення скобами і металевими пластинами за допомогою болтів, що приводить до збільшення коефіцієнта теплопередачі і термічного коефіцієнта корисної дії абсорбера. Зварений трубний реєстр кріпиться до теплопоглинаючого листа за допомогою скоб, пластин і болтів (при серійному виробництві замість болтів можуть застосовуватися заклепки), які притискають його до листа. Скоби прямокутного перетину товщиною 1...1,5 мм охоплюють, прямокутні труби з трьох сторін по всій довжині і додають конструкції абсорбера твердість, збільшуючи його довговічність і інерційність. Металеві пластини товщиною 2 - 4 мм розміщені між трубами трубного реєстра і також додають конструкції твердість, збільшуючи інерційність абсорбера і термічну ефективність ребра, що приводить до збільшення коефіцієнта теплопередачі, а отже, і коефіцієнта корисної дії.

Через те що режим роботи абсорбера – цілорічний, то труби прямокутного перетину розміщуються на зворотній стороні листа, що сприяє видаленню снігу, інею, дощової і талої води з зовнішньої поверхні абсорбера, інтенсифікуючи теплообмін.

Працює сонячний абсорбер таким чином. Теплоносій подається в сонячний абсорбер з температурою на 8...10°C градусів нижче температури навколишнього середовища. За рахунок цього можливе корисне використання не тільки прямої і розсіяної сонячної радіації, але і теплоти атмосфери, опадів, фазових перетворень при конденсації і утворенні інею на поверхні абсорберів. Під дією енергії прямої і дифузійної сонячної радіації, а також конвективного тепла навколишнього середовища металевий лист нагрівається. Частина теплової енергії, яка поглинається ним, передається теплопровідністю і тепловіддачею теплоносію, а інша частина - пластинам, розміщеним у міжтрубном просторі, і потім по пластині в напрямку до стінки труби - також шляхом теплопровідності. Теплоносій, який надходить через вхідний штуцер в розподільний колектор, рівномірно розподіляється по трубах прямокутного перетину, які щільно контактують з металевим листом. Циркуючи по трубах, теплоносій нагрівається, відбираючи теплоту від металевого листа і пластин. Нагрітий теплоносій через, вивідний штуцер відводить теплоту.

Запропонована конструкція сонячного абсорбера за рахунок трубного регістра має значну твердість, що дозволяє витримувати снігові і вітрові навантаження. Труби прямокутного перетину мають велику площу контакту з листом, а рівномірне притиснення до листа за допомогою скоб і пластин - кращий контакт з поверхнею, ніж при зварному з'єднанні, що призводить до збільшення коефіцієнта корисної дії даної конструкції.

Оскільки параметри зовнішнього клімату протягом доби, місяця і року непостійні (надходження сонячної радіації має добову і річну нерівномірність, сильно залежить від стану хмарності) і теплота відповідно підводиться і відводиться від установки також нерівномірно, тому в схему введені баки-акумулятори : один з боку джерела, а інший з боку споживача енергії. Низькотемпературний бак-акумулятор призначений для згладжування нерівномірностей надходження теплової

енергії з боку сонячних абсорберів і паливного теплообмінника і вирівнювання температури випаровування теплового насоса. Високотемпературний бак-акумулятор служить для згладжування нерівномірностей споживання теплової енергії системою опалення і гарячого водопостачання. Баки-акумулятори виконуються звареними з листового металу з корозійностійким фарбуванням зсередини. В середині баків-акумуляторів умонтовані теплообмінники контурів: T1 - сонячного, T2- паливного, T3 - на низькотемпературній стороні, T4 - конденсатори теплового насоса і T5 – споживача на високотемпературній стороні. Зовні баки ізолюються мінераловатними плитами товщиною не менш 100 мм. Теплоакumuлюючим середовищем у низькотемпературному баці служить незамерзаюча рідина (водяні розчини гліцерину, етиленгліколю і хлористого кальцію), а у високотемпературному - вода.

Через те що температурний рівень теплоносія в сонячних абсорберах низький, то в схему включається тепловий насос для підвищення температурного рівня засвоєної теплоти. Використовується теплонасосна установка «Carrier» з автоматичним регулюванням продуктивності, що працює на хладоні R-12.

3.2. Описання вимірювального комплексу

Основні теплотехнічні характеристики сонячного адсорбера, що витікають з балансового рівняння, яке розглядалося раніше - це загальний коефіцієнт теплопередачі та коефіцієнт поглинання. Оскільки обидва ці параметри є невідомими, то дослідження для їх визначення слід проводити окремо, виключаючи при цьому вплив одного з них.

Для знаходження коефіцієнта теплопередачі проводились експерименти, при яких було виключено вплив променевої складової потоку $Q_{c.p}$ на процеси теплообміну на теплопоглинаючій панелі сонячного абсорбера. Тоді балансове рівняння (3.1) зводиться до такого вигляду:

$$k_{заг} F (t_n - t_{mn}) = Gc (t_{pk} - t_{pn}) \quad (3.1)$$

Загальний коефіцієнт теплопередачі $k_{заг}$ є функцією форми теплопоглинаючої панелі абсорбера, швидкості руху теплоносія, його початкової температури,

рухомості повітря на поверхні, температури довкілля, фізичних властивостей рідини, кута нахилу абсорбера до горизонту розраховують за формулою (3.2):

$$k_{заг} = f(G, \alpha, v, t_n, t_{mn}, t_{pn} \dots), \quad (3.2)$$

де α – кут нахилу абсорбера до горизонту, град;

v – рухомість повітря на поверхні абсорбера, м/с.

Ця залежність була досліджена на експериментальному стенді, принципова схема якого представлена на рисунку 3.2.

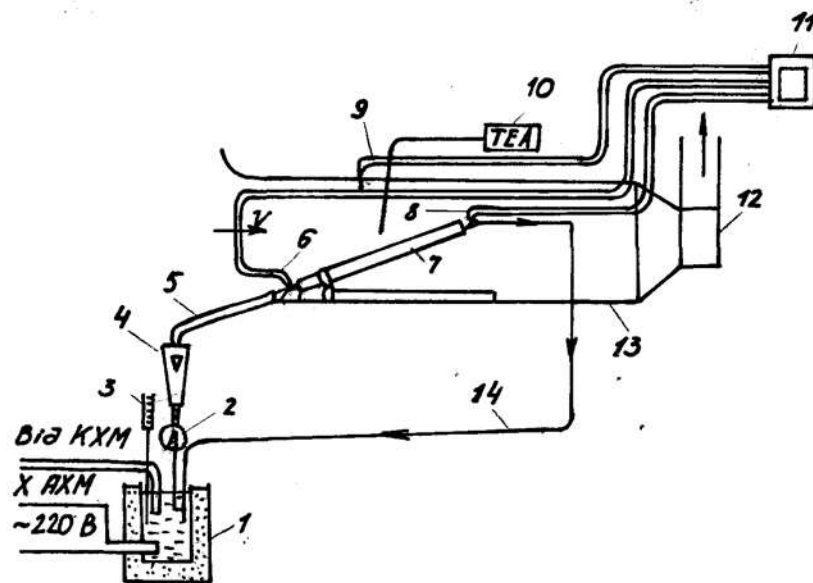


Рис. 3.2. Схема експериментального стенду.

1-термостат; 2-циркуляційний насос; 3-контактний термометр; 4 - ротаметр; 5- ізолюваний подаючий трубопровід; 6,8 - термопари на вході та виході із абсорбера; 7-сонячний абсорбер; 9-термопара для заміру температури навколишнього середовища; 10-термоелектроанемометр; 11- самописний потенціометр КСП-4-И; 12-вентилятор; 13-аеродинамічна труба; 14-зворотній трубопровід.

Сонячний абсорбер розташовується в аеродинамічній трубці під необхідним кутом нахилу α . За допомогою циркуляційного насоса теплоносій з термостату через ротаметр по ізолюваному трубопроводу подається в сонячний абсорбер. Проходячи через абсорбер, теплоносій забирає чи віддає тепло повітрю і потім по зворотному трубопроводу повертається у термостат. Охолодження рідини в термостаті здійснюється холодильним агрегатом, а нагрів – електронагрівачем. За

допомогою контактного термометру встановлюється і підтримується на визначеному рівні температура теплоносія в термостаті. При її зниженні нижче заданого значення вмикається електронагрівач і доводить температуру теплоносія до заданої.

Коефіцієнт теплопередачі $k_{\text{заг}}$ знаходиться за формулою (3.3), отриманою з рівняння (3.1):

$$k_{\text{заг}} = \frac{G \cdot v \cdot (t_{\text{рк}} - t_{\text{рн}})}{F \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{тп}})} \quad (3.3)$$

Виходячи з формули (3.3) для визначення коефіцієнта теплопередачі $k_{\text{заг}}$ вимірюються наступні параметри: температура теплоносія на вході в абсорбер $t_{\text{рн}}$ і на виході з нього $t_{\text{рк}}$, температура навколишнього повітря $t_{\text{н}}$, витрата теплоносія, який пройшов через абсорбер G , рухомість повітря на поверхні абсорбера v . Для вимірювання температур $t_{\text{рн}}$, $t_{\text{рк}}$ і $t_{\text{н}}$ використовуються хром-копельові термометри. Реєстрація цих температур здійснюється за допомогою самописного потенціометра КСП4-И з точністю $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Витрата теплоносія G вимірюється ротаметром типу КЛП. Рухомість повітря в аеродинамічній трубці визначається термоелектроанемометром. Одночасно вимірюються температури оточуючих абсорбер поверхонь і оцінюється частка променевої складової. В зв'язку з тим, що діапазон температур поверхні сонячного абсорбера обирається приблизно рівним температурі оточуючих абсорбер поверхонь, впливом випромінювання можна знехтувати.

Дослідження по визначенню коефіцієнта поглинання поверхні сонячного абсорбера у вигляді штампованого радіатора РВС 5-1-6 та його коефіцієнта теплопередачі при обліку променевого потоку сонячної радіації проведені на експериментальній установці, схема якої приведена на рисунок 3.3.

Сонячний абсорбер встановлюється на південному боці споруди на спеціально обладнаній підставці. За допомогою циркуляційного насосу теплоносії з термостату по ізольованому трубопроводу подається в абсорбер. Проходячи через нього, теплоносії забирає тепло від теплопоглинаючої панелі абсорбера і потім по зворотному трубопроводу повертається до термостату, який призначений для

нагрівання рідини до потрібної температури і є прототипом баку-акумулятору в загальній схемі установки. Термостат обладнаний циркуляційним насосом і контактним термометром. В термостаті розташований випарник холодильного агрегату ФАК-0,7Е холодовиробничністю 1120Вт. Холодильний агрегат є моделлю теплового насосу і призначається для охолодження теплоносія в термостаті до заданого значення. Конденсатор, що охолоджується потоком повітря від осьового вентилятора, подає тепло в приміщення.

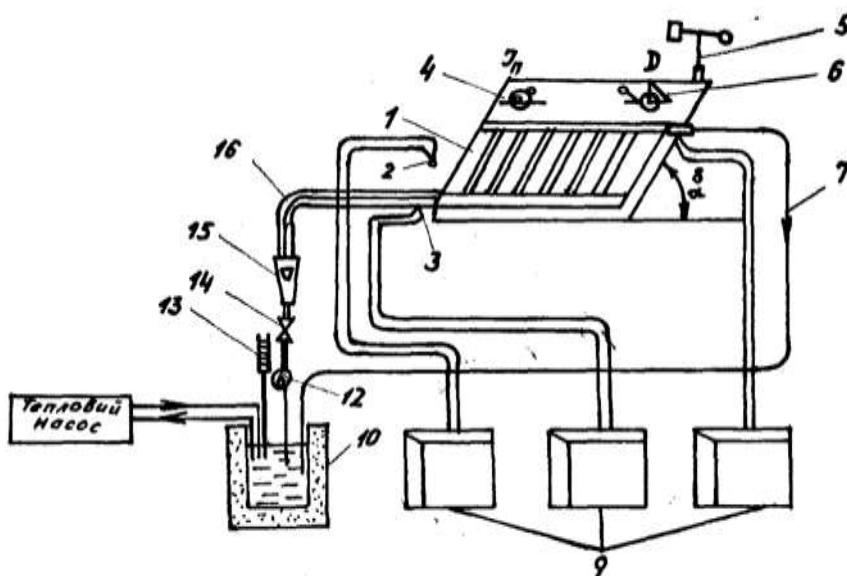


Рис. 3.3. Схема експериментального стенду для визначення коефіцієнта поглинання.

1-сонячний абсорбер; 2, 3, 8 – хромель-копелеві термопари;
 4, 6-піранометри для визначення прямої та дифузної сонячної радіації;
 5-анеморумбометр; 7-зворотній трубопровід; 9-самописні потенціометри;
 10- термостат; 11-тепловий насос; 12-циркуляційний насос; 13-контактний термометр; 14- регулюючий вентиль; 15- ротаметр; 16-подаючий трубопровід

Експериментальні дослідження проводились при ясній і похмурій погоді, різному забарвленні поверхні абсорбера, наявності і відсутності теплової ізоляції з його зворотного боку, температурі теплоносія на вході в абсорбер, яка була як нижче температури навколишнього повітря (абсорбер поглинає тепло сонячної радіації і довкілля), так і вище (абсорбер поглинає тепло за рахунок теплообміну

внаслідок різниці температур його поверхні і довкілля). Таким чином, досліджувались різні можливі режими роботи сонячних абсорберів, що можуть мати при їх експлуатації [15].

Коефіцієнт поглинання поверхні абсорбера визначається за формулою, отриманою з балансового рівняння (3.4):

$$p = \frac{G \cdot v \cdot (t_{pk} - t_{pn}) - k \cdot F \cdot (t_n - t_{тп})}{J_c \cdot F_a} \quad (3.4)$$

де J_c – інтенсивність сумарної сонячної радіації, що падає на поверхню абсорбера, Вт/м²;

$J_c = J_n + D$, J_n – інтенсивність прямої сонячної радіації, що падає на поверхню абсорбера, Вт/м²;

D – інтенсивність дифузної сонячної радіації, Вт/м²;

F_a – площа поверхні сонячного абсорбера, яка повернена до сонця, м².

Виходячи з цього виразу для знаходження коефіцієнту поглинання p вимірюються наступні параметри: температура теплоносія на вході в абсорбер t_{pn} і на виході з нього t_{pk} , температура навколишнього повітря t_n , витрата теплоносія G , який пройшов через абсорбер, інтенсивність прямої J_n і дифузної D сонячної радіації, що падає на поверхню абсорбера, швидкість повітря v . Для вимірювання температур t_{pn} , t_{pk} та t_n використовується хромель-копельові термометри. Реєстрація цих температур здійснюється за допомогою самопишущих потенціометрів Ендим-621.02 з точністю $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Витрата теплоносія вимірюється ротаметром типу КЛП.

Інтенсивність прямої і дифузної радіації вимірюється альбедометрами. Сонячна радіація реєструється за допомогою самописних стрічкових одноточечних потенціометрів Ендим-621.02. Швидкість повітря v на поверхні абсорбера вимірюється анеморумбометром М-47, а реєстрація її виконується також самописним потенціометром Ендим-621.02 [15].

Для знаходження загального коефіцієнта теплопередачі використовується значення коефіцієнту поглинання, отримане в результаті експерименту.

3.3. Методика проведення експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження по визначення загального коефіцієнту теплопередачі сонячного абсорбера у вигляді сталю штампованого радіатора типу РСВ-5-1-6 без променевої складової теплового потоку проводились на експериментальному стенді (рисунок 3.2) в такій послідовності: при фіксованих куті нахилу геліоприймача, витраті теплоносія в ньому, температурі на вході змінювали швидкість набігаючого потоку повітря в аеродинамічній трубю. Визначивши за формулою (3.3) значення коефіцієнту тепловіддачі $k_{\text{заг}}$ на всьому діапазоні можливих швидкостей, змінювали один з фіксованих раніше параметрів і знов проводили заміри змінюючи швидкість.

В якості теплоносія використовувались вода і гліватин. Температура на його виході змінювалась від 2 до 60 °С з кроком 5 °С при температурі навколишнього середовища 16...25 °С. Різниця температур між поверхнею абсорбера та навколишнім повітрям змінювалась від 3 до 10 °С, що повністю перекриває можливий діапазон різниці температур, який виникає при експлуатації абсорбера. Витрата теплоносія змінювалась від 0,013 до 0,036 кг/с з кроком 0,007 кг/с, що відповідає робочим витратам при експлуатації. Кут нахилу абсорбера до горизонту змінювався від 0 до 45°, а рухомість повітря – від 0 до 10 м/с.

Дослідження з визначення коефіцієнту поглинання поверхні сонячного абсорбера та його коефіцієнта теплопередачі з урахуванням променевого потоку сонячної радіації, проведені на експериментальній установці, мали наступну послідовність. При фіксованому куті нахилу сонячного абсорбера та температурі на вході змінювалась витрата теплоносія. Після визначення за формулою (3.4) значення коефіцієнта поглинання на всьому діапазоні можливих витрат теплоносія змінювався один з фіксованих раніше параметрів та знову проводились заміри, при цьому змінювалась витрата теплоносію. Температури теплоносія на вході абсорбера змінювались від 10 до 60 °С з кроком 5°С при температурі навколишнього середовища 12...30 °С. Витрата теплоносія змінювалась від 0,012 до 0,4 кг/с з кроком 0,003 кг/с, що відповідає робочим витратам при експлуатації. Експеримент проводився при таких кутах нахилу абсорбера до горизонту 0°, 35°, 45°, 60°.

Одночасно визначався коефіцієнт поглинання поверхні сонячного абсорбера шляхом замырювання сумарної та відбиваючої сонячної радіації. Знаючи альbedo поверхні абсорбера, знаходили його коефіцієнт поглинання. Потім порівнювали його значення, отримані таким шляхом, зі знайденими за формулою (3.4).

Дослідження проводились для різних кольорових покриттів поверхні сонячного абсорбера: чорної, сірої, коричневої, синьої та жовтої.

Значення загального коефіцієнту передачі визначали за формулою (3.5):

$$k_{\text{заг}} = \frac{G \cdot \nu \cdot (t_{\text{рк}} - t_{\text{рн}}) - J_c \cdot \rho \cdot F_a}{F \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{тп}})}, \quad (3.5)$$

використовуючи значення коефіцієнту поглинання ρ , які були отримані в результаті експерименту.

Регулювання продуктивності теплового насосу здійснювалось шляхом відключення циліндрів – одного, двох, трьох. Вимірювання та реєстрація всіх параметрів проводились постійно. Дані, отримані в результаті вимірювань, оброблялись кожного дня за стрічками реєструючих приладів. В результаті кожної години визначалась кількість теплоти, яку споживали сонячні абсорбери, теплоти, отриманої на випарникові та конденсаторі теплового насосу, витрата електроенергії на привід теплового насосу, коефіцієнт перетворення установки та теплопродуктивність повітряної системи опалення приміщення.

Прилади, які використовувались в дослідженнях, мали високий клас точності (не нижче 0,5), були ретельно настроєні та перевірені, тому можливі тільки випадкові похибки. Ці похибки можуть бути зменшені шляхом багатократного повторення досліджень. Однак це не доцільно, тому що будуть необхідні великі матеріальні та часові ресурси. Значно дешевше і швидше можна отримати точніші дані математичною обробкою результатів вимірювань.

Результати математичної обробки наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Результати вимірювань

Номер вимірювання	y_k	\bar{y}	Δy_k	$S^2(y_k)$	$S(\bar{y})$	Критерій Стьюдента при $\alpha=1$	ε_α	$\bar{y} \pm \varepsilon_\alpha$	$\Delta y, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура навколишнього повітря $t_n, ^\circ\text{C}$									
1	13,6	14,11	-0,51	0,095	0,11	2,45	0,28	14,11 ± 0,284	2,01
2	14,0		-0,11						
3	14,4		+0,29						
4	14,0		-0,11						
5	14,3		+0,19						
6	14,0		-0,11						
7	14,5		+0,39						
Температура навколишнього повітря $t_{жн}, ^\circ\text{C}$									
1	17,3	16,79	+0,51	0,145	0,14	2,45	0,35	16,79 ± 0,353	2,10
2	16,8		+0,01						
3	16,8		+0,01						
4	16,5		+0,21						
5	16,2		-0,59						
6	16,7		-0,09						
7	17,2		+0,41						
Температура навколишнього повітря $t_{жк}, ^\circ\text{C}$									
1	17,7	17,6	+0,54	0,129	0,136	2,45	0,333	17,16 ± 0,983	1,94
2	17,2		+0,04						
3	17,2		+0,04						
4	16,8		-0,36						
5	16,7		-0,46						
6	17,0		-0,16						
7	17,5		+0,34						

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Інтенсивність сумарної сонячної радіації J_c , Вт/м ²									
1	215	213,3 3	+1,67	256,66 8	6,54	2,57	16,8	213,3 ± ±16,80	7,87
2	195		-18,33						
3	220		+6,67						
4	240		+26,6 7						
5	200		-13,33						
6	210		-3,33						
Інтенсивність дифузної сонячної радіації D , Вт/м ²									
1	35	35,33	-0,33	3,995	0,816	2,57	2,097	35,33 ± ±2,097	5,94
2	37		+2,33						
3	34		-1,33						
4	35		-0,39						
5	33		-2,33						
6	38		+2,67						
Швидкість вітру v , м/с									
1	2,9	3,37	-0,47	0,072	0,102	2,45	0,249	3,37 ± ±0,249	7,39
2	3,7		+0,33						
3	3,2		-0,17						
4	3,5		+0,13						
5	3,3		-0,07						
6	3,6		+0,23						
7	3,4		+0,03						
Витрата теплоносія G , кг/с									
$у_k \cdot 10^{-2}$ $\Delta у_k \cdot 10^{-2}$									
1	3,9	3,93· ·10 ⁻²	-0,03	3,82· ·10 ⁻⁷	7,746· ·10 ⁻⁴	2,57	1,99· ·10 ⁻³	3,93· ·10 ⁻² ± ± 1,99· ·10 ⁻³	5,06
2	4,0		+0,07						
3	3,85		-0,08						
4	3,9		-0,03						
5			+0,07						
6	3,95		+0,02						

Отримані значення відносної похибки показують, що вимірювання параметрів проведені з достатньою точністю.

3.4. Експериментальні результати дослідження геліотеплонасосної системи

В результаті обробки дослідних даних отримали залежності загального коефіцієнту теплопередачі від рухомості повітря (рисунок 3.4). Зі збільшенням рухомості повітря до 3 м/с коефіцієнт $k_{\text{заг}}$ зростає, а при її подальшому збільшенні залишається практично постійним. Також видно, що зі збільшенням кута нахилу абсорбера коефіцієнт теплопередачі від повітря до теплоносія зростає. З підвищенням витрати теплоносія від 0,013 до 0,02 кг/с також спостерігається зростання коефіцієнту теплопередачі, а при подальшому збільшенні витрати він змінюється незначно.

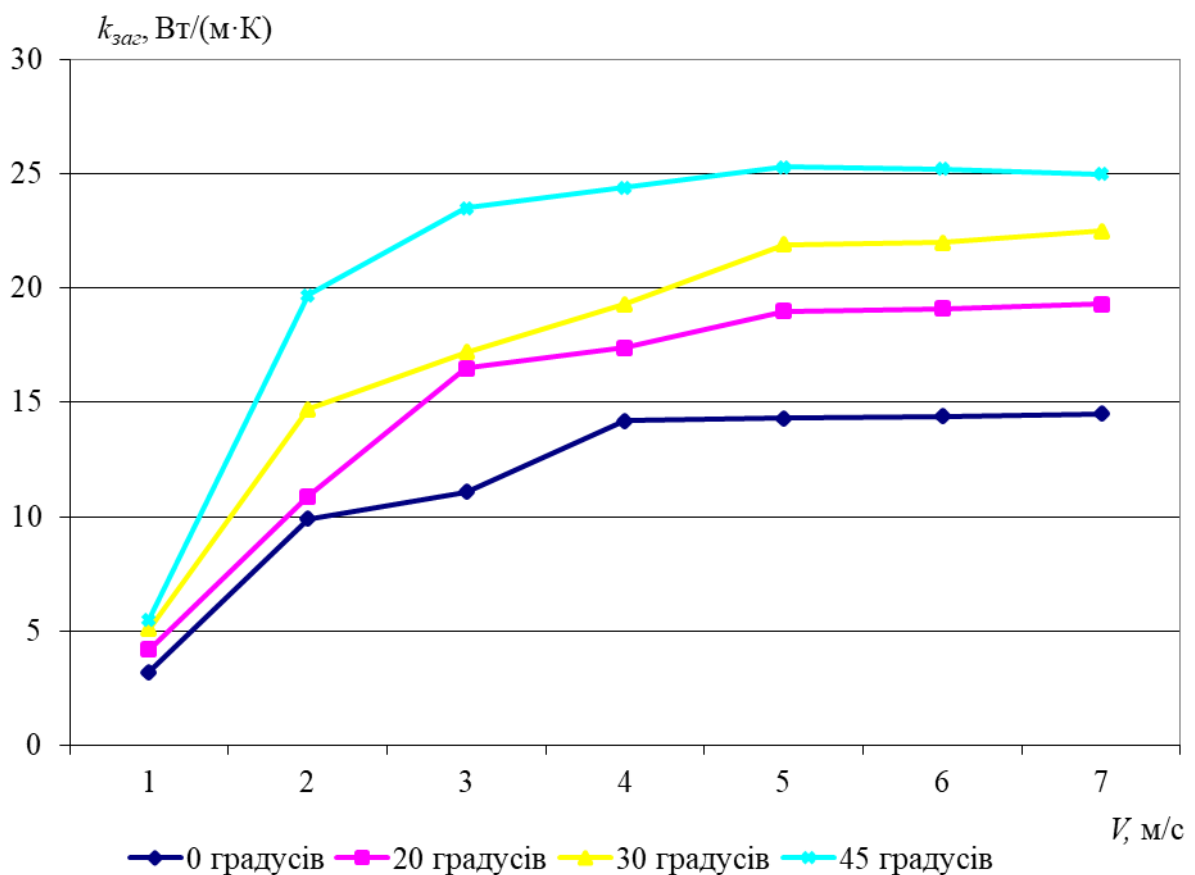


Рис. 3.4. Залежність загального коефіцієнту теплопередачі від рухомості повітря при фіксованому куті нахилу абсорбера до горизонту.

Значення коефіцієнту поглинання p сонячного абсорбера у вигляді штампованого радіатора типу РСВ-5-1-6 для різних кольорів покриттів наведені в таблиці 3.2 [15].

Таблиця 3.2.

Коефіцієнт поглинання для різних кольорових покриттів сонячних абсорберів

Колір покриття	Коефіцієнт поглинання
Чорний	
– незапилений	0,9
– запилений	0,96
Темно сірий	0,7
Коричневий (червоний сурик)	0,65
Темно синій	0,68
Жовтий	0,65

Побудовані залежності конвективної складової загального теплового потоку на поверхні абсорбера від різниці температур $t_n - t_{mn}$ при різних витратах теплоносія і кутах нахилу його до горизонту (рисунок 3.5). Зі збільшенням кута нахилу значення теплового потоку зростає, бо зростає величина променевого теплового потоку. Від витрати теплоносія конвективний тепловий потік залежить незначно, що виходить з експериментів [15, 18], хоча з його збільшенням при дослідженні сумісної роботи сонячних абсорберів і теплового насосу на експериментальному стенді отримано загальний коефіцієнт теплопередачі в залежності від стану поверхні, швидкостей вітру та витрати теплоносія (рисунок 3.6). Коефіцієнт теплопередачі залежить від стану поверхні сонячного абсорбера, а саме від процесів фазового перетворення на його поверхні. Можна сказати, що конденсація водяних парів на його поверхні збільшує коефіцієнт теплопередачі на 30%, тобто на 70 % це обумовлено схованою теплотою утворення і на 30% - збільшенням поверхні контакту. Конденсація водяних парів спостерігається у випадках, коли температура теплопоглинаючої панелі t_{mn} нижче або дорівнює температурі точки роси t_{mp} . Утворення інею на поверхні абсорбера проходить тоді, коли температура теплопоглинаючої поверхні

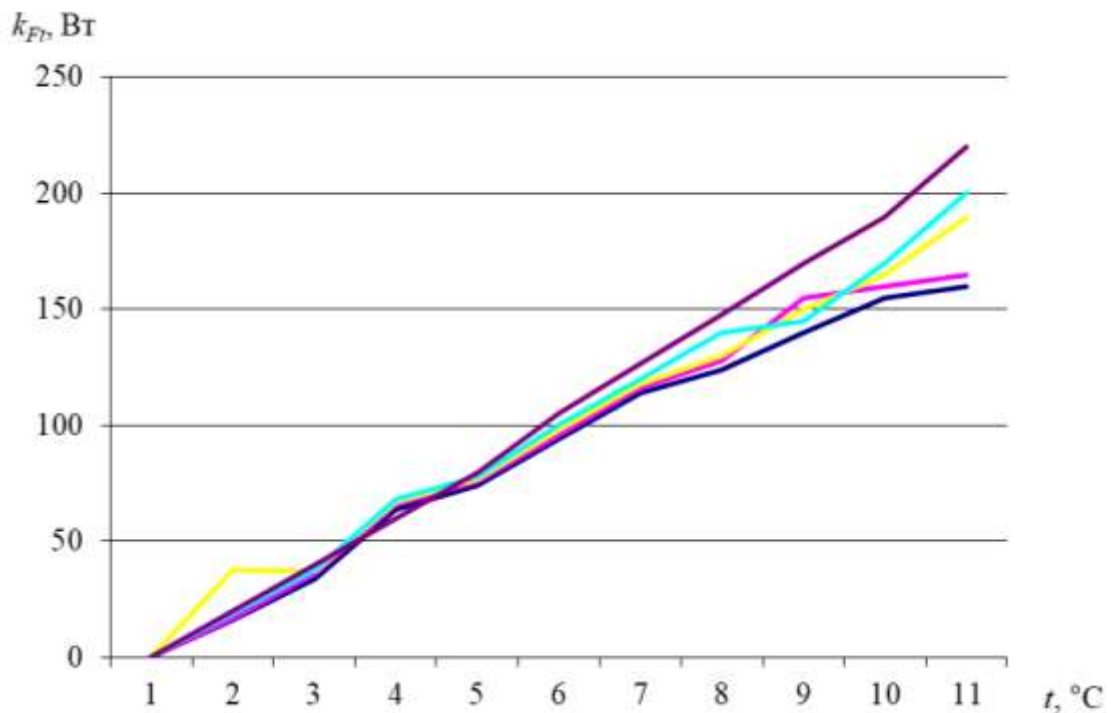


Рис. 3.5. Залежність конвективної складової загального теплового потоку на поверхні абсорбера від різниці температур при різних витратах теплоносія, який циркулює в абсорбері.

1-0,015; 2-0,019; 3-0,026; 4-0,033; 5-0,04

$t_{mn} < 0^{\circ}\text{C}$. При утворенні інею загальний коефіцієнт теплопередачі збільшується на 50 %, тобто на 80% зобумовлено прихованою теплотою утворення інею і на 20% - збільшенням поверхні контакту. При цьому вплив другої складової суттєвий тільки до товщини шару інею до 22 мм. Подальше збільшення товщини шару інею веде до зниження ефекту від його утворення за рахунок зростання опору теплопередачі. Швидкість вітру при цьому знижує ефект від збільшення поверхні, а збільшення витрати теплоносія підсилює його [18]. При кутах нахилу абсорбера до горизонту, більших ніж 45° , товщина інею не перевищує, як правило, 2 мм за рахунок осипання верхніх пухких шарів.

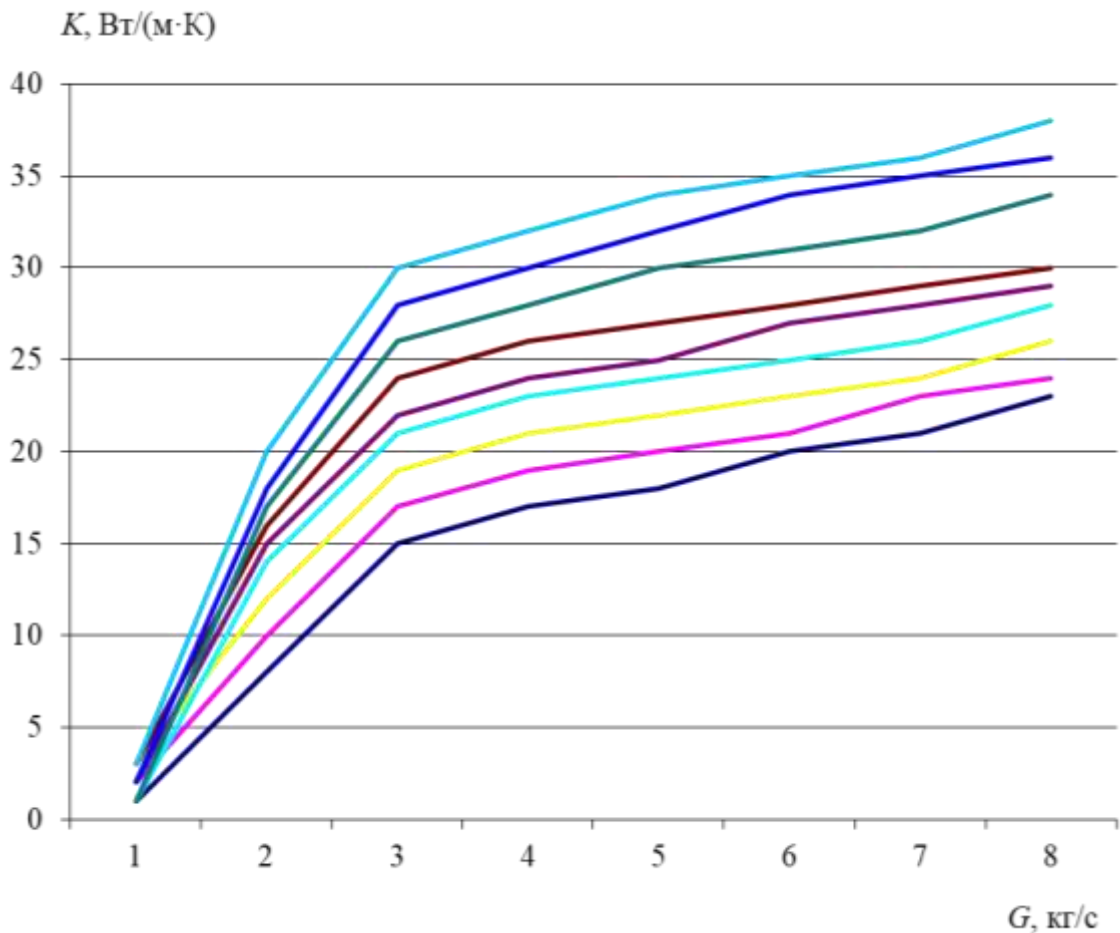


Рис. 3.6. Залежність коефіцієнту теплопередачі від витрати теплоносія, стану поверхні і швидкості вітру

В результаті обробки експериментальних даних був визначений коефіцієнт перетворення ε_{TH} експериментальної теплонасосної установки. Його залежність від температури зовнішнього повітря t_n приведена на рисунок 3.7. З пониженням температури зовнішнього повітря коефіцієнт перетворення теплового насоса також зменшується та при $t_n = -16$ °C стає рівним 1. Звідси можна зробити висновок, що експлуатація даної установки доцільна до температури зовнішнього повітря $t_n = -15$ °C.

В результаті дослідження ізольованих і неізольованих абсорберів видно, що при сумісній роботі сонячних абсорберів з тепловим насосом доцільніше застосовувати неізольовані абсорбери, бо при цьому зростає конвективний тепловий потік, який поглинає абсорбер.

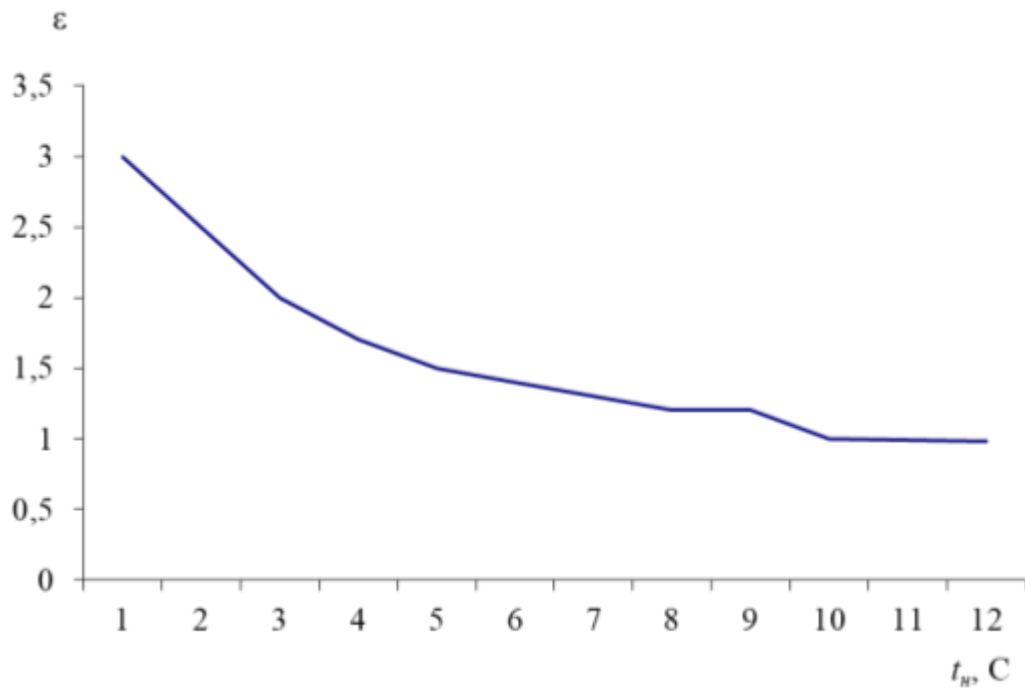


Рис. 3.7. Залежність коефіцієнта перетворення експериментальної геліотеплонасосної установки від температури зовнішнього повітря

Визначений загальний коефіцієнт теплопередачі сонячного абсорбера типу «лист-труба» з трубами прямокутного перетину в залежності від процесів, які проходять на його поверхні [15, 18] (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3.

Загальний коефіцієнт теплопередачі абсорбера

Стан поверхні, що покрита конденсатом чи інеем	Коефіцієнт теплопередачі k , Вт/(м ² ·К)
Суха поверхня	15
Покрито конденсатом, %:	
50	19,21
100	21,4
Покрито інеем, %:	
50	23,1
100	26,4

Результати експериментальних досліджень з визначення коефіцієнта теплопередачі приведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4.

Матриця вихідних даних та результати проведення дослідів

Номер дослідів	Умови дослідів				Результат
	α , град	v , м/с	t_n , °C	t_{mn} , °C	$k_{заг}$, Вт/(м ² ·К)
	x_1	X_2	x_3	x_4	
1	0	0	24,2	22,95	3,2
2	0	1,4	12	30,3	9,9
3	0	1,7	14	29,6	11,1
4	0	2,7	14,6	29,0	14,2
5	0	3,5	14	28,6	14,3
6	0	4,5	11,9	33,7	14,4
7	0	5,3	12	36,6	14,5
8	20	0	26,8	24,95	4,2
9	20	1,4	13,6	33,8	10,9
10	20	2,5	13	31,7	16,5
11	20	3,3	12,4	30,75	17,4
12	20	4	11,8	29,7	19,0
13	20	4,5	13,6	32,2	19,1
14	20	5,3	12,4	31,8	19,3
15	30	0	26,8	24,95	5,1
16	30	1,0	17,4	32,4	14,7
17	30	1,4	17,4	30,7	17,2
18	30	2,2	17,4	30,1	19,3
19	30	3	17,2	29,1	21,9
20	30	4	18	31,3	22,0
21	30	5,4	18,4	30,7	22,5
22	45	0	25	35,4	5,5
23	45	1,4	18	31,3	19,7
24	45	2,3	18,4	30,7	23,5
25	45	3	17,4	29,2	24,4
26	45	3,8	15,6	27,2	25,3
27	45	4,5	15,8	32,3	25,2
28	45	5,3	15,2	35,9	25

3.5. Оцінка точності результатів вимірювання

Математична обробка результатів вимірювань проводиться у наступній послідовності.

1. За формулою (3.6) визначаються середні арифметичні значення отриманих результатів:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_k \quad (3.6)$$

2. Знаходяться відхилення від середнього значення для кожного результату за формулою (3.7):

$$\Delta y_k = y_k - \bar{y} \quad (3.7)$$

3. Визначаються дисперсії за формулою (3.8):

$$S^2_{(y_k)} = \frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}{n - 1} \quad (3.8)$$

4. Розраховуємо за формулою (3.9) стандартні відхилення окремого визначення:

$$S_{(y_k)} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}{n - 1}} \quad (3.9)$$

а за формулою стандартні відхилення середнього результату:

$$S_{(\bar{y})} = \frac{S_{(y_k)}}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}{n \cdot (n - 1)}} \quad (3.10)$$

5. Здійснюється перевірка отриманих результатів за критерієм Стьюдента t_α для проведеного числа дослідів n при обраній довірчій вирогідності α . У більшості випадків при дослідженнях приймають $\alpha=0,95$.

Критерій t_α з довірчою вирогідністю α показує, у скільки разів модуль різниці між у істинним значенням визначаємої величини y і середнім значенням більше стандартного відхилення середнього результату розраховуємо за формулою (3.11):

$$t_\alpha = \frac{(y - \bar{y})}{S_{(\bar{y})}} \quad (3.11)$$

Розраховуємо похибку знайденого середнього результату за формулою (3.12):

$$\varepsilon_\alpha = t_\alpha \cdot S_{(\bar{y})} \quad (3.12)$$

та визначаємо інтервал, в якому з довірчою вірогідністю α буде знаходитись середній результат $\bar{y} \pm \varepsilon_\alpha$

6. За формулою (3.13) розраховуємо відносні похибки, %:

$$\Delta y = \frac{\varepsilon_\alpha \cdot 100}{\bar{y}} \quad (3.13)$$

7. Якщо значення ε_α відносно значення y велике, то результати, що обробляються, перевіряють за критерієм Стюдента чи максимального відхилення на наявність грубих помилок. Після виключення грубих похибок проводиться повторна обробка за такою ж схемою, але не враховуючи експериментальні дані, які були виключені.

Висновки до розділу 3

Проаналізовано і доведено можливість використання геліотеплонасосних систем на складах паливно-мастильних матеріалів. Одержані експериментальні результати використання сонячних абсорберів на резервуарах великої ємкості.

Розроблена теплонасосна геліоустановка у резервуарному парку складу паливно-мастильних матеріалів дозволяє:

- істотно зменшити втрати від випаровування палива;
- поліпшити екологічну обстановку;
- здобути дешеву енергію природнім шляхом;
- зменшити забруднення навколишнього середовища;
- використовувати відведене тепло на потреби складу;
- знизити витрати палива на одиницю виробленої теплоти в порівнянні з котельнями від 20 до 50%;
- забезпечити 3-4-кратну економію електроенергії в порівнянні з прямим електропостачанням;
- час можливої роботи теплонасосної установки збігається з часом, коли споживачам необхідна енергія

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Законодавча та нормативна база України про охорону праці

Законодавчими актами, які визначають основні положення про охорону праці, є загальні закони України, а також спеціальні законодавчі актами. Загальними законами України, що визначають, основне положення з охорони праці є Конституція України, Закон України «Про охорону праці», Кодекс законів про працю (КЗпП), Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності [19].

Стаття 43 Конституції України визначає, що кожен має право на працю. Держава створює умови для повного здійснення громадянами права на працю, гарантує рівні можливості у виборі професії та роду трудової діяльності. Кожен має право на безпечні і здорові умови праці, на заробітну плату не нижчу від визначеної законом. Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах забороняється. Громадянам гарантується захист від незаконного звільнення. Право на своєчасне одержання винагороди за працю захищається законом [20].

Кодекс законів про працю України регулює трудові відносини всіх працівників (далі-об'єкти), сприяючи зростанню продуктивності праці, поліпшенню якості роботи, підвищенню ефективності суспільного виробництва і піднесенню на цій основі матеріального і культурного рівня життя трудящих. Згідно статті 141 власник (далі-суб'єкт) або уповноважений ним орган повинен правильно організувати працю працівників, створювати умови для зростання продуктивності праці, забезпечувати трудову і виробничу дисципліну, неухильно дотримуватися законодавства про працю і правил охорони праці, уважно ставитися до потреб і запитів працівників, поліпшувати умови їх праці та побуту [21].

На суб'єкт або уповноваженого ним орган покладається систематичне проведення інструктажу (навчання) працівників з питань охорони праці, протипожежної охорони.

Суб'єкт зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці.

Суб'єкт несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених вимог.

До найважливіших підзаконних нормативно-правових актів з питань охорони праці належать:

- положення про видачу спеціальним уповноваженим центральним органом виконавчої влади з нагляду за охороною праці роботодавцеві дозволу на початок роботи підприємства, установи, організації;
- положення про розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на підприємствах, в установах і організаціях;
- правила відшкодування роботодавцем заподіяного працівникові ушкодження здоров'я, пов'язаного з виконанням ним трудових обов'язків;
- положення про порядок накладання штрафів на підприємства, установи і організації за порушення нормативних актів про охорону праці;
- список важких робіт та робіт із шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці жінок;
- граничні норми підймання і переміщення важких речей жінками;
- список виробництв, професій і робіт з важкими і шкідливими умовами праці;
- граничні норми підймання і переміщення важких речей неповнолітніми;
- перелік робіт з підвищеною небезпекою;
- типові положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці;
- перелік посад посадових осіб, які зобов'язані проходити попередню і періодичну перевірку знань з охорони праці;
- типові положення про службу охорони праці;

- типове положення про комісію з питань охорони праці підприємства;
- типове положення про роботу уповноважених трудових колективів з питань охорони праці.

Нормативна документація з питань охорони праці в Україні включає:

- державні нормативні акти про охорону праці, міжгалузеві та галузеві;
- систему стандартів безпеки праці — державні стандарти України (ДСТУ).
- міждержавні стандарти безпеки праці та міждержавні міжгалузеві та галузеві нормативні акти.

4.2. Небезпечні та шкідливі виробничі чинники при роботах на складі або об'єкті паливо-мастильних матеріалів

При роботах на складі або об'єкті ПММ на людину можуть впливати такі основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори згідно Державних санітарних норм та правил від 30.05.2014 р. [22]:

- підвищена загазованість повітря робочої зони, небезпечні та шкідливі хімічні речовини, що входять до складу ПММ та спецрідин;
- підвищене ковзання поверхонь споруд, обладнання та підлоги;
- підвищена або знижена температура поверхонь споруд та обладнання;
- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищений рівень шуму та вібрації;
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі;
- рухомі частини виробничого устаткування;
- ударна хвиля, висока температура (при вибуху та пожежі);
- струмені палива із трубопроводів, паливних рукавів та обладнання, що знаходяться під тиском;
- відсутність або нестача природного світла, освітленості робочої зони, підвищена яскравість, знижена контрастність світла;
- гострі кромки, задирки та шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів та обладнання;

- розташування робочого місця на значній висоті щодо поверхні землі (підлоги).

Крім того, при роботі на місцях стоянки ПС особливу небезпеку набуває загроза наїзду на працівника транспорту, що рухається, і робота на площинах ПС у разі верхньої заправки.

Вибухонебезпечна концентрація парів палива з повітрям може виникнути:

- над поверхнею палива та спецрідин усередині залізничної цистерни, резервуара, ємності паливозаправника, автомобільної паливної цистерні, бочки, а також у безпосередній близькості від них (як правило, зверху, у зоні «дихальних» клапанів);
- усередині випорожнених резервуарів;
- у тарному складі при витоку палива та спецрідин;
- у зонах проведення зливно-наливних операцій (на естакадах, причалах, пірсах, пунктах наливу, роздаткових майданчиках, місцях заправки ПС);
- у приміщенні насосної станції (у разі протоки чи витоку палива через сальники насосів, нещільності трубопроводів);
- у контрольних лабораторіях (у разі відсутності чи недостатньої вентиляції).

Основними джерелами займання пароповітряної суміші при проведенні зливно-наливних операцій з паливом є:

- відкрите полум'я, куріння;
- іскріння несправного електроустаткування;
- іскроутворення при терті, застосування неомідненого інструменту, несправності іскрогасників спецтранспорту: удар бочок при завантаженні, розвантаженні, відкритті пробок;
- розряди статичної електрики як всередині ємності, що заповнюється, так і на металевих конструкціях технологічного обладнання об'єктів і засобів паливозабезпечення;
- прямий удар блискавки, вторинні її прояви, занесення високих потенціалів [23].

4.3. Технічні та організаційні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників

На об'єктах ПММ аеропортів повинні дотримуватися вимог техніки безпеки та пожежної безпеки «Настанови щодо пожежної охорони у ЦА», «Інструкції з забезпечення заправлення повітряних суден паливно-мастильними матеріалами і технічними рідинами в підприємствах цивільного авіаційного транспорту України», а також в експлуатаційній документації заводів - виробників обладнання, та ДСТУ і ТУ на ПММ та спецрідинах [24, 25].

На складах ПММ та їх окремих об'єктах забороняється:

- виконання ремонтно-профілактичних робіт технологічного обладнання під час проведення зливно-наливних операцій;
- відігрівання замерзлих трубопроводів відкритим вогнем;
- використання інструментів, взуття, які можуть спричинити іскроутворення;
- використання несправних електроосвітлювальних приладів;
- самовільне переобладнання електромережі, влаштування тимчасових електроприладів, встановлення саморобних запобіжників;
- миття підлог, стін, машин та обладнання, а також прання одягу бензином та іншими легкозаймистими та горючими рідинами;
- застосування для протирання обладнання синтетичних тканин (замість ганчірки);
- куріння у всіх приміщеннях та на території, крім спеціально відведених (за погодженням з воєнізованою охороною) та відповідним чином обладнаних місць;
- в'їзд на територію техніки без іскрогасників;
- проведення зливно-наливних операцій під час грози.

За герметичністю споруд та обладнання має бути встановлений постійний контроль. Підтікання в арматурі та з'єднаннях повинні негайно усуватися. Випадково розлиті ПММ слід негайно прибирати та видаляти.

Приміщення, де в результаті технологічного процесу можуть виділятися пари та газу ПММ, повинні мати не менше двох виходів, розташованих у протилежних

кінцях. У цих приміщеннях стулки вікон і всі двері повинні відчинятися назовні. Верхні фрамуги та ліхтарі повинні мати пристрої для відкривання їх з підлоги або зі спеціальних майданчиків. Усі будівлі та споруди складу (за винятком резервуарів) повинні бути не нижче II ступеня вогнестійкості.

Об'єкти складу мають бути оснащені первинними засобами пожежогасіння відповідно до НПО ГА-85. Категорично забороняється використовувати протипожежне обладнання для інших цілей [24].

Проходи, виходи та підходи до засобів пожежогасіння не повинні захищуватися будь-якими предметами, матеріалами, обладнанням. Не допускається влаштування комор, майстерень і т.д. під маршами сходових кліток.

Для гасіння пожежі на складах ПММ слід передбачати установки: стаціонарні автоматичного пожежогасіння та пересувні, відповідно до вимог ВБН В.2.2-58.1-94, наказом Державіаслужби № 416 [25].

Стаціонарна установка автоматичного пожежогасіння складається з наступних споруд та обладнання:

- резервуарів для води;
- кільцевого протипожежного трубопроводу;
- резервуарів для зберігання піноутворювача чи його розчину;
- розчинопроводів;
- насосної станції пожежогасіння;
- системи автоматики та контролю;
- стаціонарних піногенераторів типу ДПСС;
- датчиків-термоповіщувачів (сигналізаторів пожежі);
- стаціонарної установки охолодження резервуарів;
- пристрої для забезпечення доступу до установок гасіння та інших приладів та пристроїв у період експлуатації та здійснення ремонту при їх обслуговуванні.

Монтаж та експлуатація піногенераторів провадиться відповідно до чинного типового проектного рішення 402-11-0145.87 «Комплектні установки автоматичного

пожежогасіння резервуарів сталевих вертикальних з використанням піногенераторів ГВПС-200, ГПСС-600 та ГПСС-2000» за погодженням.

Залежно від типорозміру резервуарів і піногенераторів, що використовуються, передбачається в типовому проекті два варіанти організації їх обслуговування зі спуском до кожної установки з покрівлі резервуара або підйомом із землі по сходах-драбинах.

I варіант - з установкою піногенераторів типу ГПСС-2000 на додаткових жорстких рамах та введенням їх піносливів у газовий простір резервуарів місткістю 5000 куб. м і більше вище їх стін через «вікно» в покрівлі, що прикриваються спеціальними зміцненими коробами.

II варіант - із встановленням піногенераторів за аналогією з ТП 402-11-59/74, тобто, із введенням піносливів ГПСС-600 та ГПСС-2000 у газовий простір резервуарів через «вікна» у верхньому поясі їх стінок [26].

Склади ПММ повинні мати надійний блискавкозахист та заземлення.

4.4. Розрахунок засобів гасіння пожежі.

Для зберігання авіапалива ТС-1 на уявному складі ПММ використовують сталеві вертикальні циліндричні резервуари рулонної зборки із збірним щитовим дахом РВС-3000. Фактичний об'єм з врахуванням умов заповнення (90%) буде складати 3006 м³. Необхідна кількість резервуарів для зберігання складатиме 5 одиниць.

Дані резервуару РВС-3000:

- Умовна місткість, м³ – 3000;
- Геометрична місткість, м³ – 3340;
- Висота резервуару, м – 11,82;
- Діаметр резервуару, м – 18,98;
- Кількість поясів корпусу, шт – 8;
- Маса металу загальна, т – 61,73.

Розрахунок засобів пожежогасіння проведено з урахуванням Правил пожежної безпеки в Україні НАПБ А.01.001-14 [27]

Необхідну інтенсивність Q_p подачі розчину для гасіння вогню визначають за формулою (4.1):

$$Q_p = F \cdot q \quad (4.1)$$

$$Q_p = \frac{3,14 \cdot 18,98^2}{4} \cdot 0,08 = 22,62 \text{ (л/с)}$$

де F - площа дзеркала резервуара;

q - інтенсивність подачі розчину, при гасінні нафтопродуктів з температурою 28°C і нижче, л/с \times м².

Тип і кількість піногенераторів визначають за формулою (4.2):

$$n_{n.z.} = Q_p / q_{n.z.} \quad (4.2)$$

$$n_{n.z.} = 22,62/6 = 3,77 \approx 4,$$

де $q_{n.z.}$ - витрата води одним піногенератором, л/с.

Необхідно 4 піногенератори ГПВС-600 для одного резервуару. Тобто, для п'яти резервуарів РВС-3000 необхідно 20 піногенераторів ГПВС-600.

Необхідну кількість вогнегасного розчину визначають за формулою (4.3):

$$V_p = 3 \cdot q_{n.z.} \cdot n_{n.z.} \cdot \tau \quad (4.3)$$

$$V_p = 3 \cdot 6 \cdot 4 \cdot 600 = 43200 \text{ (л)},$$

де τ – час гасіння пожежі (10 хвилин), хв.

Необхідну кількість піноутворювача визначають за формулою (4.4):

$$V_{n.o.} = 0,06 \times V_p \quad (4.4)$$

$$V_{n.o.} = 0,06 \times 43200 = 2592 \text{ (л)}.$$

Необхідну кількість води на гасіння пожежі в резервуарі визначають за формулою (4.4):

$$V_{e.1} = 0,94 \times V_p \quad (4.5)$$

$$V_{e.1} = 0,94 \times 43200 = 40608 \text{ (л)}.$$

Запас води на охолодження палаючого резервуару визначають за формулою (4.6):

$$V_{e.2} = q_1 \cdot L \cdot \tau_{ox} \quad (4.6)$$

$$V_{e.2} = (0,5 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 18,98 \cdot 10800) / 2 = 321824,88 \text{ (л)},$$

де L - довжина кола резервуара, м;

τ_{ox} - час охолодження палаючого та суміжних з ним резервуарів;

q_1 - витрата води на охолодження палаючого наземного резервуару на 1м довжини кола резервуару, л/с.

Запас води на охолодження сусідніх резервуарів визначають за формулою (4.7):

$$V_{в.з.} = 0,5 \cdot L \cdot q_2 \cdot m \cdot \tau_{ox} \quad (4.7)$$

$$V_{в.з.} = (0,5 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 18,98 \cdot 10800 \cdot 4) / 2 = 1287299,52 \text{ (л)},$$

де m - кількість сусідніх резервуарів;

q_2 – витрата води на охолодження сусідніх резервуарів на 1м половини довжини кола резервуару, л/с.

Загальний запас води визначають за формулою (4.8):

$$V_{в.} = V_{в.1} + V_{в.2} + V_{в.3} \quad (4.8)$$

$$V_{в.} = 40608 + 321824,88 + 1287299,52 = 1609124,4 \text{ (л)} = 1609 \text{ (м}^3\text{)}$$

Кількість пожежних резервуарів приймаємо рівною - 2, місткістю 2000 м³ кожний.

4.5. Розрахунок блискавкозахисту складу паливо-мастильних матеріалів

На уявному складі ПММ для зберігання авіапалива ТС-1 використовують сталеві вертикальні циліндричні резервуари РВС-3000 (геометричні параметри наведені в п. 4.4).

Склад ПММ з світлими нафтопродуктами відноситься до 1 категорії. Блискавкозахист об'єктів 1-ї категорії повинен улаштуватися з типом зони захисту А незалежно від грозової активності .

Очікувана кількість N уражень блискавкою за рік для зосереджених будівель і споруд, не облаштованих блискавкозахистом, визначається за формулою (4.9):

$$N = 9 \cdot \pi \cdot h_x^2 \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (4.9)$$

де h_x – висота резервуару РВС-3000;

n – середньорічне число ударів блискавки в 1 км² земної поверхні в місці знаходження будівлі або споруди визначається за формулою (4.10):

$$n = (6,7 \cdot T_{гр}) / 100 \quad (4.10)$$

де $T_{гр}$ – середня тривалість гроз у годинах, визначена за картами інтенсивності грозової діяльності [28]

Для Києва середньої тривалості гроз за рік у годинах становить від 60-80 годин
Підставимо значення до формул і проведемо розрахунок

$$n = \frac{6,7 \cdot 80}{100} = 5,36 \text{ (1/км}^2 \cdot \text{рік)}$$

$$N = 9 \cdot 3,14 \cdot 11,82^2 \cdot 5,36 \cdot 10^{-6} = 0,0211$$

Далі за формулами (4.11) та (4.12) розрахуємо такі параметри одиночного блискавковідводу висотою $h=150$, як висоти конусу h_0 зони та радіус конусу r_0 захисту:

$$h_0 = [0,65 - 10^{-3}(h - 100)] h \quad (4.11)$$

$$r_0 = [0,5 - 2 \cdot 10^{-3}(h - 100)] h \quad (4.12)$$

$$h_0 = [0,65 - 10^{-3}(150 - 100)] 150 = 97,45 \text{ (м)}$$

$$r_0 = [0,5 - 2 \cdot 10^{-3}(150 - 100)] 150 = 60 \text{ (м)}$$

Оскільки склад ПММ має досить велику територію, то вважаю за доцільне облаштування подвійного блискавковідводу на відстані $L = 225$ м.

Блискавковідвід вважається подвійним, якщо відстань між блискавковідводами L_c не перевищує граничної величини L_{max} .

Побудова зовнішніх областей зон подвійного блискавковідводу (напівконусів з габаритами h_0, r_0) проводиться за формулами (4.13) і (4.14):

$$L_{max} = 4,0h \quad (4.13)$$

$$L_c = 1,5h \quad (4.14)$$

$$L_{max} = 4,0 \cdot 150 = 600 \text{ (м)}$$

$$L_c = 1,5 \cdot 150 = 225 \text{ (м)}$$

Розміри внутрішніх областей визначаються параметрами h_0 і h_c , перший з яких задає максимальну висоту зони безпосередньо біля блискавковідводу, а другий - мінімальну висоту зони посередині між блискавковідводами.

При відстані між блискавковідводами $L \leq L_c$ границя зони не має провисання ($h_c = h_0$).

Розміри горизонтальних перерізів зони обчислюються за формулами (4.15-4.16):

радіус зони r_x в горизонтальному перерізі на висоті h_x :

$$r_x = \frac{r_0 \cdot (h_0 - h_x)}{h_0} \quad (4.15)$$

$$r_x = \frac{60(97,45 - 11,82)}{97,45} = 52,72 \text{ (м)}$$

довжина горизонтального перерізу L_x на висоті $h_x < h_c$:

$$L_x = 0,5L \quad (4.16)$$

$$L_x = 0,5 \cdot 225 = 112,5 \text{ (м)}$$

На рисунку 4.1 наведено схему зони захисту за допомогою подвійного блискавковідводу [28].

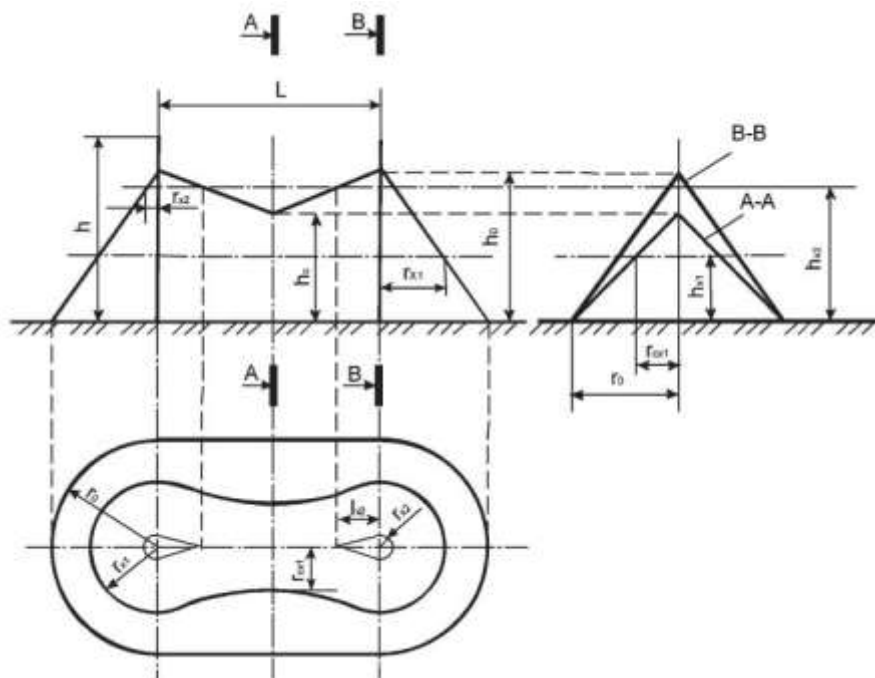


Рис. 4.1. Схеми зони захисту за допомогою подвійного блискавковідводу

L - відстань між блискавковідводами; h - висота блискавковідводу; h_0 - максимальна

висота зони захисту безпосередньо біля блискавковідводу; r_0 - радіус конуса;

r_x - максимальна напівширина зони в горизонтальному перерізі на висоті;

h_x ; h_c - мінімальна висота зони захисту посередині між блискавковідводами;

r_{cx} - ширина горизонтального перерізу в центрі між блискавковідводами

Склад ПММ має надійний захист від потрапляння блискавок.

Висновки до розділу 4

У цій частині дипломної роботи розглянуто визначення та класифікацію виробничих шкідливих чинників, їх вплив на організм працівників, а також наведені основні шляхи захисту людини від них. Також проведено розрахунки засобів гасіння пожежі та блискавкозахисту складу паливо-мастильних матеріалів.

На основі виконаного робимо наступні висновки, як показує практика, там, де питанням охорони праці і техніки безпеки приділяється належна увага, продуктивність праці значно вища, менші людські втрати, кращий стан здоров'я працівників, здоровий психологічний клімат у колективі і, як підсумок, високий прибуток.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1. Вплив на навколишнє середовище та здоров'я людей при експлуатації складів паливо-мастильних матеріалів

Запобігання шкідливому впливу всіх видів транспорту на навколишнє природне середовище є одним із найголовніших завдань природоохоронної діяльності держави. Основні правові норми, які закріплюють правові заходи по охороні навколишнього природного середовища від шкідливого впливу транспорту, містяться в Законах України від 26 червня 1991 року «Про охорону навколишнього природного середовища», від 16 жовтня 1992 року «Про охорону атмосферного повітря» та від 10 листопада 1994 року «Про транспорт». Крім того, щодо окремих видів транспорту є спеціальні нормативні акти, які також закріплюють правові заходи екологічної безпеки транспортних засобів. Так, у Повітряному кодексі України передбачається, що суб'єкти авіаційної діяльності зобов'язані під час експлуатації повітряних суден на землі та в повітрі дотримуватися встановлених нормативів вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів і вживати заходів щодо зменшення обсягів викидів (емісії) забруднюючих речовин [29].

В процесі експлуатації обладнання складів відбувається забруднення навколишнього середовища в результаті випаровування вуглеводнів, що складають більше 90% рідини авіаційного палива. небезпека забруднення повітря посилюється тим, що в результаті окислення вуглеводнів можуть утворюватися високотоксичні продукти органічні сполуки і т.д.

Забруднення стічних та ґрунтових вод нафтопродуктами на складі ПММ виникає в наслідок:

- випадкового проливу авіапалива в результаті необережності чи порушення правил технічного обслуговування обладнання складу ПММ;

- проливання рідини в результаті зовнішньої негерметичності паливної системи обладнання літака або засобів механізації процесу заправлення.

Розлиті нафтопродукти потрапляють в виробничо-зливальну каналізацію складу ПММ, стічні води якої при недостатньому їх очищенні можуть стати причиною забруднення поверхневих або підземних вод та ґрунтів різними шкідливими речовинами. Залишки ПММ є найбільш небезпечними хімічними забруднювачами. Вони негативно впливають на велику кількість живих організмів та шкідливо діють на всі ланки біологічного ланцюгу. Значних екологічних збитків завдають плівки нафтопродуктів, що утворюються на поверхні водоймищ. 1 м³ пально-мастильних матеріалів покриває до 13,5 тисяч м² водної гладі. Міністерством охорони здоров'я та Міністерством рибного господарства України були встановлені такі гранично допустимі концентрації нафти та нафтопродуктів в водах природних водоймищ: для водоймищ господарчо-питного та культурно-побутового водовикористання – 0,3 мг/л; для водоймищ рибогосподарського призначення – 0,05 мг/л.

Пари вуглеводнів, зокрема нафтопродуктів і продуктів їх згоряння, можуть викликати серйозні захворювання органів дихання, зору, серцево-судинної системи людини [30, 31].

5.2. Рекомендації щодо обмеження негативного впливу авіапалив

Для попередження потрапляння забруднених нафтопродуктами вод в ґрунт та водні джерела при експлуатації очисних споруд виконують ряд заходів:

- організують режим роботи очисних споруд з забезпеченням розрахункового режиму очищення стічних вод;
- проводять плановий та поточний ремонт очисних споруд, систематично контролюють їх роботу, своєчасно звільнюють очисні споруди від затриманих нафтопродуктів та опадів;
- утилізують продукти очищення.

Територія зливних зон повинна мати ухили для відведення стоків у відповідні лотки, труби або канали, з'єднанні через гідравлічні затвори з нафтопродуктами, що є засобами попереднього очищення.

Нафтопастки служать для очищення стічних вод від основної маси плаваючих та емульсованих нафтопродуктів, а також для осаджування механічних домішок.

Піскопастки призначені для видалення основної маси механічних домішок.

До засобів попереднього очищення відносяться також флотатори – очисні споруди, в яких відбувається доочищення стічних вод після проходження їх через спорудження механічного очищення. Принцип роботи флотатора оснований на прилипанні часток нафтопродуктів до поверхні бульбашок повітря, якими штучно насичується вода. Бульбашки разом з частками нафтопродуктів впливають на поверхню, утворюючи піну, яка знімається спеціальним скребковим пристроєм та видаляється з флотатора.

Очищена вода з флотатора виводиться в ставок додаткового відстоювання, де відбувається вивітрювання, окислення та розкладання забруднень.

Стічні води з тетраетилсвинцем відводять по спеціальним лоткам в бензопастку, де етилований бензин відокремлюється. Потім вода потрапляє для знезараження в ставки тривалого відстоювання або до спеціальних установок хлорування. Час відстоювання в таких ставках – не менш 30 діб.

За ефективністю очищення вод від нафтопродуктів (характеризується вмістом нафтопродуктів в воді) в напрямку зростання очисні споруди розміщуються в такій послідовності:

- нафтопастка (50-100 мг/л);
- флотаційна установка (15-30 мг/л);
- ставок-відстійник (15-20 мг/л);
- станція біологічного очищення (5-10 мг/л);
- установка озонування з двома ступенями (1-3 мг/л) [32,33].

5.3. Розрахунок нафтопастки та визначення його ефективності

До складу очисних споруд підприємства які призначені для очищення стічних вод входить нафтопастка. Нафтопастки – це очисні системи, головне призначення яких – очищення виробничих стоків від механічних домішок і нафтопродуктів. Принцип роботи таких автономних споруд заснований на використанні гравітаційних сил, тобто стічні води очищаються шляхом відстоювання.

Сьогодні розрізняють кілька основних типів нафтопасток:

- горизонтальні;
- радіальні;
- багатоярусні (тонкошарові).

Розглянемо роботу горизонтальні нафтопастки. Горизонтальні нафтопастки (рисунок 5.1) це великі резервуари-відстійники з паралельно розташованими секціями, які утворені перегородками. З розподільної камери, розташованої окремо, стічні води, що містять нафтопродукти, рухаючись по трубопроводах, просочуються через щілини в перегородках в кожен секцію нафтопастки. Очищені від нафтопродуктів води рухаються до кінця секції під затопленою стінкою, яка утримує нафту, і, пройшовши через водозлив, потрапляють в спеціальний відвідний лоток, а звідти вже в трубопровід. У зимовий період поверхню рідини обігривається за допомогою змішувача, це робиться для зменшення в'язкості нафти [33].

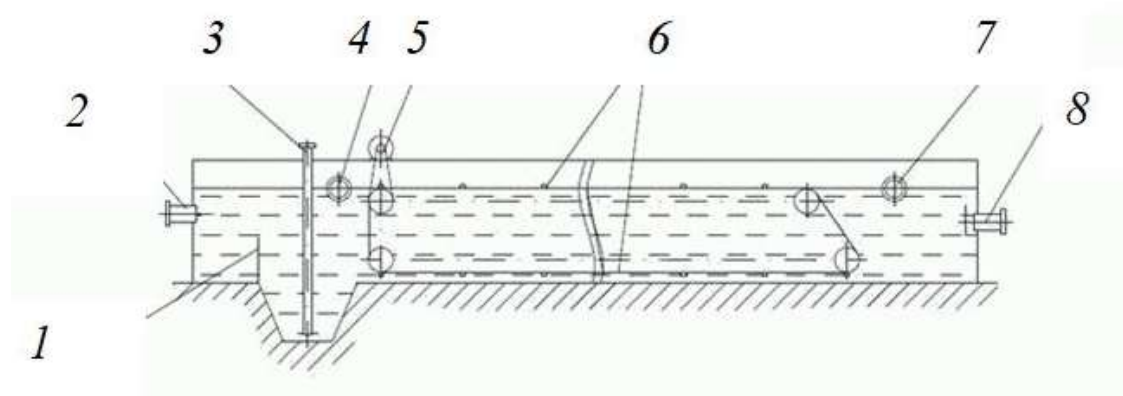


Рисунок 5.1 - Нафтопастка горизонтальна

- 1-розподільча перегородка, 2-подача стічних вод, 3-відвід осаду,
4-нафтозбір, 5-привід транспортеру, 6-транспортер зі скребками,
7-нафтозбір, 8-відвід освітлених стічних вод

Скребокний транспортер, у міру накопичення нафти на поверхні, зганяє її до щілинним поворотним трубах, через які вона і видаляється з нафтопастки. Той же транспортер прибирає і осад, що випадає на дно відстійника, згрібаючи його до приямку. Звідти відстій через мулопроводі періодично виводять за допомогою донних клапанів або ж гідроелеваторів.

Оцінка токсичності й небезпеки шкідливих речовин здійснюється за рядом показників, серед яких найбільш значимими є такі:

- середня смертельна концентрація в повітрі;
- поріг хронічної дії шкідливої речовини;
- гранично допустима концентрація;
- гранично допустима площа забруднення шкірного покриву;
- орієнтовно безпечний рівень впливу.

Проведемо розрахунок нафтопастки для визначення її пропускної здатності та перевірки доцільності її використання.

Вихідні дані для розрахунку:

- середня витрата стічних вод, $Q_{cp} = 2550 \text{ м}^3/\text{сут}$;
- годинний коефіцієнт потоку стічних вод, $K_{год} = 1,3$;
- діаметр нафтових часток, $d = 90 \text{ мкм}$;
- температура стічних вод, $t_g = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- густина ТС-1 при $20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\rho_n = 780 \text{ кг/м}^3$;
- концентрація часток ТС-1 у стічних водах, $C_n = 400 \text{ мг/л}$;
- концентрація металевих часток у стічних водах, $C_{мч} = 600 \text{ мг/л}$;
- тривалість відстоювання, $T = 2,5 \text{ год}$.

За формулою (5.1) визначаємо швидкість підймання нафтових частинок:

$$U_0 = \beta(112 - 93\rho_n \cdot 10^{-3}) \cdot 10^{0,0143 \cdot d}, \quad (5.1)$$

де, β - коефіцієнт, що враховує вплив механічних домішок на швидкість підймання нафтових частинок і визначається за формулою (5.2):

$$\beta = 0,015 \frac{C_n}{C_{мч}} + 0,875 \quad (5.2)$$

$$\beta = 0,015 \frac{400}{600} + 0,875 = 0,885$$

$$U_0 = 0,885(112 - 93 \cdot 780 \cdot 10^{-3}) \cdot 10^{0,0143 \cdot 90} = 532,8 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$$

За формулою (5.3) визначаємо довжину нафтопастки:

$$L = \frac{h_p W}{K_n (U_0 - W_B)} \quad (5.3)$$

де, $W=5$ мм/с – середнє значення потоку;

$W_B = 0$ (при значенні $W=5$ мм/с);

$h_p = 1,5$ м – висота нафтопастки;

$K_n = 0,5$ – коефіцієнт використання об'єму, що враховує наявність зон циркуляції і мертвих зон, які практично не беруть участь в процесі очищення.

$$L = \frac{1,5 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{0,5(532,8 \cdot 10^{-6} - 0)} = 28,15 \text{ м}$$

За формулою (5.4) визначаємо максимальну секундну витрату:

$$Q = \frac{Q_{\text{ср}} \cdot K_{\text{год}}}{24 \cdot 3600} \quad (5.4)$$

$$Q = \frac{2550 \cdot 1,3}{24 \cdot 3600} = 0,038 \text{ м}^3/\text{с}$$

За формулою (5.5) визначаємо ширину нафтопастки:

$$B = \frac{Q}{W h_p N} \quad (5.5)$$

де, N – кількість секцій нафтопастки. Приймаємо $N=2$.

$$B = \frac{0,038}{5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 2} = 2,53 \text{ м}$$

Приймаємо $B=3$.

За проведеними розрахунками обираємо типову нафтопастку проекту 902-2-161 (розробник «Гидротрубопровод»). Технічні характеристики нафтопастки наведено у таблиці 5.1.

За формулою (5.6) визначимо швидкість потоку:

$$W = \frac{L}{T} \quad (5.6)$$

$$W = \frac{30}{2,5 \cdot 3600} = 3,33 \cdot 10^{-3} \text{ м/с} = 3,33 \text{ мм/с}$$

Технічні характеристики нафтопастки проекту 902-2-161

Глибина проточної частини, м	Будівельні розміри секції, м			Кількість секцій	Пропускна здатність, м ³ /год
	ширина	довжина	висота		
2	3	30	2	2	162

Продуктивність одної секції нафтопастки визначаємо за формулою (5.7):

$$Q_c = h_p BW, \quad (5.7)$$

$$Q_c = 2 \cdot 3 \cdot 3,33 \cdot 10^{-3} = 19,98 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

Пропускную здатність нафтопастки визначаємо за формулою (5.8):

$$Q = Q_c \cdot N, \quad (5.8)$$

$$Q = 19,98 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 39,96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 143,85 \text{ м}^3/\text{год}$$

Визначаємо швидкість підймання нафтових часток за формулою (5.9):

$$U_0 = \frac{W \cdot h_p}{L \cdot K_H} \quad (5.9)$$

$$U_0 = \frac{3,33 \cdot 10^{-3} \cdot 2}{30 \cdot 0,5} = 0,444 \cdot 10^{-3} \text{ м/с} = 0,444 \text{ мм/с}$$

Визначаємо передбачуваний мінімальний діаметр нафтових частинок, які можуть бути виділені в нафтопасці за даних конкретних умов за формулою (5.10):

$$d = 69,93 Lg \left[\frac{U_0}{\beta(112 - 93 \cdot \rho_H)} \right] \quad (5.10)$$

$$d = 69,93 Lg \left[\frac{444}{0,885 \cdot (112 - 93 \cdot 0,87)} \right] = 84,46 \text{ мкм}$$

Отриманий діаметр частинок знаходиться в межах значень (80-100мкм), на які зазвичай розраховуються нафтопастки. Отже, в даній ситуації нафтопастка буде використовуватися раціонально. Припустимо, що залишкову концентрацію нафти визначено у лабораторії і вона становить $C_k = 100$ мг/л. Тоді ефект виділення нафти визначають за формулою (5.11):

$$E = \frac{C_H - C_K}{C_H} \quad (5.11)$$

$$E = \frac{400 - 100}{400} = 0,75 \text{ або } 75\%$$

Кількість нафтопродуктів яку видаляє нафтопастка в тоннах за добу визначається за формулою (5.12):

$$M_H = C_H \cdot E \cdot Q, \quad (5.12)$$

$$M_H = 0,4 \cdot 0,75 \cdot 3451 = 1035,3 \text{ кг/доб}$$

Залишкова концентрація нафтових часток у воді, що пройшла через нафтопастку, визначається лабораторним аналізом, відібраної проби.

Висновки до розділу 5

Охорону навколишнього середовища потрібно розглядати як комплекс міжнародних, державних, регіональних, локальних, адміністративно-господарських, технологічних і громадських заходів, спрямованих на збереження та забезпечення раціонального природокористування, відновлення, охорони та примноження природних ресурсів для блага суспільства і підтримання біологічної та екологічної рівноваги.

Найважливіші правила взаємодії природи і суспільства закріплені державою в законодавстві і стають обов'язковими для виконання і підтримки нормами права, які забезпечуються державним тиском у разі їх невиконання.

ВИСНОВКИ

В роботі було проведено аналіз втрат нафтопродуктів, які можливі при зберіганні їх в резервуарній групі складу паливно-мастильних матеріалів авіапідприємства. Розглянуті головні чинники, що найбільш впливають на втрати від «великих і малих» дихань, вентиляції газового простору і від насичення газового простору легкими фракціями нафтопродуктів.

В результаті аналізу встановлено, що основна частина втрат (близько 75%) припадає на процес випаровування при зберіганні в резервуарах.

Проаналізовано існуючі засоби і заходи, що зменшують величину цих втрат. Розглянуті і проаналізовані організаційно-технічні, теплозахисні заходи, газоурівнюючі системи і визначені основні чинники впливу на інтенсивність процесу випаровування нафтопродуктів при зберіганні в резервуарах.

Проведено аналіз сучасних засобів запобігання втратам, що застосовуються в найбільш розвинутих країнах світу. Визначені найбільш ефективні методи ресурсозберігаючих технологій, що можуть бути застосовані в специфічних умовах авіапідприємства.

Наведено класифікацію і межі використання теплових насосів (принцип дії та термодинамічні цикли).

Розглянуті і проаналізовані основні складові конструкцій теплових насосів. Обґрунтований вибір робочого тіла, компресорів, конденсаторів і випарників.

Обґрунтовано і доведено актуальність використання теплових насосів для зниження втрат нафтопродуктів і одержання додаткових енергетичних потужностей, які будуть використовуватися в технологічних процесах авіапідприємства, для опалення приміщень і гарячого водопостачання.

Проаналізовано і доведено можливість використання геліотеплонасосних систем на складах паливно-мастильних матеріалів. Одержані експериментальні результати використання сонячних абсорберів на резервуарах великої ємкості.

Розроблена теплонасосна геліоустановка у резервуарному парку складу паливно-мастильних матеріалів дозволяє:

- істотно зменшити втрати від випаровування палива;
- поліпшити екологічну обстановку;
- здобути дешеву енергію природнім шляхом;
- зменшити забруднення навколишнього середовища;
- використовувати відведене тепло на потреби складу;
- знизити витрати палива на одиницю виробленої теплоти в порівнянні з котельнями від 20 до 50%;
- забезпечити 3-4-кратну економію електроенергії в порівнянні з прямим електропостачанням;
- час можливої роботи теплонасосної установки збігається з часом, коли споживачам необхідна енергія

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Коваленко В. П., Турчанинов В. Е. Опыт борьбы с потерями нефтепродуктов при хранении, транспортировании и выдаче / Сер. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. М.: ЦНИИТ Энефтехим, 1985. - 57 с.
2. Едигаров С. Г., Бобровский С. А. Проектирование и эксплуатация нефтебаз и газохранилищ. – М.: Недра, 1982. - 280 с.
3. Ткачёв О. А., Тугунов П. И. Сокращение потерь нефти при транспортировании и хранении. – М.: Недра, 1988. - 118 с.
4. Никонов К.В. Конструкция технологического оборудования складов горюче-смазочных материалов: Учебное пособие. К.: КМУГА, 1996. - 392с.
5. Аджиев М. Э. Энергосберегающие технологии. – М.: Знание, 1990. – 64 с.
6. Ипатов А.М., Терехин В.И., Пузик С.А. Средства заправки горюче-смазочными материалами: Учебник. - К.: КМУГА, 1996. - 304с.
7. Розрахунок та проектування складу ПММ. Методичні вказівки. – К.: КМУЦА, 1996, - 38с.
8. Оборудование склада ГСМ и основы его проектирования: Учебное пособие / Составители А.Е.Бородин, А.М.Ипатов, А.А. Литвинов. – К.: КИИГА, 1975. –71с.
9. Ніконов К.В. Розрахунок та проектування складу пально-мастильних матеріалів. Навчальний посібник. К.: НАУ, 2001.— 240 с.
10. Макаров А.А., Чупятов В.П. Возможности энергосбережения и пути их реализации // Теплоэнергетика. – 1995. - №6. – с.2-6.
11. Обозов А.Дж., Климов И.С. Комбинированная солнечно-теплонасосная установка для системы теплоснабжения индивидуальных жилых домов // Энергетич. стр-во. - 1994. - N 2. - С.34-37.
12. Хайнрих Г. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения / Г. Хайнрих, Х. Найорк, Н. Нестлер; пер. с нем. Н.Л. Кораблевой, Е.Ш. Фельдмана; под ред. Б.К.Явнеля. – М.: Стройиздат, 1985. –351с.

13. Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы / Пер. с англ. - М.: Энергоиздат, 1982. - 220 с.
14. Каганов М.А., Привин М.Р. Термоэлектрические тепловые насосы (теоретические основы расчета). - Л.: Энергия, 1970. - 176 с.
15. Теплонасосные гелиосистемы отопления и горячего водоснабжения зданий / Плешка М.С., Вырлан П.М., Стратан Ф.И., Булкин С.Г.; Под ред Ф.И. Стратана. Кишинев: Штиинца, 1990. - 122 с.
16. Берковский Б. “Солнечный путь” к экономическому развитию и охране окружающей среды / Теплоэнергетика. 1996. № 5. С. 10-14
17. Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії / ред.: Г. М. Бабієв; НАН України. Держ. ком. з енергозбереження України. - К., 1999. - 100 с.
18. Булкин С.Г., Вырлан П.М., Плешка М.С. Математическая модель теплонасосной гелиосистемы с солнечными абсорберами и двумя аккумуляторами тепла // Гелиотехника. 1988. №5. С.35-42.
19. Закон «Про охорону праці» [Електронний ресурс]– Чинний від 1992-10-14.: - К.:ВРади України, 1992. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>. – (Закон України).
20. Конституція України [Електронний ресурс]– Чинний від 1996-06-28.: - К.: ВРади України, 1996. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96>. - (Закон України).
21. Кодекс законів про працю [Електронний ресурс]– Чинний від 1971-12-10.: - К.: ВВР України 1971 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08/>. - (Закон України).
22. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу: Державні санітарні норми та правила від 30.05.2014 р. № z0472-14. Редакція від: 30.05.2014. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>
23. Правила технической эксплуатации и охраны труда на нефтебазах/ Отраслевой нормативный акт - К.: Институт «Укрگیпронефтетранс», 1998. – 158 с.

24. Наставление по пожарной охране в гражданской авиации СССР (НПО ГА-85), затверджено приказом Міністра цивільної авіації СРСР від 21.06.1985 № 133. – М.: «Воздушный транспорт» 1986. – 96 с.
25. Інструкція з забезпечення заправлення повітряних суден паливно-мастильними матеріалами і технічними рідинами в підприємствах цивільного авіаційного транспорту України. — К. : Друк НВФ «Славутич-Дельфін», 2006. — 140 с.
26. Типовые проектные решения 402-11-0145.87 «Комплектные установки автоматического пожаротушения резервуаров стальных вертикальных с использованием пеногенераторов ГВПС-200, ГПСС-600 и ГПСС-2000» ЦИТП Госстрой СССР 1989 . – 86 с.
27. Правила пожежної безпеки в Україні: НАПБ А.01.001-14. – На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30. – К. : МВС України, 2014. – 47 с. – (Нормативний акт пожежної безпеки)
28. ДСТУ EN 62305:2012 Захист від блискавки — К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. - 300 с.
29. Боярська З.І. Екологічні аспекти безпеки цивільної авіації в Україні // Юридичний вісник. – 2012. - № 3(24). - с.10-15.
30. Охрана окружающей среды в гражданской авиации. / Л.А. Буриченко, В.Г. Ененков, И.М. Науменко, А.С. Протоерейский - М. Машиностроение, 1992. - 320 с.
31. Франчук Г.М., Малахов Л.П., Півторак Р.М. Екологічні проблеми довкілля. – К.: КМУЦА, 2000. – 180 с.
32. Злобін Ю. А. Основи екології. – К.: Вид. “Лібра”. – ТОВ. – 1998. – .234 с.
33. Стахов Е. А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов.—Л.: Недра, 1983.—263 с.