

«Чекаємо літа»

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ  
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ З  
ВРАХУВАННЯМ КОРОЗІЇ»**

## Зміст

Вступ.....	2
1. Дослідження корозії в системах передпускової підготовки двигуна.....	4
1.1. Основні поняття про корозію металів.....	4
1.2. Класифікація корозійних процесів.....	4
1.3. Корозія кольорових металів.....	8
1.4. Експериментальні дослідження корозії на дослідних зразках.....	12
1.5. Дослідження зразків після зберігання.....	14
1.6. Обробка отриманих даних в результаті експерименту.....	15
1.7. Методи захисту металів від корозійного впливу.....	17
2. Експериментальні випробування системи передпускової підготовки двигуна на стенді.....	21
Висновки.....	30
Список використаної літератури.....	31

## Вступ

Одним з не вирішених запитань для автомобілістів сьогодення залишається питання стосовно передпускової підготовки двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Існує безліч варіантів, які вже сьогодні успішно виконують покладене на них завдання системи, що встановленні на автомобіль з заводу або ж можуть бути встановленні як додаткове обладнання. Однак всі ці системи так чи інакше мають свої недоліки, одним з яких є необхідність сторонніх джерел живлення, тобто відсутність автономності. Рішенням даної проблеми є встановлення на автомобіль теплоаккумуляційного обладнання у вигляді теплоаккумулятора, що використовує теплоту фазового переходу. Система використовує надлишкове тепло при роботі двигуна, забезпечуючи при цьому процес зарядки, для подальшого використання накопиченого теплової енергії.

Створення теплоаккумулятора (ТА) є складним завданням, оскільки необхідним є врахування всіх можливих наслідків як для роботи ТА так і для роботи всієї системи охолодження двигуна. Одним з головних питань цієї роботи є визначення матеріалів, що безпосередньо контактують з робочою рідиною. За для цього необхідно визначити характеристики матеріалів та їх реакція на робочу рідину, що міститься в системі охолодження. Провести експеримент на виявлення корозійної активності всіх матеріалів з яких може бути виготовлена система охолодження з усіма видами охолоджуючих рідин. В подальшому визначити вплив швидкості руху робочої рідини по системі на час прогріву.

## 1. Дослідження корозії в системах передпускової підготовки двигуна

### 1.1. Основні поняття про корозію металів

Матеріали з металів під хімічним або електрохімічним впливом навколишнього середовища піддаються руйнуванню, яке називається корозією. Корозія металів викликається окислювально-відновними реакціями, в результаті яких метали переходять в окислену форму і втрачають свої властивості, що призводить в непридатність металеві матеріали.

#### Процес корозії

Корозією металів називається мимовільне їх руйнування внаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії з навколишнім середовищем. Середовище, в якому метал піддається корозії (кородує), називається корозійним або агресивним середовищем. У випадку з металами, кажучи про їх корозії, мають на увазі небажаний процес взаємодії металу із середовищем.

#### Стадії корозійного процесу:

- підведення корозійного середовища до поверхні металу;
- взаємодія середовища з металом;
- повний або частковий відвід продуктів від поверхні металу.

### 1.2. Класифікація корозійних процесів

За природою руйнування розрізняють наступні види корозії:

**Хімічна корозія** - це процес, при якому окислення металу і відновлення окисного компонента середовища протікають в одному акті.

Хімічна корозія можлива в будь-якому корозійному середовищі, однак найчастіше вона спостерігається в тих випадках, коли корозійне середовище не є електролітом (газова корозія, корозія в не електропровідних органічних рідинах).

**Електрохімічна корозія** - це руйнування металів внаслідок їх електрохімічного взаємодії з електролітично провідним середовищем, при якому іонізація атомів металу і відновлення окисного компонента середовища протікає не в одному акті і їх швидкості залежать від величини електродного потенціалу металу. Цей вид корозії найбільш поширений. При електрохімічній

корозії хімічне перетворення речовини супроводжується виділенням електричної енергії у вигляді постійного струму.

**Біохімічна корозія** – в разі, коли корозія металу в морській воді посилюється під дією обростання поверхні морськими організмами.

**Електрокорозія** - посилення корозії під дією анодної поляризації, викликані зовнішнім електричним полем (наприклад, при проведенні зварювальних робіт на плаву, при наявності блукаючих струмів в акваторії).

#### **За умовами протікання процесу:**

1. **Газова корозія** - це корозія в газовому середовищі при високих температурах. (Рідкий метал, під час гарячої прокатки, штампування та ін.)

2. **Атмосферна корозія** - це корозія металу в природній атмосфері або атмосфері цеху (іржавіння покрівлі, корозія обшивки літака).

3. **Рідинна корозія** - це корозія в рідких середовищах: як у розчинах електролітів, так і в розчинах не електролітів.

4. **Підземна корозія** - це корозія металу в ґрунті.

5. **Структурна корозія** - корозія через структурні неоднорідності металу.

6. **Мікробіологічна корозія** - результат дії бактерій.

7. **Корозія зовнішнім струмом** - вплив зовнішнього джерела струму (анодного або катодного заземлення).

8. **Корозія блукаючими струмами** - проходження струму по непередбачуваним шляхах за проектом.

9. **Контактна корозія** - сполучення різнорідних електрохімічних металів в електропровідному середовищі.

10. **Корозія під напругою** - одночасний вплив корозійного середовища і механічної напруги.

#### **За типом руйнувань (Рис. 1):**

1. **Рівномірне.** Рівномірна корозія призводить до найбільших (в порівнянні з іншими видами корозії) необоротних втрат маси металу, в той же час виявляється найбільш легко. Запобігання або зменшення корозії досягається правильним підбором металів і сплавів, застосуванням захисних покриттів,

використанням інгібіторного або електрохімічного захисту. Рівномірна корозія спостерігається, наприклад, при корозії металевих труб на повітрі. Рівномірна корозія протікає у металах з однорідною (гомогенною) поверхнею в однорідному рідкому або газоподібному середовищі. Рівномірне окислення металу по всій поверхні можливо не тільки при хімічній корозії (в рідких неелектролітах, сухих газах), але і при електрохімічній корозії. В останньому випадку поверхня металу повинна бути еквіпотенційною.

Рівномірна корозія - явище не настільки часте на практиці. Залежно від цілого ряду причин і факторів поширені інші, більш небезпечні види місцевої корозії, що протікають іноді без видимих змін поверхні металу. Рівномірна корозія, що вражає тільки тонкий поверхневий шар металу, практично не впливає на механічні властивості металу, хоча і відомо, що оксидні плівки, щільно з'єднані з металом, перешкоджають виходу дислокацій на поверхню і викликають їх скупчення в при поверхневому шарі, чим підвищують міцність і знижують пластичність металу подібно поверхневому наклепу.

Рівномірна корозія відносно менше позначається на механічній міцності конструкцій.

**2. Нерівномірна.** Нерівномірна корозія може бути у вигляді ізольованих плям або глибоких поразок, званих виразками, якщо вони вражають лише малу частину поверхні. Якщо процес корозії поширюється вглиб металу, то корозію називають піттинговою (від англійського слова pit - поглиблення).

**3. Выборча.** Выборча корозія - особливий вид корозії металевих сплавів, що полягає у видаленні з них тільки одного з компонентів. В результаті матеріал втрачає монолітність і міцність, хоча його геометричні розміри майже не змінюються. Це ускладнює завчасне розпізнавання процесу руйнування сплаву, а оскільки процес протікає порівняно повільно, то часто він проявляється лише при аварії конструкції.

**4. Місцева (плямами).** Якщо ж значна частина поверхні металу вільна від корозії і остання зосереджена на окремих ділянках, то її називають місцевою. Вона набагато небезпечніше, хоча втрати металу можуть бути і

невеликими. Її небезпека полягає в тому, що, знижуючи міцність окремих ділянок, вона різко зменшує надійність конструкцій, споруд, апаратів. Місцевій корозії сприяє морська вода, розчини солей, зокрема галогенідними: хлорид натрію, кальцію, магнію.

**5. Виразкова (або піттинг).** Виразкова корозія, як правило, протікає на поверхні активно розчиняючи метал (в деяких випадках корозійні виразки можуть утворюватися і при злитті піттингів, що ростуть на пасивному металі) і за характером свого розвитку нагадує піттингову корозію, внаслідок чого чітка кваліфікація локального корозійного процесу часто буває ускладнена. Схильність до виразкової корозії мають вуглецеві і низьколеговані сталі, які експлуатуються в водних хлоридовмісних середовищах, наприклад, водовози, водопроводи, теплоенергетичне обладнання.

**6. Точкова корозія.** Один з видів місцевої корозії. Характерна для металів і сплавів, на поверхні яких утворюється захисна оксидна плівка (хром, алюміній, корозійностійкі метали) і виникає в результаті пошкодження окремих ділянок цієї плівки. Складається з двох стадій: утворення виразок в слабких місцях захисної плівки; зростання цих виразок до наскрізного отвору або до моменту припинення процесу внаслідок утворення нової захисної плівки.

**7. Міжкристалітна.** Дуже небезпечним типом нерівномірної корозії є міжкристалітна корозія, яка характеризується руйнуванням металу по межах кристалітів, що визначають структуру металу. Величина втрат при цьому типі корозії може бути незначною, механічна ж міцність металу сильно знижується. До міжкристалітної корозії схильні деякі метали, латунь, бронза, інші мідні сплави.

**8. Розтріскувальна.** Розтріскувальна корозія, що виникає в деформованих металах і є результатом створення гальванопари нагартованої і не нагартованої ділянками одного і того ж металу або сплаву. Загартовані ділянки мають менший потенціал у порівнянні з недеформованими ділянками. Тому вони стають анодами і руйнуються. Крім того, в деформованих виробках

завжди існують внутрішні напруження, які, діючи спільно з процесами корозії, зумовлюють утворення тріщин і розривів.

**9. Підповерхнева.** При підповерхневій корозії метал руйнується переважно під поверхнею, продукти корозії зосереджені всередині металу. Підповерхнева корозія викликає його спучування і розшарування.

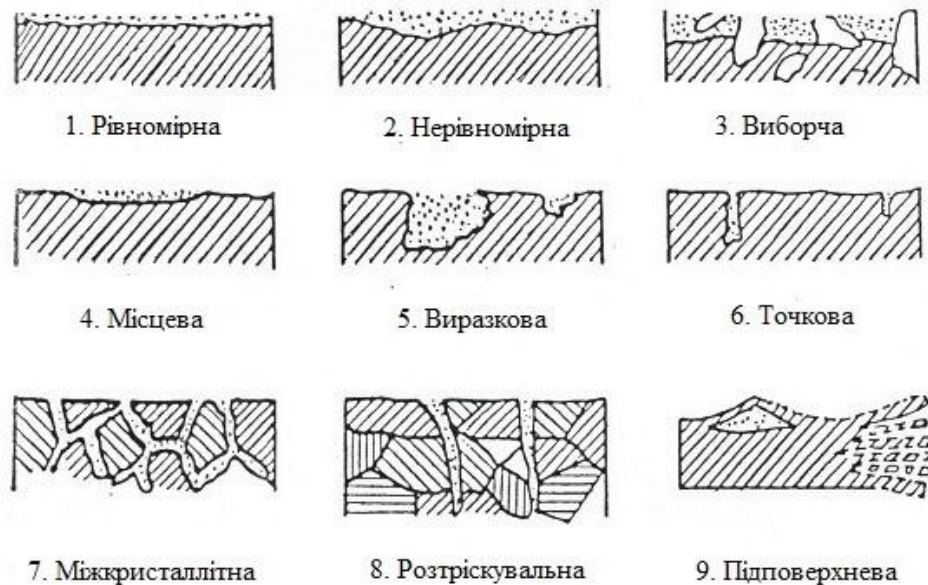


Рис. 1. Види корозії металів за типом руйнувань

### 1.3. Корозія кольорових металів

#### Атмосферна корозія алюмінію

Алюміній при взаємодії з повітрям переходить в пасивний стан. При зіткненні чистого металу з повітрям на поверхні алюмінію миттєво з'являється тонка захисна плівка оксиду алюмінію. Далі зростання плівки сповільнюється.

Формула оксиду алюмінію:



Реакція взаємодії алюмінію з киснем:



Товщина цієї оксидної плівки складає від 5 до 100 нм (в залежності від умов експлуатації). Оксид алюмінію володіє хорошим зчепленням з поверхнею, задовольняє умові суцільності оксидних плівок. При зберіганні на складі,



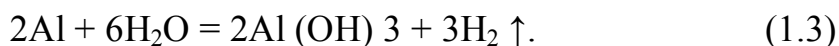
товщина оксиду алюмінію на поверхні металу становить близько 0,01 – 0,02 мкм. При взаємодії з сухим киснем – 0,02 – 0,04 мкм. При термічній обробці алюмінію товщина оксидної плівки може досягати 0,1 мкм.

Алюміній досить стійкий як на чистому сільському повітрі, так і перебуваючи в промисловій атмосфері (що містить пари сірки, сірководень, газоподібний аміак, сухий хлороводень і т.п.). Оскільки на корозію алюмінію в газових середовищах не роблять ніякого впливу сірчисті з'єднання – його застосовують для виготовлення установок переробки сірчистої нафти, апаратів вулканізації каучуку.

### **Корозія алюмінію у воді**

Корозія алюмінію майже не спостерігається при взаємодії з чистою прісною, дистильованою водою. Підвищення температури до 180 °С особливого впливу не робить. Гаряча водяна пара на корозію алюмінію впливу також не робить. Якщо в воду, навіть при кімнатній температурі, додати трохи лугу – швидкість корозії алюмінію в такому середовищі трохи збільшиться.

Взаємодія чистого алюмінію (не покриті оксидною плівкою) з водою можна описати за допомогою рівняння реакції:



При взаємодії з морською водою чистий алюміній починає кородувати, тому що чутливий до розчинених солей. Для експлуатації алюмінію в морській воді в його склад вводять невелику кількість магнію і кремнію. Корозійна стійкість алюмінію і його сплавів, при впливі морської води, значно знижується, якщо до складу металу буде входити мідь.

### **Атмосферна корозія міді**

В атмосферних умовах мідь відрізняється високою корозійною стійкістю. На сухому повітрі поверхня міді майже не змінюється. А при контакті з вологим повітрям утворюється нерозчинна плівка, що складається з продуктів корозії міді типу  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ .



Залежно від складу середовища і ще багатьох чинників на мідній поверхні в атмосфері спочатку утворюється дуже тонка захисна плівка, що складається з оксидів міді і її чистого закису. Час утворення цієї плівки може досягати декількох років. Поверхня трохи темніє, стає коричневою. Іноді плівка може бути майже чорного кольору (багато в чому залежить від складу корозійного середовища). Після утворення оксидного шару на поверхні починають накопичуватися солі міді, мають зеленуватий відтінок. Утворений оксид міді і солі називають ще патиною. Колір патини коливається від світло коричневого, до чорного і зеленого. Залежить від якості обробки поверхні, складу самого металу і середовища, часу контакту з корозійним середовищем (від внутрішніх і зовнішніх факторів). Закис міді - червоно-коричневого кольору, окис - чорного. Блакитні, зелені, сині і інші відтінки патини обумовлюються різними мідними мінералами (сульфати, карбонати, хлориди та ін.). Патина по відношенню до основного металу нейтральна, тобто не робить на мідь шкідливого впливу (крім хлористої міді). Солі та оксиди, що формують патину, нерозчинні у воді і мають природні декоративні, захисні властивості по відношенню до поверхні міді.

Присутність у вологому повітрі вуглекислого газу призводить до утворення на поверхні суміші, яку ще називають малахітом. Сульфіди, хлориди, що знаходяться в повітрі, руйнують малахіт. Це прискорює атмосферну корозію міді.

### **Корозія міді в воді**

Швидкість корозії міді у воді багато в чому залежить від наявності на поверхні оксидних плівок.

У швидко рухомих водних розчинах і воді мідь піддається такому виду руйнування, як ударна корозія. Швидкість протікання ударної корозії міді сильно залежить від кількості розчиненого кисню. Якщо вода сильно насичена киснем - ударна корозія міді протікає інтенсивно, якщо ж обезкиснена - руйнування незначне. Корозія міді в насиченій киснем воді посилюється із зменшенням рН, збільшенням концентрації іонів хлору. Швидкість корозії міді

у воді залежить від кліматичної зони. У тропіках швидкість руйнування трохи вище.

Особливістю міді, що омивається морською водою, можна вважати те, що вона є одним з небагатьох металів, які не схильні до обростання мікроорганізмами. Іони міді для них згубні.

З чистої міді дуже часто виготовляють трубопроводи для подачі в будинку води. Вони надійні, служать дуже довгий час. При наявності у воді розчиненої вугільної та інших кислот мідь потроху кородує, а продукти корозії міді забарвлюють сантехнічне обладнання. Якщо вода, що проходить через мідні труби контактує з залізом, алюмінієм або оцинкованою сталлю - то корозія цих металів значно посилюється. Іони міді осідають на поверхні цих металів, утворюючи корозійні гальванічні елементи.

Щоб виключити шкідливий вплив води з мідних труб на інші метали використовують лужену мідь. Внутрішню частину мідного трубопроводу покривають оловом. Олов'яне покриття повинне бути безпористим, щоб уникнути виникнення гальванічного елемента (олово по відношенню до міді є катодом).

#### 1.4. Експериментальні дослідження корозії на дослідних зразках

Дослідження корозійної стійкості металевих зразків після механічної обробки з використанням відповідних МОТЗ проводилося згідно з ГОСТ 13819-68 гравіметричним способом.

Перша конструкція теплоакумулятора розроблена нами мала вигляд капсульного теплообмінника, в якому роль теплоакумуляуючого матеріалу (ТАМ) виконував октогідрат барію, властивості якого якнайкраще задовольняли умови роботи накопичувача тепла.

Однак після проведених дослідів помітними стали чітко виражені прояви корозії, які можна побачити на рис. 2 (а,б). З внутрішньої сторони трубки білий наліт покрив майже всю поверхню, в місцях де трубки були запаяні слід відзначити наліт у вигляді напливу та іржавіння.



а)



б)

Рис. 2. а, б – Прояви корозії на алюмінії

Тож можна зробити висновок про те, що незважаючи на всі позитивні характеристики октогідрату барію, не можливо не брати до уваги негативну взаємодію з алюмінієм, оскільки це може призвести до невірних наслідків та не виключає потрапляння ТАМ в робочу рідину.

На відміну від октогідрату барію з алюмінієм, взаємодія озокериту з міддю не викликає проявів корозії. Після проведення численних експериментів з розрахунку течії та зміни температури при проході робочої рідини через

теплоаккумулятор трубки залишилися чистими та не піддалися корозійному впливу ні зі сторони озокериту ні зі сторони робочої рідини(рис. 3).

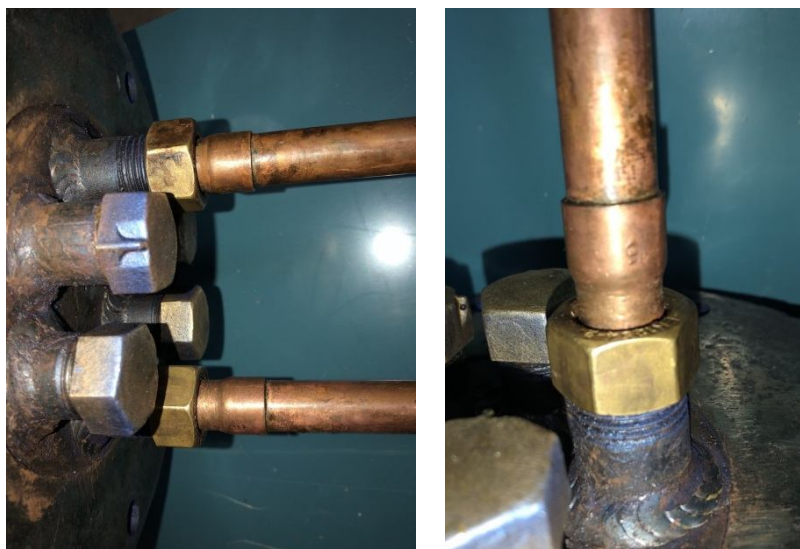
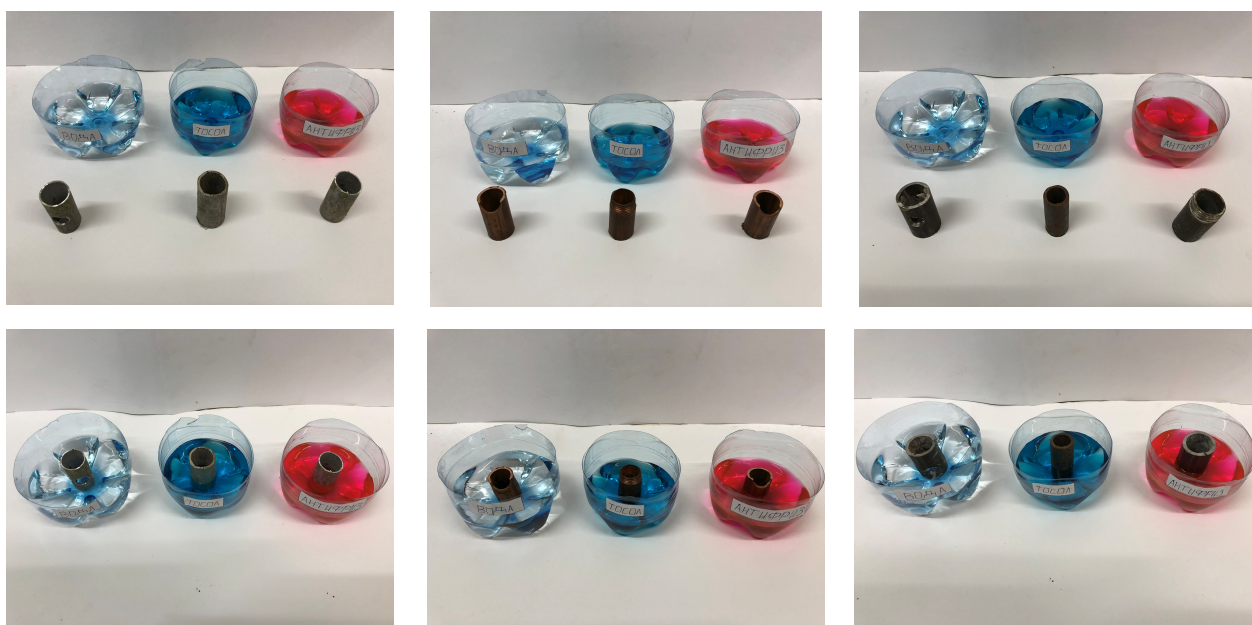


Рис. 3. Відсутність впливу озокериту на мідь

За для того, щоб дослідити властивості матеріалів, що можуть бути використані при створенні теплоаккумулятора, був проведений наступний експеримент, в ємності були поміщені зразки таких матеріалів як: мідь (3 зразка) (рис.4. а), сталь (3 зразка) (рис.4. б) та алюміній (3 зразка) (рис.4. в).



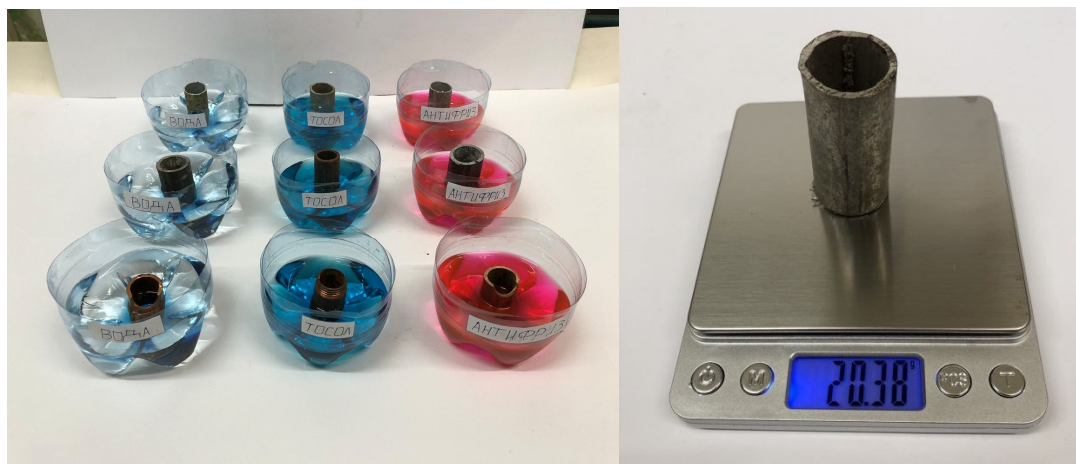
а) зразки алюмінію

б) зразки міді

в) зразки сталі

Рис. 4. Процес занурення зразків

Ємності заповнили робочими рідинами які можуть бути використані в автомобілі (тосол, вода та антифриз). Таким чином, кожен із зразків матеріалу був поміщений в кожен з робочих рідин (рис. 5 а).



а)

б)

Рис. 5. а – форма зберігання дослідних зразків, б – зважування зразка

До моменту занурення зразків, вагу кожного з них було зафіксовано за допомогою спеціальних терезів з точністю до 0,01 грам (рис. 5 б). Визначення впливу робочої рідини на зразок буде за рахунок візуального огляду та різниці ваги.

### 1.5. Дослідження зразків після зберігання

Тривалість зберігання зразків складала один місяць і за цей час помітні зміни відбулися лише в деяких зразках, а саме в таких як сталь, що зберігалась у воді, та алюміній що знаходився в резервуарі з антифризом. На всіх інших, слідів впливу агресивного середовища не відзначається. Це свідчить про те, що використання води в системі із сталевих труб та використання антифризу в системі з алюмінієвих труб потребує поглибленого вивчення за для запобігання негативних наслідків та як наслідок повного руйнування системи. Візьмемо до уваги більш детальний огляд зразків які піддалися впливу робочої рідини що їх оточувала. На рисунку 6 (а), видно чіткі прояви ржавіння сталі. Це один з найпоширеніших видів корозії металів.



Рис. 6. Зміни дослідних зразків після зберігання протягом місяця: а – фото зразка сталі до та після; б – фото зразка алюмінію до та після

Стосовно зразка сталі слід відзначити, що частина яка знаходилась у воді містить чіткі сліди ржавіння, а частина що залишилась не зануреною має помітний покрив білого кольору. Алюміній в свою чергу знаходився в середовищі антифризу і помітно змінив свій колір повністю рисунок 6 (б), хоча був занурений також наполовину. Результати зважування показали наступні дані, маса зразку зі сталі збільшилась на 0,99 г, а маса зразку алюмінію збільшилась на 0,08 г.

### 1.6. Обробка отриманих даних в результаті експерименту

#### Показник швидкості корозії.

Для встановлення швидкості корозії металу в даному середовищі зазвичай ведуть спостереження за зміною в часі будь-якої характеристики, що об'єктивно відображає зміну властивостей металу.

Найчастіше в корозійній практиці використовують наступні показники .

1) **Показник зміни маси** - зміна маси  $\Delta m$  зразка в результаті корозії віднесеної до одиниці поверхні металу  $S$  і до одиниці часу  $\tau$  (наприклад,  $г / м^2 \cdot год$ ) в залежності від умов корозії розрізняють:

а) негативний показник зміни маси

$$K^- = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau}, \quad (1.5)$$

де  $m$  – зменшення маси металу за час корозії після видалення продуктів корозії.

б) позитивний показник зміни маси

$$K^+ = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau}, \quad (1.6)$$

де  $m$  – збільшення маси металу за час внаслідок росту плівки продуктів корозії.

Для визначення позитивного показника зміни маси підставляємо необхідні дані та отримуємо наступні значення:

$$K_{\text{ст.}}^+ = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau} = \frac{68,8 - 67,81}{(3,14 \cdot 22 \cdot 25) \cdot 10^{-6} \cdot 744} = \frac{0,99}{1,28} = 0,773 \frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}, \quad (1.7)$$

$$K_{\text{ал.}}^+ = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau} = \frac{7,89 - 7,81}{(3,14 \cdot 20 \cdot 25) \cdot 10^{-6} \cdot 744} = \frac{0,08}{1,17} = 0,068 \frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}. \quad (1.8)$$

де  $K_{\text{ст.}}^+$  – позитивний показник зміни маси сталі;  $K_{\text{ал.}}^+$  – позитивний показник зміни маси алюмінію;

## 2) Об'ємний показник корозії

$$K_{\text{об}} = \frac{V_0}{S \cdot \tau}, \quad (1.9)$$

$K_{\text{об}}$  – обсяг поглиненого або виділився в процесі газу  $V$  віднесений до одиниці поверхні металу та одиницю часу (наприклад,  $\text{см}^3 / \text{см} \cdot \text{ч}$ ). Об'єм газу зазвичай приводять до нормальних умов. ( $P = 1,033 \cdot 10^5 \text{ Па}$ )

Стосовно до електрохімічної корозії коли процес катодного деполяризації здійснюється за рахунок розряду іонів водню, наприклад, за схемою  $2\text{H} + 2e = \text{H}_2$ , або іонізація молекул кисню  $\text{O} + 4e + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^-$ ; вводяться відповідно кисневий (К) і водневий (В) показник відповідно.

Водневий показник корозії - це обсяг  $\text{H}_2$ , що виділився в процесі корозії, віднесений до  $Su$ .

Кисневий показник корозії - це обсяг поглиненого в процесі  $\text{O}_2$ , віднесений до  $Su$ .

## 3) Показник опору.

Зміна електричного опору зразка металу за певний час ( $t$ ) випробувань також може бути використаний в якості показника корозії (К).

$$K_R = \frac{R_0 - R_1}{R_0}, \quad (1.10)$$



де  $R_0$  і  $R_1$  – електричний опір зразка відповідно до і після корозії.

У цього способі є певний недолік товщина металу весь час випробувань повинна бути однаковою і з цієї причини найчастіше визначають питомий опір, тобто зміна електричного опору на одиницю площі зразка (см, мм) при довжині рівній одиниці. Цей метод має обмеження в застосуванні (для листового металу не більше 3 мм). Найбільш точні дані отримують для дротяних зразків. Цей метод не придатний для зварних з'єднань.

#### **4) Механічний показник корозії.**

Зміна будь-якої властивості металу за час корозії. Порівняно часто користуються зміною межі міцності. Показник міцності при цьому виражається:

$$K_{\sigma} = \frac{\Delta\sigma}{\sigma_0} \cdot 100\%, \quad (1.11)$$

де  $\Delta\sigma$  – зміна межі міцності на розрив після корозії зразка протягом часу  $t$ ;

#### **5) Глибинний показник корозії.**

$$K_{\Pi} = \frac{\Pi}{\tau}. \quad (1.12)$$

де  $K$  – зменшення товщини металу внаслідок корозії, виражене в лінійних одиницях і віднесена до одиниці часу [мм / рік];

$\Pi$  – глибина корозійного руйнування металу [мм], часу  $\tau$  – час [рік]:

Глибина корозійного руйнування  $\Pi$  може бути середньої або максимальної. Глибинний показник корозії можна використовувати для характеристики як рівномірної, так і нерівномірної (у тому числі і місцевої) корозії металів. Він зручний для порівняння швидкості корозії металу з різною густиною. Перехід від масового, струмового та об'ємного до глибинного можливий при рівномірній корозії.

### **1.7. Методи захисту металів від корозійного впливу**

Існує кілька основних методів захисту металевих поверхонь від корозії:

- збільшення хімічного складу металу з метою підвищення його антикорозійних характеристик;

- ізоляція поверхні металу антикорозійними матеріалами;
- зниження агресивності середовища, в якій виробляються і експлуатуються металеві вироби;
- накладення зовнішнього струму, що забезпечує електрохімічний захист від корозії.

Таким чином, можна захистити металеві вироби від корозії до початку їх експлуатації або під час неї.

Найпростіший з вказаних методів - це використання спеціальних металевих захисних покриттів. Так, застосування анодних покриттів збільшує до максимуму негативний електрохімічний потенціал металу, виключаючи можливість його корозії. Катодне покриття має менш виражену дію і вимагає нанесення більш товстого шару, але при цьому воно значно збільшує твердість і зносостійкість виробів.

Якщо розглядати види покриття з точки зору їх отримання, то можна виділити хімічне і електролітичне осадження, гаряче і холодне нанесення, металеве напилення і термодифузійну обробку.

Одним з найпопулярніших способів захисту металу від корозії є нанесення неметалевих складів. Це може бути пластик, кераміка, каучук, бітум, поліуретан, лакофарбові склади і багато іншого. Причому останні є найбільш широкий асортимент і можуть застосовуватися в залежності від умов середовища, в яких буде використовуватися виріб. Так виділяють лакофарбові покриття, стійкі до дій води, атмосфери, хімічних розчинів і т. д.

Для пом'якшення дії корозійного середовища можна ввести в неї невелику кількість інгібіторів, які призводять до нейтралізації або знекиснення середовища і утворюють адсорбційну плівку, що захищає поверхню металу. При цьому плівка може в деякій мірі змінити електрохімічні показники металів.

Електрохімічний корозійний захист металів полягає в катодній або анодній поляризації (зовнішньому впливі струму). Це також можливо здійснити шляхом приєднання до металевого виробу протекторів, що уповільнюють корозію.

У сучасному виробництві велике значення приділяється розробці стійких до корозії металевих сплавів. Наприклад, корозійна стійкість значно підвищується при додаванні в залізний сплав хрому і нікелю. Магнієві сплави з цією ж метою легуються марганцем, а нікелеві - міддю. Одним з розділів захисту металевих виробів від корозії є поверхневий захист, який в даній роботі на розглядається, але є перспективним напрямком для майбутніх досліджень.

### **Інгібітори**

Застосування інгібіторів - один з найефективніших способів боротьби з корозією металів в різних агресивних середовищах. Інгібітори - це речовини, здатні в малих кількостях уповільнювати перебіг хімічних процесів або зупиняти їх. Назва інгібітор (походить від латинського *inhibere*), що означає стримувати, зупиняти. Ще за даними 1980 року, число відомих науці інгібіторів налічується понад п'яти тисяч. Інгібітори дають народному господарству чималу економію.

Вплив інгібіторів на метали, перш за все на сталь, надає цілий ряд неорганічних і органічних речовин, які часто додаються в середу, що викликає корозію. Інгібітори мають властивість створювати на поверхні металу дуже тонку плівку, що захищає метал від корозії.

Інгібітори відповідно до Х. Фішером можна згрупувати наступним чином.

1. **Екранувальні**, тобто покривають поверхню металу тонкої плівкою. Плівка утворюється в результаті поверхневої адсорбції. При впливі фізичних інгібіторів хімічних реакцій не відбувається.

2. **Окиснювачі** (Пасиватори) типу хроматів, що викликають утворення на поверхні металу щільно прилеглого захисного шару окислів, які уповільнюють перебіг анодного процесу. Ці шари не дуже стійкі і при певних умовах можуть піддаватися відновленню. Ефективність пасиваторів залежить від товщини утвореного захисного шару і його провідності.

3. **Катодні** - підвищують перенапруження катодного процесу. Вони сповільнюють корозію в розчинах кислот. До таких інгібіторів відносяться солі або оксиди миш'яку і вісмуту. Ефективність дії інгібіторів залежить в

основному від умов середовища, тому універсальних інгібіторів немає. Для їх вибору потрібне проведення досліджень і випробувань. Найбільш часто застосовуються такі інгібітори: нітрит натрію, що додається, наприклад, до холодильних соляних розчинів, фосфати і силікати натрію, біхромат натрію, різні органічні аміни, сульфоокис бензилу, крохмаль, танін і т.П. Оскільки інгібітори згодом витрачаються, вони повинні додаватися в агресивне середовище періодично. Кількість інгібітору, який додається в агресивні середовища, невелика. Наприклад, нітрит натрію додають в воду в кількості 0,01-0,05%. Інгібітори підбираються залежно від кислого або лужного характеру середовища. Наприклад, часто застосовується в якості інгібітору нітрит натрію може використовуватися в основному в лужному середовищі і перестає бути ефективним навіть в слабо кислих середовищах.

## 2. Експериментальні випробування системи передпускової підготовки двигуна на стенді

Принцип роботи теплоаккумулятора базується на використанні теплоємності акумулюючого матеріалу (озокериту) за рахунок нагрівання до повного фазового переходу. У зв'язку з цим конструкція теплоаккумулятора (ТА) є простою та зрозумілою для більшості користувачів.

Схема роботи теплоаккумулятора в системі стенда вказана на схемі 1.

Для нагрівання ТА використовується електронагрівач 5, в даному випадку це ТЕН на 1,5 кВт. Слід зазначити, що проведення експерименту є можливим лише після досягнення температури ТА 80 °С. З резервуару 1, наповненого холодною рідиною, після відкриття крана 2 через трубопровід 3, що з'єднує теплоаккумулятор з резервуаром, рідина проходячи через ТА 4 нагрівається і в подальшому через трубопровід 6, оснащений датчиками для вимірювання температури  $t_2$ ,  $t_3$  потрапляє у резервуар 7 що є кінцевою точкою системи.

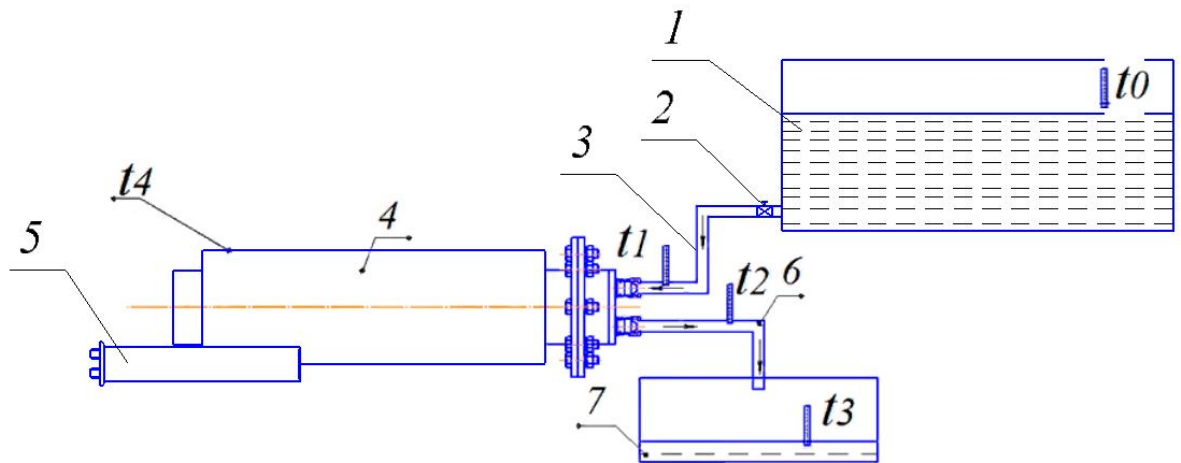


Схема 1. Схема стенда для випробування ТА

1 – резервуар з холодною рідиною; 2 – кран; 3,6 – трубопроводи; 4 – теплоаккумулятор; 5 – електронагрівач; 7 – резервуар з нагрітою рідиною.

Розрахунок кількості теплоти, що за один прохід передається від ТАМ до рідини здійснюється за формулою:

$$Q = c_p \cdot G_p \cdot (t_2 - t_1), \quad (2.1)$$

де  $c_p$  – теплоємність речовини (води) =  $4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ;  $G_p$  – масова витрата рідини,

$$G_p = V \cdot \rho, \quad (2.2)$$

де  $V$  – об'ємна витрата;  $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  $V = \frac{300 \text{ мл}}{35 \text{ с}} = 0,00000857 \text{ м}^3/\text{с}$ .

$$G_p = 0,00000857 \cdot 1000 = 0,00857 \text{ кг/с},$$

$$Q = 4200 \cdot 0,00857(23 - 5) = 647,89 \text{ Вт}.$$

Втрачена в навколишнє середовище кількість теплоти дорівнює:

$$Q_{o.c.} = \alpha(t_4 - t_{o.c.})F; \quad (2.3)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловідачи до навколишнього середовища,  $\alpha = 10 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$ ;

$F$  – площа поверхні кожуха теплообмінника,  $\text{м}^2$ ;

$$F = \pi D \cdot l = 3,14 \cdot 0,17 \cdot 0,6 = 0,32 \text{ м}^2, \quad (2.4)$$

$$Q_{o.c.} = 10 (89 - 5) 0,32 = 268,8 \text{ Дж}. \quad (2.5)$$

За результатами розрахунків слід відзначити необхідність у встановленні додаткової зовнішньої теплоізоляції.

### Дослід 1

Послідовність проведення дослідів наступна: холодна рідина, в даному випадку тосол, з температурою  $t_{oc}=5^\circ\text{C}$ , що відповідає температурі оточуючого середовища, під дією гравітації рухалась через трубний простір в середині теплоаккумулятора, нагрівалась за рахунок тепла, що накопичилось в ТАМ. На початку експерименту температура в теплоаккумуляторі була постійною і дорівнювала  $t_{ТАМ}=80^\circ\text{C}$  за рахунок термостату, що міститься на електронагрівачі. Набір значень температур рідини на виході отриманих в результаті зображений на графіку (рис. 8 – залежність  $\Delta t$  від часу).

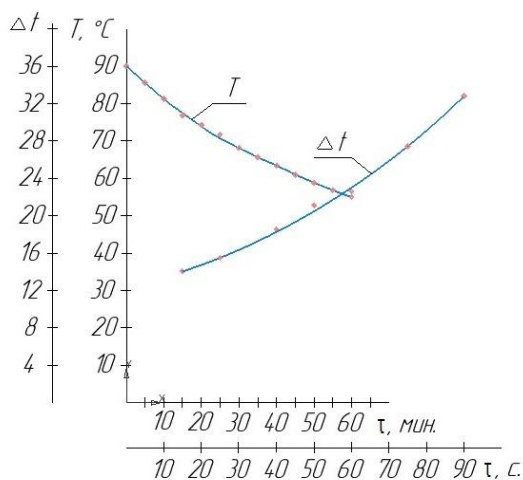


Рис. 8. Графіки залежності різниці температур від часу, та зміна температури при охолодженні від часу

Враховуючи результати проведених експериментів та отриманих даних можемо зробити висновок про те, що за півхвилини об'єм рідини 300 мл має нагрів на  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Враховуючи те, що на кожену трубку приходить один літр охолоджуючої рідини (загальний об'єм 3 літри) то маємо нагрів одного літру орієнтовно за  $3 \cdot 0,5\text{ хв.} = 1,5\text{ хв.}$  – зміна температури на 15 градусів за півтори хвилини. Оскільки об'єм малого кола охолодження також містить три літри, то можна зробити висновок про те, що при проходженні через три трубки рідина прогріється на  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  за ті ж півтори хвилини. Необхідну для полегшення пуску двигуна температуру можна очікувати вже приблизно через 3 – 4 хв.

Температура навколишнього середовища  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а температура нагрівального елемента  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Час повного фазового переходу залежить від різниці цих температур і коливається від однієї до півтори години. Охолодження ТАМ без теплоізоляції зображено на графіку (рис. 9, залежність  $T$  від часу).

## Дослід 2

Послідовність проведення дослідів наступна: холодна рідина, в даному випадку вода, з температурою  $t_e=15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що на один градус нижче температури оточуючого середовища, під дією гравітації рухалась по трубкам системи стенду, потрапляючи всередину теплоакумулятора, нагрівалась за рахунок

тепла, що накопичилось в ТАМ. На початку експерименту температура ТАМ в теплоакумуляторі була постійною і дорівнювала  $t_{\text{ТАМ}}=80$  °С за рахунок термостату, що міститься на електронагрівачі. Набір значень температур рідини на виході отриманих в ході експерименту занесені в таблицю 1.

Таблиця 1

Дані отримані в результаті експериментів

Номер експерименту	Час, с	Початкова температура °С	Кінцева температура °С	Об'єм, мл
1	123	15	40	500
2	84	15	33	500
3	95	15	36	500
4	23	15	29	500
5	94	15	32	500
6	107	15	33	500
7	56	15	33	500
8	38	15	27	500
9	48	15	25	1000
10	10,48	15	26	500
11	19,8	15	25	1000

Для отримання подальших даних використовуємо наступні формули:

– формула для визначення площі поверхні контакту з ТАМ:

$$f = n \cdot l \cdot d, \quad (1.6)$$

де  $n$  – кількість трубок;  $l$  – довжина трубки;  $d$  – діаметр трубки.

– формула для визначення кількості теплоти, що за один прохід передається від ТАМ до робочої рідини:

$$Q = c_p \cdot G_p \cdot (t_2 - t_1), \quad (1.7)$$

де  $c_p$  – теплоємність речовини (води) =  $4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ;  $G_p$  – масова витрата рідини.

$$G_p = \frac{v}{t} \cdot \rho, \quad (1.8)$$

де  $v$  – об'єм рідини в  $\text{м}^3$ ;  $t$  – час одного проходу;  $\rho$  –  $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

– формула для розрахунку коефіцієнту тепловіддачі:



$$k = \frac{Q_n}{(t_{ТАМ} - t_{cp}) \cdot f}. \quad (1.9)$$

де  $Q_n$  – кількість теплоти отримана в окремому експерименті;  $t_{ТАМ}$  – температура ТАМ;  $t_{cp}$  – середня температура робочої рідини при проході;  $f$  – площа поверхні контакту з ТАМ.

Отримані в результаті розрахунків дані занесені в таблицю 2.

Таблиця 2

Дані отримані в результаті обробки експериментальних даних

Номер досліджу	$f, \text{ м}^2$	$G_p$	$Q$	$k$
1	0,14	0,004	302	39
2	0,14	0,004	419	56,5
3	0,14	0,005	356	45
4	0,14	0,005	440,0	58
5	0,14	0,006	452,5	57,65
6	0,14	0,008	603	77
7	0,14	0,010	503	61
8	0,14	0,020	838	100
9	0,14	0,020	1173	144
10	0,14	0,040	1844	221
11	0,14	0,050	2095	249

Враховуючи те, що система стенду забезпечувала прохід рідини під дією гравітації лише в одному напрямку. Наступним етапом стало під'єднання в систему насосу та забезпечення циркуляції робочої рідини під тиском та проведення наступного досліджу.

### Дослід 3

Послідовність проведення досліджу наступна: холодна рідина, в даному випадку вода, з температурою  $t_e=15$  °С. Температура оточуючого середовища становить  $t_{o.c.}=13$  °С. На початку експерименту температура ТАМ в теплоаккумуляторі була постійною і дорівнювала  $t_{ТАМ}=80$  °С.

Оскільки спочатку система працювала за рахунок сили гравітації, було прийняте рішення про встановлення насосу (схема 2), оскільки він надає

наступні переваги: система буде замкненою, що ще більш наблизило роботу стенду до роботи реальної системи; можливість контролю та регулювання постійності встановленої течії та збільшення кількості робочої рідини.

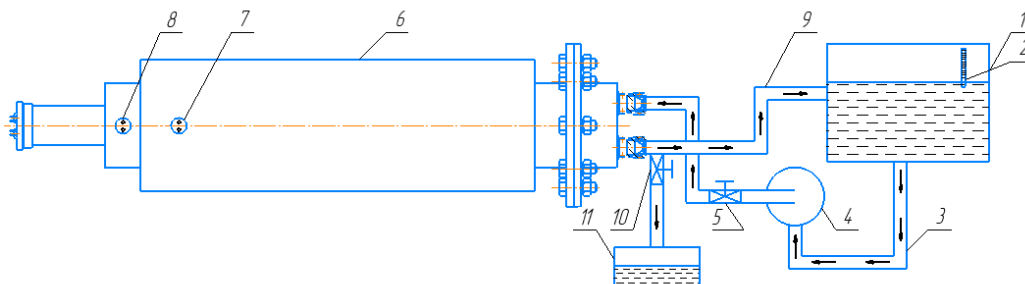


Схема 2. Система стенду для випробування ТА з насосом

1 – резервуар з циркулюючою рідиною; 2 – термометр; 3,9 – трубопроводи; 4 – насос; 5 – кран регулювання течії; 6 – теплоаккумулятор; 7 – термометр для визначення температури озокериту; 8 – термометр для визначення температури води; 10 – кран для вимірювання течії; 11 – резервуар для вимірювання течії.

Першим етапом експерименту стало встановлення постійної течії. Це є необхідною умовою, для того щоб визначити скільки циклів проходить вся робоча рідина через трубки теплоаккумулятора за весь час експерименту. Далі після замкнення системи рідина циркулює до того моменту, поки температура рідини перестає зростати. Після проведення дослідів, використовуючи результати, були побудовані наступні залежності у вигляді табличних даних та графіків.

Таблиця 3

Дані прогріву рідини в залежності від витрати води

		$V = 0,01\text{л/с}$	$V = 0,02\text{л/с}$	$V = 0,05\text{л/с}$	$V = 0,37\text{л/с}$
№	Час	Температура $t\text{ }^\circ\text{C}$	Температура $t\text{ }^\circ\text{C}$	Температура $t\text{ }^\circ\text{C}$	Температура $t\text{ }^\circ\text{C}$
0	0	15	13	14	15
1	2	23	20	23	23,5
2	4	25	22	25	25
3	6	27	23	26,2	26,5
4	8	28,5	24,5	28	28

5	10	30	25,5	29	29
6	12	32	26,5	30	30
7	14	33	27,2	30,5	30,5
8	16	33,5	28	31,2	31
9	18	34,5	29	32	32
10	20	35	29,5	32,4	32,5
11	22	35,5	30	33	33
12	24	36	30,5	33,2	33,2
13	26	36,5	31	34	33,5
14	28	37	31,2	34	34
15	30	37,2	31,5	34,5	34,2

Використовуючи отримані данні за допомогою програмного забезпечення Maple 8 були побудовані наступні графіки рисунок 9.

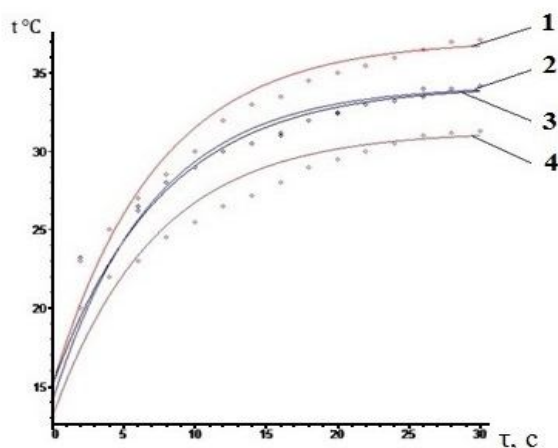


Рис. 9. Графіки прогріву робочої рідини в залежності від витрати робочої рідини: 1 –  $V = 0,01\text{л/с}$ ; 2 –  $V = 0,37\text{л/с}$ ; 3 –  $V = 0,05\text{л/с}$ ; 4 –  $V = 0,02\text{л/с}$

Отримали дані, які показують, що зростання об'ємної витрати не приводить до зростання температури, що сумнівно виходячи з термодинамічних позицій. Така ситуація може бути пояснена тим, що збільшення витрати дає збільшення тепловтрат в приймальному резервуарі. Таким чином, оскільки резервуар по перше сам поглинає тепло і починає віддавати його в навколишнє середовище (рис. 10 а), велика частина тепла втрачається в навколишнє середовище саме з поверхні води. Тому було прийнято рішення про ізоляцію резервуару від навколишнього середовища(рис.

10 б), за рахунок встановлення теплоізоляційного шару у вигляді мінеральної вати з боків та шару пінопласту в верхній та нижній частині резервуару.



а)



б)

Рис. 10. а) резервуар без утеплення, б) резервуар з утепленням

#### Дослід 4

Після забезпечення повної ізоляції резервуару був проведений ряд експериментів в результаті якого були отримані наступні дані занесені в таблицю 4.

Таблиця 4

Результати експериментів після утеплення резервуару

№	Час	$V = 0,37\text{л/с}$	Час	$V = 0,024\text{л/с}$
		Температура $t\text{ }^{\circ}\text{C}$		Температура $t\text{ }^{\circ}\text{C}$
0	0	14	0	12
1	1	22	1	19
2	1,10	23	1,22	21
3	1,30	24	1,33	22
4	1,57	25	2	23
5	2,30	26	2,34	24
6	3,05	27	3,10	25
7	3,50	28	3,49	26
8	4,45	29	4,34	27
9	5,43	30	5,3	28
10	6,46	31	6,23	29
11	8,03	32	7,36	30
12	9,28	33	8,45	31
13	11	34	10,15	32

14	12,5	35	11,45	33
15	14,49	36	13,35	34

В подальшому використовуючи отримані результати дослідів були побудовані залежності у вигляді графіків рисунок 11.

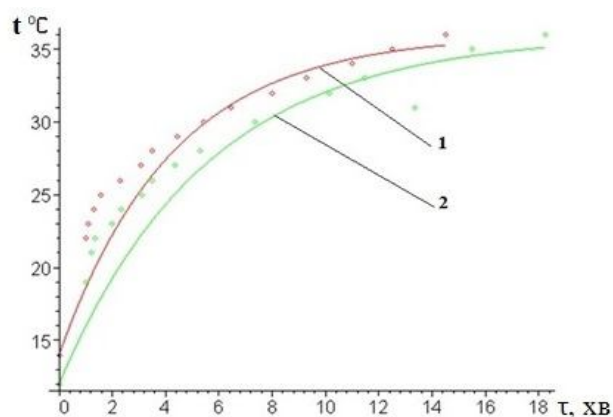


Рис. 11. Графік залежності температури від час з утепленням резервуару

Аналізуючи дані, можна відзначити, що після встановлення теплоізоляції прогрів робочої рідини пришвидшився, а саме температура рідини з однаковою початковою температурою без утеплення прогрівається до 29 °С за десять хвилин в той час як з утепленням лише за п'ять хвилин. Тому всі подальші розрахунки проводяться з врахуванням наявності або відсутності теплоізоляції.

## Висновок

У даній науковій роботі на тему «Дослідження властивостей матеріалів теплоаккумуляторів для вантажних автомобілів з врахуванням корозії» розглянуті питання, що стосуються підбору матеріалів, що використовуються при побудові систем передпускової підготовки двигунів. В роботі проведений літературний аналіз матеріалів здатних накопичувати та зберігати тепло різними методами, фактично обґрунтовано доречність використання фазоперехідних матеріалів в новій конструкції теплоаккумулятора (ТА).

Проведене експериментальне дослідження, а саме перевірка корозійної стійкості матеріалів, що використовуються в системі охолодження автомобіля, з різними видами робочої рідини, за висновками якого в системі стенду було обрано робочою рідиною воду, а трубки в теплоаккумуляторі виготовлені з міді.

За час проведення експериментальної частини були внесені зміни в конструкцію теплоаккумулятора, а саме збільшена кількість трубок з однієї до трьох, створена та виготовлена змішувальна камера, що слугує для подачі робочої рідини в кожен з трубок. Задля того, щоб система стала більш наближеною до реальної системи охолодження, був встановлений насос. Це надало можливість встановлення стабільної роботи замкненої системи стенду. Додатковим впровадженням стало утеплення резервуару обігу води. За результатами експериментів цей етап дозволив скоротити час нагріву до певних температур майже вдвічі, та підвищити максимальну температуру прогріву від ТА на п'ять градусів.

### Список використаної літератури

1. Дихтиевский О.В., Юревич И.Ф., Мартыненко О.Г. Тепловые аккумуляторы: Препринт № 27 / Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова. Минск, 1989. - 55 с.1 1
2. Аккумуляирование тепла / Левенберг В. Д., Ткач М. Р., Гольстрем В. А. – Киев: Техника, 1991. – 112 с.
3. Корінчевська Т.В. Перспективні методи акумулювання теплової енергії // Одеська національна академія харчових технологій, Наукові праці, випуск 37. – С. 236-241
4. Бекман Г., Гили П. Тепловое аккумуляирование энергии: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 272 с.
5. Аппазов Э.С., Ключев О.И., Русанов С.А., Луняка К.В. Решения по использованию теплоаккумуляторов на основе фазового перехода твердое тело – жидкость для предпусковой подготовки автомобильных двигателей. // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування / Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Херсон: ВНЗ «ХДМІ», 2014. – С.52-54.
6. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981. – 486 с.
7. Исследование теплофизических свойств кристаллогидратов применительно к задачам теплоаккумуляирования / Б.Н. Егоров, М.П. Ре-вякин, Н.Н. Трохинин, С.Н. Трушевский, Т.М. Федорова // Гелиотехника. 1979.-№ 3. С. 61-64.
8. Химическая энциклопедия / редкол.: Кнунянц И.Л. и др.. — М.: Советская энциклопедия, 1992. — Т. 3. — С. 446, 207. — 639 с.
9. Данилин В.Н., Шабалина С.Г. Теплоаккумулярующие материалы на основе высокомолекулярных соединений Технология Сер. Конструкции из композиционных материалов. Теплоаккумулярующие материалы/ Всероссийский научно-исследовательский институт межотраслевой информации. Государственный ракетный центр “КБ им. Академика В.П.

Макеева.”Научнопроизводственное объединение прикладной механики. 1995. Вып.3-4, с.20- 24.

**10.** Шабалина С.Г. Теплоаккумулирующие материалы на основе фазопереходных веществ природного происхождения / Шабалина С.Г., Данилин В.Н., Боровская Л.В // Физико-химический анализ свойств многокомпонентных систем. Электронный научно-технический журнал. -Вып. II - 2004.

**11.** Методичні вказівки про проектування акумуляторів теплоти на основі фазового переходу. Россихин. Н. А. 2007.

**12.** Улиг Г. Г., Ревы Р. У. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику: Пер. с англ./Под ред. А. М. Сухотина.—Л.: Химия, 1989.— Пер. изд., США, 1985. — 456 с.: ил.