«Thermal Preparation System»

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ І ПОКРАЩЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДВИГУНА СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ

ЗМІСТ

Вступ 3

1. Вплив температур навколишнього середовища на двигуни суднових енергетичних установок…….. 4
2. Аналіз способів використання перспективних схем суднових теплоакумулюючих систем теплової підготовки…… 6
3. Загальна характеристика двигуна суднової енергетичної установки….. 8
4. Загальна структура методики оцінювання показників суднового двигуна при застосуванні системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу…… 8
5. Формування циклу забезпечення температурного стану двигуна в умовах експлуатації з використанням системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу……. 9
6. Системний підхід до забезпечення температурного стану двигуна суднової енергетичної установки в умовах експлуатації…….. 11
7. Формування системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу……. 13
8. Результати дослідження впливу застосування системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу на показники теплової підготовки суднового двигуна……... 16
9. Оцінка показників забезпечення температурного стану суднового двигуна за допомогою системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів в умовах експлуатації…… 26

Висновки……. 30

Список використаних джерел…….. 31

Додатки…… 38

Вступ

Одним з перспективних напрямів удосконалення двигунів енергетичних установок і транспортних засобів є впровадження сучасних технологій в їх конструкцію з метою збільшення продуктивності, адаптація до умов експлуатації тощо. Ці заходи включають в себе різні методи аналізу, конструювання, експериментальні дослідження, як на системному рівні, так і на рівні компонентів. Особливо актуальні запропоновані методи є для тих режимів двигунів, коли потрібно значні витрати енергії для здійснення їх теплової підготовки в холодних умови експлуатації, а саме такі, як передпусковий і післяпусковий прогрів двигуна, зберігання прогрітого двигуна для здійснення успішного подальшого пуску в холодних умовах експлуатації. При цьому вирішальними факторами, крім зручності експлуатації, є низька вартість пристроїв для здійснення теплової підготовки двигунів, необхідність застосування ресурсозберігаючих, екологічно чистих технологій енергетики, необхідність отримання повної потужності відразу після пуску двигуна, поліпшення паливної економічності і зниження викидів в процесі його теплової підготовки. Обмежуючими факторами в таких роботах є масо-габаритні характеристики пристроїв і компактне їх розміщення в конструкції сучасних енергетичних установок і транспортних засобів. У зв'язку з цим, найбільш актуальним стає розробка і формування систем теплової підготовки для вирішення зазначених проблем в конструкції, як самого двигуна, так і енергетичної установки або транспортного засобу. Одним з перспективних напрямків в цьому випадку буде розробка і дослідження системи теплової підготовки суднового двигуна з тепловими акумуляторами (ТА) фазового переходу в процесах його передпускового і післяпускового прогріву в холодних умови експлуатації.

1. Вплив температур навколишнього середовища на двигуни суднових енергетичних установок

Суднові дизельні двигуни у складі СЕУ піддаються значним змінам кліматичних і температурних умов, характерним для різних частин земної кулі і тому повинні бути здатними працювати в різних умовах навколишнього середовища, а саме, в зимових і в літніх, що характерні для арктичних і тропічних районів [1]. Оскільки зміни температури на поверхні моря досить обмежені, судновий дизельний двигун звичайно не буде піддаватися реальним екстремальним температурам. Однак зміни, що відбуваються в умовах навколишнього середовища, серед іншого, викликають зміни в частині загальної витрати мазуту, дизельного палива, кількості відпрацьованих газів і температур дизельного двигуна.

Крім того, температура повітря у впускному колекторі, параметри стискання та тиску спалювання в циліндрі у суднових дизельних двигунів можуть змінюватися і, при дуже низьких температурах навколишнього середовища, температура повітря, що впускається в двигун, істотно впливає і може вимагати деяку корекцію окремих параметрів двигуна.

Нормальный запуск суднового двигуна (або двигуна відповідальної енергетичної установки) рекомендується здійснювати при нормальних умовах у наступних встановлених параметрах: двигун повинен запускатися після здійснення попереднього прогріву водяної сорочки мінімум до 50 °С і поступово підвищуватись при зміні частоти обертання до 90% від зазначеної максимально стійкої частоти обертання для номінальній потужності.

Для роботи в діапазоні від 90% до 100% вказаної максимально стійкої частоти обертання для номінальної потужності, рекомендується, щоб навантаження збільшувалося повільно, протягом не менше 30 хвилин [1].

Пуск холодного двигуна, у виключних випадках, коли неможливо виконати вищевказані рекомендації, можливий при мінімально можливій температурі, яка може бути прийнята перед запуском двигуна [1], тобто більше

20 °C і, після якої, поступово підвищується частота обертання до 90% від зазначеної максимально стійкої частоти обертання для номінальної потужності.

Однак, перше ніж перевищити значення 90% заданої максимально стійкої частоти обертання для номінальної потужності, мінімальна температура двигуна повинна складати 50 °C і для роботи в діапазоні від 90% до 100% вказаної заданої максимально стійкої частоти обертання для номінальної потужності рекомендується, щоб навантаження збільшувалося поступово - тобто на протязі не менше 30 хвилин.

Період часу, необхідний для підвищення температури води в сорочці охолодження від 20 °C до 50 °C, буде залежати від кількості охолодження води в системі охолодження, і від навантаження двигуна. Все вищевказане може мати місце, виходячи з припущення, що двигун справний і добре працює [1].

Особливості попереднього нагрівання двигуна під час періодів простоювання наступні. Під час короткотермінового знаходження в порту (тобто менше 4-5 днів), рекомендується, щоб двигун знаходився попередньо розігрітий з метою запобігання зміни температури в конструкції двигуна та відповідних варіацій теплових розширень і, отже, ризику витоків в елементах конструкції. Температуру на виході охолоджуючої рідини з сорочки охолодження слід утримувати як можна вище і, перед запуском, вона повинна знаходитися в межах не менше 50 °C. Це може бути досягнуто або шляхом використання рідини у системі охолодження із допоміжного двигуна або за допомогою вбудованого підігрівача в системі охолодження охолоджуючої води, або комбінації обох методів [1]. Приклади схем прогріву показані в додатку 2.

У реальних умовах експлуатації СЕУ існують значні теплові втрати від працюючого енергетичного обладнання в навколишнє середовище, використання яких, з метою підвищення ефективності вцілому енергетичної установки (ЕУ), можливо за допомогою застосування засобів накопичення або утилізації теплової енергії, що забезпечують, в тому числі, і передпусковий прогрів суднового ДВЗ [1-4].

Вибір перспективних засобів і схем систем передпускового прогріву ДВЗ СЕУ проводиться на підставі прийнятих нормативних вимог, що ставляться до таких систем, а також експертним шляхом, на підставі оцінок собівартості системи, конструктивної та технологічної простоти, її надійності та безпеки при експлуатації [1-4].

Аналіз наукових досліджень показав, що одним із шляхів підвищення ефективності СЕУ є використання в їх складі теплоакумулюючих засобів, що представляють собою сукупність елементів енергетичного обладнання та ТА фазового переходу [1 - 8]. Дослідження в цій області як правило зосереджені на одержанні ефективних ТАМ, вирішенні питань їх коррозійної сумісності з наявними конструкційними матеріалами, визначенні критичного числа термічних циклів «зарядка - розряд», розробці схем теплоакумулюючих систем у складі стаціонарних та транспортних енергетичних установок тощо. Не зважаючи на чисельні публікації, присвячені питанням накопичення теплової енергії в складі енергетичних установок і транспортних засобів, до теперішнього часу не вирішені питання вибору раціональних схем суднових теплоакумулюючих систем теплової підготовки ДВЗ для ЕУ суден портового флоту з урахуванням особливостей режимів їх експлуатації, габаритних розмірів машино-котельних відділень тощо.

2. Аналіз способів використання перспективних схем суднових теплоакумулюючих систем теплової підготовки

Одним з напрямків підвищення ефективності використання енергії судновими енергетичними установками є застосування в їх складі перспективних схем суднових теплоакумулюючих систем теплової підготовки, що представляють собою конструктивно сполучені елементи теплоенергетичного обладнання, які забезпечують процеси накопичення, зберігання і використання теплової енергії за різним призначенням [2].

Виконаний аналіз показав, що перспективні схеми суднових

теплоакумулюючих систем теплової підготовки можуть використовуватись у складі суднових енергетичних установок за різним цільовим призначенням (рис. 1).

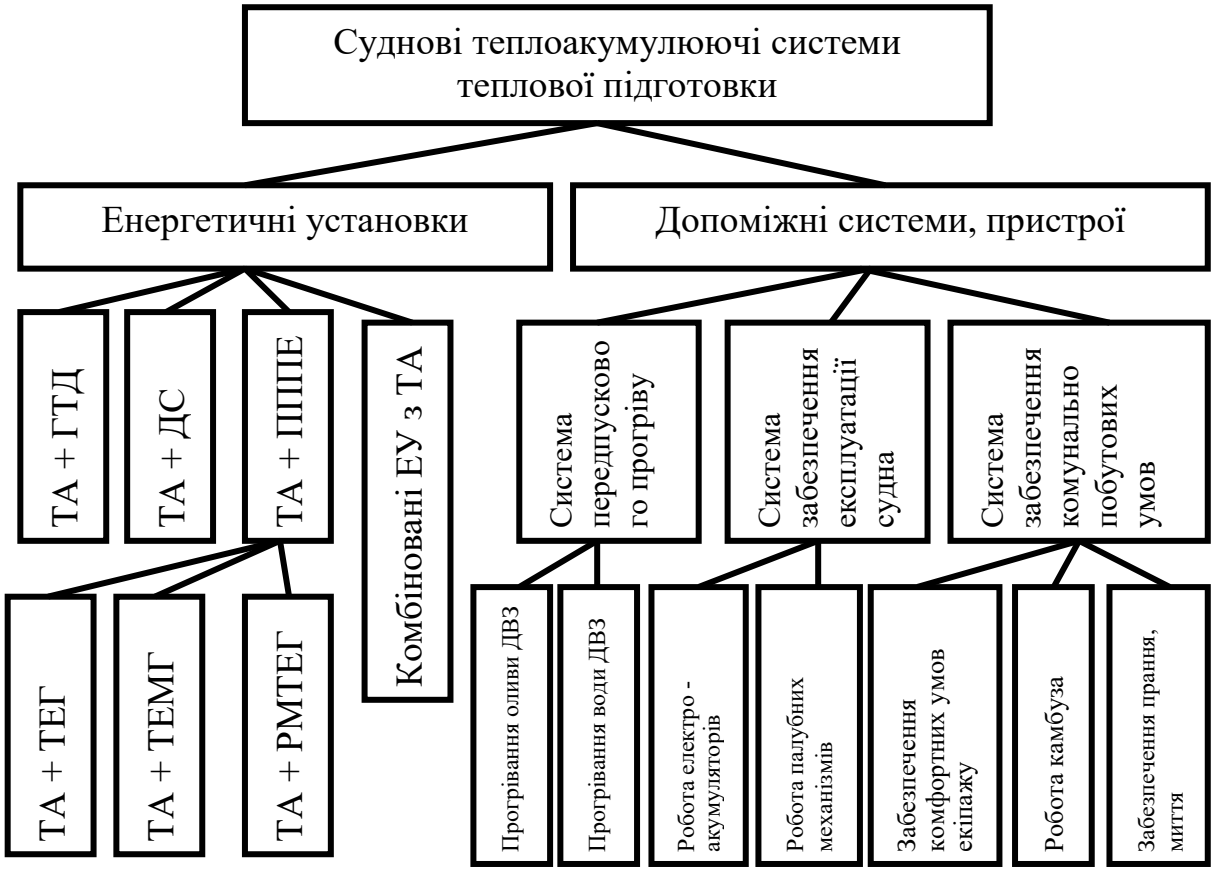


Рисунок 1 - Основні напрямки використання теплоакумулюючих систем теплової підготовки у складі суднових енергетичних установок:
ТА - тепловий акумулятор; ГТД - газотурбінний двигун; ДС - двигун Стірлінга;
ТЕГ- термоелектричний генератор; ТЕМГ - термоемісійний генератор;
РМТЕГ- рідкометалевий термоелектричний генератор; ППТЕ- пристрої прямого перетворення енергії.

Суднові теплоакумулювальні системи використовуються в якості енергетичних установок підводних і наводних технічних засобів. Перетворювачами теплової енергії теплового акумулятора виступають: газотурбінний двигун, двигун Стірлінга, а також пристрої прямого перетворення теплової енергії в електричну (ППТЕ). В якості ППТЕ для використання в енергетичній установці з тепловим акумулятором

розглядаються термоелектричні генератори (ТЕГ), термоемісійні генератори (ТЕМГ), рідиннометалічні термоелектричні генератори (РМТЕГ) і їх комбінації.

Використання перспективних схем суднових теплоакумулюючих систем теплової підготовки у складі суднових енергетичних установок знаходить своє застосування для забезпечення роботи систем передпускового прогріву двигунів внутрішнього згоряння, для роботи пристроїв і механізмів забезпечення експлуатації судна, а також для забезпечення комунально-побутових умов для екіпажу.

Результати досліджень, присвячених проблемам використання перспективних схем суднових теплоакумулюючих систем теплової підготовки в складі транспортних енергетичних установок з ДВЗ, дозволяють зробити висновок про те, що одним з основних етапів розробки ТЗ є визначення необхідної енергоємності теплового акумулятора, його разрядно-зарядних характеристик, циклічності роботи ТЗ в реальних умовах експлуатації суднової енергетичної установки.

3. Загальна характеристика двигуна суднової енергетичної установки

Дизель К-164М1 [24] є базовою моделлю уніфікованих дизелів з наддувом 6ЧН 12/14 потужністю 84,5 – 132 кВт (115 – 180 к.с.) і призначений для приводу генераторів постійного або змінного струму в суднових умовах. Загальний опис конструкції і характеристика двигуна представлені у додатку З.

4. Загальна структура методики оцінювання показників суднового двигуна при застосуванні системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу

Вирішення задачі підвищення паливної економічності та зниження шкідливих викидів суднового ДВЗ (додаток 3) при застосуванні системи

теплової підготовки (СТП) на основі теплових акумуляторів (ТА) фазового переходу доцільно здійснювати у відповідності за загальноприйнятою методологією наукових досліджень [25]. На рис. 2 представлена узагальнена схема процесу дослідження суднового двигуна при застосуванні системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу.

Запуск ДВЗ після попереднього прогріву від автономного зовнішнього джерела та підтримка стабільних температур технологічних рідин у межах обумовлених конструкцією суднового двигуна та параметрами палива дає можливість ефективно використовувати судновий двигун, економити паливо та досягати низьких рівнів викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

Метою створення загальної структури методики проведення досліджень і оцінювання показників суднового двигуна при застосуванні системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу є розробка підходів і конкретних пунктів дослідження для досягнення поставленої в науковій роботі мети, а саме підвищення паливної економічності та зниження шкідливих викидів суднового дизеля в процесах теплової підготовки його до експлуатації за призначенням.

Аналіз досліджень в частині акумулювання енергії в теплових акумуляторах фазового переходу в транспортних засобах достатньо повно наведений в [25].

5. Формування циклу забезпечення температурного стану двигуна в умовах експлуатації з використанням системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу

Застосування СТП для суднового двигуна дає можливість виконувати швидкий передпусковий прогрів ДВЗ без його пуску від фазоперехідного ТА та підсистеми прискореної теплової підготовки (СППД) на рівні 40-60 °С, швидкий прогрів до температури, при якій можливе навантаження двигуна, скоротити час прогріву до оптимальної, з точки зору робочого процесу двигуна,

Рисунок 2 - Загальна структура методики досліджень і оцінювання показників суднового двигуна при застосуванні системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу

температури ОР і МО (на рівні 85±5 (95±2) °С) та підтримувати її на заданому рівні, а також забезпечувати прогрів двигуна під час зупинки до температури 40-50 °С без його роботи в режимі х.х.

Одним з основних питань організації передпускового і післяпускового прогріву двигуна до температури, що дозволяє здійснювати приймання навантаження після пуску, є вибір режимів роботи СТП [6]. Ці режими мають відповідати експлуатаційним вимогам до регламентів роботи суднового двигуна і СЄУ в цілому. Зважаючи на те, що питання прискореного пуску суднового двигуна для здійснення руху і виконання встановленої роботи має першочергове значення для організації їх застосування, доцільно в якості основних режимів теплової підготовки двигуна для дослідження використовувати розроблений цикл передпускового і післяпускового прогріву суднового двигуна, оснащеного СТП (рис. Д 5).

6. Системний підхід до забезпечення температурного стану двигуна суднової енергетичної установки в умовах експлуатації

Оскільки об’єкт дослідження (система теплової підготовки суднового ДВЗ в умовах експлуатації) у загальному випадку є численним класом систем, що використовують різноманітні джерела первинної енергії для енергозабезпечення складових системи і забезпечення температурного стану двигуна суднової енергетичної установки в умовах експлуатації, то для визначення найбільш суттєвих елементів і зв’язків в схемі системи комбінованого прогріву доцільно представити її формалізовану схему. На рис. 3 представлена формалізована схема об’єкту дослідження – СТП із взаємодією основних енергетичних потоків та їх перетворенням від входу до виходу системи.

Основним джерелом первинної енергії в СТП є органічне паливо й повітря, призначені для роботи суднового поршневого двигуна (рис. 3). В якості джерела енергії для роботи ТА фазового переходу підсистеми утилізації теплової енергії відпрацьованих газів і теплового акумулятора фазового

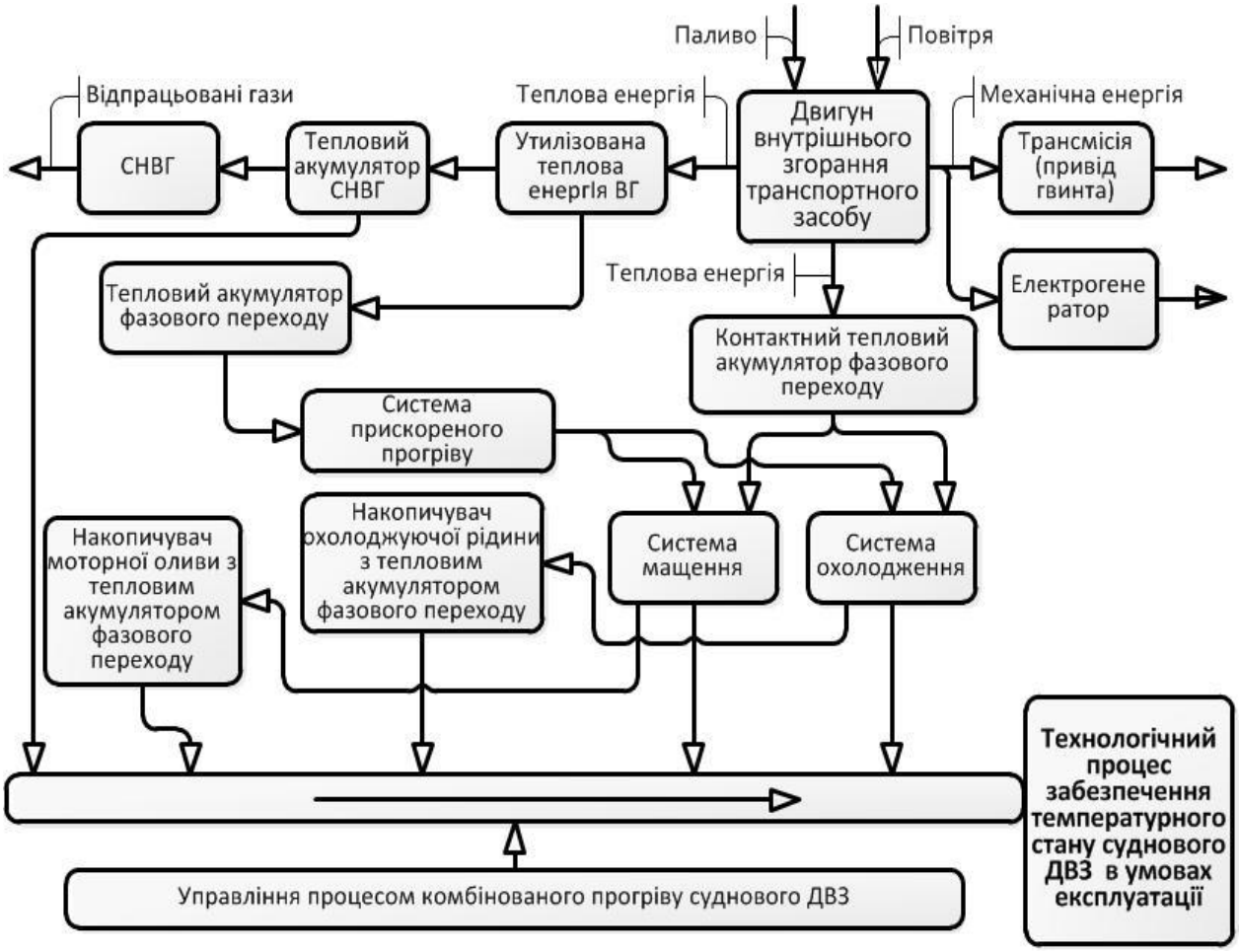


Рисунок 3 - Формалізована схема системи теплової підготовки суднового двигуна із взаємодією основних енергетичних потоків та їх перетворенням

переходу системи нейтралізації ВГ використовується теплота ВГ двигуна, а для роботи контактного теплового акумулятора – теплота двигуна у вигляді конвекції і теплового випромінювання в процесі експлуатації, які за своїм енергетичним потенціалом та питомій вазі нижче за основний, проте дозволяють створити більш гнучкішу і адаптовану систему для виконання властивих їй функцій в умовах експлуатації. Механічна робота, яка генерується судновим двигуном, використовується для подальшого перетворення в трансмісії (привід гвинта для руху), а також в електроенергію (від електрогенератора), або для приводу машин і механізмів, у тому числі і на власні потреби.

Інтеграцію до системи енергії від різних джерел у вигляді теплоти технологічно можливо виконати в контурі забезпечення процесу формування

теплового стану суднового двигуна в умовах експлуатації. Різні види теплової енергії, різний потенціал, і, відповідно, її енергетична цінність в різних точках системи комбінованого прогріву; наявність процесів багатократного перетворення одних видів енергії в інші, залежність процесів і параметрів системи комбінованого прогріву від режимів суднового двигуна, ускладнюють використання традиційних методів дослідження, які використовуються в процесах роботи суднового ДВЗ або в технологічних процесах.

7. Формування системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу

У світі виконання п.2 (рис. 2) формуємо схему теплової підготовки на основі теплових акумуляторів (ТА) фазового переходу.

Формування СТП виконуємо на основі теплових акумуляторів фазового переходу. Для формування СТП суднового ДВЗ використовуємо комбінацію (поєднання за призначенням) ТА фазового переходу у відповідності з вимогами і схеми на рис. 3. Тепловий акумулятор - пристрій для акумулювання теплової енергії, робота якого основана на використанні фізичного або хімічного процесу, пов'язаного з поглинанням і виділенням теплоти [5, 6, 15, 26, 29]. Із загального переліку робочих процесів ТА до основних відносяться накопичення-виділення внутрішньої енергії при нагріванні-охолодженні твердих або рідких тіл, фазові переходи з поглинанням-виділенням прихованої теплоти, хімічні реакції, що протікають з виділенням-поглинанням теплової енергії. Акумуляцією (акумулюванням) теплової енергії або акумуляцією теплоти називають процес накопичення теплової енергії в період її найбільшого надходження для подальшого використання, коли в цьому виникає необхідність. Процес накопичення енергії називається зарядкою, процес її використання – розрядкою [5, 6, 15, 26, 29]. Речовини, що використовуються для накопичення теплової енергії, називаються теплоакумулюючими матеріалами (ТАМ). При цьому кількість акумульованої енергії залежить від

температури, на яку нагрівається теплоакумулюючий матеріал, і його питомої теплоємності. Основні робочі процеси в теплових акумуляторах, а саме акумулювання теплової енергії, засновано на використанні оборотного процесу фазового переходу плавлення-затвердіння. У цьому випадку в якості теплоакумулюючого матеріалу використовується фазозмінний матеріал [5 - 7]. Реалізація цього способу виявляється більш складною, через необхідність ускладнення конструкції. Однак в таких теплових акумуляторах на одиницю об'єму запасається набагато більшу кількість теплоти. При цьому процес зарядки і розрядки може бути здійснений у вузькому температурному діапазоні, що виявляється дуже важливим при необхідності роботи теплових акумуляторів в умовах невеликих температурних напорів. На водному транспорті застосування теплових акумуляторів вигідне для полегшення пуску двигуна, роботи агрегатів і вирішення побутових (господарських) потреб екіпажу на транспортному засобі тощо. Теплота, запасається під час роботи двигуна і може зберігатися протягом декількох днів. Для цього тепловий акумулятор поміщається в посудину Дьюара (термос), що забезпечує найкращу теплоізоляцію.

В [29] показані основні складові процесу формування системи теплової підготовки **(**СТП) транспортного двигуна. Для забезпечення необхідного температурного стану в процесах передпускового і післяпускового прогріву ДВЗ в холодних умовах експлуатації формуємо схему і складові СТП на основі основних систем суднового двигуна. Запропонована СТП суднового двигуна складається з наступних підсистем: прискореного прогріву двигуна (СППД), утилізації теплової енергії відпрацьованих газів (ВГ) ТА фазового переходу (СУТТА), контактного теплового акумулятора (КТА), накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором (НМОТА), накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором (НОРТА), ТА каталізатора системи нейтралізації ВГ (ТАСНВГ). СТП конструктивно, як складова частина, входить до системи охолодження (СОД), мащення (СМ) і систему випуску ВГ транспортного двигуна. Вона виконує частину функцій систем та здійснює

визначальний вплив на протікання робочого процесу суднового двигуна [5, 6, 23, 15, 26–29]. Саме СТП забезпечує передпусковий і прискорений післяпусковий прогрів ОР та МО суднового двигуна до температури, при якій можливо здійснювати навантаження двигуна, а потім і до робочої температури та тривалий час підтримує їх в період зупинки двигуна у межах, обумовлених робочим процесом та конструкцією ДВЗ.

Елементи СКП, а саме підсистем прискореного прогріву двигуна, утилізації теплової енергії ВГ ТА фазового переходу, контактного теплового акумулятора і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором входять як складові елементи в СОД двигуна. Елементи СКП, а саме підсистем прискореного прогріву двигуна, утилізації теплової енергії відпрацьованих газів ТА фазового переходу, контактного теплового акумулятора й накопичувач моторної оливи з тепловим акумулятором входять як складові елементи в СМ двигуна. Всі перераховані підсистеми можуть працювати спільно у складі та за алгоритмом роботи СКП, або окремо одна від одної з виконанням властивих їм функцій [6, 23, 26 - 28].

Принцип роботи СТП в режимі накопичення теплової енергії в цілому полягає в накопиченні бросової теплоти, а саме накопиченні теплової енергії саме ВГ тепловим акумулятором фазового переходу підсистеми утилізації теплової енергії ВГ, в накопиченні теплової енергії суднового двигуна у вигляді конвекції і теплового випромінювання контактним тепловим акумулятором під час експлуатації. Означена «бросова» теплова енергія утворюється при згоранні палива в процесі роботи суднового ДВЗ і викидається в атмосферу та не використовується на корисну роботу.

Реалізація схеми СТП для суднового двигуна показана на рис. 4, а опис особливостей його конструкції і роботи представлений в додатку 6.

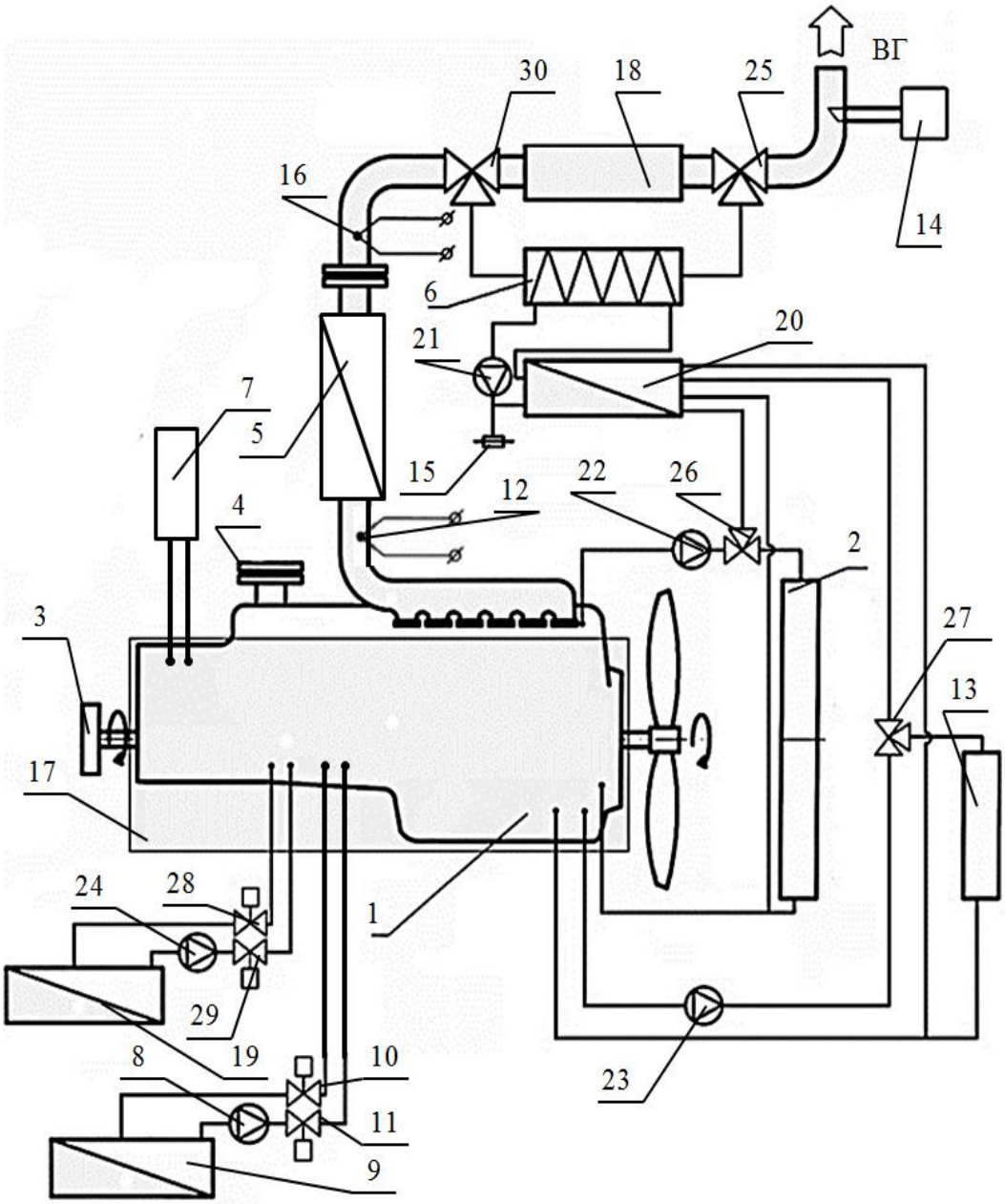


Рисунок 4 - Схема системи теплової підготовки суднового двигуна на основі теплових акумуляторів фазового переходу

8. Результати дослідження впливу застосування системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу на показники теплової підготовки суднового двигуна

Дослідження впливу варіантів комплектації СТП на основі ТА фазового переходу на показники теплової підготовки суднового двигуна проводилось для

визначених у науковій роботі режимів експлуатації суднового двигуна, як в усталених, так і в перехідних режимах роботи двигуна. При цьому досліджувались термінові (терміни передпускової і післяпускової теплової підготовки і терміни зберігання суднового двигуна в прогрітому стані), економічні (витрата палива на здійснення передпускової і післяпускової теплової підготовки і зберігання суднового двигуна в прогрітому стані) і екологічні параметри (викиди ШР у ВГ в процесах здійснення передпускової і післяпускової теплової підготовки і зберігання суднового двигуна в прогрітому стані).

Представлення всіх отриманих результатів ускладнюється формальною обмеженістю розміру тексту наукової роботи. Тому, представляємо основні результати дослідження теплової підготовки суднового двигуна К-164М1 розмірності 6ЧН 12/14 в умовах експлуатації, проведені в математичній моделі для варіанту прогріву суднового ДВЗ в режимі х.х. [44, 47]. При оцінюванні роботи СТП в різних варіантах комплектації виходили з наступних міркувань. СТП із застосуванням перспективних варіантів теплової підготовки є поєднанням п’яти незалежних підсистем: СУТТА (з ТА), СППД, КТА і НМОТА, НОРТА. Перші дві підсистеми, працюючи спільно, фактично забезпечують роботу ТА фазового переходу з прискореними циркуляціями ОР і МО та штатних систем суднового двигуна розмірності 6ЧН 12/14 при виконанні передпускового і післяпускового прогріву. КТА забезпечує тривале зберігання накопиченої теплової енергії в ОР і МО у блоці циліндрів за допомогою теплоізольованої контактної оболонки з ТА фазового переходу. НМОТА і НОРТА забезпечують тривале зберігання накопиченої теплової енергії окремо для МО і ОР у окремих теплоізольованих ємностях з ТА фазового переходу. В проведеному дослідженні оцінювались і порівнювались результати передпускового і післяпускового прогріву суднового двигуна в залежності від комплектацій СТП за окремими варіантами або в їх поєднанні за відповідними комбінаціями варіантів.

Виходячи з розроблених алгоритмів передпускового і післяпускового прогріву ОР і МО суднового двигуна були складені 19 комбінацій варіантів для виконання аналізу комплектацій використання складових розробленої СТП (табл. 1). При цьому, для всіх складених варіантів, під час здійснення передпускового і післяпускового прогріву суднового двигуна з СТП, оцінювались наступні режимні параметри його роботи в інтервалах часу: прогрівання ОР і МО від $T_{ос}$ до 50 °С, хв., прогрівання ОР і МО від 50 °С до 85 °С, хв., підтримання $T_{ОР} \approx 50$ °С і $T_{МО} \approx 50$ °С, хв. Для наочності, аналіз параметрів роботи двигуна проводився окремо для ОР і МО транспортного двигуна, при різних температурах ОС, а саме: 20 °С, 0 °С, -20 °С.

Результати передпускового і післяпускового прогріву за тривалістю теплової підготовки ОР і МО двигуна за допомогою СТП показані: за тривалістю прогрівання ОР і МО від $T_{ос}$ до 50 °С, хв. на рис. 5, за тривалістю прогрівання ОР і МО від 50 °С до 85 °С, хв. на рис. 6, за тривалістю підтримання $T_{ОР} \approx 50$ °С і $T_{МО} \approx 50$ °С, хв. на рис. 7. Порівняння показників для кожного з варіантів комплектації СТП і технології використання в абсолютних величинах (і в %) проводилось співставленням кожного з визначених показників для відповідного варіанту комплектації СТП з аналогічним для ШС суднового двигуна К-164М1(6Ч 12/14), показано на рис. 5 – 7.

Виходячи з отриманих результатів розрахунку показників передпускового і післяпускового прогріву ОР і МО суднового двигуна в часі за відповідними варіантами комплектації СТП (рис. 5 – 7) однозначно видно, що застосування означених засобів прогріву за розробленими щодо них алгоритмами роботи дозволяє забезпечити, як передпусковий, так і прискорений післяпусковий прогрів суднового двигуна на прикладі 6ЧН 12/14, а також збільшити тривалість періоду зупинки двигуна ТЗ без роботи в режимі холостого ходу. При цьому судновий двигун перебуває в режимі передпускової готовності за значеннями відповідної температури ОР і МО, що відповідає тепловому стану для забезпечення можливості приймання навантаження.

Таблиця 1 – Варіанти комплектації СТП для аналізу їх впливу на показники теплової підготовки суднового двигуна розмірності 6ЧН 12/14

№ варіанта	Комплектація системи теплової підготовки - позначення варіанта	Конструкційні і технологічні особливості комплектування і використання варіанта системи теплової підготовки за призначенням
1	2	3
1	Штатні системи двигуна без елементів системи комбінованого прогріву – ШС без СКП	Передпусковий прогрів двигуна – не можливий. Післяпусковий прогрів виконується елементами систем охолодження і мащення суднового двигуна зі штатною комплектацією. Забезпечення підтримання $T_{ОР} \approx 50$ °С і $T_{МО} \approx 50$ °С при зупиненому двигуні можливо тільки за допомогою елементів систем охолодження і мащення суднового двигуна зі штатною комплектацією.
2	Штатні системи двигуна з підсистемою прискореного прогріву системи комбінованого прогріву – ШС з СППД	Передпусковий прогрів двигуна – не можливий. Виконання прискореного післяпускового прогріву здійснюється тільки за допомогою додаткових електричних насосів з модульованою подачею підсистеми прискореного прогріву двигуна для охолоджуючої рідини і моторної оливи. Забезпечення підтримання $T_{ОР} \approx 50$ °С і $T_{МО} \approx 50$ °С при зупиненому двигуні можливо тільки за допомогою елементів систем охолодження і мащення суднового двигуна зі штатною комплектацією.
3	Тепловий акумулятор фазового переходу - ТА	Виконання передпускового і післяпускового прискореного прогріву двигуна здійснюється за допомогою ТА фазового переходу. Крім цього, використовуються додаткові електричні насоси з модульованою подачею підсистеми прискореного прогріву двигуна для охолоджуючої рідини і моторної оливи (п.2), підсистема утилізації теплової енергії ВГ тепловим акумулятором фазового переходу. Забезпечення підтримання $T_{ОР} \approx 50$ °С і $T_{МО} \approx 50$ °С двигуна з ТА фазового переходу при зупиненому двигуні можливо за допомогою додаткових електричних насосів з модульованою подачею підсистеми прискореного прогріву двигуна для охолоджуючої рідини і моторної оливи.
4	Контактний тепловий акумулятор фазового переходу - КТА	Передпусковий і післяпусковий прогрів двигуна, як окрема функція - не можливий. Забезпечення підтримання $T_{ОР} >$ або ≈ 50 °С і $T_{МО} >$ або ≈ 50 °С двигуна з КТА фазового переходу при зупиненому двигуні можливо за допомогою застосування елементів систем охолодження і мащення суднового двигуна зі штатною комплектацією.
5	Накопичувач моторної оливи з тепловим акумулятором фазового переходу при $T_{ТАМ} = T_{о.с}$ – НМОТА ($T_{ТАМ} = T_{о.с.}$)	Передпусковий і післяпусковий прогрів двигуна, як окрема функція - не можливий. Забезпечення підтримання $T_{МО} >$ або ≈ 50 °С двигуна з НМОТА при зупиненому двигуні можливо за допомогою застосування елементів системи мащення суднового двигуна з накопичувачем моторної оливи без попередньої теплової підготовки ТАМ ($T_{ТАМ} = T_{о.с.}$). Забезпечення підтримання $T_{ОР} \approx 50$ °С при зупиненому двигуні можливо тільки за допомогою елементів системи охолодження суднового двигуна зі штатною комплектацією.

Продовження табл. 1

1	2	3
6	Накопичувач моторної оливи з тепловим акумулятором фазового переходу при $T_{ТАМ}$ = 85 °С – НМОТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С)	Передпусковий і післяпусковий прогрів двигуна, як окрема функція - не можливий. Забезпечення підтримання $T_{МО}$ > або ≈ 50 °С двигуна з НМОТА при зупиненому двигуні можливо за допомогою застосування елементів системи мащення суднового двигуна з накопичувачем моторної оливи з попередньою тепловою підготовкою ТАМ ($T_{ТАМ}$ = 85 °С). Забезпечення підтримання $T_{ОР}$ ≈ 50 °С при зупиненому двигуні можливо тільки за допомогою елементів системи охолодження суднового двигуна зі штатною комплектацією.
7	Поєднання окремих складових СТП, а саме теплового акумулятора і контактного теплового акумулятора (п.п. 3 і 4): ТА + КТА	Поєднання окремих складових системи теплової підготовки, а саме: теплового акумулятора фазового переходу і контактного теплового акумулятора фазового переходу. Конструкційні і технологічні особливості комплектування і використання варіанта системи теплової підготовки при виконанні передпускового і післяпускового прогріву та тривалого зберігання суднового двигуна без роботи в режимі холостого ходу за призначенням описані в п.3 і п.4.
8	Поєднання окремих складових СТП, а саме теплового акумулятора і накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором при $T_{ТАМ} = T_{о.с}$ (п.п. 3 і 5): ТА + НМОТА ($T_{ТАМ} = T_{о.с.}$)	Поєднання окремих складових системи теплової підготовки, а саме: теплового акумулятора фазового переходу і накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором фазового переходу без попередньої теплової підготовки ТАМ ($T_{ТАМ} = T_{о.с.}$). Конструкційні і технологічні особливості комплектування і використання варіанта системи теплової підготовки при виконанні передпускового і післяпускового прогріву та тривалого зберігання суднового двигуна без роботи в режимі холостого ходу за призначенням описані в п.3 і п.5.
9	Поєднання окремих складових СТП, а саме теплового акумулятора і накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором при $T_{ТАМ}$ = 85 °С (п.п. 3 і 6): ТА + НМОТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С)	Поєднання окремих складових системи теплової підготовки, а саме: теплового акумулятора фазового переходу і накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором фазового переходу з попередньою тепловою підготовкою ТАМ ($T_{ТАМ}$ = 85 °С). Конструкційні і технологічні особливості комплектування і використання варіанта системи теплової підготовки при виконанні передпускового і післяпускового прогріву та тривалого зберігання суднового двигуна без роботи в режимі холостого ходу за призначенням описані в п.3 і п.6.
10	Поєднання окремих складових СТП, а саме теплового акумулятора, контактного теплового акумулятора і накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором при $T_{ТАМ} = T_{о.с}$ (п.п. 3, 4 і 5): ТА + КТА + НМОТА ($T_{ТАМ} = T_{о.с.}$)	Поєднання окремих складових системи теплової підготовки, а саме: теплового акумулятора фазового переходу, контактного теплового акумулятора фазового переходу і накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором фазового переходу без попередньої теплової підготовки ТАМ ($T_{ТАМ} = T_{о.с.}$). Конструкційні і технологічні особливості комплектування і використання варіанта системи теплової підготовки при виконанні передпускового і післяпускового прогріву та тривалого зберігання суднового двигуна без роботи в режимі холостого ходу за призначенням описані в п.3, п.4 і п.5.

Продовження табл. 1

1	2	3
11	Поєднання окремих складових СТП, а саме теплового акумулятора, контактного теплового акумулятора і накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором при $T_{ТАМ}$ = 85 °С (п.п. 3, 4 і 6): ТА + КТА + НМОТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С)	Поєднання окремих складових системи теплової підготовки, а саме: теплового акумулятора фазового переходу, контактного теплового акумулятора фазового переходу і накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором фазового переходу з попередньою тепловою підготовкою ТАМ ($T_{ТАМ}$ = 85 °С). Конструкційні і технологічні особливості комплектування і використання варіанта системи теплової підготовки при виконанні передпускового і післяпускового прогріву та тривалого зберігання суднового двигуна без роботи в режимі холостого ходу за призначенням описані в п.3, п.4 і п.6.
12	Накопичувач охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором фазового переходу при $T_{ТАМ} = T_{о.с}$ – НОРТА ($T_{ТАМ} = T_{о.с.}$)	Передпусковий і післяпусковий прогрів двигуна, як окрема функція - не можливий. Забезпечення підтримання $T_{ОР}$ > або ≈ 50 °С двигуна з НОРТА при зупиненому двигуні можливо за допомогою застосування елементів системи охолодження суднового двигуна з накопичувачем охолоджуючої рідини без попередньої теплової підготовки ТАМ ($T_{ТАМ} = T_{о.с.}$). Забезпечення підтримання $T_{МО}$ ≈ 50 °С при зупиненому двигуні можливо тільки за допомогою елементів системи мащення суднового двигуна зі штатною комплектацією.
13	Накопичувач охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором фазового переходу при $T_{ТАМ}$ = 85 °С – НОРТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С)	Передпусковий і післяпусковий прогрів двигуна, як окрема функція - не можливий. Забезпечення підтримання $T_{ОР}$ > або ≈ 50 °С двигуна з НОРТА при зупиненому двигуні можливо за допомогою застосування елементів системи охолодження суднового двигуна з накопичувачем охолоджуючої рідини з попередньою тепловою підготовкою ТАМ ($T_{ТАМ}$ = 85 °С). Забезпечення підтримання $T_{МО}$ ≈ 50 °С при зупиненому двигуні можливо тільки за допомогою елементів системи мащення суднового двигуна зі штатною комплектацією.
14	Поєднання окремих складових СТП, а саме теплового акумулятора і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором при $T_{ТАМ} = T_{о.с}$ (п.п. 3 і 12): ТА + НОРТА ($T_{ТАМ} = T_{о.с.}$)	Поєднання окремих складових суднової системи теплової підготовки, а саме: теплового акумулятора фазового переходу і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором фазового переходу без попередньої теплової підготовки ТАМ ($T_{ТАМ} = T_{о.с.}$). Конструкційні і технологічні особливості комплектування і використання варіанта системи теплової підготовки при виконанні передпускового і післяпускового прогріву та тривалого зберігання суднового двигуна без роботи в режимі холостого ходу за призначенням описані в п.3 і п.12.
15	Поєднання окремих складових СТП, а саме теплового акумулятора і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором при $T_{ТАМ}$ = 85 °С (п.п. 3 і 13): ТА + НОРТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С)	Поєднання окремих складових системи теплової підготовки, а саме: теплового акумулятора фазового переходу і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором фазового переходу з попередньою тепловою підготовкою ТАМ ($T_{ТАМ}$ = 85 °С). Конструкційні і технологічні особливості комплектування і використання варіанта системи теплової підготовки при виконанні передпускового і післяпускового прогріву та тривалого зберігання суднового двигуна без роботи в режимі холостого ходу за призначенням описані в п.3 і п.13.

Продовження табл. 1

1	2	3
16	Поєднання окремих складових СТП, а саме теплового акумулятора, контактного теплового акумулятора і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором при $T_{ТАМ} = T_{о.с}$ (п.п. 3, 4 і 12): ТА + КТА + НОРТА ($T_{ТАМ} = T_{о.с.}$)	Поєднання окремих складових системи теплової підготовки, а саме: теплового акумулятора фазового переходу, контактного теплового акумулятора фазового переходу і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором фазового переходу без попередньої теплової підготовки ТАМ ($T_{ТАМ} = T_{о.с.}$). Конструкційні і технологічні особливості комплектування і використання варіанта системи теплової підготовки при виконанні передпускового і післяпускового прогріву та тривалого зберігання суднового двигуна без роботи в режимі холостого ходу за призначенням описані в п.3, п.4 і п.12.
17	Поєднання окремих складових СТП, а саме теплового акумулятора, контактного теплового акумулятора і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором при $T_{ТАМ} = T_{о.с}$ (п.п. 3, 4 і 13): ТА + КТА + НОРТА ($T_{ТАМ} = 85$ °С)	Поєднання окремих складових системи теплової підготовки, а саме: теплового акумулятора фазового переходу, контактного теплового акумулятора фазового переходу і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором фазового переходу з попередньою тепловою підготовкою ТАМ ($T_{ТАМ} = 85$ °С). Конструкційні і технологічні особливості комплектування і використання варіанта системи теплової підготовки при виконанні передпускового і післяпускового прогріву та тривалого зберігання суднового двигуна без роботи в режимі холостого ходу за призначенням описані в п.3, п.4 і п.13.
18	Поєднання окремих складових СТП, а саме теплового акумулятора, контактного теплового акумулятора, накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором при $T_{ТАМ} = T_{о.с}$ і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором при $T_{ТАМ} = T_{о.с}$ (п.п. 3, 4, 5 і 12): ТА + КТА + НМОТА + НОРТА	Поєднання окремих складових системи теплової підготовки, а саме: теплового акумулятора фазового переходу, контактного теплового акумулятора фазового переходу, накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором фазового переходу без попередньої теплової підготовки ТАМ ($T_{ТАМ} = T_{о.с.}$) і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором фазового переходу без попередньої теплової підготовки ТАМ ($T_{ТАМ} = T_{о.с.}$). Конструкційні і технологічні особливості комплектування і використання варіанта системи теплової підготовки при виконанні передпускового і післяпускового прогріву та тривалого зберігання суднового двигуна без роботи в режимі холостого ходу за призначенням описані в п.3, п.4, п.5 і п.12.
19	Поєднання окремих складових СТП, а саме теплового акумулятора, контактного теплового акумулятора, накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором при $T_{ТАМ} = 85$ °С і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором при $T_{ТАМ} = 85$ °С (п.п. 3, 4, 6 і 13): ТА + КТА + НМОТА ($T_{ТАМ} = 85$ °С) + НОРТА ($T_{ТАМ} = 85$ °С)	Поєднання окремих складових системи теплової підготовки, а саме: теплового акумулятора фазового переходу, контактного теплового акумулятора фазового переходу, накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором фазового переходу з попередньою тепловою підготовкою ТАМ ($T_{ТАМ} = 85$ °С) і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором фазового переходу з попередньою тепловою підготовкою ТАМ ($T_{ТАМ} = 85$ °С). Конструкційні і технологічні особливості комплектування і використання варіанта системи теплової підготовки при виконанні передпускового і післяпускового прогріву та тривалого зберігання суднового двигуна без роботи в режимі холостого ходу за призначенням описані в п.3, п.4, п.6 і п.13.

Порівнюючи за результатами виконаного дослідження показники теплового стану ДВЗ при здійсненні передпускового прогріву ОР і МО суднового двигуна з СТП у порівнянні з варіантом зі штатними системами двигуна (вар. 1 табл. 1) від $T_{ос}$ до 50 °С, хв. (рис. 5) отримали найбільше скорочення тривалості часу прогріву у варіантах 3, 7 – 11, 14.- 19 для всіх варіантів температур ОС, тобто при $T_{ос}$ = 20 (0/-20) °С. Ці варіанти характеризуються включенням в роботу ТА фазового переходу одночасно з роботою підсистеми СППД. При цьому для відповідних температур $T_{ос}$ = 20 (0/-20) °С скорочується тривалість прогріву відповідно до значень 14,4 (24/33,3) хв. для ОР і 14,2 (25/35) хв. для МО у порівнянні з варіантом зі штатними системами двигуна (вар. 1 табл. 1), тобто 22,8 (31/47,5) хв. для ОР і 24,2 (33,3/50,5) хв. для МО. Таким чином, скорочується тривалість прогріву відповідно на 8,4 (7,1/14,2) хв. або на 36,9 (22,9/29,9) % для ОР і на 10 (8,3/15,5) хв. або на 41,3 (25/30,8) % для МО.

Порівнюючи за показниками теплового стану ДВЗ при здійсненні прискореного післяпускового прогріву ОР і МО суднового двигуна з СТП у порівнянні з варіантом зі штатними системами двигуна (вар. 1 табл. 1) від 50 °С до 85 °С, хв. (рис. 6) отримали найбільше скорочення тривалості часу прогріву аналогічно у варіантах 3, 7 – 11, 14.- 19 для варіантів температур оточуючого середовища $T_{ос}$ = 20 (0/-20) °С. Ці варіанти аналогічно характеризуються включенням в роботу ТА фазового переходу одночасно з роботою підсистеми СППД. При цьому скорочується тривалість прогріву відповідно до значень 9,7 (19,2/26,2) хв. для ОР і 10,5 (21,2/28,2) хв. для МО у порівнянні з варіантом зі штатними системами двигуна (вар. 1 табл. 1), тобто 22,8 (31/47,5) хв. для ОР і 24,2 (33,3/50,5) хв. для МО. Таким чином, скорочується тривалість прогріву відповідно на 13,1 (11,8/21,3) хв. або на 57,5 (38/44,8) % для ОР і на 13,7 (12,1/22,3) хв. або на 57 (36/44,2) % для МО.

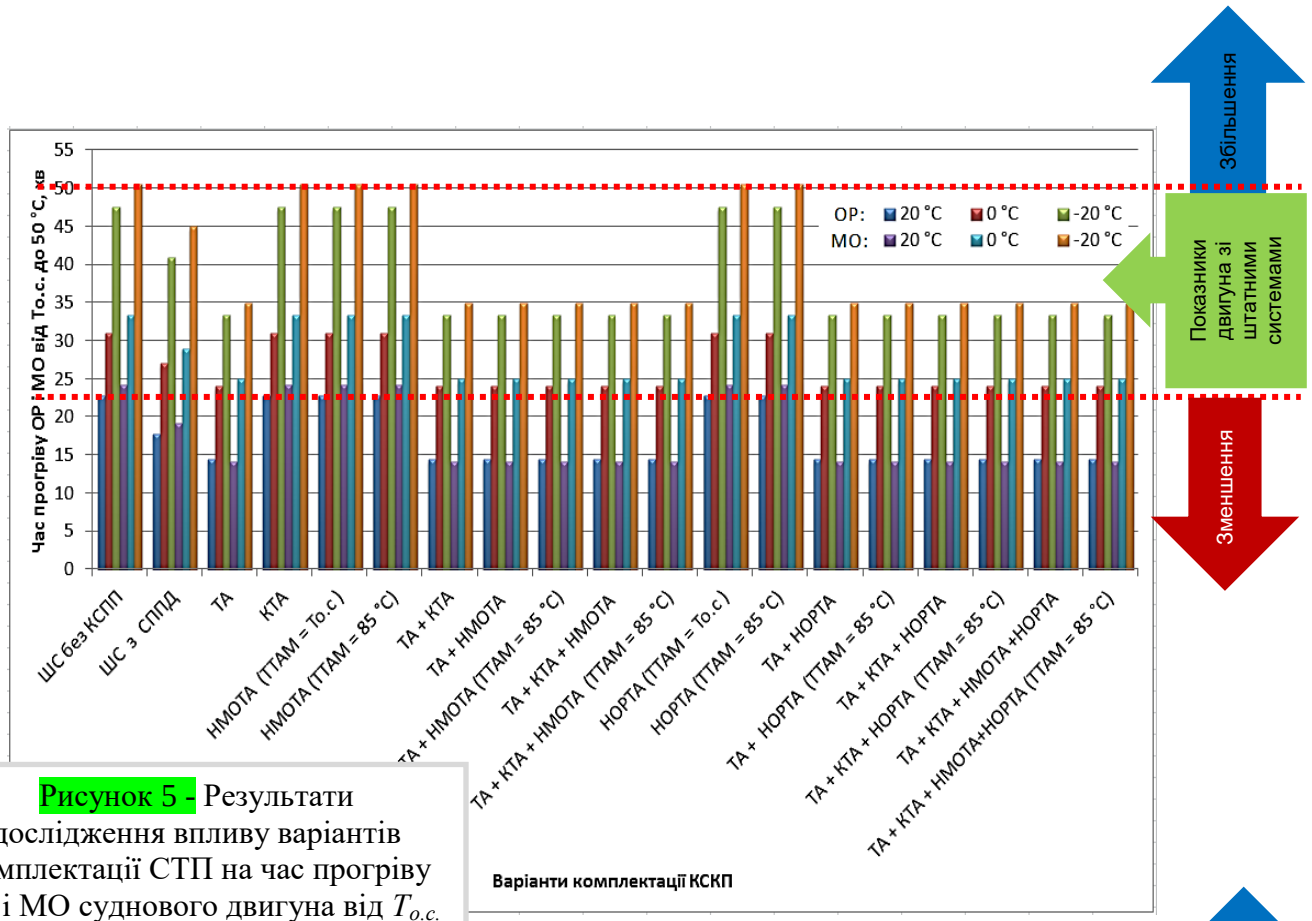


Рисунок 5 - Результати дослідження впливу варіантів комплектації СТП на час прогріву ОР і МО суднового двигуна від $T_{o.c.}$ до 50 °С

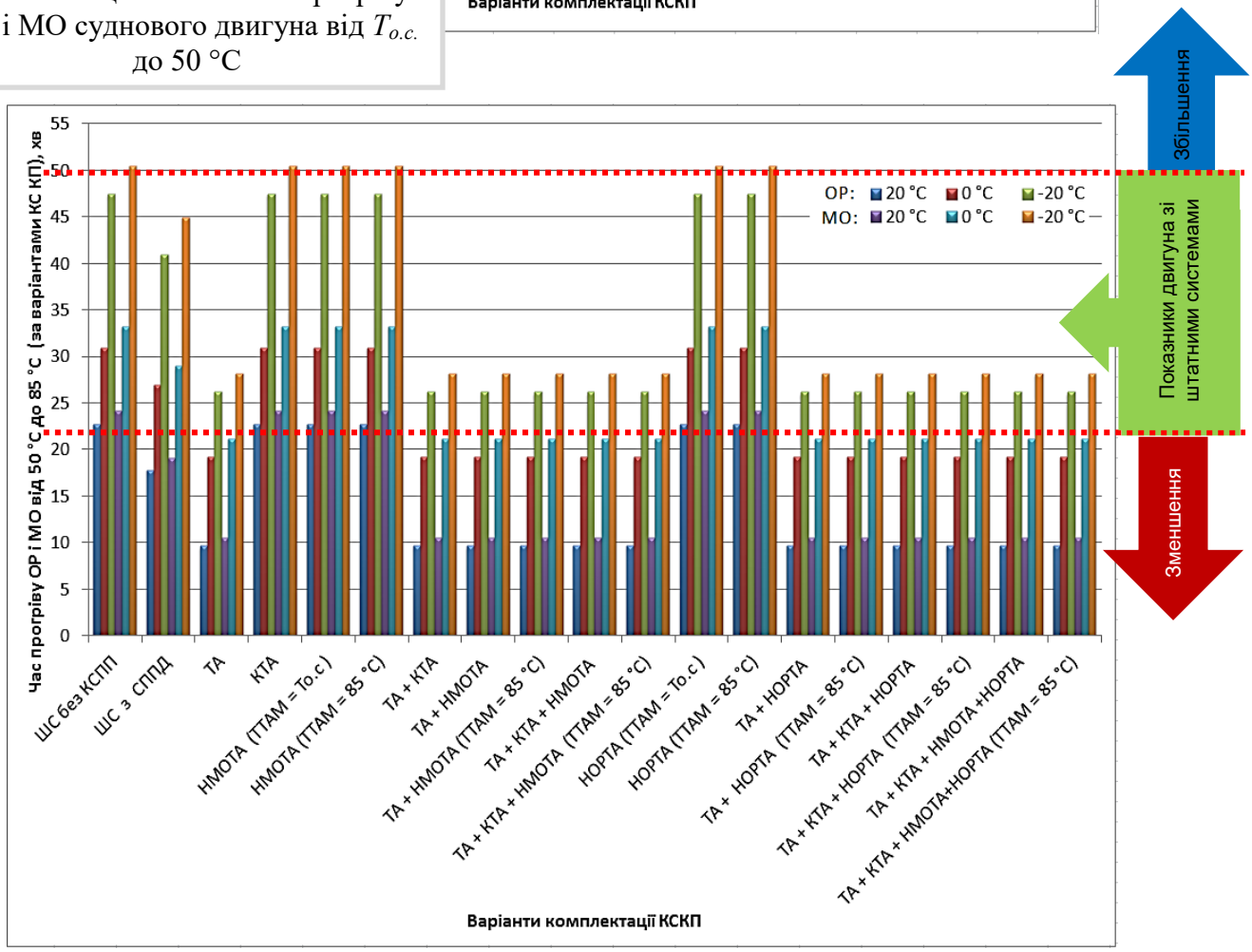


Рисунок 6 - Результати дослідження впливу варіантів комплектації СТП на час прогріву ОР і МО суднового двигуна від 50 °С до 85 °С

Порівнюючи (рис. 6) за тривалістю підтримання $T_{OP} \approx 50$ °С і $T_{MO} \approx 50$ °С, хв. суднового двигуна з СТП з варіантом вар. 1 табл. 1 зі штатними системами отримали суттєве збільшення тривалості періоду довготривалої міжзмінної зупинки суднового двигуна з СТП без роботи двигуна в режимі холостого ходу. Не змінилась тривалість зберігання у варіанті 2 табл. 1 для ОР і МО, у варіанті 5 і 6 для ОР і у варіанті 12 і 13 для МО суднового двигуна. Збільшення тривалості зберігання відбулось відповідно до рис. 6 у варіантах 3 - 18, як для ОР, так і для МО двигуна для варіантів температур оточуючого середовища T_{oc} = 20 (0/-20) °С. відповідно. Найбільш суттєве збільшення тривалості зберігання відбулось у варіанті 19 для ОР і МО, у варіанті 15 і 17 для ОР і у варіанті 9 і 11 для МО суднового двигуна відповідно. Такі значення для указаних варіантів характеризуються включенням в роботу ТА фазового переходу одночасно з роботою підсистеми СППД, КТА, і попередньо прогрітих до T_{TAM} = 85 °С НМОТА й НОРТА. При цьому збільшується тривалість підтримання $T_{OP} \approx 50$ °С і $T_{MO} \approx 50$ °С відповідно до значень від 720 (600/510) хв. до 2410 (2078/1870) хв. для ОР і від 720 (600/510) хв. до 2410 (2078/1870) хв. для МО у порівнянні з варіантом зі штатними системами двигуна (вар. 1), тобто 80 (40/20) хв. для ОР і 100 (60/30) хв. для МО. Таким чином, збільшується тривалість підтримання встановлених температур відповідно від 640 (560/490) хв. до 2330 (2038/1850) хв. або в інтервалі від 9 (14/24) до 29,13 (50,95/92,50) разів для ОР і від 620 (540/480) хв. до 2310 (2018/1840) хв. або в інтервалі від 6,2 (9/16) до 15,9 (33,63/61,33) разів для МО для відповідних умов експлуатації.

В цілому використання дослідної СТП (рис. 5 – 7) доцільно, як для забезпечення передпускової і післяпускової теплової підготовки суднового двигуна, так і для його зберігання при непрацюючому двигуні в різних кліматичних умовах експлуатації. Особливості комплектації і технології використання дослідної СТП вибираються в залежності від експлуатаційних потреб, кліматичних умов і призначення суднового двигуна.

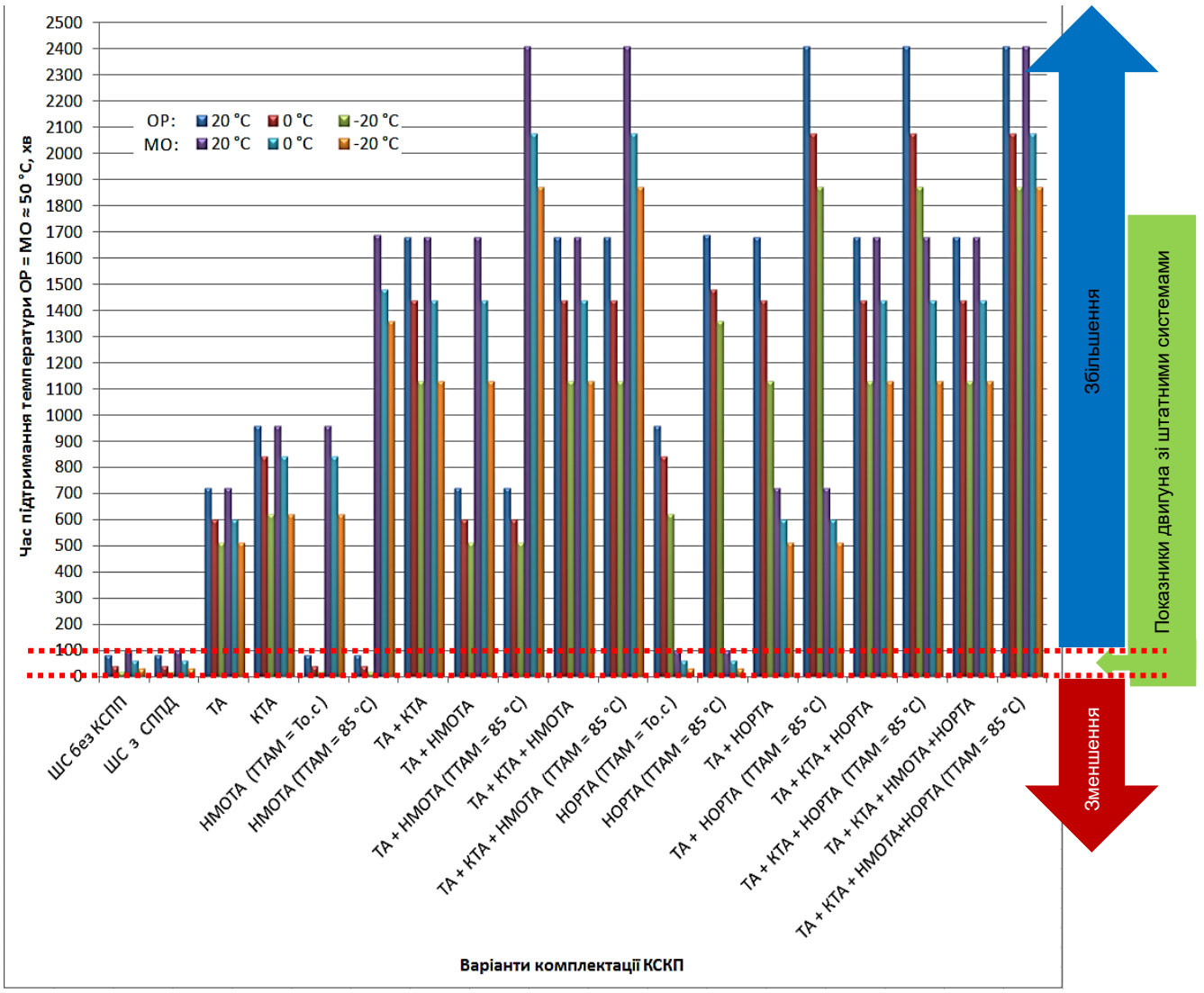


Рисунок 7 - Результати дослідження впливу варіантів комплектації СКП на час підтримання температури ОР і МО суднового двигуна в межах ≈ 50 °С

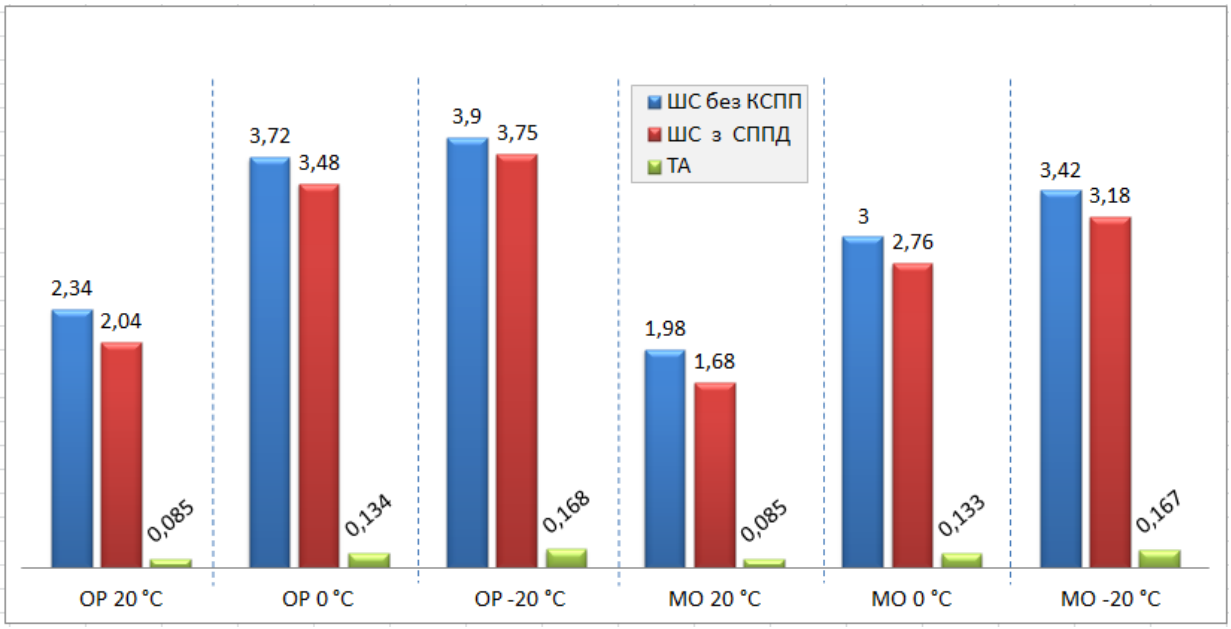
9. Оцінка показників забезпечення температурного стану суднового двигуна за допомогою системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів в умовах експлуатації

Оцінка проводилась за результатами математичного моделювання системи теплової підготовки суднового двигуна. Математичне моделювання проводилось для різних варіантів комплектації СТП на судновому двигуні при застосуванні перспективних схем теплоакумулюючих систем теплової

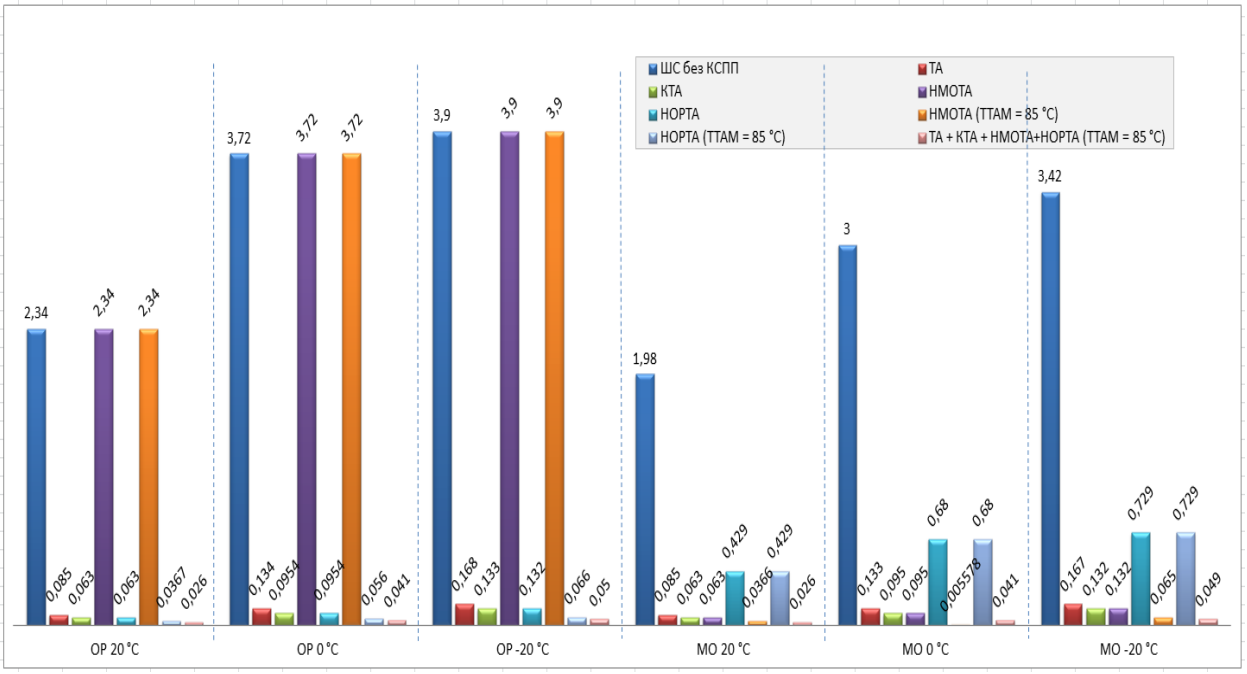
підготовки в умовах експлуатації. Варіанти умов експлуатації і способів прогріву двигуна і ТЗ вибирались у відповідності до положень і технічних нормативів щодо експлуатації суднового двигуна.

В результаті аналізу впливу варіантів комплектації СТП на процеси передпускового прогріву двигуна у показниках витрати палива (кг/год) були встановлені найбільш значущі із складових СКП, а саме у варіантах 2 і 3 (табл. 1). Для них додатково проводили розрахункові дослідження щодо визначення питомих показників сумарного впливу варіантів комплектації СТП на час прогріву ОР і МО суднового двигуна від $T_{o.c.}$ до 50 °С і від 50 °С до 85 °С. Всі порівняння проводили за показниками теплової підготовки штатних систем досліджуваного двигуна. На рис. 8 *а* наведено порівняння компонентів СТП, які здійснюють найбільший вплив на теплові процеси в основних показників теплової підготовки суднового двигуна при здійсненні прогріву ОР і МО $T_{o.c.}$ до 50 °С. Розглядались найбільш значущі з ОР і МО двигуна. Так, найбільший вплив на показники прогріву ОР двигуна здійснює ТА фазового переходу для всіх температур ОС у дослідженні +20 (0 / -20 °С) - 0,085 (0,134 / 0,168) кг / год; а для прогріву МО відповідно - 0,085 (0,133 / 0,167) кг / год.

Для оцінки сумарного впливу варіантів впливу компонентів СТП на час прогріву ОР і МО суднового двигуна були вибрані найбільш значущі комплектації, а саме у варіантах 3 - 6, 12, 13 і 19 (виходячи з рис. 5 - 8). Отримані результати порівнювали з показниками штатних систем двигуна. В якості сумарного впливу на теплові процеси теплової підготовки вибирали сумарний час на здійснення передпускового (від $T_{o.c.}$ до 50 °С) і післяпускового (від 50 °С до 85 °С) прогріву, а також на час підтримання температури ОР і МО транспортного двигуна ОР і МО в межах ≈ 50 °С по відношенню до витраченого палива на здійснення теплової підготовки. На рис. 8 *б* показані основні результати дослідження впливу варіантів комплектації СТП на сумарний час теплової підготовки ОР і МО суднового двигуна у питомих показниках витрати палива, кг/год. Найнижчі показники витрати палива отримані для варіанту комплектації СТП у складі ТА + КТА + НМОТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С) + НОРТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С). Не



а



б

Рисунок 8 - Результати дослідження впливу варіантів комплектації СТП для суднового двигуна на час прогріву ОР і МО (*а*) та на сумарний час теплової підготовки ОР і МО (*б*) у показниках витрати палива (кг/год)

менш цікавими виглядають і показники для варіанту використання ТА фазового переходу, які є оптимальними для всіх варіантів прогріву, як за варіантами прогріву, так і за температурами ОС.

В цілому, для забезпечення необхідного температурного стану суднового двигуна при використанні СТП доцільно використовувати всі варіанти комплектацій одночасного впливу на ОР і МО транспортного двигуна.

Таким чином, для забезпечення енергетичної безпеки в частині вимог підтримання температурного стану суднового двигуна доцільно використовувати наступні варіанти комплектації (застосування перспективних схем теплоакумулюючих систем теплової підготовки) для випадків:

- прогрів від $T_{o.c.}$ до 50 °С – ШС + СППД і ТА фазового переходу;

- прогрів від 50 °С до 85 °С - ШС + СППД і ТА фазового переходу;

- забезпечення підтримання температури ОР і МО суднового не працюючого двигуна в межах ≈ 50 °С - ТА + КТА + НМОТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С) + НОРТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С) і ТА фазового переходу.

- за сумарними питомими показниками - ТА + КТА + НМОТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С) + НОРТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С) і ТА фазового переходу.

Для забезпечення нешкідливості впливу на оточуюче середовище доцільно використовувати ТА СНВГ, ТА + КТА + НМОТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С) + НОРТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С) і ТА фазового переходу.

Для забезпечення отримання можливості приймання навантаження двигуна відразу після його запуску доцільно використовувати ТА СНВГ, ТЗ - ТА + КТА + НМОТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С) + НОРТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С) і ТА фазового переходу.

Для забезпечення питомої ефективної витрати палива при здійсненні забезпечення температурного стану двигуна доцільно використовувати ТА + КТА + НМОТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С) + НОРТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С).

Висновки

Встановлено, що СЕУ і їх дизельні двигуни піддаються значним змінам кліматичних і температурних умов, характерним для різних частин земної кулі. У реальних умовах експлуатації СЕУ існують значні теплові втрати від працюючого енергетичного обладнання в навколишнє середовище, використання яких, з метою підвищення ефективності ЕУ, можливо за допомогою застосування засобів накопичення або утилізації теплової енергії, що забезпечують, в тому числі, і передпусковий прогрів ДВЗ.

В літературних джерелах не виявлено результатів досліджень щодо впливу систем теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу на показники роботи двигуна, час його прогріву, паливну економічність та екологічні показники.

Використання досліджуваної системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу доцільно, як для забезпечення передпускової і післяпускової теплової підготовки суднового двигуна, так і для тривалого зберігання теплової енергії без роботи в режимі холостого ходу в різних кліматичних умовах експлуатації. Особливості комплектації і технології використання досліджуваної СТП за варіантами вибираються в залежності від експлуатаційних потреб, кліматичних умов і призначення суднового двигуна.

Дослідження на удосконаленій математичній моделі ефективності застосування розробленої СТП в різних умовах експлуатації показали, що СТП дозволяє суттєво покращити показники часу прогріву дослідного судового двигуна. Для забезпечення енергетичної безпеки в частині вимог підтримання температурного стану суднового двигуна доцільно використовувати наступні варіанти комплектації для випадків прогріву від $T_{o.c.}$ до 50 °С і прогрів від 50 °С до 85 °С – ШС + СППД і ТА фазового переходу та забезпечення підтримання температури ОР і МО не працюючого суднового двигуна в межах ≈ 50 °С, за сумарними питомими показниками - ТА + КТА + НМОТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С) + НОРТА ($T_{ТАМ}$ = 85 °С) і ТА фазового переходу.

Список використаних джерел

1. Influence of Ambient Temperature Conditions Main engine operation of MAN B&W two-stroke engines [Электрон. ресурс] / – Режим доступа: http://www.marine.man.eu/docs/librariesprovider6/technical-papers/influence-of-ambient-temperature-conditions.pdf?sfvrsn=26 - 24.12.2015г.

2. Харитонов Ю.Н. Судовые теплоаккумулирующие комплексы [Электрон. ресурс] / Ю.Н. Харитонов, В.В. Голеншин, А.В. Варшамов // (Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні. VII міжнародна науково-технічна конференція 2012.) – Режим доступа: http://conference.nuos.edu.ua/catalog/files/lectures/14962.pdf - 24.12.2015г.

3. Варшамов А.В. Выбор перспективных схем теплоаккумулирующих систем предпускового прогрева двигателей внутреннего сгорания / А.В. Варшамов, В.В. Голеншин, М.Ю.Харитонов // Наукові праці. Техногенна безпека. Радіобіологія, Випуск 268. Том 280, Миколаївський університет кораблебудуваннія ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв, 2016р. - С. 21-27.

4. Голеншин В. В. Экспериментальные исследования температурного состояния оборудования и корпусных конструкций в машинном отделении малотоннажного судна [Текст] / В. В. Голеншин, В. И. Шалухин, А. В. Варшамов – Вісник Інженерної академії України. – К. : КНАУ–2011. – № 2. – С. 159–162.

5. Шульгин В.В. Тепловые аккумуляторы транспортных средств / В.В. Шульгин. // - СПб.: Издательство Политехн. ун-та, 2005. - 268 с.

6. Волков В.П. Системи прогріву двигунів внутрішнього згорання: основи функціонування / В.П. Волков, І.В. Грицук, Ю.Ф. Гутаревич, В.Д. Александров - Донецьк: ЛАНДОН-ХХІ, 2015.- 314 с.

7. Александров В.Д. Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних засобів: параметри робочих процесів – монографія / В.Д. Александров, Ю.Ф. Гутаревич, І.В. Грицук і др. - Донецьк: Вид-во «Ноулідж», 2014.- 230 с.

8. Попов В.В. Особенности условий эксплуатации энергетических установок судов портового флота / В.В. Попов // Двигатели внутреннего сгорания, №2, 2008, с. 104-107.

9. Ваншейдт В.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания. -Л.: Судостроение. - 1977.

10. Система прогрева тепловозов маневровых. Матеріал з Вікіпедії - вільної енциклопедії. [Електронний ресурс] / Вікіпедія. Вільна енциклопедія – Режим доступу: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B0_%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B7%D0%BE%D0%B2_%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D1%85. 02.08.2014 р.

11. Александров В.Д. Кинетика зародышеобразования и массовой кристаллизации переохлажденных жидкостей и аморфных сред. Донецк: Донбасс, 2011, 580с.

12. Поликер Б.Е. Дизельные двигатели для электроагрегатов и электростанций / Б.Е. Поликер, Л.Л. Михальский, В.А. Марков, В.К. Васильев, Буханец Д.И. // – М.: Легион-Автодата, 2006. – 328с.

13. Звонов В.А. Экологическая безопасность автомобиля с учетом полного жизненного цикла/ В.А. Звонов, А.В. Козлов, В.Ф. Кутенев // Автомобильная промышленность. – 2000. - №11. – С. 7-12.

14. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей/ Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. - М , 1983, 375 с.

15. Вашуркин И. О. Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой / И. О. Вашуркин – СПб.: Наука, 2002. – 145 с.

16. Найман В.С. Все о предпусковых обогревателях и отопителях / В.С. Найман. // – АСТ.: Астрель, 2007. – 213с.

17. Носырев Д.Я. Повышение ресурса тепловозных дизелей за счет применения нетрадиционных технических средств / Д.Я. Носырев, Н.В. Чертырховцева // Извести Самарского научного центра РАН. Специальный выпуск «Проблемы железнодорожного транспорта на современном этапе развития». - Самара: Издательство СНЦРАН, 2007. - С. 145-149.

18. Жмудяк Л.М. Перспективные схемы утилизации тепла отработавших газов поршневых ДВС / Л.М. Жмудяк Л.М. // Динамика и тепловая нагруженность и надежность сельскохозяйственных агрегатов: Материалы второго заседания республиканского семинара. - Барнаул: АПИ, 1981.-С. 100-109.

19. Кукис В.С. Возможность снижения токсичности двигателей внутреннего сгорания при утилизации теплоты их отработавших газов. / В.С. Кукис, М.Л. Хасанова, Н.А. Пятковская // Праці Таврійська державна агротехнична академия -Вип. 2.-Т. 17.-Мелітополь: ТДАТ, 2001.-С. 151-155.

20. Кукис В.С. Двигатель Стирлинга как утилизатор теплоты отработавших газов / В.С. Кукис // Автомобильная промышленность. - 1988. - № 9. - с. 19-20.

21. Левенберг В.Д. Аккумулирование тепла / В.Д. Левенберг //- Киев: Техника, 1991. - 112с.

22. Кукис В.С. Двигатель для утилизации теплоты отработавших газов / В.С. Кукис, А.Б. Смолин, А.И. Богданов // Труды международного форума по проблемам науки, техники и образования. - Т. 1. - Москва, 2000. - с. 56-57.

23. Адров Д.С. Тепловий акумулятор як засіб підвищення ефективності пуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур / Д.С. Адров, І.В. Грицук, Ю.В. Прилепський, В.І. Дорошко // Збірник наукових праць ДонІЗТ. №27, ДонІЗТ, Донецьк, 2011. - с. 117 – 125.

24. Дизели ряда 6ЧН 12/14 и дизель-генераторы. Техническое описание и инструкция по эксплуатации / М.: Внешторгиздат, 1983. – 408 с.

25. Баскалов А.Я. Методология научного исследования / А.Я. Баскалов, Н.В. Туленков.// - К.: МАУП, 2004 – 216 с.

26. Грицук І.В. Системний підхід до проектування і дослідження комплексних систем комбінованого прогріву ДВЗ / І. В. Грицук // Збірн. наук. праць ДонІЗТ УкраДАЗТ. - Донецьк: ДонІЗТ, 2012– Випуск №30. с. 106-117.

27. Патент на винахід № 103729 Україна, МПК (2013.01) F01P 3/22, B60H 1/04, B60K 11/00, «Система забезпечення оптимальних температур охолоджуючої рідини в двигуні внутрішнього згорання» / Ю.Ф. Гутаревич, В.П. Матейчик, І.В. Грицук, В.П. Волков, А.О. Каграманян, П.Б. Комов, О.Б. Комов, В.Й. Поддубняк, М.І. Сергієнко, З.І. Краснокутська / (Україна); Заявник і патентовласник Національний транспортний ун-т., Державний № ua 103729; заяв. 30.10.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. №7.- 17с.:іл.

28. Грицук И.В. Методика проектирования комплексных систем комбинированного прогрева ДВС / И.В.Грицук // Новітні комп'ютерні технології. – Кривий Ріг : ДНВЗ «Криворізький національний університет», 2013. – Випуск XI. – с. 169-172.

29. Грицук, І. В. Формування і дослідження комплексної системи комбінованого прогріву двигуна і транспортного засобу / І.В. Грицук // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета [Текст]: сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т ; [редкол.: Богомолов В. А. (глав. ред.) и др.]. - Харьков : ХНАДУ, 2015. – Вып. 70. – С. 23–32.

30. Карнаухов Н.Н., Пустовалов И.А., Яркин А.В. Тепловой аккумулятор для поддержания пусковой температуры ДВС в период межсменной стоянки строительной машины в зимний период // Отраслевой журнал «Автотранспортное предприятие». 2010, ноябрь. М.: НПП Транснавигация, Минтранс России. С. 45-48.

31. Программа Дизель РК [электронный ресурс] Режим доступа: www.diesel-rk.bmstu.ru

32. Кулешов А.С. Математическое моделирование и компьютерная оптимизация топливоподачи и рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания / А.С. Кулешов, Л. В. Грехов. // – М.: МГТУ, 2000. - 64 с. ISBN 5-7038-1452-9

33. Грицук І.В. Математична модель розрахунку показників двигуна внутрішнього згорання з системою комбінованого прогріву при здійсненні пуску і прогріву / І.В. Грицук, Д.С. Адров // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» - Луцьк: ЛНТУ, 2012. – Випуск №36, с. 68-72.

34. Грицук І.В. Особливості математичного моделювання теплової підготовки транспортного двигуна за допомогою теплового акумулятора і методики її використання / І.В. Грицук, В.С. Вербовський, Д.С. Погорлецький, В.В. Марченко, Р.І. Михайлов // Матеріали V міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології», 20-21 листопада 2017 р ХНАДУ, Харків, 2017, С. 28 – 29.

35. Гаврилов В.С., Камкин С.В., Шмелев В.П. Техническая эксплуатация судовых дизельных установок. Учебное пособие для вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Транспорт, 1985. – 288 с.

36. Грицук, І. В. Формування і дослідження комплексної системи комбінованого прогріву двигуна і транспортного засобу / І.В. Грицук // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т . - Харьков : ХНАДУ, 2015. – Вып. 70. – С. 23–32.

37. Шульгин В.В. Система предпускового разогрева двигателя городского автобуса с применением теплового аккумулятора / В.В. Шульгин // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сб. докл. 5-й между нар. конф. 19-20 сентября 2002 г. / СПб. гос. архит.-строит. ун-т. - СПб., 2002. - С. 372-375.

38. Morosuk T. Morosuk C., Bishliaga S. Thermodynamic analysis of traditional and alternative heating systems for Ukraine // In: Advances in Energy Studies. Reconsidering the Importance of Energy, Eds. Ulgiati, S., Brown, T.M., Giampietro, V., Herendeed, R.A. and Mayumi, K. (SGEditoriali, Padova). - 2003. - P. 381–388.

38. Valero A. et al. Structural theory and thermoeconomic diagnosis // Proceedings of Conference ECOS’99. - Tokyo (Japan). - 1999. - P. 368–379.

39. Баласанян Г.А. Ефективність перспективних інтегрованих систем енергозабезпечення на базі установок когенерації малої потужності (теоретичні основи, аналіз, оптимізація): Дис. ... д-ра техн. наук 05.14.06 – Технічна теплофізика і промислова теплоенергетика. - Одеса. ОНПУ, 2007. 356 с.

40. Патент на винахід № 103729 Україна, МПК (2013.01) F01P 3/22, B60H 1/04, B60K 11/00, «Система забезпечення оптимальних температур охолоджуючої рідини в двигуні внутрішнього згорання» / Ю.Ф. Гутаревич, В.П. Матейчик, І.В. Грицук, В.П. Волков, А.О. Каграманян, П.Б. Комов, О.Б. Комов, В.Й. Поддубняк, М.І. Сергієнко, З.І. Краснокутська / (Україна); Заявник і патентовласник Національний транспортний ун-т., Державний № ua 103729; заяв. 30.10.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. №7.- 17с.:іл.

41. Патент на винахід № 106525 Україна, МПК F01P 3/22 (2013.01), B60H 1/04 (2013.01), «Система забезпечення оптимальних температур охолоджуючої рідини в двигуні внутрішнього згорання» / Ю.Ф. Гутаревич, В.П. Матейчик, І.В. Грицук, В.П. Волков, А.О. Каграманян, П.Б. Комов, О.Б. Комов, В.Й. Поддубняк, М.І. Сергієнко, З.І. Краснокутська, С.А. Єрощенков, В.С. Вербовський, Д.С. Адров, Л.О. Македонська, А.П. Комов, Є.О. Комов / (Україна); Заявник і патентовласник Національний транспортний ун-т, Харківський національний транспортний університет, Українська державна академія залізничного транспорту, Донецький інститут залізничного транспорту., Державний № ua 106525; заяв. 16.10.2012 заявка: a2012 11919, опубл. 10.09.2014, Бюл. №17.-17с.:іл.

42. Парафин.UPAcom. ООО «Украинская парафиновая компания» [электронный ресурс] Режим доступа: http://www.ukr-prom.com/cat-himicheskaya-prodykciya/nefteprodykti/10609/

43. Методи системного аналізу властивостей автомобільної техніки / М. Ф. Дмитриченко, В. П. Матейчик, О. К. Грищук, М. П. Цюман // К.: НТУ, 2014. – 168 с.

44. Gritsuk, I., Gutarevych, Y., Mateichyk, V., and Volkov, V., "Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using

Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator," SAE Technical Paper 2016-01-0204, 2016, doi:10.4271/2016-01-0204.

45. Вербовський В.С. Оцінка доцільності проведення передпускової і післяпускової підготовки газового двигуна К-159 М2 за допомогою комплексної системи передпускового прогріву / В.С. Вербовський // Збірник наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. - Донецьк: ДонІЗТ, 2014 – Випуск №39., с.93-99.

46. Грицук І.В. Особливості математичного моделювання теплової підготовки транспортного двигуна за допомогою теплового акумулятора і методики її використання / І.В. Грицук, В.С. Вербовський, Д.С. Погорлецький, В.В. Марченко, Р.І. Михайлов // Матеріали V міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології», 20-21 листопада 2017 р ХНАДУ, Харків, 2017, С. 28 – 29.

Додатки

Д 1. Перелік умовних позначень

ВГ - відпрацьовані гази;

ДВЗ - двигун внутрішнього згорання;

ЕОМ – електронна обчислювальна машина;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

ЕП – електричний підігрів;

ЕУ – енергетична установка;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

КСКП – комплексна система комбінованого прогріву;

КТА - контактний тепловий акумулятор;

МО – моторна олива;

НМОТА - накопичувач моторної оливи з тепловим акумулятором;

НОРТА - накопичувач охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором;

ОР – охолоджуюча рідина;

ОС – оточуюче середовище;

ПСТСТП – перспективні схеми теплоакумулюючих систем теплової підготовки;

СЕУ - суднова енергетична установка;

СКП - система комбінованого прогріву;

СМ – система мащення;

СОД – система охолодження;

СП – система прогріву;

СППД - підсистема прискореного прогріву двигуна;

СППД – підсистема прискореного прогріву двигуна;

СУТТА - підсистема утилізації теплової енергії ВГ тепловим акумулятором фазового переходу;

СУТТА – підсистема утилізації теплової енергії відпрацьованих газів ТА фазового переходу;

ТА - тепловий акумулятор фазового переходу;

ТАМ - теплоакумулюючий матеріал (фазоперехідний) ТА;

ТАСНВГ - ТА системи нейтралізації ВГ;

ТЗ - транспортний засіб;

ЦПГ - циліндро-поршнева група;

ШР – шкідливі речовини;

ШС – штатна система.

Д 2. Приклад реалізації системи прогріву суднового двигуна

Для прикладу показано системи на основі водяної сорочки з вбудованим підігрівачем. Для двох різних підігрівачів води для сорочок систем, А і В, позиціонування підігрівача в охолодженій воді сорочки система охолодження показана схематично на рис. Д1.1 і Д1.2 відповідно [1].

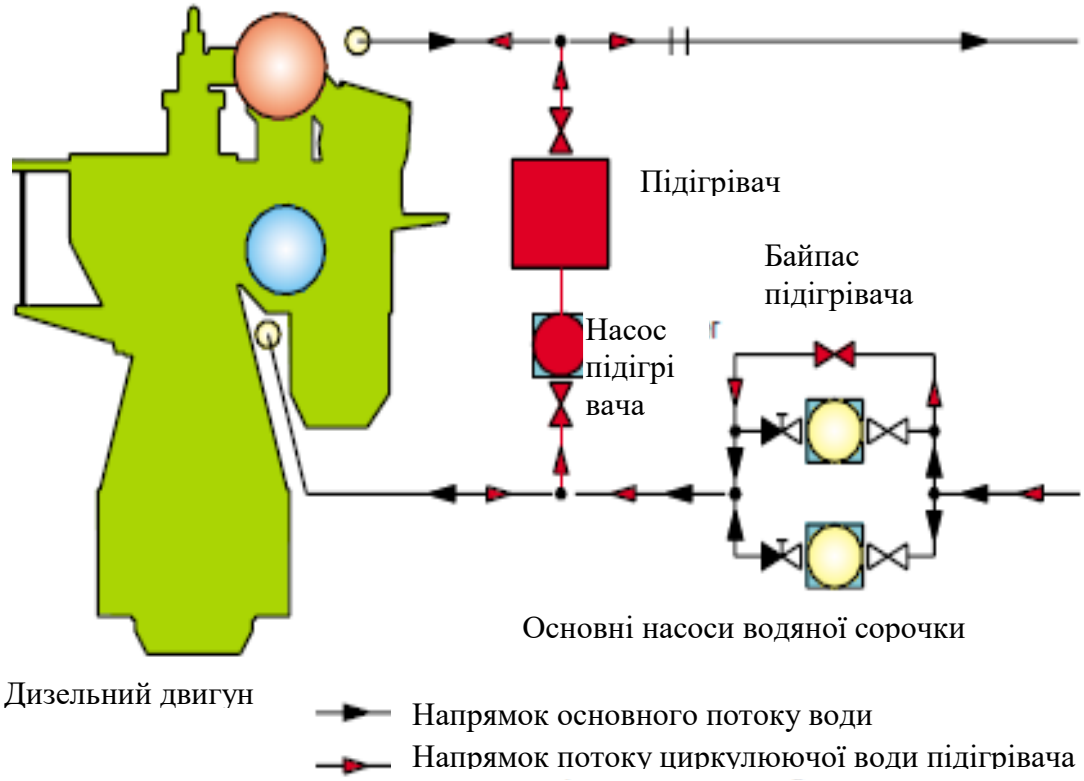


Рисунок Д 1.1 - Підігрів сорочки системи охолодження води - Система А

Для системи А потік циркулюючої води розподіляється на дві гілки, одна через двигун і інша через систему охолоджувальної води поза двигуном. Як показують стрілки, вода підігрівача рухається в протилежному напрямку через двигун, у порівнянні з напрямком води в основний оболонці. Оскільки вхід для води знаходиться у верхній частині двигуна, вважаємо попередній прогрів двигуна більш ефективним.

Для системи В підігрівач і циркулюючий насос розміщені паралельно з головними насосами водяної сорочки і напрямок потоку води такий же, як для системи охолодження охолоджуючої води.

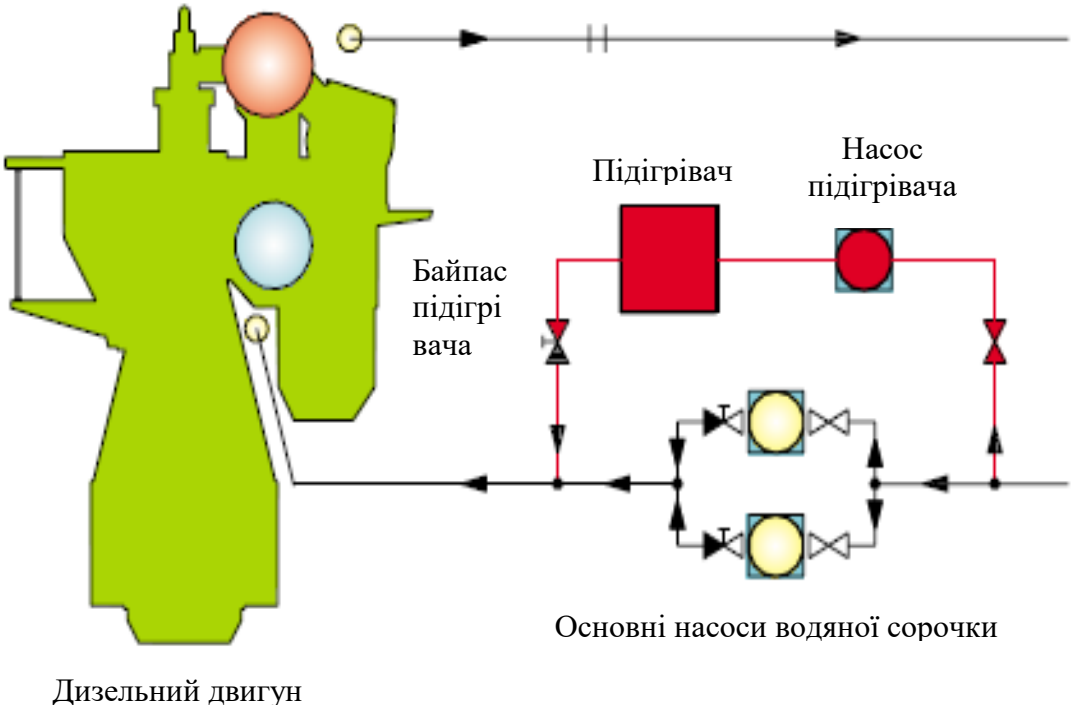


Рисунок Д 1.2 - Підігрів сорочки системи охолодження води - Система В

В обох випадках робота підігрівача контролюється датчиком температури після підігрівача.

Особливості вибору показників підігрівача. У разі, коли підігрівач встановлений в система охолодження охолоджуючої води, як показано на рис. Д 1.1 і Д 1.2, обсяг потоку води від нього, і, отже, продуктивність насоса підігрівача повинна складати близько 10% від обсягу (продуктивності) головного насоса.

Виходячи з досвіду експлуатації суднових дизелів рекомендується, що падіння тиску в підігрівачі має бути близько 20 кПа. Насос підігрівача і головний насос повинен бути електричними з блокуваннями, щоб уникнути ризику одночасного включення під час роботи [1].

Потужність підігрівача залежить від необхідного часу попереднього нагрівання і значень необхідного підвищення температури води в сорочці охолодження двигуна. Зміни температури в часі показані схематично на рис. Д 1.3, причому параметри майже однакові для всіх типів двигунів [1].

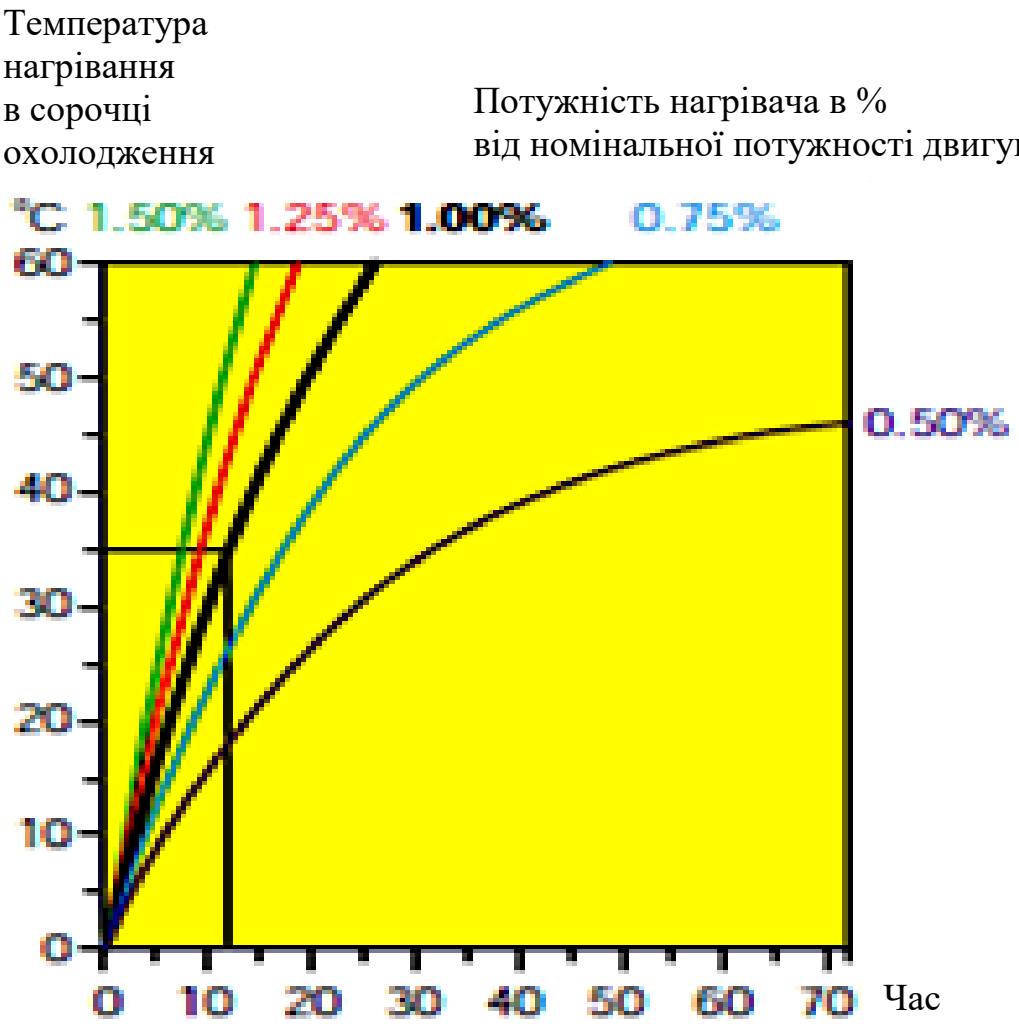


Рисунок Д 1.3 – Нагрів дизельного суднового двигуна (збільшення температури і відповідні криві часу попереднього розігріву показані для п'яти різних розмірів підігрівачів, вказаних у % від номінальної потужності двигуна)

Взагалі, підвищення температури на величину близько 35 °С (від 15 °С до 50 °С) є обов'язковим. Час попереднього нагрівання 12 годин вимагає

потужності підігрівача близько 1% від номінальної потужності дизельного двигуна.

При плаванні в арктичних районах потрібно більше підвищення температури, близько 45 °С або навіть більше, і тому потрібен ще більший підігрівач.

Криві на рис. Д 1.3 розраховані виходячи з припущення про те, що на початку попереднього нагріву, двигун і моторний відсік мають однакову температуру. Передбачається, що температура буде рівномірно прогрівати весь двигун під час попереднього нагрівання. Для чого враховуються маси металу і поверхні двигуна в нижній частині двигуна, які також включені в розрахунок.

Д 3. Загальна характеристика двигуна суднової енергетичної установки

Дизель К-164М1 [24] є базовою моделлю уніфікованих дизелів з наддувом 6ЧН 12/14 потужністю 84,5 – 132 кВт (115 – 180 к.с.) і призначений для приводу генераторів постійного або змінного струму в суднових умовах. На дизелі застосовується турбокомпресор. Повітря, що нагнітається, охолоджується водою в холодильнику. Дизель має повітряну і електричну системи пуску і автоматизований за першим ступенем. На ньому встановлені реле частоти обертання, пристрій аварійної зупинки, комбіноване реле КРД-4, і засоби електропідігріву моторної оливи. На дизелі може бути встановлений повітроочисник або шумоглушник на всмоктуванні. Поперечний переріз двигуна [24] проказаний на рис. 2.1.

Блок циліндрів, виготовлений з чавуну СЧ 18-36, є остовом двигуна. У порожнині блоку з нижнього боку на поперечних перегородках і торцевих стінках розташовані опори для вкладишів корінних підшипників колінчастого валу і отвори для підшипників розподільного вала. У блок запресовані шість втулок циліндрів. На його бічних стінках є люки для доступу до механізму руху, що закриваються алюмінієвими кришками. У нижній частині бічних стінок розташовані припливи (по шість з кожного боку) з отворами для болтів, якими двигун кріпиться до фундаменту.

Втулки циліндрів відливають з чавуну. Після термообробки їх внутрішні поверхні мають підвищену твердість. Зовнішні поверхні втулок, які омиваються водою, хромовані. У нижній частині втулки зовні розташовані дві канавки для ущільнювачів гумових кілець.

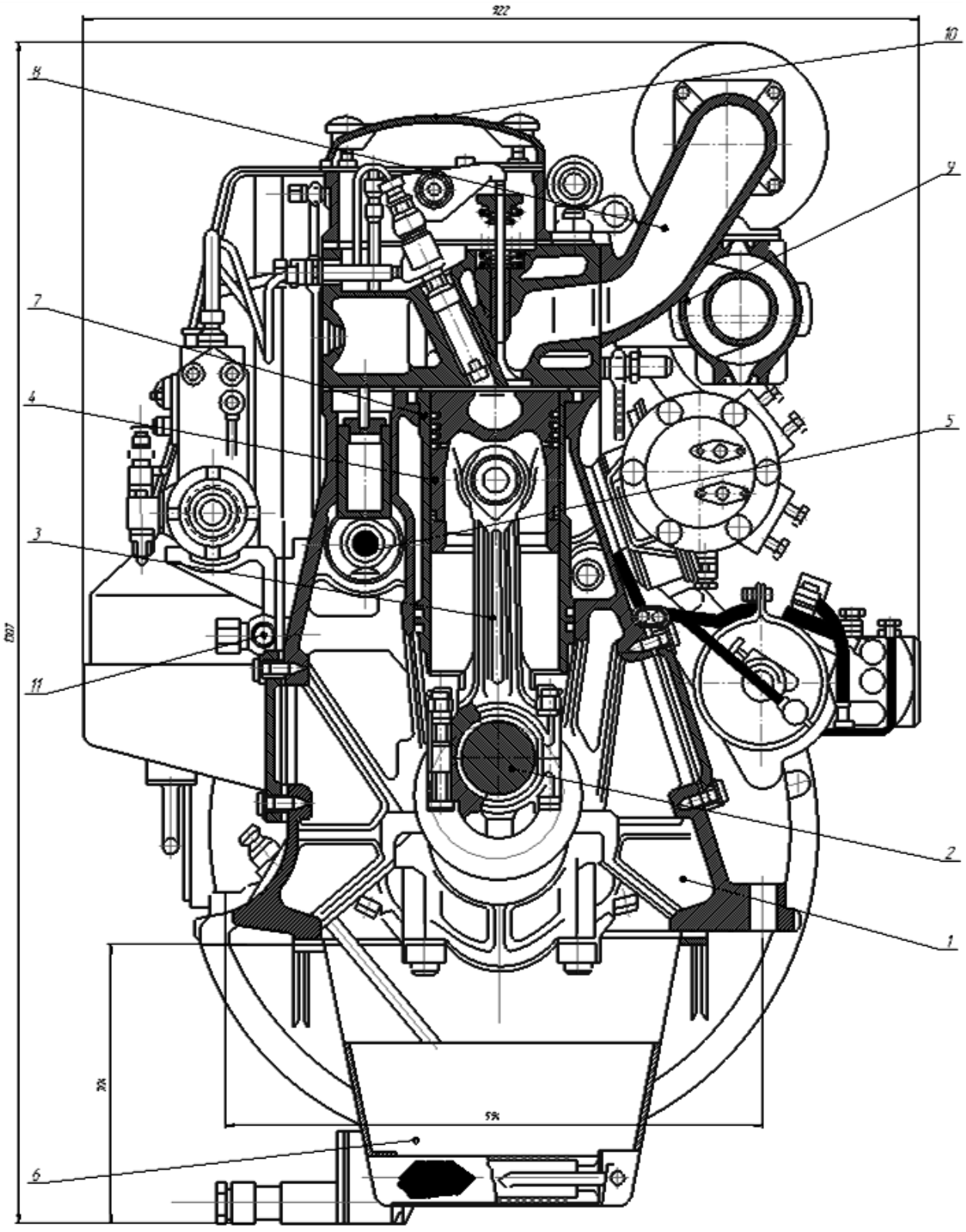


Рисунок 2.1 – Поперечний переріз суднового дизеля 6 ЧН 12/14:

1 – картер; 2 – колінчастий вал; 3 – шатун; 4 – поршень; 5 – розподільний вал; 6 – піддон картера; 7 – втулка циліндра; 8 – впускний патрубок циліндра; 9 – випускний колектор; 10 – кришка циліндрів, 11 – головна масляна магістраль

Кришки циліндрів - блочного типу (одна на два циліндра). Між блоком циліндрів і кришкою є залізоасбестова прокладка. У кришках розміщені форсунки, впускні і випускні клапани, свічки накалювання і клапани пуску. Усередині них є розточення вихрьових камер і порожнини для проходу охолоджуючої води і випускних газів. На верхній площині встановлені кронштейни коробчатої форми, в яких розміщені коромисла клапанного механізму і осі коромисла.

Вкладиші корінних і шатунних підшипників - сталеві, залиті свинцюватою бронзою, складаються з двох взаємозамінних половин.

Піддон - сталевий, зварний. Служить для збору моторної оливи. У піддоні встановлений фільтр грубого очищення оливи на вході в масляний насос.

Колінчастий вал - цілісний, виготовлений зі сталі марки 45, має шість кривошипів, розташованих попарно в трьох площинах під кутом 120 ° один до одного. Корінні і шатунні шийки мають поверхневе загартування, ретельно шліфовані і полірovані. На одному кінці вала за допомогою болтів і штифтів укріплений маховик, на який насаджений зубчастий вінець, а з протилежного боку - шестерні приводу механізмів.

Шатун - сталевий, двотаврового перетину. У верхню головку запрессована бронзова втулка. Вкладиші нижньої головки - рознімні.

Поршень - з алюмінієвого сплаву. У три верхні канавки поршня встановлені компресійні кільця, в дві нижні - маслознімні. На днище поршня є два поглиблення для клапанів газорозподілу. У дизелях з камерою згорання, розташованої в поршні, в днище останнього виконано сферичне поглиблення, яке і служить камерою згоряння, а на голівці поршня є тепловий бар'єр у вигляді канавки, розташованої над верхнім поршневим кільцем. Тепловий бар'єр призначений для зменшення зносу канавки, в якій міститься верхнє компресійне кільце.

На окремих зразках дизелів 6Ч 12/14 і 6ЧН 12/14 замість коробчастих маслоз'ємних кілець в канавки поршня встановлюються маслознімні кільця скребкового типу (по два кільця в кожну канавку виточенням донизу). В цьому

випадку допустимий монтажний зазор між маслознімними кільцями і канавками поршня повинен бути в межах 0,2-0,29 мм, а найбільший допустимий експлуатаційний зазор - 0,4 мм.

Поршневий палець - пустотілий, сталевий, з цементованою зовнішньою поверхнею, запресовується в отвори бобишек поршня.

Розподільчий вал - цілісний, сталевий, монтується в блоці циліндрів на сімох рознімних підшипниках. Профіль кулачків впускних і випускних клапанів однаковий.

Впускний і випускний клапани однакової форми і розмірів, виготовляються з жароміцної сталі. Кожен клапан притискається до сідла в кришці циліндра двома пружинами. Клапани приводяться до руху від розподільного вала за допомогою штовхачів, штанг і коромисел.

Штовхачі - сталеві, порожнисті, зі вставною п'ятої. Штанги - сталеві, зі сферичними кінцями. Коромисла - сталеві, з запресованими бронзовими втулками в якості підшипників.

Паливна система складається з фільтра грубого очищення палива, паливного насоса з регулятором числа обертів, паливопідкачуючої помпи з насосом ручного прокачування, фільтра тонкого очищення палива, паливопроводів високого і низького тисків, форсунок і трубок для зливу палива з насоса і форсунок.

Паливний насос - шестіплунжерний, блочного типу, приводиться до дії від шестерні розподільного вала через привід. Робочий тиск подачі палива - 12000 ± 250 кПа.

Форсунка - закритого типу, з штифтовим розпилювачем, діаметром 1,5 мм, кріпиться в кришці циліндра і ущільнюється мідної прокладкою. Трубопровід високого тиску виготовлений зі сталевих трубок з зовнішнім діаметром 7мм, внутрішнім - 2 мм. Довжина всіх трубок однакова.

Регулятор - відцентровий, всережимний (однорежимний).

Двигун працює на дизельному паливі ГОСТ 4749-49 або ГОСТ 305-62.

Зовнішній вигляд дизеля суднового призначення наведено на рис. 2.2.

Рисунок 2.2 - Зовнішній вигляд дизель-генератора 6ЧН 12/14 суднового призначення

Система мащення двигуна - циркуляційна під тиском і з «мокрим» картером. Головними елементами системи мащення є: масляний насос, фільтр-холодильник, фільтр тонкого очищення моторної оливи, оливопроводи, оливозаборник і контрольні прилади. Під тиском 2-5х100кПа моторна олива подається до корінних і шатунних підшипників колінчастого валу, до підшипників розподільного вала і коромисел, а також в коробку передач для змащення шестерень. Решта механізми змащуються розбризкуванням. Моторна олива - марки Д-11 (ГОСТ 5304-54). У картер двигуна заливається 20 кг моторної оливи.

Система охолодження замкнута. Двигун має подвійне охолодження. Втулки і кришки циліндрів охолоджуються циркуляційної водою, а олива, циркуляційна вода і випускний колектор - забортної водою. Основними

частинами системи охолодження є: відцентрові насоси циркуляційної і забортної води, холодильник і розподільний бачок з термостатною коробкою.

Пуск двигуна здійснюється або електростартером, або стисненим повітрям. Обидві системи незалежні одна від одної. Електростартер отримує електроенергію від акумуляторних батарей.

Пуск стисненим повітрям здійснюється від балонів загальною ємністю 0,04 $м^3$ при початковому тиску 6000 бар.

Система електрообладнання - двохпроводна, виконана екранованими проводами.

Система управління двигуном складається з коробки включення з пусковою кнопкою для пуску електростартера і кнопкою включення свічок накалу, пускового крана для стисненого повітря, рукоятки регулювання кількості обертів і щита контрольно-вимірювальних приладів. Суднові дизелі випускаються також з механізмом дистанційного управління, що служить для зміни числа обертів дизеля, і реверсивно-редукторною передачею.

Скорочену технічну характеристику дизеля 6ЧН 12/14 наведено в табл. Д 1 [19].

Таблиця Д 1 – Основні параметри технічної характеристики 6ЧН 12/14

№	Параметр	Значення
1	Номінальна потужність, кВт (к.с.)	110 (150)
2	Частота обертання, $хв.^{-1}$	1500
3	Діаметр циліндра, мм	120
4	Хід поршня, мм	140
5	Кількість циліндрів	6
6	Порядок роботи циліндрів	1-5-3-6-2-4
7	Напрямок обертання колінчастого вала	Проти годинникової стрілки, (з боку маховика)
8	Мінімальна стійка частота обертання, об / хв	700
9	Фази газорозподілу, град (за п.к.в.)	
	відкриття впускного клапана до в.м.т.	45 ±8
	закриття впускного клапана після н.м.т.	45 ±8
	відкриття випускного клапана після в.м.т.	45 ±8
	закриття випускного клапана після н.м.т.	45 ±8
10	Кут випередження подачі палива до в.м.т. при такті стиснення, град (за п.к.в.)	17-20

Д 4. Об’єкти досліджень системи теплової підготовки

Дослідження використання СТП на судновому двигуні проводились засобами чисельного моделювання. Для використання в математичних моделях складових СТП використовували їх параметри і характеристики (табл. Д 4.1 і Д 4.2).

Таблиця Д 4.1 - Технічна характеристика ТА фазового переходу і ТАМ [4] підсистеми утилізації теплової енергії ВГ системи теплової підготовки суднового двигуна

Найменування	Характеристика
Теплоакумулюючий матеріал з властивостями:	поліетилен високої густини
Густина, кг/м^3, $\rho_{тв}$ / $\rho_р$	925 / 800
Температура фазового переходу, К	408
Питома теплова енергія фазового переходу, кДж/кг	230
Питома теплоємкість, кДж/(кг·К), $C_{тв}$ / $C_р$	2.5 / 3.3
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К), $\lambda_{тв}$ / $\lambda_р$	0.25 / 0.04
Маса теплоакумулюючого матеріалу, кг	18.5
Маса теплового акумулятора з ТАМ, кг	32.75
Габаритні розміри ТА, мм	164х280х480
Теплоізолюючий матеріал	подвійний спінений поліетилен, покритий з обох боків двома шарами алюмінієвої фольги
Матеріал корпуса ТА	нержавіюча сталь
Матеріал теплообмінника ТА	Латунь
Теплова ємкість ТА, кДж/К	46.25

В якості теплоакумулюючого матеріалу контактного теплового акумулятора фазового переходу і оболонок накопичувачів для моторної оливи і охолоджуючої рідини з ТА фазового переходу була використана суміш високомолекулярних вуглеводнів C_{18}-C_{35}, характеристика якої показана в табл. Д 4.2. Запропонована конструкція КТА має вигляді чохла, який кріпиться зовні ДВЗ і дозволяє утилізувати теплову енергію, що виділяється корпусними елементами ДВЗ в процесі роботи для подальшого використання її для підтримання температури двигуна [2, 8].

Таблиця Д 4.2 - Технічна характеристика теплоакумулюючого матеріалу контактного теплового акумулятора, накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором системи теплової підготовки суднового двигуна [12]

Найменування	Характеристика
Теплоакумулюючий матеріал за ГОСТ 23683-89 з властивостями:	парафін - суміш високомолекулярних вуглеводнів C_{18}-C_{35}
Стан	Твердий
Температура плавлення, ºС (К)	45-52 (318- 325)
Температура кипіння, ºС (К)	350 (623)
Скрита теплота плавлення, кал	35
Питома теплова енергія фазового переходу, кДж/кг	190
Теплоізолюючий матеріал	Подвійний спінений поліетилен, покритий з обох боків двома шарами алюмінієвої фольги

В основу досліджень покладена необхідність прогріти судновий двигун при низькій температурі оточуючого середовища в період передпускового прогріву до температур «гарячого пуску», а саме: 40 °С, або 50 °С, або 60 °С, , а потім – нагрів до температури 85 °С [4]. В процесі досліджень використовувалась штатна система охолодження суднового двигуна (без системи теплової підготовки) і удосконалена – з підключеною СКП. При цьому визначалась зміна параметрів температури охолоджуючої рідини і витрати палива ДВЗ при різних умовах здійснення його прогріву. Передпусковий і післяпусковий прогрів двигуна проводився при різних температурах оточуючого середовища.

Д 5. Особливості формування циклу забезпечення температурного стану двигуна в умовах експлуатації з використанням системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу

Особливостями розробленого циклу забезпечення температурного стану при застосуванні системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу за допомогою СТП (рис. Д 5) є те, що в точці 1 температура ОС $T_{ос}$, а відповідно, ОР і МО, можуть змінюватись у широкому діапазоні допустимих температур ТАМ відповідно до алгоритмів роботи СТП.

Після запуску СТП в інтервалі точок 1-2 відбувається передпусковий прогрів суднового ДВЗ. Тривалість цього етапу залежить від $T_{ос}$ і конструкції СОД двигуна. Точка 2 цього циклу відповідає встановленим температурам ОР і МО «гарячого» пуску ДВЗ, та може змінюватись в залежності від рекомендацій виробника двигуна або технологічних вимог (як правило $T_{OP} \approx T_{MO} \approx 50$ °С). При прогріві суднового ДВЗ від $T_{ос}$ до досягнення температури 50 °С необхідно витратити різну кількість накопиченої в ТА СТП теплової енергії, тому температура $T_{\text{ТАМ}}$ в точці 2 може значно відрізнятися від початкової. Швидкість циркуляції ОР і МО в інтервалі точок 1-2, виходячи з конструктивних можливостей СППД, повинна бути максимальною для технологічного виконання, але може варіюватись в залежності від конструктивних особливостей СОД і СМ двигуна і особливостей прогрівання суднового двигуна.

Після досягнення в СОД і СМ температури «гарячого» пуску відбувається запуск двигуна (точка 2). В інтервалі 2-3 відбувається спільний прогрів двигуна від ТА КСКП та теплової енергії згорання палива працюючого двигуна. Початкова температура ОР і МО в цьому інтервалі відповідає температурі в точці 2, а в кінці інтервалу – в точці 3, вона повинна відповідати значенню температури ОР і МО, яку рекомендує виробник двигуна в якості значення робочої температури ОР і МО. В цьому інтервалі триває подальше зниження температури ТАМ (крім НОРТА і НМОТА), пропорційно початковій температурі $T_{ос}$. Тривалість цього інтервалу приблизно однакова для різних

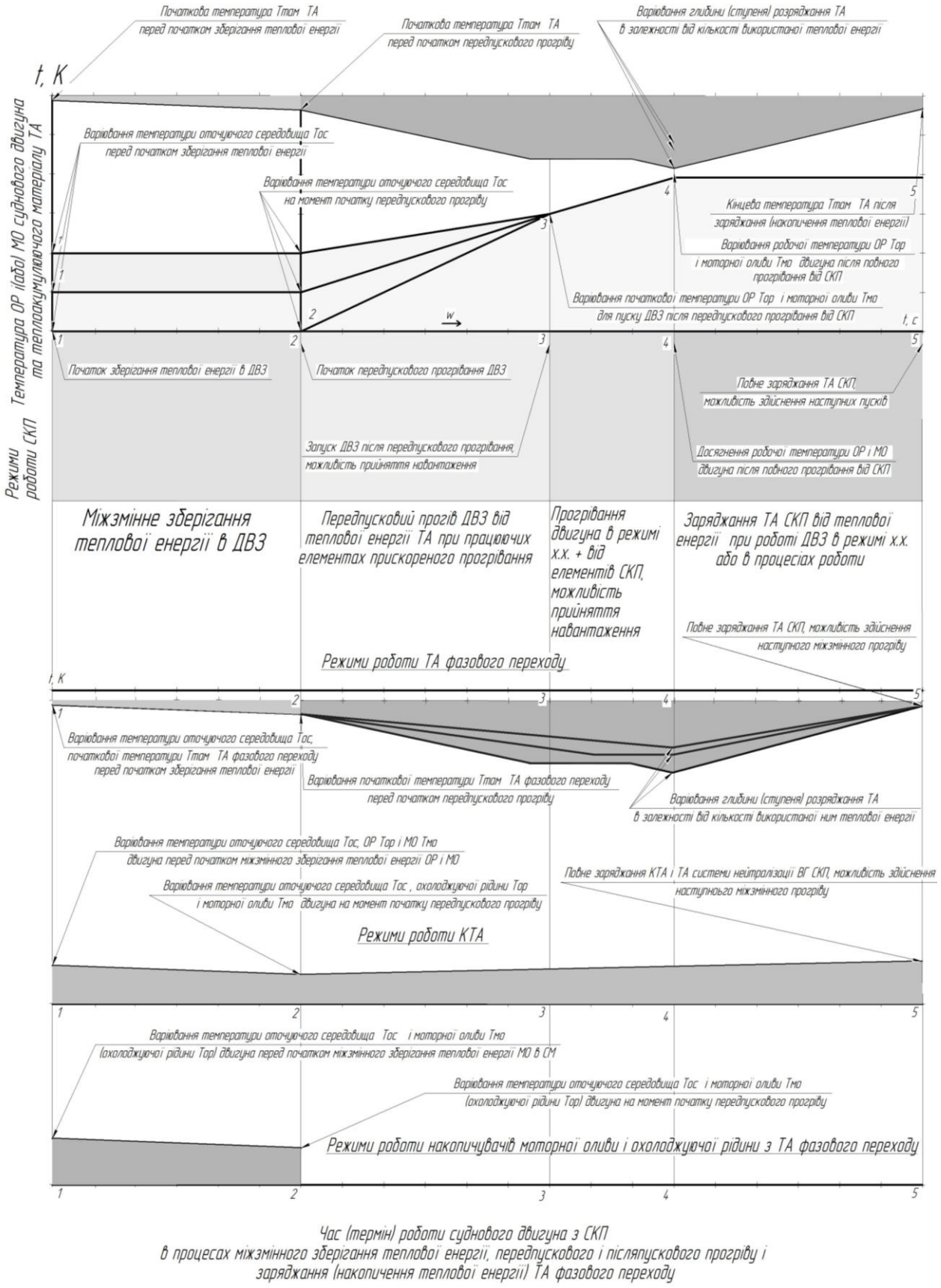


Рисунок Д 5 - Розроблений цикл теплової підготовки в циклі забезпечення температурного стану суднового двигуна з СТП при застосуванні перспективних схем теплоакумулюючих систем теплової підготовки в умовах експлуатації

Д 6. Особливості формування системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу

Реалізація схеми СТП для суднового двигуна показана на рис. 4.

Накопичення теплової енергії ВГ суднового двигуна 1 тепловим акумулятором фазового переходу 20, а саме підсистемою утилізації теплової енергії відпрацьованих газів, стає можливим завдяки встановленню паралельно глушнику 18 двигуна в випускному трубопроводі утилізаційного теплообмінника (УТ) ВГ 6. Циркуляція теплоносія між ТА 20 і утилізаційним теплообмінником 6 ВГ забезпечується циркуляційним насосом 21 з модульованою подачею. Теплоносій проходячи через УТ 6 у випускному трубопроводі розігрівається від теплової енергії ВГ до температури 150…190°С (в якості теплоносія в процесі досліджень використовувалась технологічна рідина з температурою кипіння 220 °С). Утилізаційний теплообмінник 6 встановлено паралельно основному трубопроводу системи випуску ВГ транспортного двигуна в байпасі. Таке конструктивне рішення прийнято для того, щоб забезпечити можливість відключення утилізаційного теплообмінника 6 після того, як ТА фазового переходу 20 підсистеми утилізації теплової енергії буде повністю заряджений. Переключення потоку ВГ відбувається за допомогою електромагнітних газових клапанів 30 і 25 з електричним приводом на основі команд системи керування. Регулювання потоку ВГ здійснюється за спеціальним алгоритмом [6, 26, 27] у відповідності до розробленого циклу прогріву двигуна. Теплоносієм з УТ 6 теплота потрапляє в ТА 20 фазового переходу підсистеми утилізації теплової енергії. В теплоізольованому резервуарі ТА з трьома теплообмінниками (для заряджання ТА і прогріву, відповідно, ОР і МО суднового двигуна) теплоносій охолоджується та віддає накопичену теплову енергію фазоперехідному теплоакумулюючому матеріалу (ТАМ).

В процесі накопичення теплової енергії ТАМ найбільшу ефективність являє собою період здійснення фазового переходу речовини – наповнювача ТА,

тобто зміна його агрегатного стану, на яку потрібна велика кількість теплової енергії ВГ. Тобто найбільш енергоємним є процес фазового переходу ТАМ. Робочі процеси фізичного накопичення теплової енергії ТАМ не потребують такої великої кількості енергії. Особливості процесу роботи ТА 20 фазового переходу в різних періодах накопичення і віддачі теплової енергії детально описані в [6, 7, 27].

Контактний тепловий акумулятор 17 суднового двигуна (рис. 2.5) уявляє собою багатошаровий чохол. Для забезпечення щільного прилягання він закріплений ззовні на оболонці блока циліндрів та піддоні двигуна [8]. Особливістю конструкція контактного теплового акумулятора 17 суднового двигуна є наявність окремих секцій-контейнерів з фазоперехідним ТАМ, що закріплені ззовні на поверхнях блоку циліндрів і піддоні суднового двигуна, зверху закритих теплоізоляційним чохлом, який складається з декількох шарів теплоізоляційного матеріалу [6, 27, 31]. Застосування контактного теплового акумулятора 17 не вимагає внесення істотних змін у конструкцію суднового двигуна та його систем. Він легко монтується, простий в обслуговуванні і не вимагає додаткового джерела енергії. Робота контактного теплового акумулятора заснована на зміні фазового стану теплоакумулюючого матеріалу, який входить до складу його конструкції, при виділенні і поглинанні теплової енергії блоку циліндрів і піддону двигуна ТЗ конвекцією і тепловим випромінюванням. Завдяки використанню контактного теплового акумулятора виконується теплоізолююча функція двигуна і досягається мінімальна втрата теплової енергії у вигляді конвекції і теплового випромінювання, що виділяється двигуном протягом часу його роботи. За рахунок цього також вдається уникнути появи термічних напруг у двигуні при його прогріві від низьких температур, тому що робочий процес контактного теплового акумулятора полягає в довготривалій підтримці встановленої температури ОР і МО при зупиненому судновому двигуну, на відміну від відомих ТА, за допомогою яких здійснюється нагрівання ДВЗ після зупинки [4, 8].

Особливістю конструкції накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором 19 (рис. 4) є наявність в оболонці накопичувального сосуду для МО додаткового контактного ТА фазового переходу, що аналогічний за конструкцією і принципом дії контактного теплового акумулятора 17, але встановлений на корпусі накопичувального сосуду для зливу МО. Завдяки використанню накопичувача МО з тепловим акумулятором 19 досягається мінімальна втрата теплоти, що виділяється МО, після її зливання за допомогою електромагнітних рідинних клапанів 28 і 29 в теплоізольований сосуд з ТА, під час тривалої зупинки суднового двигуна. При зворотному закачуванні МО в піддон двигуна за допомогою циркуляційного насосу 24 з модульованою подачею вдається додатково прискорено прогріти корпусні елементи двигуна і деталі СМ, а саме зону колінчастого валу, масляної магістралі і зону масляної оболонки суднового двигуна. Температура МО двигуна в накопичувачі моторної оливи з тепловим акумулятором 19 контролюється за допомогою вбудованого датчика температури МО.

Особливістю конструкції накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором 9 (рис. 4) є наявність в оболонці накопичувального сосуду для ОР додаткового контактного ТА фазового переходу, що аналогічний за конструкцією і принципом дії накопичувачу моторної оливи з тепловим акумулятором 19, але встановлений на корпусі накопичувального сосуду для зливу ОР. Завдяки використанню накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором 9 досягається мінімальна втрата теплоти, що виділяється ОР, після її зливання за допомогою електромагнітних рідинних клапанів 10 і 11 в теплоізольований сосуд 9 з ТА, під час тривалої зупинки суднового двигуна. При зворотному закачуванні ОР в систему охолодження двигуна за допомогою циркуляційного насосу 8 з модульованою подачею вдається додатково прискорено прогріти корпусні елементи двигуна і деталі системи охолодження двигуна, а саме зону оболонки охолодження і головки ДВЗ. Температура ОР двигуна в накопичувачі охолоджуючої рідини з тепловим

акумулятором 9 контролюється за допомогою вбудованого датчика температури ОР.

Крім описаних компонентів СТП також включає штатні складові елементів суднового двигуна і його СОД і СМ (рис. 4), а саме радіатор 2 системи охолодження, вихідний вал 3 двигуна, впускний колектор 4, датчик температури 12 ВГ; радіатор системи 13 мащення; газоаналізуюча апаратура 14 (у вигляді відповідних датчиків); бачок для розширювання теплоносія15; датчик температури 16 ВГ. Циркуляція ОР і МО в СТП суднового двигуна забезпечується циркуляційними насосами 22 і 23 з модульованою подачею. Управління потоками ОР і МО забезпечується за допомогою електромагнітних рідинних клапанів 26 і 27.

Передпусковий і післяпусковий прогрів ОР і МО суднового двигуна можливий при штатному його прогріві і (або) в наступних варіантах роботи СКП: при роботі тільки підсистеми прискореного прогріву двигуна в процесі післяпускового прогріву двигуна, при роботі підсистеми прискореного прогріву двигуна з ТА фазового переходу підсистеми утилізації теплової енергії відпрацьованих газів, при поєднанні функцій контактного теплового акумулятора (накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором і (або) накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором) або при спільній дії контактного теплового акумулятора + накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором + накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором і ТА фазового переходу підсистеми утилізації теплової енергії відпрацьованих газів. Зберігання теплової енергії, накопиченою ОР і МО двигуна, можливо при штатній комплектації ДВЗ і (або) в наступних варіантах роботи СТП двигуна: при роботі підсистеми прискореного прогріву двигуна з ТА фазового переходу підсистеми утилізації теплової енергії відпрацьованих газів, при роботі тільки контактного теплового акумулятора або накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором (накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором), при поєднанні функцій контактного теплового акумулятора (накопичувача моторної оливи з тепловим

акумулятором і (або) накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором) або при спільній дії контактного теплового акумулятора + накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором + накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором і ТА фазового переходу підсистеми утилізації теплової енергії відпрацьованих газів.

При необхідності запуску двигуна після тривалої зупинки в дію включається СКП. СТП суднового двигуна, працюючи за власними алгоритмами, включає електричні циркуляційні насоси підсистеми прискореного прогріву двигуна 21, 22, 23 з модульованою подачею, які здійснюють циркуляцію ОР і МО в судновому двигуні та ТА фазового переходу підсистеми утилізації теплової енергії відпрацьованих газів. Проходячи через ТА охолоджуюча рідина отримує накопичену ТАМ теплову енергію та передає її ОР в систему охолодження двигуна і МО в систему мащення та елементам конструкції транспортного двигуна. Правильний вибір теплової потужності ТА 20 дозволяє виконати швидкий попередній прогрів ДВЗ від низької температури оточуючого середовища (від -20 °С (дослідний варіант)) до температури ОР і МО на рівні +40…60 °С. Вибір теплової потужності ТА за рахунок маси ТАМ виконується на основі розрахунку теплового балансу двигуна з СКП, за допомогою якого визначається необхідна кількість теплової енергії для прогріву ОР і МО, блока циліндрів, головки блока циліндрів, з’єднуючих патрубків і трубопроводів з урахуванням теплових втрат [6, 27, 29].

Отримавши теплову енергію від ОР і МО елементи транспортного двигуна передають її камері згорання, що позитивно впливає на процес пуску суднового ДВЗ, який відбувається після того, як датчики СТП суднового двигуна зафіксують температуру ОР і МО на рівні +40…60 °С. Після цього відбувається запуск ДВЗ та з’являється можливість навантаження двигуна. Після запуску ДВЗ СТП продовжує свою роботу та сприяє більш швидкому та ефективному прогріву працюючого двигуна до температури ОР і МО на рівні +85 °С. Це досягається завдяки подальшому використанню накопиченої теплової енергії в ТА і надходженню теплової енергії від енергії палива

працюючого двигуна. Після досягнення температури ОР і МО +85 °С СТП переходить в режим підтримання її в заданих межах, тобто 85±5 °С, а вже після цього підключається штатна система (ШС) двигуна (СКП при цьому відключається від роботи).

Враховуючи дані, отримані від датчиків температур, система керування СТП розраховує оптимальну частоту обертання циркуляційних насосів 21, 22, 23 та віддає керуючі команди на клапани системи, спрямовуючи потоки робочих рідин (ОР і МО) через ті чи інші елементи КСПП. Функціонування розробленої СТП суднового ДВЗ побудовано на аналізі температурних значень теплоносіїв ОР і МО [6, 27, 29].

В період зупинки і зберігання накопиченої теплоти непрацюючого ДВЗ за допомогою контактного теплового акумулятора 17, його робочий процес полягає в зворотному віддаванні теплоти фазового переходу ТАМ контактного теплового акумулятора для здійснення довготривалої підтримки температури ОР і МО двигуна. При низький температурі навколишнього середовища та зарядженому ТА фазового переходу 20 підсистеми утилізації теплової енергії відпрацьованих газів, коли накопиченої теплоти контактного теплового акумулятора 17 вже недостатньо, прогрів транспортного двигуна 1 здійснюється аналогічно описаному раніше.

При тривалій зупинці двигуна, коли потрібно ОР і МО підтримати в межах «гарячого прогріву» на протязі тривалого часу, використовуємо накопичувач моторної оливи з тепловим акумулятором 19 і (або) накопичувач охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором 9 (рис. 4), в які ОР і МО зливаються з системи мащення і системи охолодження двигуна. При необхідності здійснення пуску двигуна та зарядженому ТА фазового переходу 20 підсистеми утилізації теплової енергії відпрацьованих газів, за допомогою клапанів 28 і 29 (9 і 11) відбувається з’єднання накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором (або накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором) з системою мащення (або системою охолодження) двигуна і за допомогою циркуляційного насосу 24 (8) МО (ОР) подається в блок циліндрів

суднового двигуна. Подальший процес прогріву транспортного суднового двигуна 1 здійснюється аналогічно описаному раніше. За допомогою датчиків температури МО і ОР відбувається контроль працездатності СТП відносно теплових можливостей елементів і підсистем і подальшого використання самої СКП.

Д 7. Загальні рекомендації щодо формування системи теплової підготовки суднового двигуна на основі теплових акумуляторів фазового переходу

При розробці СТП суднового двигуна К-164М1 треба враховувати широкий спектр зовнішніх та внутрішніх факторів, які впливають на правильну роботу системи, точність її роботи, надійність та зручність в експлуатації, а крім цього вимогам безпеки - токсичність, вибухобезпечність і пожежобезпечність, а також радіаційна безпека. До основних рекомендацій щодо розробки, або формування КСП можливо віднести наступні положення, що стосуються всіх елементів системи, яка проектується.

Розробка СТП повинна починатися з визначення параметрів ТА, обумовлених умовами експлуатації двигуна або енергетичної установки.

Вибір оптимального теплоакумулюючого матеріалу ТА завжди являє собою певний компроміс між властивостями речовин, що забезпечують працездатність конструкції ТА фазового переходу СТП і сприяють його ефективному функціонуванню, та небажаними його властивостями, які ускладнюють і здорожують ТА. Крім того, в будь-якому випадку потрібні експериментальних дослідження не тільки з метою вивчення теплофізичних та фізико-хімічних характеристик нових перспективних сполук, придатних для акумулювання теплоти в ТА двигунів, а й для уточнення цих характеристик добре відомих матеріалів [6, 7].

Ефективна акумулююча середа на основі фазового переходу повинна мати такі властивості [6]:

- високу ентальпію фазового переходу і щільність;
- зручну для експлуатаційних умов температуру плавлення;
- високу теплоємність в твердій і рідкій фазах;
- високу теплопровідність в твердій і рідкій фазах;
- відсутність тенденції до розшарування теплоакумулюючого матеріалу і температурну стабільність;

- відсутність можливості переохолодження при затвердінні і перегріву при плавленні;

- низьке термічне розширення і незначна зміна обсягу при плавленні;

- слабку хімічну активність, що дозволяє використовувати недорогі конструкційні матеріали для виготовлення теплових акумуляторів і допоміжного обладнання;

- безпека (відсутністю отруйних парів, а також небезпечних реакцій з робочим або теплообмінним середовищем);

- великі ресурси роботи.

Попередньо виконаний аналіз виконаних досліджень деяких класів речовин, що є перспективними ТАМ, свідчить про те, що вибір ТАМ, що задовольняє всім пропонованим до нього вимогам, є досить складним завданням. Як правило, реальні речовин та їх суміші одночасно поєднують в собі як позитивні з точки зору теплового акумулювання властивості, так і негативні, небажані властивості, виключити які або хоча б зменшити їх вплив вдасться далеко не завжди. Складність вибору ТАМ обумовлена ще й тією обставиною, що проектований для енергетичної установки ТА повинен бути компактним пристроєм [6, 7].

У спеціальній літературі сформульований ряд термодинамічних, кінетичних, хімічних і економічних критеріїв вибору ТАМ, а також їх застосування в ТА [6, 7]. Цілком очевидно, що в даний час практично не існує ТАМ для ТА, що відповідають одночасно всім перерахованим вище вимогам.

До основних рекомендацій щодо розробки конструкції СТП з ТА фазового переходу можливо віднести наступні положення, що стосуються особливостей проектування:

1. Розробка СТП повинна починатися з визначення призначення ТА для використання в ТА або ЕУ. На цьому етапі необхідно визначитись с температурним режимом, який буде потрібен для виконання плануємих технологічних операцій і визначити задачі, що будуть виконуватись при визначених температурах, а саме – забезпечення тільки пуску після виконання

передпускового прогріву, передпусковий прогрів до температур «гарячого прогріву» для виконання одночасного пуску и прийняття навантаження тощо. Крім цього необхідно визначитись с режимами роботи двигуна енергетичної установки (від цього залежать основні технологічні параметри двигуна і його експлуатаційних рідин і газів, в першу чергу відпрацьованих газів), режимами при якій відбувається робота двигуна та пуск ДВЗ, а також інтервали між зупинкою та пуском ДВЗ в процесі експлуатації.

2. Визначити основні кліматичні умови навколишнього середовища, на які повинен був розрахований ТА, як екстремальні, так і поточні температури, та їх кількість на протязі року.

3. Визначити параметри можливої утилізації теплоти, що відводиться охолоджуючою рідиною, моторною оливою та відпрацьованими газами суднового двигуна.

4. Після цього необхідно уточнити вихідні параметри - характеристики умов, в яких буде працювати ТА, за п.п. 1-3, а саме інтервал робочих температур, параметри оточуючого середовища, циклічність фазових перетворень тощо.

5. Визначити основні технологічні параметри ТА, а саме необхідна кількість теплоти, яку повинен накопичувати ТА. При визначенні необхідної кількості теплоти і об’єму ТА необхідно виконувати наступні вимоги відносно ТАМ: вага ТАМ повинна розраховуватися із умови забезпечення прогріву суднового ДВЗ при максимально низький експлуатаційній температурі навколишнього середовища, та максимально тривалому інтервалу між зупинкою та пуском ДВЗ.

6. Розробити можливі варіанти конструктивного виконання ТА фазового переходу для суднового двигуна у відповідності до відомостей про їх можливі конструктивні варіанти виконання і класифікації ТА.

7. Виконати попередній відбір декількох варіантів ТАМ, які за своїми температурами фазового переходу, питомою теплотою фазового переходу і питомою масовою теплоємністю відповідають умовам експлуатації суднового

двигуна. На цьому етапі виконання умов (п.п. 1-5) дозволяє виключити з розгляду ТАМ, які в рідкій фазі можуть мати значний перегрів, що може призвести до підвищення тиску в теплоакумулюючий ємності ТА.

8. З попередньо відібраних за умовами (п.п. 1-7) ТАМ вибираються речовини, що володіють найбільшою щільністю акумулювання теплоти. Щільність акумулювання теплоти характеризується її кількістю, що запасається одиницею об'єму ТАМ. З урахуванням рівняння щільність акумулювання теплоти $q_{АКТ}$ визначається наступним рівнянням [6, 7], а також при виконанні основної умови для обраних ТАМ:

$$q_{\text{АКТ}} = p_{\text{тв}} \cdot \int_{\text{Т}_1}^{\text{Т}_\Phi} \text{С}_{\text{тв}}\,(\text{Т}) dT + p_{\text{р}} \cdot r_T + p_{\text{р}} \cdot \int_{\text{Т}_\Phi}^{2} \text{С}_{\text{р}}\,(\text{Т}) dT \;\; (\text{кДж/м}^3) \rightarrow \max$$

де $p_{тв,}\ p_р$ – щільності ТАМ відповідно в твердій і рідкій фазах, кг/м^3;

r_T - питома теплота фазового переходу плавлення-кристалізація, кДж/кг;

$C_{тв}\ (T),\ Cp\ (T)$ - питомі масові теплоємності ТАМ в залежності від його температури відповідно в твердій і рідкій фазах, кДж/(кг · К);

$T_1,\ T_2$ - температури ТАМ відповідно початкова і кінцева, К.

9. З відібраних за умовами (п. 9) ТАМ вибираються речовини з найбільш високими теплообмінними властивостями. Теплообмінні властивості ТАМ характеризуються коефіцієнтами теплопровідності у твердій $\lambda_{тв}$ і рідкої $\lambda_р$ фазах. На даному етапі методики слід виключити з розгляду ТАМ, що володіють найбільш низькими значені ями $\lambda_{тв}$ і $\lambda_р$. Проте дана вимога не повинно бути жорсткою, тому що низькі теплообмінні властивості ТАМ можливо компенсувати застосуванням спеціальних конструктивних рішень ТА, наприклад, встановленням ребер на теплообмінних поверхнях ТА фазового переходу [6, 7].

10. Розгляд параметрів теплоізоляції ТА. Теплоізоляція ТА повинна забезпечувати збереження накопиченої теплової енергії на час, який відповідає

максимально тривалому інтервалу між зупинкою та пуском суднового ДВЗ. Це може бути виражено параметрами зменшення температури ТАМ (охолодження) з максимально досягнутої при зарядці до температури фазового переходу ТАМ (подальше охолодження не бажане в умовах експлуатації). Вибір параметрів теплоізоляції ТА потрібно виконувати за рекомендаціями відповідних довідників.

11. Перевірка за показниками безпеки - токсичність, вибухобезпечність і пожежобезпечність, а також радіаційна безпека. На цьому етапі з відібраних за умовами (п. 9) ТАМ слід виключити вибухо- і пожежонебезпечні речовини; речовини, що небезпечні в радіаційному відношенні, а також сполуки, здатні виділяти отруйні пари і вступати в небезпечні реакції з теплообмінним середовищем.

12. Теплоносій, який заряджає ТА повинен відповідати наступним вимогам: ефективно виконувати зарядку ТА, бути неагресивним до ТАМ та елементів системи зарядки ТА, бути безпечним на всіх режимах роботи системи.

13. Відбір за показниками економічності полягає в оцінюванні сумарної вартості витрат на створення ТА для суднового ДВЗ, яка повинна наближатися до мінімальної.

14. Остаточно ТАМ вибирається із умови впливу багатьох параметрів, до основних з яких відносяться: термоциклічность, схильність до значних переохолоджень, конгруентність плавлення і ступінь теплового розширення, щільність накопичення теплової енергії, параметри теплоносіїв, які заряджають та розряджають ТА (температура та витрата теплоносіїв), температура та теплоємкість фазового переходу, характеристики теплообміну між ТАМ та елементами системи зарядки-розрядки ТА, безпека в експлуатації, вартість. Якщо на цьому етапі деякі негативні властивості будуть критичними, то необхідно спробувати негативний вплив цих властивостей значно зменшити аж до повного їх усунення.

Після закінчення проектування ТА переходимо до урахування особливостей конструкції елементів КСП.

15. Система прискореного прогріву ДВЗ повинна забезпечувати більш швидкій прогрів суднового ДВЗ, завдяки використанню підсистеми СППД, у порівнянні зі штатною системою охолодження ДВЗ. Це досягається при використанні електричного циркуляційного насосу та системи електромагнітних клапанів, які входять в СППД.

16. Електричні циркуляційні насоси повинні забезпечувати необхідну витрату охолоджуючої рідини в системі охолодження та мати можливість автоматично (програмовано), тобто за допомогою електронного керування, змінювати витрату охолоджуючої рідини, для забезпечення необхідних показників роботи системи відповідно до режиму роботи енергетичної установки в цілому.

17. Електромагнітні клапани СППД повинні забезпечувати необхідну витрату охолоджуючої рідини, мати швидкість закриття-відкриття на рівні 0,1-0,2 с. Елементи конструкції клапанів повинні бути стійкими до корозії, та мати робочій інтервал температур -30 °С - + 150 °С.

18. Підсистему СУТТА потрібно розраховувати, виходячи з вимог і особливостей її конструкції. Утилізаційний теплообмінник повинен утилізувати не більше ніж 40% загального обсягу ВГ двигуна. З цієї умови формується (розраховується) час заряджання ТА під час роботи двигуна.

19. Підсистема СУТТА (при утилізації теплової енергії ВГ) повинна використовувати в якості робочої рідини (якщо в цьому виникає потреба) таку, що відповідає умовам використання, температурному інтервалу ВГ на відповідному режимі двигуна та робочим параметрам теплової енергії ВГ, що утилізується і накопичуються в ТА.

20. Система керування КСП повинна забезпечувати надійну безвідмовну роботу всієї системи комбінованого прогріву та взаємодію елементів її на всіх режимах роботи суднового двигуна. Елементи системи повинні бути використані у кліматичних виконаннях УХЛ-1.

21.Для забезпечення роботи системи комбінованого прогріву суднового дизеля при застосуванні перспективних схем теплоакумулюючих систем теплової підготовки формування всіх складових виконується аналогічно до вимог (1-20).

АНОТАЦІЯ

наукової роботи під шифром «Система теплової підготовки»

Актуальність теми. Суднові енергетичні установки (СЕУ) в умовах експлуатації мають значні теплові втрати від працюючого енергетичного обладнання в навколишнє середовище. Для підвищення їх ефективності можливо використання додаткових засобів утилізації або накопичення бросової теплової енергії, які можуть використовуватись для допоміжних робіт, побутових потреб і для теплової підготовки енергетичного обладнання і енергоносіїв. Для можливої реалізації бросової теплової енергії СЕУ для потреб суден потрібно урахування існуючих нормативних вимог, оцінка економічної доцільності удосконалень, конструктивна, технологічна і експлуатаційна надійність та безпека реалізованих варіантів засобів і перспективних схем їх застосування.

Важливу роль у вирішенні проблеми енергетичної і екологічної безпеки транспортних засобів (ТЗ) в СЕУ грають двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ). Задача підвищення ефективності транспортних двигунів передбачає поліпшення їх основних показників, до яких, в першу чергу, слід віднести показники потужності, економічні та екологічні. Однак одночасне комплексне покращення названих показників є серйозною проблемою, обумовленою низкою обставин, яку одночасно вирішити дуже складно. Однією з необхідних умов для цього є забезпечення робочого температурного стану двигунів (у відповідності до рекомендацій), що відповідає умовам експлуатації, при змінних температурах оточуючого середовища (ОС) в умовах експлуатації.

Використання транспортних двигунів СЕУ у холодних умовах експлуатації супроводжується великими втратами робочого часу, праці і матеріальних засобів на їх експлуатацію, обслуговування, ремонт і зберігання. Пускові якості двигунів СЕУ оцінюються граничною температурою надійного пуску і часом, необхідним для підготовки двигуна до прийняття навантаження. При низьких температурах двигуна СЕУ і навколишнього повітря пуск

утруднюється, надійність його суттєво знижується, а час підготовки до прийняття навантаження суттєво зростає. Тому, забезпечення робочого температурного стану двигуна СЕУ в умовах експлуатації за рахунок процесів передачі потоку теплової енергії різноманітними засобами є актуальною проблемою, вирішення якої створить умови для подальшого розвитку та підвищення енергетичної безпеки ТЗ і продуктивності водного транспорту.

На акваторіях портів України експлуатується значна кількість суден портового флоту, що забезпечують вирішення різноманітних цільових завдань, при цьому більшість СЕУ суден портового флоту в даний час за своїми техніко-економічними показниками не відповідають сучасним вимогам до їх екологічних показників та паливної економічності. Вибір способу забезпечення температурного стану двигуна СЕУ у життєвому циклі, як на стадії проектування, так і в умовах експлуатації, повинен здійснюватись на основі всебічної, комплексної оцінки їх ефективності з урахуванням як конструктивних, так і експлуатаційних факторів, і робить проблему підвищення ефективності енергетичних установок судів актуальної, що має важливе прикладене значення.

Метою наукової роботи є покращення теплового стану суднового двигуна, зниження шкідливих викидів, підвищення паливної економічності застосуванням системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу.

Для досягнення мети у випускній роботі вирішуються такі **завдання**:

1. Огляд і аналіз умов експлуатації, способів і засобів використання суднових систем теплової підготовки.

2. Розробка загальної структури методики оцінювання показників суднового двигуна при застосуванні системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу.

3. Розробка системного підходу до забезпечення температурного стану двигуна суднової енергетичної установки в умовах експлуатації; схеми системи теплової підготовки із застосуванням теплових акумуляторів фазового

переходу; циклу забезпечення температурного стану двигуна в умовах експлуатації.

4. Удосконалення математичної моделі роботи системи теплової підготовки суднового дизеля при застосуванні теплових акумуляторів фазового переходу.

5. Розрахунково-теоретичне дослідження процесів теплової підготовки суднового двигуна з СТП і розробка рекомендацій щодо формування СТП суднового двигуна на основі теплових акумуляторів фазового переходу.

Методика дослідження: *Розрахунковими методиками* визначались і досліджувались термінові (часові) показники роботи суднового двигуна під час передпускового і післяпускового прогріву, показники теплового стану двигуна, масові викиди шкідливих речовин та витрата палива в процесі теплової підготовки суднового двигуна в різних умовах навколишнього середовища.

Представлена наукова робота містить у собі 30 сторінок основного тексту, 8 рисунків, 1 таблиці. При підготовці випускної роботи було використано 46 джерел інформації.

Ключові слова:

СУДНОВИЙ ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ, СИСТЕМА, ТЕПЛОВА ПІДГОТОВКА, ТЕПЛОВИЙ АКУМУЛЯТОР, ФАЗОВИЙ ПЕРЕХІД