

УДК 621.44.3:678-462

**В.С.Вербовський, І.В.Грицук, Д.С.Адров**  
Інститут Газу Національної Академії Наук України  
Донецький інститут залізничного транспорту УДАЗТ  
Донецький інститут залізничного транспорту УДАЗТ

### **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ З СИСТЕМОЮ ПЕРЕДПУСКОВОГО ПРОГРІВУ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ ПЕРЕДПУСКОВОГО І ПІСЛЯПУСКОВОГО ПРИСКОРЕНОГО ПРОГРІВУ**

*В роботі представлена розробка математичної моделі розрахунку показників ДВЗ, оснащеного системою передпускового прогріву для одночасного здійснення прогріву охолоджуючої рідини в системі охолодження і моторної оливи в системі мащення, яка дозволяє проводити дослідження роботи й параметрів системи і елементів її у різних умовах навколишнього середовища при здійсненні передпускового і післяпускового прискореного прогріву від температури оточуючого середовища до температури «гарячого пуску» та можливості навантаження.*

**Ключові слова:** двигун внутрішнього згорання, система передпускового прогріву, математична модель, прискорений прогрів, системи охолодження і мащення, тепловий акумулятор фазового переходу.

*Рис. 1. Літ 22.*

### **В.С.Вербовский, И.В.Грицук, Д.С.Адров.** **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С СИСТЕМОЙ ПРЕДПУСКОВОГО ПРОГРЕВА ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ПРЕДПУСКОВОГО И ПОСЛЕПУСКОВОГО УСКОРЕННОГО ПРОГРЕВА**

*В работе представлена разработка математической модели расчета показателей ДВС, оснащенного системой предпускового прогрева для одновременного осуществления прогрева охлаждающей жидкости в системе охлаждения и моторного масла в системе смазки, которая позволяет проводить исследования работы и параметров системы и элементов ее в различных условиях окружающей среды при осуществлении предпускового и послепускового ускоренного прогрева от температуры окружающей среды до температуры «горячего пуска» и возможности нагружения.*

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, система предпускового прогрева, математическая модель, ускоренный прогрев, системы охлаждения и смазки, тепловой аккумулятор фазового перехода.

### **V.Verbovsky, I.Gritsuk, D.Adrov.** **MATHEMATICAL MODEL FOR CALCULATING THE PERFORMANCE OF THE IN- TERNAL COMBUSTION ENGINE WITH SYSTEM PLUGS WARM WHEN IMPLEMENTING PLUGS POSTHEATING ACCELERATED WARMING**

*The paper presents the development of a mathematical model for calculating performance engine equipped with system plugs warm for simultaneous warm the coolant in the cooling system and engine oil lubrication system, which allows the study of work and parameters of the system and its elements in different environmental conditions in the implementation of pre-launch and postheating accelerated warming from ambient temperature to "hot start" and the possibility of loading.*

**Keywords:** internal combustion engine, the system plugs warm, mathematical model, rapid heating, cooling and lubrication systems, heat storage phase transition.

**Постановка проблеми.** В процесі роботи двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) його тепловий стан в більшості випадків не відповідає оптимальному. Особливо це стосується запуску двигуна, його прогріву та подальшої роботи з навантаженнями. Особливо складним, утрудненим, таким, що супроводжується не тільки зниженням моторесурсу, але й небезпекою аварії, є «холодний» пуск, тобто пуск непрогрітого двигуна в умовах низьких температур навколишнього повітря. При низьких температурах самого двигуна і оточуючого його середовища пуск ускладнюється, надійність пуску істотно знижується, а час підготовки до прийняття навантаження зростає. Невідповідність теплового стану двигуна оптимальному суттєво впливає на його паливну економічність та екологічні показники. Існують системи, які дозволяють покращити тепловий стан двигуна. Але дуже важливо дати правильну оцінку цим системам та знайти можливі способи та рішення, які б покращили тепловий стан двигуна та зменшили час прогріву після пуску двигуна і, як наслідок, покращення паливної економічності і екологічних показників.

©В.С.Вербовський, І.В.Грицук, Д.С.Адров

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для покращення показників ДВЗ в процесі пуску і прогріву було створено систему комбінованого прогріву [1, 2], що складається з системи прискореного прогріву (СППД) й системи утилізації теплоти відпрацьованих газів тепловим акумулятором (СУТТА) фазового переходу. Для покращення процесу пуску й підвищення довговічності двигуна, тобто зменшення пускових зносів необхідно також поліпшення подачі моторної оливи до пар тертя при здійсненні пуску за рахунок передпусковий прокачування і підігріву оливи. Аналіз пристроїв, що забезпечують оптимізацію мастильного процесу сполучень двигуна на режимах пуску - прогріву [3 - 6] показав, що найбільш простими за конструкцією, а також за можливістю реалізації на сучасних двигунах, є пристрої [7 - 9]. Але, розглянуті пристрої не забезпечують підігріву при прокачуванні моторної оливи, необхідного для зниження опору обертанню колінчастого валу під час пуску при низьких температурах навколишнього середовища.

Дослідження дизеля К-461М1 (6ЧН 12/14) і газового двигуна К-159М2 (6Ч 12/14), що продовжуються в ДонІЗТ УкрДАЗТ і в Інституті газу НАНУ спільно з НТУ, показали, що для полегшення пуску і швидкого прогріву двигуна доцільно використовувати систему передпускового прогріву (СПП) ДВЗ [10] і систему регулювання температури охолоджуючої рідини при здійсненні міжзмінної стоянки [11]. Особливість системи передпускового прогріву полягає в тому, що вона включає в себе тепловий акумулятор (ТА) фазового переходу і елементи прискореного прогріву для забезпечення ефективної передпускової теплової підготовки системи охолодження (СОД) ДВЗ і його прискореного прогріву після пуску в умовах низьких температур, а крім цього, в неї включено тепловий акумулятор (ТА), теплонакопичувач й елементи керування передпусковою системою мащення (ПСМД) ДВЗ. Для досягнення більшої ефективності при виконанні передпускового прогріву газового двигуна К-159М2 в процесі здійснення пуску і прогріву доцільно за допомогою системи передпускового прогріву (СПП) одночасно здійснювати прогрів охолоджуючої рідини в системі охолодження і оливи в системі мащення ДВЗ. Елементи керованої передпускової системи мащення двигуна (КПСМД) включають електроклапани, реле, датчики температури і тиску, й рідинний насос, який дозволяє модулювати циркуляцію оливи ПСМД в залежності від її температури, для забезпечення ефективного прогріву й довговічності ДВЗ. Ці функції КПСМД виконує спільно з теплонакопичувачем, в який зливається прогріта олива двигуна в період його зберігання. Система регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ [10], крім вже описаних елементів, містить ще й додатковий контактний блочний тепловий акумулятор ДВЗ. Додатковий контактний блочний тепловий акумулятор ДВЗ уявляє собою багат шаровий чохол, закріплений на сорочці й піддоні двигуна ззовні. Робота його заснована на виділенні й поглинанні тепла при зміні фазового стану теплоакумулюючого матеріалу, який входить до складу його конструкції. Секції додаткового контактного блочного теплового акумулятору ДВЗ закріплюються на поверхні блоку циліндрів і масляного піддона двигуна, так щоб забезпечити щільне прилягання.

**Постановка задачі** в даній роботі – розробка математичної моделі розрахунку показників роботи ДВЗ, оснащеного системою передпускового прогріву, яка дозволяє одночасно здійснювати прогрів охолоджуючої рідини в системі охолодження і оливи в системі мащення ДВЗ, а також проводити дослідження роботи й параметрів системи і елементів її у різних умовах навколишнього середовища при здійсненні передпускового і післяпускового прискореного прогріву до температури «гарячого пуску» та можливості навантаження.

**Основний матеріал дослідження.** Дослідження ефективності СПП ДВЗ містить у собі: вибір критеріїв для оцінки енергетичної й економічної ефективності системи й на їхній основі вибір оптимальної конфігурації СПП, оптимальних енергетичних параметрів схеми, конструктивних і режимних характеристик елементів схеми й екологічних характеристик системи прогріву ДВЗ. Оскільки об'єкт дослідження в загальному випадку є численним класом систем, що використовують різні джерела енергії для передпускового прогріву широкого спектра ДВЗ, то для визначення найважливіших елементів і зв'язків була розроблена формалізована схема СПП ДВЗ, що містить у собі основні енергетичні потоки і їх перетворення від входу до виходу системи. Комбінація СПП ДВЗ і системи енергії від додаткових (поновлюваних при роботі ДВЗ) джерел у вигляді теплоти технологічно можливо виконати в контурах окремих систем ДВЗ і додаткових блоків. Різні види енергії, різний потенціал, і, відповідно, її енергетична цінність у різних точках системи, наявність процесів багаторазового перетворення одних видів енергії в інші, залежність процесів і параметрів системи від режимів навантаження споживача, утруднюють використання традиційних методів дослідження, що застосовуються при розрахунках ДВЗ або в технологічних процесах роботи СПП.

Утилізоване тепло систем охолодження, мащення й випуску відпрацьованих газів ДВЗ, залежно від споживача, використовується для нагрівання, у першу чергу, теплоносія для ТА фазового переходу системи, або - для технологічних потреб.

Дослідження СПП ДВЗ має ряд важливих аспектів, а саме: комбінація параметрів і об'ємів різних видів енергії, що генерується двигуном, з енергетичними й режимними параметрами додаткових джерел енергії системи й споживачами; структура й співвідношення видів енергетичної продукції для елементів системи, вироблених у ній; оптимізація параметрів можливих схем і процесів у системі. Завдання досліджень - використання методів системного, термодинамічного й термoeкономічного дослідження для аналізу ефективності й оптимізації СПП ДВЗ. Методологічною основою оцінки й вибору елементів і способів підвищення ефективності СПП ДВЗ є системний підхід, який досить широко використовується при проведенні досліджень як на стадії проектування, так і в процесі експлуатації систем ДВЗ, і енергетичних машин у цілому. Основним критерієм віднесення елемента до досліджуваної системи є його участь у процесах самої системи, а для всебічного розгляду й аналізу елементів і взаємозв'язків між ними, та дослідження властивостей виділені елементи системи представляється в системних об'єктах (вхід, процес, вихід, зворотний зв'язок і обмеження) [12]. Для оцінки впливу конструктивних і технологічних факторів на передпусковий прогрів ДВЗ і прискорений прогрів після його пуску запропоновано досліджувати систему СПП ДВЗ. Для формування й використання системи СПП ДВЗ у практичних розрахунках були математично описані складові її елементи з метою представити можливість застосування системотехнічного підходу для створення й використання цієї системи у практичному використанні.

Для визначення і розрахунку показників роботи ДВЗ з означеною системою в процесі пуску і прогріву необхідно враховувати участь її складових елементів в основних процесах роботи ДВЗ, а для всебічного розгляду і аналізу самої досліджуваної системи, її складових елементів і взаємозв'язків між ними та дослідження властивостей створеної системи в залежності від природно-кліматичних умов її потрібно представляти у складових об'єктах, які самі по собі мають властивості окремих системних об'єктів. Це пояснюється тим, що кожен з об'єктів складається із складових, які по-перше суттєво впливають на його кінцеві характеристики і властивості, а по-друге, й всієї системи відповідно.

До основних складових математичної моделі системи передпускового прогріву (СПП) ДВЗ в цілому відносимо наступні елементи і процеси: формування і введення основних вхідних параметрів і даних для роботи системи, утилізаційний теплообмінник (ТО) теплового акумулятора; тепловий акумулятор (ТА) СПП, контактний тепловий акумулятор (КТА), накопичувач оливи з тепловим акумулятором (НОТА) (в цілому ПСМД ДВЗ), що разом з ТО утворюють СУТТА; процес прогріву ДВЗ за допомогою системи прискореного прогріву охолоджуючої рідини або моторної оливи СППД й (або) СУТТА; моніторинг досліджуваної системи двигуна в цілому і поелементно; зв'язки між основними елементами системи; зворотній зв'язок, обмеження і вихід системи.

Функцією введення основних вхідних параметрів і даних системи є формування параметрів системи, що включають в себе конструктивні, технологічні параметри всіх без виключення елементів досліджуваної системи у відповідності до природно-кліматичних умов, а також забезпечення її експлуатаційними матеріалами, енергією і (або) інформацією про роботу елементів системи, які отримують під час процесу роботи.

Робота окремих складових елементів системи (ТО, ТА, КТА, НОТА, СУТТА, СППД, моніторинг системи) й системи в цілому переводить формування і введення основних вихідних даних для роботи системи у вихід системи. Зв'язки між основними елементами системи призначені для зміни процесів роботи окремих елементів з метою наближення показників на виході з моделі із заданими показниками, що обумовлені на початку дослідження. Зворотній зв'язок в системі (основний і проміжний) в цілому призначений для зміни всього процесу з метою наближення показників на виході із заданими показниками на початку дослідження. Обмеження, що накладаються на окремі складові елементи системи або на систему в цілому формують модель виходу системи або мету проведення роботи всієї системи.

Вихід системи в математичній моделі, тобто визначення термінових (у параметрах часу роботи елементів і всієї системи) та теплових характеристик, паливно-економічних і екологічних показників роботи досліджуваної СПП ДВЗ є кінцевим результатом процесу дослідження й може бути визначений в якості призначення всієї розробленої математичної моделі, для досягнення якого всі складові об'єкти системи було об'єднано в одне ціле.

Для оцінки впливу конструктивних і технологічних параметрів окремих складових елементів і в цілому СПП двигуна у відповідності до природно-кліматичних умов його експлуатації на екологічні, паливо-економічні показники, терміни прогріву та основні теплові параметри і характеристики роботи системи прогріву ДВЗ запропоновано досліджувати систему передпускового прогріву ДВЗ. На рис. 1 представлена при поєднанні основних системних об'єктів укрупнена структурна схема математичної моделі системи передпускового прогріву ДВЗ для одночасного здійснення прогріву охолоджуючої рідини в системі охолодження і моторної оливи в системі мащення.

В математичній моделі СКП ДВЗ виділено п'ять основних процесів, які послідовно пов'язані між собою:

- розрахунок теплового акумулятора (рівень  $d$ );
- розрахунок контактного теплового акумулятора (рівень  $e$ );
- розрахунок накопичувача оливи з тепловим акумулятором (рівень  $f$ );
- розрахунок процесу прогріву ДВЗ, в тому числі з СППД і (або) СУТТА (рівень  $g$ );
- визначення результатів, тобто визначення термінових та теплових характеристик, паливно-економічних і екологічних показників роботи досліджуваної СПП ДВЗ (рівень  $h$ ).

Входом системи загалом і процесу роботи СПП ДВЗ рівня  $a$  - введення основних вхідних параметрів і даних для роботи системи служать:

- вихідні дані щодо робочого процесу ДВЗ. Для формування бази вихідних даних можуть бути використані експериментальні дані робочого процесу ДВЗ, або розраховані вихідні дані робочого процесу ДВЗ, для чого може бути використаний будь-який сучасний програмний комплекс, в нашому випадку був використаний програмний комплекс (програма) *Dizel-RK* [13, 14].

- конструктивні параметри і особливості, а також характеристики системи охолодження (СОХ) і системи мащення (СМ) ДВЗ, теплових акумуляторів [15, 16, 21], утилізаційного теплообмінника [17], системи прискореного прогріву [1, 8], коефіцієнтів апроксимації досліджуваної системи, вихідні дані для формування моніторингу системи [19] охолодження ДВЗ і досліджуємої системи СКП ДВЗ [20].

На виході системи утворюються продукти згорання, як сукупність великої кількості шкідливих та нешкідливих компонентів, невикористана теплова енергія відпрацьованих газів, теплова енергія від системи охолодження та від системи мащення, тощо.

Для керування робочим процесом СПП ДВЗ, з метою наближення показників виходу системи до показників системи із заданою точністю, служить зворотній зв'язок, який забезпечує моніторинг системи охолодження і мащення ДВЗ (рівень  $b$ ) в різних його елементах, а також системи СППД, теплових акумуляторів фазового переходу в процесі роботи системи при охолодженні її на протязі певного терміну часу й під час прогрівання, тощо.

Окремі об'єкти «утилізаційний теплообмінник (рівень  $c$ ) – тепловий акумулятор (рівень  $d$ ) - контактний тепловий акумулятор (рівень  $e$ ) - накопичувач оливи з тепловим акумулятором (рівень  $f$ )» утворюють в загальному вигляді єдину енергетичну систему зі своїми особливими властивостями, яка виконую наступні функції:

- відбір теплової енергії за допомогою теплообмінника від відпрацьованих газів (ВГ) ДВЗ,
- передача теплової енергії до високотемпературного контуру ТА фазового переходу СПП,
- передача теплової енергії до КТА фазового переходу,
- передача теплової енергії до НОТА фазового переходу,
- фазове перетворення теплоакумулюючого матеріалу (ТАМ) в ТА, КТА, НОТА фазового переходу,
- зберігання отриманої теплової енергії на протязі відповідного терміну часу,
- віддача теплоти від низькотемпературного контуру ТА до систем охолодження і мащення ДВЗ.

Для визначення енергетичних показників утилізаційного теплообмінника ВГ ДВЗ на рівні  $c$  на основі аналізу, конструктивних параметрів та фізичних властивостей розраховуються наступні параметри: коефіцієнт тепловіддачі  $k$ , середній температурний напір  $dT$  та теплова потужність теплообмінника  $Qt$ .

Об'єкти рівня  $d, e, f$  визначаються і описуються суто, як теплові акумулятори фазового переходу для систем охолодження мащення ДВЗ. На цих рівнях проводиться розрахунок процесів

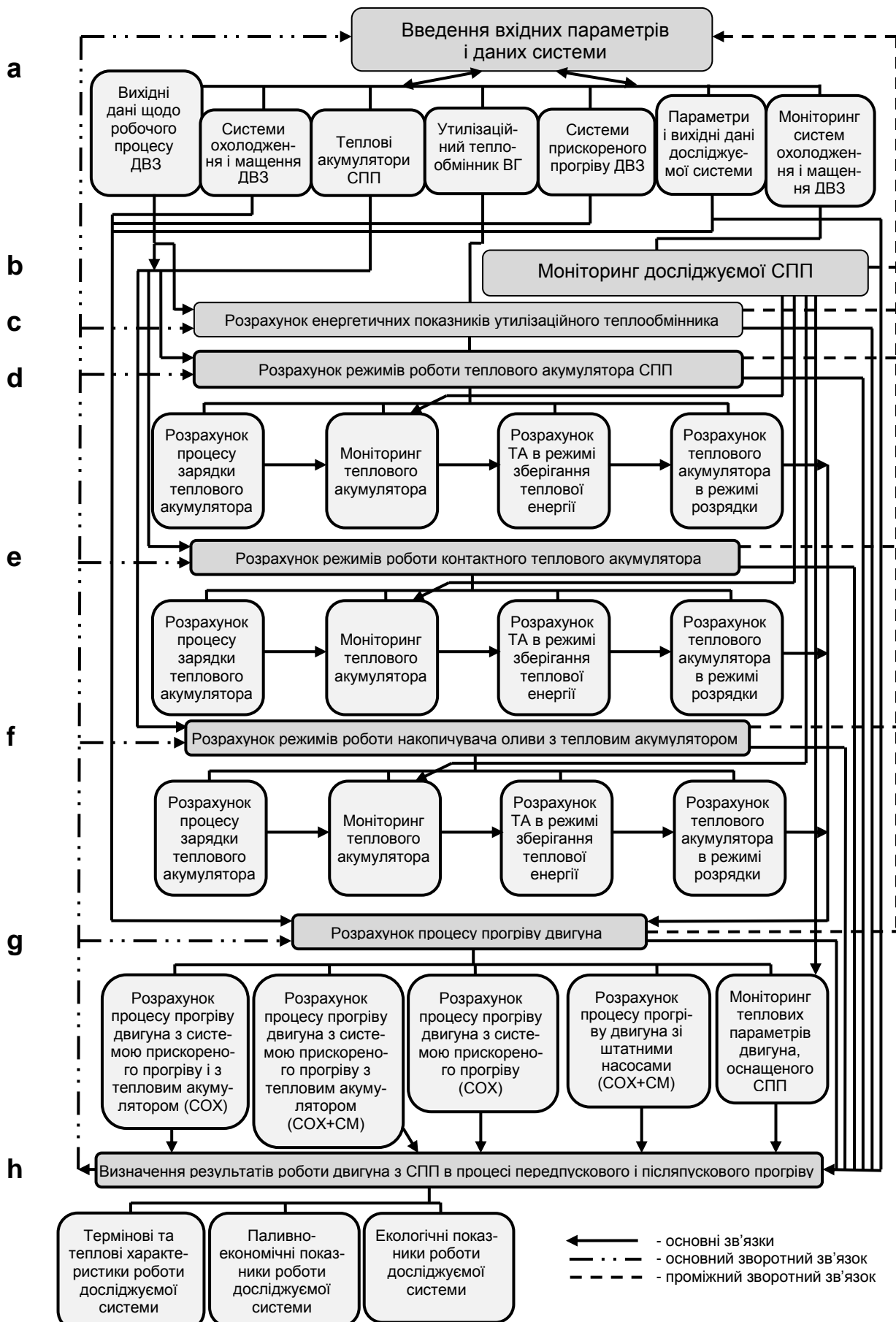


Рис. 1 Укрупнена структурна схема математичної моделі системи передпускового прогріву ДВЗ для одночасного здійснення прогріву охолоджуючої рідини в системі охолодження і моторної оливи в системі мащення

©В.С.Вербовський, І.В.Гришук, Д.С.Адров

зарядки ТА, КТА і НОТА, моніторинг температур в різних частинах конструкції ТА, КТА і НОТА, розрахунок ТА, КТА і НОТА у режимі зберігання теплоти, розрахунок ТА, КТА і НОТА на режимі розрядки. До цих рівнів включені розрахунки фазових переходів теплоакуюючих матеріалів, що є особливістю розрахунків теплових акумуляторів (ТА, КТА і НОТА) фазового переходу. Енергетичний вихід рівня  $a$  і рівня  $c$  є вхідним параметром процесів рівнів  $d, e, f$ . Крім цього на рівнях  $d, e, f$  моніторинг температур в різних частинах конструкції ТА, КТА і НОТА виконується на основі параметрів, що отримані на рівні  $a$  і рівні  $b$ . Результатами розрахунків на означених рівнях є: коефіцієнт тепловіддачі  $k_{ta1}$  від теплоносія до ТАМ, середній температурний напір від теплоносія до ТАМ  $dT_{ta1}$ , час зарядки ТА, КТА і НОТА  $t_{zar}$  та енергетичний ККД зарядки ТА, КТА і НОТА  $\eta_{zar}$ , час зберігання зарядки ТА, КТА і НОТА  $t_{zber}$ , коефіцієнт тепловіддачі  $k_{ta2}$  від ТАМ до охолоджуючої рідини, середній температурний напір від ТАМ до охолоджуючої рідини  $dT_{ta2}$ , час розрядки ТА, КТА і НОТА при прогріві ДВЗ  $t_{roz}$ , кінцеві температури охолоджуючої рідини  $T_{ox}$ , стінок циліндра  $T_{st}$ , головки блока  $T_{gol}$  та блоку в районі колінчастого валу ДВЗ  $T_{pd}$ .

Вибір, параметрів конструкції системи охолодження ДВЗ, утилізаційного теплообмінника, ТА, КТА і НОТА, СППД, процесу прогріву на своїх відповідних рівнях (рівні  $b, c, d, e, f$  і  $g$ ) забезпечують підсистеми зворотного зв'язку з рівнем  $a$  у математичній моделі.

Об'єкти рівня  $g$  описують процес безпосереднього прогріву ДВЗ. У відповідності до конструкції розробленої системи [1, 2, 10, 18, 21] на цьому рівні виконуються наступні розрахунки:

- розрахунок процесу прогріву двигуна з системою прискореного прогріву і з тепловим акумулятором (СОХ);
- розрахунок процесу прогріву двигуна з системою прискореного прогріву з тепловим акумулятором (СОХ+СМ);
- розрахунок процесу прогріву двигуна з системою прискореного прогріву (СОХ);
- розрахунок процесу прогріву двигуна зі штатними насосами (СОХ+СМ);
- а також виконується моніторинг теплових параметрів двигуна, оснащеного СПП ДВЗ і всієї досліджуваної системи зі своїми системними властивостями.

Виходом підсистеми рівня  $g$  є: час прогріву до заданої температури охолоджуючої рідини і моторної оливи  $t_{prog}$ , кількість теплоти яку необхідно отримати для прогріву до заданої температури охолоджуючої рідини і моторної оливи  $Q_{prog}$ , кількість теплоти яку отримуємо від ТА, КТА і НОТА  $Q_{ta}$ , процесу згорання палива  $Q_{top}$ .

На кінцевому рівні  $h$  визначаються:

- термінові (у параметрах часу роботи елементів і всієї СПП) та теплові характеристики роботи досліджуваної системи прискореного прогріву ДВЗ;
- паливно-економічні показники роботи досліджуваного двигуна з СПП при прогріві;
- екологічні показники при здійсненні передпускового та післяпускового прогріву досліджуваного ДВЗ з СПП.

Вхідними параметрами рівні  $h$  є: результати апроксимації експериментальних досліджень, результати розрахунків рівнів  $b, c, d, e, f$  і  $g$ . Вихід системи на цьому рівні:

- термінові викиди оксидів азоту та твердих часток за процес теплової підготовки ДВЗ,
- термінова витрата палива за процес теплової підготовки ДВЗ,
- питомі викиди оксидів азоту та твердих часток за процес теплової підготовки ДВЗ,
- питома витрата палива для різних режимів роботи СПП ДВЗ та ДВЗ, оснащеного штатною системою,
- а також динаміка прогріву ДВЗ для різних режимів роботи СПП ДВЗ та ДВЗ, оснащеного штатною системою охолодження.

Зворотній зв'язок рівня  $h$  керує процесами рівнів  $a, b, c, d, e, f$  і  $g$  для реалізації заданого процесу прогріву ДВЗ (здійснення відповідного алгоритму передпускового та післяпускового прогріву досліджуваного ДВЗ з СПП) в залежності від природно-кліматичних і технологічних умов роботи, та інших факторів, які мають місце при реальному процесі експлуатації енергетичної установки (ЕУ) або транспортного засобу (ТЗ). Перераховані параметри визначають режими роботи (рівні  $a, c, d, e, f, g$  і  $h$ ) ДВЗ з СПП, тобто значення витрат теплової енергії, палива і викидів шкідливих речовин відпрацьованих газів ЕУ або ТЗ для реалізації того чи іншого алгоритму передпускового та післяпускового прогріву досліджуваного ДВЗ з СПП.

Алгоритм формування передпускового та післяпускового прогріву досліджуваного ДВЗ, оснащеного СПП для одночасного здійснення прогріву охолоджуючої рідини в системі охолодження і моторної оливи в системі мащення представлено в роботі [22].

Система передпускового прогріву ДВЗ функціонує в зовнішньому середовищі і є відкритою. Це пояснюється тим, що її елементи і сама система в цілому обмінюється з зовнішнім середовищем речовинами, енергією і інформацією. Основні взаємозв'язки з середовищем, які враховуються при дослідженні системи наступні:

- із середовища, яке характеризується тиском, температурою і відносною вологою поступає паливо і повітря в процес рівня  $a$ ;
- середовищу віддається частина теплової енергії, отриманої в процесі рівнів  $b, c, d, e, f$  і  $g$ ;
- в середовище поступає супутній вихід процесу рівня  $a$  (продукти згорання, частина теплової енергії);
- відображає взаємодію ДВЗ ЕУ і ТЗ, оснащеної означеною системою з повітрям, яке враховується параметрами вітру і температури у процесі виконання моніторингу СОХ і СМ і СПП в цілому.

В якості обмеження для всієї СПП розглядаються визначені величини інтервалів часу, питомих витрат палива та викидів забруднюючих речовин, тобто мети функціонування системи, які визначають вихідні параметри ЕУ і ТЗ з СПП ДВЗ.

Таким чином, запропонована укрупнена структурна схема і сама математична модель процесу прогріву ДВЗ, оснащеного системою передпускового прогріву, повністю відповідає поставленим вимогам та реалізує в повному обсязі різні алгоритми процесу передпускового та післяпускового прогріву СОХ і СМ досліджуваного ДВЗ з СПП. Крім цього СПП сформована у відповідності до основних принципів побудови аналогічних складних систем.

В розробленій системі, підсистемою, яка визначає рівень теплової підготовки СКП ДВЗ за ефективністю паливовикористання та забруднення середовища, є СУТТА, СППД, а запропонований підхід дозволяє систематизувати можливі алгоритми прогріву та досліджувати вплив різних алгоритмів роботи СППД та СУТТА на паливну економічність та екологічну безпеку досліджуваного ДВЗ ЕУ та ТЗ в межах розробленої моделі функціонування системи.

### Висновки

Запропонована математична модель системи передпускового прогріву ДВЗ для одночасного здійснення прогріву охолоджуючої рідини в системі охолодження і моторної оливи в системі мащення дозволяє проводити дослідження окремих елементів системи у різних умовах навколишнього середовища, конструктивних параметрів та складових елементів системи передпускового прогріву, а на основі досліджень проводити конструювання її елементів.

1. Патент на корисну модель UA № 50378, МКП (2009) F01P 3/22. Система регулювання температури охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання для приводу електроагрегата / І.В. Грицук, З.І. Краснокутська, Д.С. Адров - Опубл. 10.06.2010 Бюл. №11, 6с.
2. Патент на корисну модель UA № 62417, МКП F01P 3/22 (2006.01). Система регулювання температури охолоджуючої рідини газопоршневого електроагрегату з утилізацією теплоти з тепловим акумулятором / І.В. Грицук та ін. - Опубл. 25.08.2011, Бюл. №16, 5с.
3. Авдонькин Ф.Н. Оптимизация изменения технического состояния автомобиля / Ф.Н. Авдонькин. — М.: Транспорт, 1993. — 350 с.
4. Альмеев Р.И. Анализ устройств для предпусковой смазки деталей ДВС / Р.И. Альмеев // Проблемы транспорта и транспортного строительства: межвуз. науч. сб. — Саратов: СГТУ, 2008. — С. 125-132.
5. Альмеев Р. И. Анализ влияния параметров системы смазки на режим работы подшипников коленчатого вала при холодном пуске двигателя / Р.И. Альмеев, А.С. Денисов // Научно-техническое творчество: проблемы и перспективы: Сборник статей IV Всероссийской научно-технической конференции-семинара. — В 2-х частях. — Часть 2 — Самара: Самарский государственный технический университет, 2009. — С. 35–46.
6. Денисов А.С. Применение устройства предпусковой смазки для оптимизации работы подшипников коленчатого вала на пусковых режимах / А.С. Денисов, Р.И. Альмеев // Журнал Автомобильных Инженеров - М: ООО «Издательский Дом ААИ ПРЕСС», 2011 – №5 (70), С. 40-45.
7. Денисов А.С. Система запуска дизельного двигателя внутреннего сгорания: пат. на полезную модель № 53725 / А.С. Денисов, Р.Д. Абушаев, С.А. Шишкин // Бюл. госуд. реестра полезных моделей РФ, 2006, № 15.
8. Денисов А.С. Устройство для предпусковой смазки двигателя внутреннего сгорания: пат. на полезную модель № 88737 / А.С. Денисов, Р.И. Альмеев // Бюл. госуд. реестра полезных моделей РФ, 2009, № 32.
9. Дмитриев А.Г. Устройство для предпусковой смазки двигателя внутреннего сгорания: пат. на изобретение № 2043510 / А.Г. Дмитриев // Б.И. 1995, № 25.

10. Патент № 75301 Україна, МПК F01P 3/22 (2006.01). Система регулювання температури охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання з утилізацією теплоти тепловими акумуляторами / Грицук І.В., Краснокутська З.І., Вербовський В.С., Адров Д.С. / (Україна); Заявник і патентовласник Національний транспортний ун-т. - № u2012 06152; заяв. 21.05.2012; опубл. 26.11.2012, Бюл. №22.- бс.:іл.
11. Яркін А.В. Тепловой аккумулятор двигателя внутреннего сгорания строительной машины / А.В. Яркін, И.А. Пустовалов // Вестник ОГУ – Омск.: ОГУ, 2011 - №10 (129), с. 193-198
12. Матейчик В.П. Системные исследования энергоустановок дорожных транспортных средств // Труды Одесского политех. у-та. – 2002. - № 2(18). – С. 40-44.
13. 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.
14. Програма Дизель РК [електронний ресурс] Режим доступа: [www.diesel-rk.bmstu.ru](http://www.diesel-rk.bmstu.ru).
15. Шульгин, В.В. Тепловые аккумуляторы транспортных средств [Текст]. / В.В. Шульгин СПб.: Издательство Политехн. ун-та, 2005. - 268 с.
16. Тепловий акумулятор як засіб підвищення ефективності пуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур / Д.С.Адров та ін. – // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. - Донецьк: ДонІЗТ, 2011 – №27.- С. 117-126.
17. Особливості моделювання і дослідження процесів знімання й віддачі теплоти відпрацьованих газів ДВЗ в конструкції теплообмінника системи утилізації теплової енергії з тепловим акумулятором фазового переходу / О. І. П'ятничко та ін. –// Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. - Донецьк: ДонІЗТ, 2011 – №28.- С. 122-130.
18. Адров, Д.С. Математичне моделювання роботи системи охолодження двигуна внутрішнього згорання утилізаційної установки при визначенні часу прогріву / Д.С. Адров //Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. - Донецьк: ДонІЗТ, 2011 – №27. С. 105-112
19. Сычушкин, И.В. Автоматизированная система идентификации тепловых параметров водяной системы энергоустановки транспортного средства [Электрон. ресурс] / И.В. Сычушкин (Эффективность системы электроэнергетики и экономии электрической энергии) – Режим доступа: [http://www1.nntu.nnov.ru/RUS/NEWS/futuretechnology\\_2005/section02.doc](http://www1.nntu.nnov.ru/RUS/NEWS/futuretechnology_2005/section02.doc)
20. Особливості експериментальної стаціонарної моторної установки й методики для дослідження системи прискореного прогріву двигуна та утилізації теплоти його відпрацьованих газів тепловим акумулятором. / Д.С. Адров та ін. // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту - Донецьк: ДонІЗТ, 2011 – №28., С. 179-189.
21. Грицук І.В. Особливості математичного моделювання параметрів роботи теплонакопичувача керованої передпускової системи мащення двигуна внутрішнього згорання у складі системи комбінованого прогріву / І.В.Грицук та ін. // Збірник наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. - Донецьк: ДонІЗТ, 2013– Випуск №36. с. 156-161.
22. Грицук І.В. Особливості алгоритму роботи системи передпускового прогріву газового двигуна в процесі здійснення пуску і прогріву / Ю.Ф. Гутаревич, І.В. Грицук, В.С. Вербовський, З.І. Краснокутська // Вісник СевНТУ. Збірник наук. праць. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. - Севастополь: СевНТУ, 2013 - Випуск 143/2013, с.53-57.

Стаття надійшла до редакції 25.03.2014