

Механізація

УДК 629.01:662.766.31/38

Л. В. Лось

Д. Т. Н.

Державний агроекологічний університет

Б. В. Ємець

Житомирський агротехнічний коледж

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЯК ОСНОВА МАКРОПРОЕКТУВАННЯ ОЧИСНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ В ЕКОЛОГІЧНОМУ АСПЕКТІ

Розглядається питання використання способу ідентифікації для макропроектуювання очисно-охолоджувальної системи газогенераторної установки автотракторних двигунів. Вирішення цієї проблеми дозволить зробити загальну екологічну оцінку експлуатації очисно-охолоджувальної системи в складі газогенераторної установки двигунів внутрішнього згорання тракторів та автомобілів.

Постановка проблеми

Важливою проблемою зменшення шкідливого технонавантаження на природу і суспільство є створення екологічно безпечного автотракторного двигуна. Проектуючи двигуни внутрішнього згорання, в тому числі газогенераторні, конструктори мало переймалися проблемами забруднення довкілля. Найбільшими забруднювачами повітря в Україні і Житомирській області зокрема, є транспортні засоби [6, 9]. Крім того транспортні засоби під час експлуатації віддають навколишньому середовищу значну кількість теплоти, яка сприяє шкідливому потеплінню на нашій планеті [5]. Тому важливо зробити загальну екологічну оцінку експлуатації різних видів транспортних засобів та їх складових. Енергетичну основу транспортних засобів складають двигуни, які можуть працювати також на газі, утвореному в газогенераторних установках.

Створення газогенераторних двигунів входить у пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки відповідно до завдань державних наукових і науково-технічних програм, визначених Міністерством освіти і науки України. Так, у Державній науково-технічній програмі за номером 5.5 “Ресурсозберігаючі та енергоефективні технології машинобудування” є напрям – “Розробка технологій конвертації двигунів на альтернативні види палива”. Для півночі України альтернативою нафтопродуктам може стати, в першу чергу, деревина та її похідні.

При аналізі автотракторних газогенераторних установок, що випускались серійно, було зроблено висновок, що у функціональному плані пристрої очистки і охолодження газу цих установок не розглядались у системі і тому проектування та технічна розробка їх в основному

базувалась на експериментальних дослідженнях без врахування зв'язків між ними та загальних властивостей сукупності цих пристроїв. Якщо ж виникає питання щодо створення екологічно безпечної очисно-охолоджувальної системи газогенераторних установок автотракторних двигунів, то незрозуміло, що потрібно взяти за основу при здійсненні подібного завдання.

В найпростішому розумінні системою є сукупність елементів, які мають наступні ознаки: зв'язки, які дозволяють через перехід по них від елемента до елемента з'єднати два будь-які елементи сукупності; властивості (функції, призначення), які відрізняються від властивостей окремих елементів сукупності [4].

Формалізацію динамічної (процесної) точки зору на систему ввели Р. Е. Калман, М. Н. Месарович, Н. П. Бусленко та інші [3,4,7,8]. Згідно процесної теорії систем поняття “система” включає: поняття входу (множина його значень U), виходу (множина його значень Y), стану (множина його значень X) за період T (множина моментів часу), а також відношення цих понять, виражених відображеннями виходу η (або інакше – функція спостереження [8]) та перехідним відображенням δ (станів). Деяка система Σ визначена, якщо задані відповідно множини значень T , U , Y , X , а також множини входів і виходів відносно стану $X(\cdot)$ і $Y(\cdot)$, перехідне відображення δ і відображення η такі, що для будь – якого $y(\cdot) \in Y(\cdot)$ існують $X(\cdot): T \rightarrow X$ і $U(\cdot)$, для яких при будь-яких $\tau, t \in T$, де $\tau \leq t$, виконується співвідношення:

$$y(t) = \eta(t, \delta(t; \tau, x(\tau), U(\cdot))) \quad (1)$$

Визначення (1) має і обернену форму [8].

Основна мета, з якою створюються теорії, в тому числі і теорія систем, це прикладне використання абстрактних загальних понять, визначень, закономірностей, тощо. Тому, взявши за основу зміст загальної теорії систем, ми спробуємо закласти фундамент створення системи конкретної природи, а саме, очисно-охолоджувальну систему газогенераторних установок автотракторних двигунів.

Проектування системи має дві стадії: макропроекткування і мікропроекткування [3]. Макропроекткування охоплює, в першу чергу, вибір структури системи, основних її елементів, організацію взаємодій між елементами, тощо, а також оцінку показників ефективності і відповідності варіанту системи загальним вимогам технічного завдання. Якщо завдання макропроекткування розглядати стосовно очисно-охолоджувальної системи газогенераторних установок (далі в скороченні ООС ГУ), то потрібно визначити і структуру, організацію між елементами, тощо. А основне завдання створення ООС ГУ – очистити і охолодити генераторний газ для використання його в двигунах внутрішнього згорання (особливо, які

потребують конверсії), – визначають загальні вимоги технічного завдання на проектування. Так, щоб ефективно використати генераторний газ в двигунах, його потрібно охолодити до 25–40°C і ця температура буде параметром виходу системи (множини $Y, Y(\cdot)$).

Визначення системи допоможе частково побудувати структуру ООС ГУ (множини $U, U(\cdot)$ і $Y, Y(\cdot)$ тощо).

Але значно складніше завдання – це опис динамічних взаємозв'язків між елементами системи, що теж відносять до макропроектування системи. Це завдання, в першу чергу, опису взаємозв'язків між входами і виходами має назву: **ідентифікація системи** [8]. Вирішенням завдання ідентифікації системи є побудова множини стану X , відображення δ і η , які входять до структури системи і тому є основою для її макропроектування. Далі ми розглянемо основу процедури ідентифікації ООС ГУ.

Аналіз останніх досліджень

Завдання ідентифікації інакше називають завданням побудови моделі динамічних зв'язків системи, [3,4,7,8] тому разом з вирішенням завдання ідентифікації паралельно ми маємо одержати загальну модель зв'язків ООС ГУ. Крім того, Л. Льюнг в праці [7] відокремлює спосіб ідентифікації побудови подібних моделей. Для цього він передбачає використання експериментальних даних. І хоча реальна система як натуральний об'єкт в будь-якому випадку відрізняється від формальної моделі, але модель створена способом ідентифікації все ж ближча до реальної. Але слід зауважити, що багато дослідників аналізу систем [4, 7] вважають, що загальна (макромодель) системи “проста і груба, і придатна лише для приблизних оцінок і самих загальних висновків...”. Один із методів виходу з цієї ситуації: ієрархія моделей з описом зв'язків. Інший підхід ще складніший, бо передбачає після попереднього проектування почати проектування окремих елементів, а далі – перехід до більших блоків і моделі в цілому. Мало того, для більшої точності ці зворотні процеси пропонується виконувати багаторазово, а здійснення загальної мети (створення системи) має ітеративний вигляд. Тому спосіб ідентифікації може допомогти спростити (здешевити) процес створення системи.

Результати досліджень

Вище ми запропонували взяти за основу створення структури ООС ГУ визначення системи (1). Основні змінні у фізичному плані параметри ООС ГУ: температура t , тиск p генераторного газу, при незалежній змінній – τ (з множини T – моментів часу); їх розглядаємо як параметри входу (множина U). Слід зауважити, що вказані параметри входять до множини виходу (множина Y), в якій розглядаються також інші групи параметрів ООС ГУ (наприклад, конструкційні). Про значення останніх є апріорна інформація емпіричного типу, одержана з результатів серійної експлуатації пристроїв

ООС ГУ [10]. Тому всю гамму відображень відповідно до визначення (1) в даному випадку розглядати недоцільно. Далі буде розглядатись така інтерпретація динамічних зв'язків процесів в ООС ГУ, яка в літературі широко не розглядалась.

Для конкретної системи потрібно виділяти параметри стану (множина X), вони теж безпосередньо залежать від процесів, що протікають в системі. Основні з них: теплопередача від газу теплоти стінкам пристроїв та фільтрування того ж газу. Відповідно ці процеси описують закони Фур'є (2) і Дарсі (3):

$$q = -\lambda \operatorname{grad} T; \quad (2)$$

$$j = -k \operatorname{grad} P, \quad (3)$$

де q – густина теплового потоку; j – потік маси; λ , k – відповідно коефіцієнти теплопровідності і проникності фільтруючого шару; T – змінна температури; P – змінна тиску газу при фільтруванні. На основі законів можна побудувати множини входів і виходів відносно стану $X(\cdot)$ і $Y(\cdot)$. Дослідженнями [11,12] показано, як на основі законів процесів технічної системи будують перехідне відображення δ у вигляді диференціальних рівнянь.

Крім загальних законів Фур'є, Дарсі, особливості протікання процесів в ООС ГУ пояснюють і інші закони, ефекти тощо. Наприклад, теорія об'єднання парних взаємодій в процесах переносу (до цих процесів можна віднести обидва закони (2), (3)) [12]. В даному випадку – це закон термодифузії (або ефект Сорє):

$$j_A = -\frac{c^{-2}}{\rho} \cdot D_T \cdot \frac{\lambda_T}{T} \cdot \operatorname{grad} T, \quad (4)$$

де D_T – термодифузійне відношення, яке характеризує ряд емпіричних коефіцієнтів, у тому числі коефіцієнт Сорє [12].

Але вище ми зазначали, що загальне моделювання характеризує ООС ГУ в цілому, тільки в деяких частинах її структури одночасно протікають процеси фільтрування та теплопередачі, тому і зупинимось на основних законах (2) і (3).

Безпосередня підготовка до побудови моделі динамічних зв'язків (макромоделі, моделі ідентифікації, див. вище) завершується класифікаційним вибором. В літературі системи, в яких протікають процеси теплопровідності, гідродинаміки, коливань тощо, описуються диференціальними рівняннями в часткових похідних. Тут виникає основне питання мірності системи.

В ООС ГУ температур (і тиск) розподіляється з виходу до входу із зменшенням величини, тому загалом можна розглядати одномірні процеси теплопередачі та фільтрації. Диференціальні рівняння відносяться до

неперервних, тому і розглядаємо ООС ГУ як неперервну, а також детерміновану. Тоді визначення системи (1) трансформується [8]:

$$\frac{dx}{d\tau} = f(\tau, x, u); \quad (5)$$

$$y(\tau) = \varphi(x(\tau), u(\tau)); \quad (6)$$

де рівняння (5) у даному випадку відображення δ стану, рівняння (6) – відображення виходу η , що і становлять (див. вище) вирішення основної задачі ідентифікації системи, а також макромодель систем. Враховуючи також те, що зв'язки між параметрами в ООС ГУ нелінійні, рівняння (5) для ООС ГУ можна записати наступним чином:

$$\frac{dt}{d\tau} = a \frac{d^2 t}{dx^2}; \quad (7)$$

$$\frac{dp}{d\tau} = k \frac{d^2 p}{dx^2}; \quad (8)$$

де a – температуропровідність,

$\alpha = \lambda / c \cdot \rho$, де c – питома теплоємність, ρ – густина матеріалу.

Методи вирішення подібних рівнянь достатньо вивчені [7]. Але особливою оригінальністю відрізняється метод аналогізації [12]. За допомогою цього методу можна вирішити рівняння (7) та (8) паралельно, і отримати загальні розв'язки єдиної форми. Очевидно, що розв'язки рівнянь (7) та (8) дадуть уявлення про розподілення основних параметрів (тиску, температури газу), але про зв'язки цих параметрів з іншими згаданими вище параметрами ООС ГУ необхідної інформації не буде.

Слід погодитись з Л. Льюнгом, що моделлю взаємозв'язаних параметрів у системі має бути деяка множина, з якої слід вибрати ті, що опишуть взаємозв'язки відповідно до завдань ідентифікації з допустимою точністю. Тому пошуки інших моделей ООС ГУ – процес дуже важливий. Наступний важливий момент пов'язаний з взаємодією ООС ГУ і навколишнього середовища. Процес теплопередачі не завершується на передачі теплоти від газу до стінок пристроїв ООС ГУ. Далі відбувається теплопередача від стінок до навколишнього середовища. З цим процесом пов'язані і перспективи використання ООС ГУ, адже теплоту, що виділяється у навколишнє середовище, можна використати з користю, тим більше, що передача навколишньому середовищу значної кількості теплоти сприяє шкідливому потеплінню на нашій планеті [5]. Але такий підхід потребує дослідження розподілення потоків енергії в ООС ГУ. Крім того, коли серійно експлуатували автомобілі і трактори з газогенераторними установками, то проектування пристроїв очистки і охолодження генераторного газу для них базувалося на експериментальних даних, вважалося, що теоретичне обґрунтування недоцільне [10].

Процес теплопередачі в ООС ГУ носить явно нестационарний характер. З початком процесу газифікації в ООС ГУ підводиться енергія у вигляді тепла, яке частково витрачається через стінки корпусів газогенераторної установки. Для опису цих процесів слід скористатися рівнянням у диференціальній формі. Прикладом може бути рівняння В.А. Ніколаєва, яке відображало процес передачі тепла від джерела енергії до двигуна [1]. Як і в будь-якій моделі об'єкта, в даній моделі буде ряд спрощень зв'язків між параметрами, подібно до рівняння В.А. Ніколаєва. Практично не враховуються незначні втрати енергії на випромінювання теплоти та нагрівання сусідніх агрегатів. Приймають однаковими температуру ООС ГУ та стінок її елементів, як середню між температурою найбільш гарячою та холодною точками ООС ГУ, рахують теплоємність ООС ГУ як суму теплоємностей його окремих мас – матеріалів стінок ООС ГУ, генераторів газу тощо. Також приймається, що в поверхню охолодження ООС ГУ входить поверхня газогенератора, так як і через неї відводиться теплота в навколишнє середовище. Дослідженнями встановлено [10], що розміри діаметра корпусу газогенератора та висоти бункера приймають з габаритних умов монтажу генератора на автомобілі, тому ці розміри носять дещо наближений характер, але в нашій роботі вони подібні до розміру серійних ГУ автомобіля. Ми приводимо емпіричні залежності для визначення площ охолодження корпусів фільтрів, радіаторних охолоджувачів тощо. Якщо за методикою Токарева Г.Т. визначити площу охолодження ООС ГУ для автомобілів ЗиЛ-130 та ГАЗ-53-12 то вона буде приблизно рівною 13,7 м² та 11,1 м² відповідно [10].

Диференціальне рівняння за методом В.А. Ніколаєва, складено на основі теплового балансу в ООС ГУ, має вигляд:

$$q \cdot d\tau = c \cdot dt + \alpha \cdot F \cdot (t - t_o) \cdot d\tau \quad (9)$$

У лівій частині рівняння величина теплового потоку q (кДж/год), що нестационарно отримується ООС ГУ в результаті процесу газифікації.

У правій частині рівняння добуток $c \cdot dt$ – це кількість теплоти, яка йде на нагрів ООС ГУ від початкової до заданої температури, де c – теплоємність ООС ГУ, кДж/град; dt – зміна середньої температури системи.

У правій частині рівняння нестационарні витрати теплоти через стінки пристроїв ООС ГУ визначені на основі закону теплопередачі Ньютона:

$\alpha F (t - t_o) d\tau$, де α – коефіцієнт тепловіддачі від стінок до навколишнього середовища, кДж/м² град; t – середня температура ООС ГУ, °С; t_o – температура навколишнього середовища, °С; τ – час передачі теплоти, год; F – поверхня охолодження ООС ГУ, м².

В літературі [1] пропонується розв'язок рівняння (9), за яким можна знайти величину теплового потоку q :

$$q = \alpha \cdot F \cdot (t - t_o) / (1 - \exp(-\alpha \cdot F \cdot \tau / c)) \quad (10)$$

Для нас більш важливим є орієнтовне визначення різниці між середньою температурою ООС ГУ та навколишнім середовищем:

$$t - t_o = q \cdot (1 - \exp(-\alpha \cdot F \cdot \tau / c)) / \alpha \cdot F \quad (11)$$

Для аналізу температурних режимів ООС ГУ автомобілів ГАЗ-53-12 та ЗиЛ-130 скористаємось розв'язком рівняння (9). Значення параметрів наступні: теплоємність ООС ГУ складе близько 305 кДж/град.; коефіцієнт тепловіддачі α від стінок системи у навколишнє середовище рівний 105 кДж/м² град., прийнятий на основі експериментальних даних [1] та відповідає умовам, при яких експлуатуються автомобілі – інтенсивний обдув корпусів пристроїв ООС ГУ та велика швидкість вітру.

Різницю між середньою температурою ООС ГУ та навколишнім середовищем $t - t_o$ для зручності позначимо Δt . Для визначення цього параметру з формули (11) необхідно знати величину теплового потоку q (кДж/год), що нестационарно отримується ООС ГУ в результаті процесу газифікації, яку можна визначити як добуток витрати палива G_m , кг/год (визначається з досліджень [10] для конкретної моделі автомобільного двигуна) на питома теплоутворення H_u , МДж/кг того виду палива, на якому буде працювати газогенератор і на коефіцієнт корисної дії ООС ГУ. Витрата палива G_m для газогенераторної установки ЗиЛ-130 складе 79,79 кг/год, для ГАЗ-53-12 буде рівною 55,75 кг/год. Коефіцієнт корисної дії серійних газогенераторних установок автомобілів за Токаревим Г.Т. дорівнював близько 0,75 [10], прийемо його таким і для ООС ГУ ЗиЛ-130 та ГАЗ-53-12. Основним паливом для газогенераторів вище названих автомобілів має слугувати деревина та її похідні, їх питома теплоутворення H_u рівне 10,2 МДж/кг. В результаті тепловий потік q для ООС ГУ ЗиЛ-130 буде приблизно 203,46 МДж/ год, для ГАЗ-53-12 – приблизно 142,16 МДж/ год. Якщо за період часу τ вибрати 1 годину, то розрахувавши формулу (11) отримаємо, що середня температура ООС ГУ ЗиЛ-130 за цей час підійметься до 138,9 °С, а ООС ГУ ГАЗ-53-12 до 119,5 °С, – при температурі навколишнього середовища t_o близько 0 °С. Якщо звернутись до експериментальних даних Токарева Г.Т. [10], то середня температура пристроїв ООС ГУ для серійних автомобілів ГАЗ-42, ЗиС-21, та інших була близькою 116 °С. Формулу (11) використано для побудови залежностей: температури Δt від часу роботи τ (рис. 1) та цієї ж температури Δt від площі охолодження F при використанні даних ООС ГУ ГАЗ-53-12 (рис. 2).

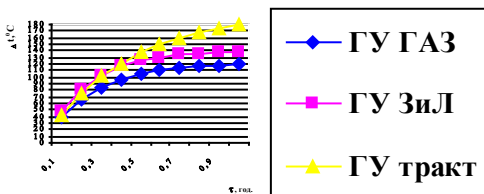


Рис.1. Графічна залежність температури Δt від часу роботи τ ООСГУ

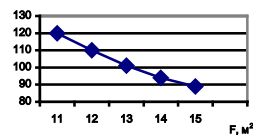


Рис.2. Графічна залежність температури Δt від площі охолодження F ООСГУ

Слід зауважити, що можливості загальної моделі, яка записана формулою (11) значно більші, ніж вищевикладені. Так, на рис. 1. (крива ГУ тракт.) показано використання цієї формули для побудови залежності температури Δt від часу роботи τ для напівстаціонарного режиму (у Токарева Г.Т. цей режим використовується для тракторних газогенераторних установок). Для напівстаціонарних умов коефіцієнт тепловіддачі α прийнято рівним $65 \text{ кДж/м}^2 \text{ град}$.

Є необхідність у макромодельованні і процесу фільтрації газу в ООС ГУ. В праці [10] приведено емпіричні залежності для розрахунку основних розмірів корпусів фільтрів, основних параметрів фільтрації кільцями, тканиною, але не наведено результатів досліджень фільтрів зі скловати (склотканини).

Опишемо процес фільтрації газу, взявши за основу дослідження Денніса Р. і Клемма Х.А. [2], які використали метод послідовного наближення результатів експериментів. В результаті було отримано рівняння розрахунку концентрації частинок C_o (г/м^3) як параметру виходу (з множини Y):

$$C_o = (P_{ns} + (0,1 - P_{ns}) \cdot \exp(-A \cdot W)) \cdot C_i + C_R, \quad (12)$$

$$P_{ns} = 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot \exp(12,7 \cdot (1 - t^{60,18 V})), \quad (13)$$

$$A = 4,66 \cdot 10^4 \cdot V + 0,094, \quad (14)$$

де P_{ns} – безрозмірна постійна ;

V – локальна лобова швидкість газу, м/с ;

W – кількість частинок на фільтрі, г/м^3 ;

C_R – концентрація винесених з фільтру частинок, приймається постійною ($C_R = 0,5 \text{ мг/м}^3$) ;

C_i – концентрація частинок на вході, г/м^3 .

Токарев Г. Т. [10] наводить експериментальні дані про концентрацію частинок перед тонким фільтруванням. У нас це C_i – концентрація частинок на вході має граничні значення від 0,4 до 0,7 г/м^3 , для яких за допомогою рівнянь (12, 13, 14) представлено залежність параметру виходу C_o (з множини Y) від характеристики стану W (з множини X), при двох значеннях параметру входу C_i (з множини U), (рис. 3). Потрібно зазначити, що рівняння (12) стаціонарно описує процес фільтрації газу [2, 12]. При побудові залежності, що представлена на рис. 3, значення локальної лобової швидкості V приймають постійним [2, 10], (у нас – 0,022 м/с). Але так як швидкість газу в ООС ГУ змінюється в деяких межах, то виникає необхідність в обґрунтуванні значення локальної лобової швидкості V . Цей параметр в дослідженнях, що проводять у США та Канаді [2], визначається з формули:

$$V = \Delta P / S, \quad (15)$$

де ΔP – перепад тиску на фільтрувальній перегородці, Па;
 S – опір фільтрування, Па.

Токарев Г.Т. приводить дані про величину ΔP [10], вона в середньому має значення 980 Па. В роботі [2] представлені графічні залежності опору S від кількості частинок на фільтрі W та маси частинок M . Отже, виходячи з вище викладеного можна обґрунтувати значення локальної лобової швидкості V . Формула (15) показує, що це значення залежить від опору S , який у свою чергу залежить від стану фільтрувальної перегородки, розмірів частинок, тощо [2]. На рис. 4 представлено графічну залежність

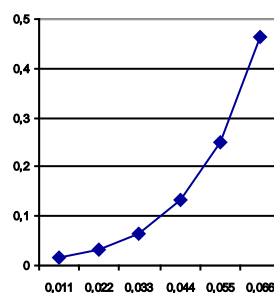
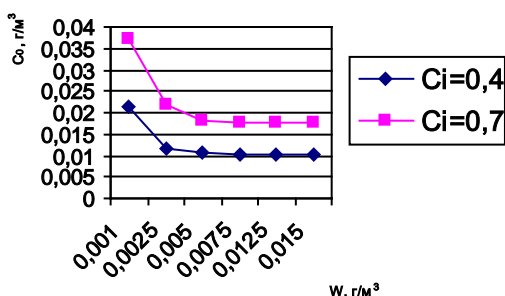


Рис. 3 Графічна залежність C_o від концентрації частинок W

Рис. 4 Графічна залежність C_o від локальної лобової швидкості V

параметру виходу C_o (з множини Y) від характеристики стану значення локальної лобової швидкості V (з множини X). Графік на рис. 4 теоретично підтверджує важливий висновок, приведений Токаревим Г.Т. [10]: „Збільшення швидкості проходження газу з 0,15 до 0,5 м/с практично не впливає на якість очистки газу”.

Висновки

1. Визначені загальні моделі (макромоделі) ООС ГУ не є єдиними варіантами ідентифікації цієї системи. Інша інтерпретація динамічних зв'язків системи створить свої макромоделі, і в процесі ідентифікації системи, за допомогою деякого критерію, можна зробити вибір моделей.
2. У даній роботі показано спосіб отримання макромоделі на основі змісту загальної теорії систем.
3. Взнявши за основу ідентифікацію побудови макромоделей, можна спростити, здешевити проектування системи.
4. Класифікаційний вибір системи конкретної природи по суті визначає форму відображень стану та виходу як основу вирішення завдання ідентифікаційної системи.

5. Згідно встановленої в ООС ГУ залежності середньої температури від часу її роботи, нестационарний процес теплопередачі проходить менше ніж за півгодини.
6. Значення середньої температури ООС ГУ дає можливість орієнтовно обґрунтувати та визначити ту частину енергії від процесу газифікації, яку можна використати для виконання корисної роботи. При цьому ККД установки буде збільшуватись, а теплове навантаження на навколишнє середовище зменшуватись.
7. Збільшення площі охолодження ООС ГУ приводить до зменшення її середньої температури, але одночасно збільшується маса установки та погіршуються динамічні характеристики автомобіля.
8. Локальну лобову швидкість газу на поверхні фільтрувальної перегородки для використання у макромодельованні необхідно обґрунтувати.

Перспективи подальших досліджень

Теоретичні положення потребують експериментальної перевірки. Цього ж вимагає використаний нами спосіб ідентифікації ООС ГУ.

Від визначеної площі охолодження ООС ГУ можна перейти до вибору основних її розмірів.

З макромоделі ООС ГУ можна визначити ту кількість теплоти, яку віддасть ООС ГУ в навколишнє середовище, отже, можлива загальна екологічна оцінка використання ООС ГУ.

Література

1. *Авдонькин Ф.Н.* Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей : Учеб. пособие для вузов. – М.: Транспорт, 1985. – 215 с.
2. *Балабеков О.С., Балтабаев Л.И.* Очистка газов в химической промышленности. Процессы и аппараты. – М.: Химия, 1991. – 256с.
3. *Бусленко Н.П.* Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
4. *Колодницький М.М.* Типологія математичних моделей технічних систем // Вісн. ЖІТІ. – 1997. – №2 – С.–130–141.
5. *Кучерявий В.П.* Екологія. – Львів: Світ, 2000. – 500 с.
6. *Лось Л.В., Вознюков В.А., Шмалюк М.І.* Екологічні аспекти нового газогенераторного автотракторного двигуна // Вісн. ДАУ. –2000.– №2.–С.– 38–40.
7. *Льюнг Л.* Идентификация систем. Теория для пользователя: Перевод с англ. / Под ред. Я.З.Цыпкина. – М.: Наука. Глав. ред. физ. – мат. лит., 1991. – 432 с.
8. *Мороз А.Н.* Курс теории систем.: Учеб. пособие для вузов по спец. ” Приклад. математика. ” – М.: Высшая школа, 1987. – 304 с.

9. Створення сучасного газогенераторного двигуна внутрішнього згорання для північних районів України – важливий фактор підтримки с.-г. товаровиробника / *М.І. Шмалюк, В.А. Вознюков, Б.В. Ємець, Л.В. Лось*// Вісн. Інженерної акад. України. – 2001.– №2 – С. 75–77.
10. *Токарев Г.Т.* Газогенераторные автомобили.– М.: Изд. Мин. ком. хоз. РСФСР, 1948.–160 с.
11. *Уонг Х.* Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: Перевод с англ. /Справочник. – М.: Атомиздат, 1979. – 216 с.
12. *Федоткин Н.М.* Математическое моделирование технологических процессов. – К.: Выща школа. Голов. изд., 1988. – 415 с.