

УДК 629.4.083

## АНАЛІЗ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ДВИГУНА ПОЖЕЖНОГО АВТОМОБІЛЯ

О.Ю. Лук'янченко, доц., к.т.н.,  
Черкаський державний технологічний університет,  
Ю.О. Лук'янченко, аспірант, Національний транспортний університет, м. Київ

*Анотація.* Розглядаються питання впливу факторів середовища цільового використання пожежного автомобіля на реалізацію його конструктивних та експлуатаційних властивостей. Пропонується використання математичного моделювання для визначення потенціалу пристосованості та прогнозування ефективності функціонування пожежного автомобіля.

*Ключові слова:* тепловий стан, двигун, пожежний автомобіль, математична модель.

## АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ

А.Ю. Лукьянченко, доц., к.т.н., Черкасский государственный технологический университет, Ю.А. Лукьянченко, аспирант,  
Национальный транспортный университет, г. Киев

*Аннотация.* Рассматриваются вопросы влияния факторов среды целевого использования пожарного автомобиля на реализацию его конструктивных и эксплуатационных свойств. Предлагается использование математического моделирования для определения потенциала приспособленности и прогнозирования эффективности функционирования пожарного автомобиля.

*Ключевые слова:* тепловое состояние, двигатель, пожарный автомобиль, математическая модель.

## ANALYSIS OF THE FIRE TRUCK ENGINE TEMPERATURE STATE

O. Lukyanchenko, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), Cherkasy State Technological University,  
Y. Lukyanchenko, P. G., National Transport University, Kyiv

*Abstract.* This work deals with the influence of the fire truck target use factors on realization of its constructional and performance properties. It was proposed to use mathematical modeling to determine the adaptation potential and prediction of the fire truck function effectiveness.

*Key words:* temperature state, engine, fire truck, mathematical model.

### Вступ

Діяльність пожежної охорони оцінюється кількістю пожеж і величиною збитків, яких зазнає економіка та населення від вогню [1]. У кожному випадку величина збитків визначається кількістю і вартістю матеріальних цінностей, знищених вогнем. Загалом кількість матеріальних цінностей, що постраждали від вогню, залежить від площі або об'єму, охоплених зоною горіння, а також їх концен-

трації на цій площі. У свою чергу площа пожежі залежить від швидкості її поширення (лінійної або масової) та швидкості ліквідації пожежі, тобто величина збитків від пожежі може бути подана за допомогою такої залежності

$$R = f(U_{\Pi}, \tau_{\Pi}, P, r), \quad (1)$$

де  $U_{\Pi}$  – швидкість поширення пожежі;  $\tau_{\Pi}$  – тривалість пожежі;  $P$  – кількість цінностей на

місці пожежі;  $r$  – вартість одиниці виміру знищених матеріальних цінностей.

### Аналіз публікацій

Наукові дослідження й узагальнення досвіду, накопиченого пожежною охороною, дали можливість чітко визначити, що збитки від пожежі знаходяться у прямій залежності від часу початку її гасіння. Тому було приділено увагу дослідженню інтенсивності розвитку пожеж. На підставі експериментальних досліджень і практичних спостережень, залежно від характеру перебігу початкової стадії, виявилось можливим, як було встановлено Ф.В. Обуховим [2], усі пожежі розділити на дві основні категорії – I і II. Моделі розвитку таких пожеж, що характеризуються швидкістю зростання збитків залежно від часу вигорання пожежного навантаження, подано на рис. 1.

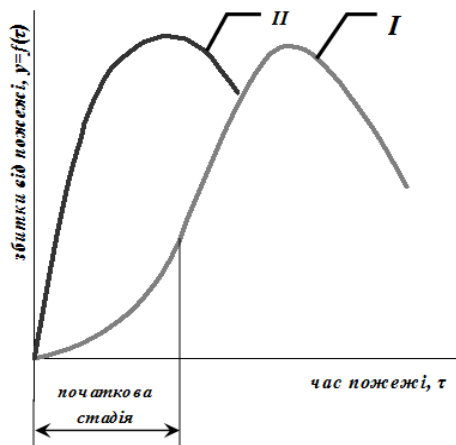


Рис. 1. Модель розвитку пожеж з обмеженою і розвиненою початковими стадіями: I – пожежі першої категорії; II – пожежі другої категорії

Очевидно, що наведені моделі характеризуються швидкістю зростання збитків залежно від часу вигорання пожежного навантаження.

### Мета і постановка завдання

Установлення категорій пожеж стало основою для двох принципових висновків. По-перше, усі пожежі першої категорії з початковим періодом більше 10 хв можна гасити за допомогою мобільної техніки. Для інших пожеж є раціональним застосування автоматичних установок пожежогасіння. По-друге, ефективність пожежної техніки, від застосування якої залежать розміри матеріальних

збитків і безпека людей при пожежі, може бути підвищена, насамперед, скороченням відрізка часу від виникнення пожежі до початку її гасіння. Основне завдання – недопущення переходу пожежі з першої, початкової стадії, в основну, розвинену.

Одним із напрямів вирішення цієї проблеми є скорочення часу руху пожежного автомобіля до місця пожежі.

### Фактори, що впливають на ефективність використання пожежного автомобіля за призначенням

Час руху до місця пожежі є складною функцією, що залежить від цілого ряду груп факторів [3]

$$\tau = f(T, D, Ч, \Phi), \quad (2)$$

де  $T$  – група факторів, що характеризують технічні параметри пожежних автомобілів;  $D$  – група дорожніх факторів, що характеризують умови руху пожежних автомобілів;  $Ч$  – група факторів, що характеризують умови знаходження пожежного автомобіля в режимі очікування;  $\Phi$  – функціональний стан водія.

Формування середовища цільового використання пожежних автомобілів здійснюється двома групами факторів – групою дорожніх факторів (радіус виїзду пожежних автомобілів, інтенсивність дорожнього руху та щільність транспортного потоку, стан дорожнього покриття, погодні умови, пора року та час доби) і групою факторів, що характеризують умови перебування пожежного автомобіля в режимі очікування (температура повітря в гаражі).

Дорожні фактори мають суттєвий вплив на ефективність функціонування пожежних автомобілів. Однак більшість із них не можуть бути пов'язані з конструктивними та експлуатаційними властивостями пожежних автомобілів і, відповідно, розглядатись як вирішальні при виборі оптимальних значень показників тактико-технічних характеристик. Причому оптимізація більшості з наведених факторів може бути розглянута як загально-транспортна проблема, вирішення якої в цілому приведе і до поліпшення ефективності використання, зокрема, пожежних автомобілів.

Інша група факторів, а саме факторів, що характеризують умови перебування пожежного автомобіля в режимі очікування, зокрема температура повітря в гаражі, має значний вплив на процес функціонування саме пожежних автомобілів, тоді як для більшості їх транспортних аналогів цей показник має набагато менше значення. Це пов'язано з тим, що процес використання за призначенням транспортних автомобілів починається після попереднього прогріву їх агрегатів, зокрема двигуна. А практика показує, що при експлуатації автомобіля, агрегати якого знаходяться в оптимальному температурному режимі, температура навколишнього середовища має незначний вплив на виконання ним транспортної роботи.

Стосовно ж пожежних автомобілів, агрегати яких під час виїзду та руху на пожежу починають функціонувати з максимальним навантаженням за температури, що дорівнює температурі навколишнього середовища, а відповідно, далекої від оптимальної, цей фактор повинен бути врахований як вирішальний чинник середовища цільового використання пожежних автомобілів.

Таким чином, температура навколишнього середовища, безумовно, впливає на якість функціонування пожежних автомобілів, але цей вплив в основному відбувається через залежність від зазначеного фактора можливості реалізації конструктивних та експлуатаційних показників мобільної техніки пожежогасіння.

#### **Вплив теплового стану двигуна пожежного автомобіля на ефективність його функціонування**

Одним із чинників, що впливають на своєчасне прибуття пожежного автомобіля до місця виклику, є його динамічні якості.

Взагалі режим руху є найменш тривалим у загальному часі функціонування пожежного автомобіля: при кожному бойовому виїзді час руху становить 6–12 хвилин. Між тим, саме цим режимом визначаються численні й найбільш серйозні вимоги до базового шасі. Ці вимоги можна об'єднати у три групи: забезпечення високих швидкісних якостей, включаючи динамічні показники; наявність необхідного компоувального простору і вантажопідйомності для доставки в необхідній кількості засобів гасіння й облад-

нання, а також для розміщення особового складу; створення конструкційними рішеннями умов безпечного руху. Розглядаючи першу групу вимог, потрібно зазначити, що їх дотримання пов'язане не тільки із заданими при проектуванні показниками технічного рівня пожежного автомобіля, а й з рівнем їх реалізації в умовах середовища цільового використання.

Суть питання полягає в тому, що пожежний автомобіль розпочинає рух в оперативному режимі з непрогрітими агрегатами, внаслідок чого значно знижуються динамічні якості автомобіля. Двигуни, які встановлюються на пожежні автомобілі, запозичені разом із базовими шасі від автомобілів, призначених в основному для забезпечення транспортної роботи. Використання їх для пожежних автомобілів створює певну кількість проблем під час експлуатації, пов'язаних не тільки з погіршенням динамічних властивостей автомобіля і потужнісних показників двигуна, а й зі зменшенням ресурсу роботи двигуна, підвищеною витратою пального тощо, що є наслідком порушення теплового режиму двигуна.

Ефективність функціонування пожежного автомобіля, як було зазначено раніше, значною мірою залежить від теплового стану його агрегатів і, в першу чергу, від теплового режиму роботи двигуна, який в основному визначає тактико-технічні показники автомобіля.

Відомо, що зі зниженням температури навколишнього середовища різко підвищується тепловіддача, тривалість післяпускового прогріву двигуна збільшується [4]. Якщо для транспортних автомобілів, на базі яких створюються пожежні машини, це не викликає великих проблем, тому що вони в період післяпускового прогрівання двигуна експлуатуються в ощадливому режимі, то для пожежних автомобілів, двигуни яких одразу після запуску під час руху автомобіля на пожежу в оперативному режимі працюють із максимальним навантаженням без попереднього прогрівання, ця проблема потребує вирішення, оскільки пов'язана з такими негативними наслідками, як перевитрата пального, підвищення зношення двигуна, падіння швидкості руху. Очевидно, що для зменшення непродуктивних витрат пального, зменшення інтенсивності зношення та скорочення часу руху

на пожежу тривалість прогріву двигуна після запуску повинна бути мінімальною.

Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є утримування двигунів у розігрітому стані та швидке їх прогрівання під час руху на пожежу. Потужність, яка розвивається поршневим двигуном, розігрітим до експлуатаційної температури охолоджувальної рідини, порівняно мало залежить від температури навколишнього середовища [5]. Дослідження динаміки післяпускового прогрівання двигуна пожежного автомобіля показало, що застосування пристроїв, які прискорюють прогрівання, дає можливість на 66,7 % скоротити час виходу двигуна на оптимальний тепловий режим.

### Моделювання взаємозв'язків між тепловим станом двигуна та потужнісними характеристиками пожежного автомобіля

З метою встановлення кількісних показників впливу факторів середовища цільового використання на ступінь реалізації технічних можливостей пожежного автомобіля (а через них і на ефективність його використання) та прийняття відповідних рішень щодо зменшення негативних проявів цього впливу на всіх етапах життєвого циклу, виникає необхідність дослідження взаємозв'язку між параметрами та факторами підсистем зазначеної системи й побудови на цій основі відповідної математичної моделі, що відбиває зміни результативних величин від зовнішніх факторів.

Метою моделювання в цьому випадку є визначення закономірностей та величини впливу факторів середовища цільового використання пожежного автомобіля на реалізацію його конструктивних і експлуатаційних властивостей, які, у свою чергу, формують критерії поліпшення ефективності функціонування як окремо взятого пожежного автомобіля, так і парку мобільної пожежної техніки в цілому. Досягненню поставленої мети найбільше відповідає імітаційна модель, при створенні якої повністю відкидаються всі внутрішні особливості модельованого об'єкта, а до уваги беруться тільки зв'язки між вихідним параметром або параметрами (функціями відгуку) і множиною вхідних контрольованих і керованих параметрів (факторів).

Процес функціонування пожежного автомобіля є настільки складним, що виникає потреба у спрощенні його математичної моделі шляхом зведення кількості вхідних і вихідних параметрів до мінімуму. Спрощення моделі може бути здійснене методом декомпозиції складної системи [6]. Схема декомпозиції подана на рис. 2.

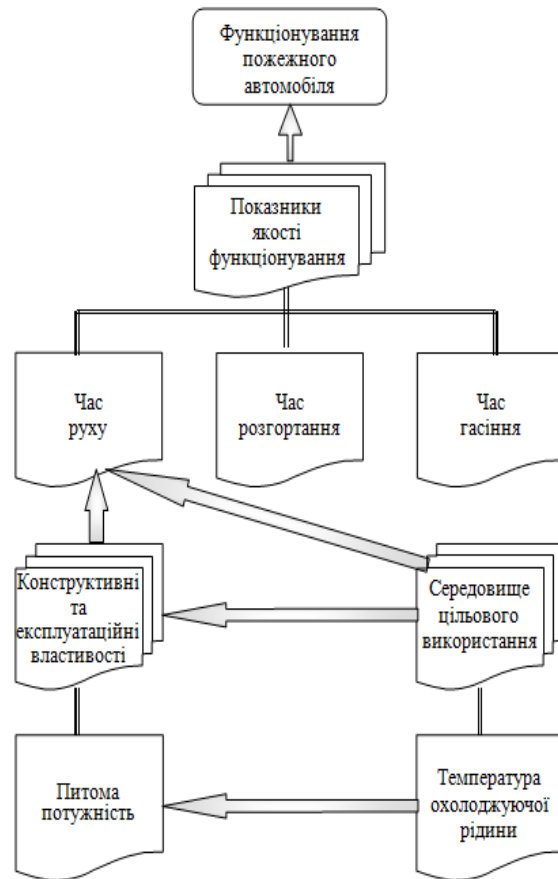


Рис. 2. Схема декомпозиції системи функціонування пожежного автомобіля в середовищі цільового використання

Методика спрощення дозволяє побудувати математичну модель, яка встановлює зв'язок між одним вхідним і одним вихідним параметром. Однак при цьому підвищені вимоги висуваються до вибору вихідного параметра (критерію ефективності) та вихідного параметра (фактора). На підставі висновків щодо проведених досліджень ефективності функціонування пожежного автомобіля в середовищі цільового використання як фактор обирається температура рідини в системі охолодження двигуна під час його запуску та у процесі руху автомобіля на пожежу. Цей фактор, крім того, на відміну від більшості інших показників середовища використання, відповідає вимогам контрольованості й керованості.

Як критерій ефективності обрано питому потужність двигуна, яка безпосередньо забезпечує формування властивостей пожежного автомобіля. Дослідження ефективності функціонування пожежного автомобіля дозволило встановити, що цей параметр певним чином залежить від показника середовища використання, обраного фактором. На вибір критерію ефективності, крім того, впливає той факт, що результати дослідження взаємозв'язку системних властивостей пожежного автомобіля виявили домінуючий вплив питомої потужності на якість його функціонування. Питома потужність є важливим експлуатаційним показником, що впливає на час прибуття пожежного автомобіля до місця пожежі. Будь-яке зменшення величини питомої потужності призводить до погіршення швидкісних і динамічних властивостей пожежного автомобіля і, як наслідок, до збільшення відрізка часу до початку локалізації та гасіння пожежі, що, у свою чергу, призводить до зростання збитків від пожежі та збільшення небезпеки для людей.

З урахуванням зазначеного, було побудовано однофакторну математичну модель у вигляді полінома другого порядку

$$Y = 43,002 + 0,8635X - 0,0026X^2, \quad (3)$$

де  $Y$  – величина питомої потужності двигуна пожежного автомобіля, %;  $X$  – температура рідини в системі охолодження (0–90 °C).

Графічна інтерпретація рівняння (3) подана на рис. 3.

Величина вірогідності апроксимації отриманої моделі становить  $R^2 = 0,98$ .

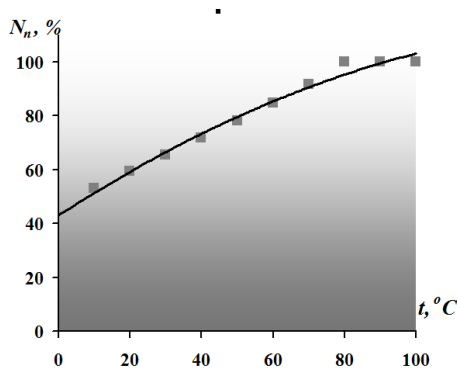


Рис. 3. Графічна інтерпретація математичної моделі залежності величини питомої потужності двигуна від температури охолоджувальної рідини

Істотність зв'язків, перевірена за критерієм Фішера для ймовірності 99 %, дозволяє стверджувати, що умова прийнятності моделі виконується.

## Висновки

Таким чином, отримана математична модель є адекватною експериментальним даним і на її основі можна проводити аналіз впливу факторів середовища цільового використання на реалізацію системних властивостей пожежного автомобіля, визначати потенціал його пристосованості та прогнозувати ефективність використання.

## Література

1. Кузнецов Ю. Концептуальный пожарный автомобиль – 2000 (по материалам XV научно-практической конференции, ВНИИПО МВД России) / Ю. Кузнецов, Н. Навценя, Ю. Яковенко // Бюлетень пожежної безпеки. – 1999. – № 2. – С. 22.
2. Обухов Ф.В. Пожарная безопасность / Ф.В. Обухов. – М.: Недра, 1975. – 191 с.
3. Лук'янченко О.Ю. Критерії формування вимог до автомобілів оперативно-рятувальних служб / О.Ю. Лук'янченко, Ю.О. Лук'янченко, С.М. Биченко // Пожежна безпека: теорія і практика: зб. наук. пр. – 2013. – №15. – С. 100–104.
4. Тюлькин В.А. Оценка приспособленности автомобилей к зимним условиям эксплуатации по темпу охлаждения двигателей: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / В.А. Тюлькин. – Тюмень, 2000. – 18 с.
5. Системи прогріву двигунів внутрішнього згорання: основи функціонування: монографія / В.П. Волков, І.В. Грицук, Ю.Ф. Гутаревич та ін. – Донецьк: Ноулідж, 2015. – 316 с.
6. Крон Г. Исследование сложных систем по частям / Г. Крон. – М.: Наука, 1972. – 544 с.

Рецензент: О.С. Полянський, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 13 червня 2016 р.