

УДК 373.5.091.398:51

Квасніков В.П., Громов В.О.

¹ доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій, ДУ «Київський авіаційний інститут», м. Київ

e-mail: kvp@nau.edu.ua,

ORCID 0000-0002-6525-9721

² аспірант, ДУ «Київський авіаційний інститут», м. Київ

e-mail: gromovvo@ukr.net,

ORCID 0009-0008-4722-6046

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ БЕНЗИНІВ ДЛЯ РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ УМОВ

Досліджено експлуатаційні властивості бензинів у різних температурних умовах. Встановлено залежність між температурою повітря та тиском насиченої пари бензину. Розглянуто причини утворення парових пробок і обмерзання карбюратора. Запропоновано технічні рішення для покращення запуску двигуна за низьких температур.

Ключові слова: бензин, тиск пари, температура, запуск двигуна, обмерзання.

Вступ

Постановка проблеми. Забезпечення надійної роботи двигунів внутрішнього згоряння в умовах різних температур залишається актуальною технічною проблемою, пов'язаною з фізико-хімічними властивостями бензину. Одним із критичних чинників є тиск насиченої пари, що визначає здатність палива до випаровування та утворення робочої суміші, особливо за низьких температур. Недостатнє випаровування або, навпаки, надмірне спричиняє ускладнення під час запуску двигуна, утворення парових пробок або обмерзання карбюратора. Це вимагає глибшого дослідження експлуатаційних характеристик бензину та пошуку ефективних технічних рішень.

Мета статті – дослідити залежність експлуатаційних показників бензинів від температурних умов, зокрема вплив тиску насиченої пари на процес запуску двигуна, та обґрунтувати технічні рекомендації для забезпечення ефективної роботи паливної системи в умовах низьких і високих температур.

Основна частина

Чинна стаття є логічним продовженням визначення експлуатаційних показників бензинів для різних температурних режимів.

Нормальна робота сучасного високообертового двигуна забезпечується за умов згоряння палива у дуже короткий проміжок часу від 0,002 с до 0,004 с. Для такого малого часу спалювання паливо повинно бути підготовлене таким чином:

- 1) повністю переведене з рідкого у паровий стан;
- 2) введене у склад робочої суміші у певному співвідношенні з повітрям.

Повнота випаровування палива визначається швидкістю випаровування, яка обумовлена фізичними властивостями палива, а також чинниками експлуатаційного характеру та конструкцією двигуна. До фізичних властивостей палива, від яких залежить швидкість та повнота його випаровування відносяться:

- 1) температурні межі википання палива, що визначаються його фракційним складом;
- 2) тиск насиченої пари;
- 3) скрите тепло випаровування;
- 4) коефіцієнт дифузії пари;
- 5) в'язкість;
- 6) поверхневий натяг;
- 7) теплоємність.

Експлуатаційні чинники визначаються умовами використання палив у двигунах, тобто режимами їх роботи. Паливо випаровується головним чином у карбюраторі. Але, залежно від режиму роботи двигуна та фракційного складу палива, не вся бензина переходить у паровий стан. Частина палива осідає у вигляді рідкої плівки у всмоктувальній системі двигуна, що дуже небажано. Внаслідок утворення рідкої плівки робоча суміш розподіляється за циліндрами двигуна нерівномірно і до них потрапляє пара різного фракційного складу. Рідка плівка палива, окрім того, що потрапляючи у циліндри двигуна, змиває з їх стінок змащувальні оливи та проникає через зазори поршневих кілець у картер двигуна. Це негативно позначається на потужності та економічності двигуна, олива при цьому розріджується і знос робочих поверхонь двигуна збільшується.

З усіх фізичних властивостей випаровуваність бензини значною мірою залежить від його фракційного складу та тиску насиченої пари. Якщо за в'язкістю, поверхневим натягом, теплоємністю та схованим теплом випаровування бензини порівняно мало різняться між собою, то за фракційним складом та тиском насиченої пари вони можуть помітно різнитися.

З фракційним складом бензини пов'язані такі важливі експлуатаційні характеристики двигуна, як можливість та швидкість його запуску за низьких температур, здатність до утворення «парових пробок» у паливній системі двигуна, швидкість прогріву двигуна, знос циліндро-поршневої групи, витрати палива. Пускові властивості та здатність до утворення «парових пробок» значною мірою визначаються тиском насиченої пари бензини: чим він вище, тим більша і ступінь випаровування бензини. Тиск насичених парів залежить від температури і зменшується з її зменшенням. За тиском насичених парів бензини визначають їх концентрацію у робочій суміші, яка надходить у двигун. За певного тиску насичених парів бензини їх концентрація у робочій суміші стає менше нижнього рівня спалаху бензини і пуск двигуна стає неможливим. За умов концентрації парів бензини у робочій

суміші навіть несуттєво перевищуючій рівень її спалаху, запуск двигуна за низьких температур також утруднюється.

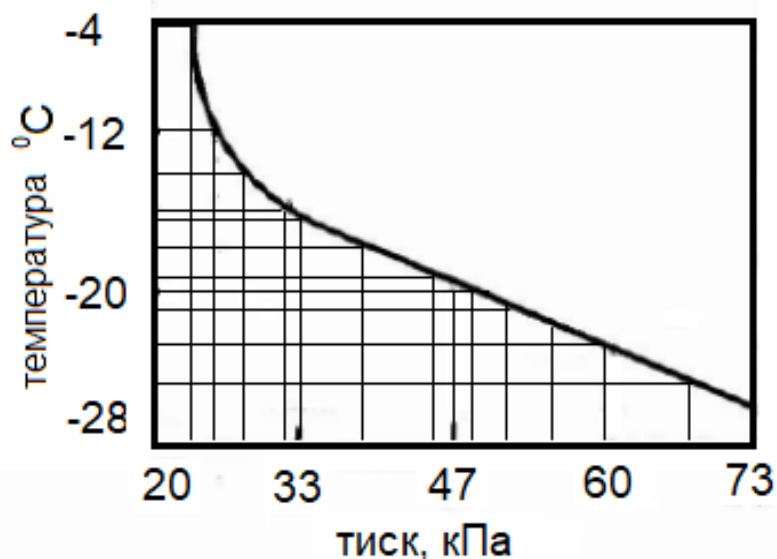


Рис. 1. Залежність температури повітря, з якої можливий запуск двигуна, від тиску насиченої пари бензини

На рис. 1 наведена залежність температури повітря, за якої можливий запуск двигуна, від тиску насиченої пари бензини. Тиск насиченої пари бензини звичайно визначають за $37,8^{\circ}\text{C}$ на спеціальному приладі. Для бензинів різного фракційного складу встановлена залежність між вмістом низькокиплячих фракцій бензини, температурою та легкістю запуску двигунів автомобілів з різною конструкцією паливної системи.

У роботі авторів [2] запропонована математична модель щодо вивчення залежності температури повітря (за якої є можливим запуск двигуна) від тиску насиченої пари бензини.

Шляхом проведення математичного моделювання у рамках програмного пакету Curve Expert Modified (модель Shift Power Fit) в межах стандартного відхилення 1,0819 з коефіцієнтом кореляції 0,9924, було отримано аналітичне співвідношення $T = f(p)$:

$$T = a(p - b)^c,$$

де T – температура повітря; p – тиск насиченої пари бензину; a і b сталі, які відповідають реальному стану системи (для нашого випадку $a = 2,80$; $b = 1,61$; $c = -3,12$). Результати відкривають подальшу перспективу проведення інтерполяції експериментальних даних для визначення значень тиску (p) насиченої пари бензину у різному діапазоні температури повітря (T).

Слід підкреслити, що тиск (p) насиченої пари бензини, як правило, визначають при температурі у $37,8^{\circ}\text{C}$ за допомогою спеціального приладу, один з варіантів якого буде описаний у наших подальших публікаціях.

За певного тиску насиченої пари бензину їх концентрація у робочій суміші стає менше нижнього рівня спалаху бензини і пуск двигуна стає неможливим. Слід підкреслити, що якщо умови концентрації парів бензину у робочій суміші навіть несуттєво перевищують рівень її спалаху, то запуск двигуна за низьких температур буде досить утруднений [2].

Найбільшу схильність до втрат від випаровування мають автомобільні бензини, до складу яких входить бутанова фракція та бутан-бутенова фракція газів каталітичного крекінгу. Меншими втратами від випаровування характеризуються автомобільні бензини, до складу яких входять такі компоненти, як газова бензина та ізопентанова фракція, тобто такі, що мають низьку температуру кипіння [1].

У паливній системі двигуна можливо утворення парових пробок внаслідок інтенсивного випаровування бензини. Цей ефект виникає за надмірного нагрівання палива у літню пору. Зокрема, це є можливим під час підйому літака на висоту, або під час експлуатації автомобіля у високогірних умовах, коли відбувається зниження атмосферного тиску. З одного боку, температурні границі ефективної роботи автомобільних двигунів залежать від фракційного складу та тиску насиченої пари бензини. З іншого, дослідження демонструють залежності допустимої висоти польоту літака від тиску насиченої пари бензину за різних температур (при цьому залежності виявляють регресивний характер) (рис. 2)

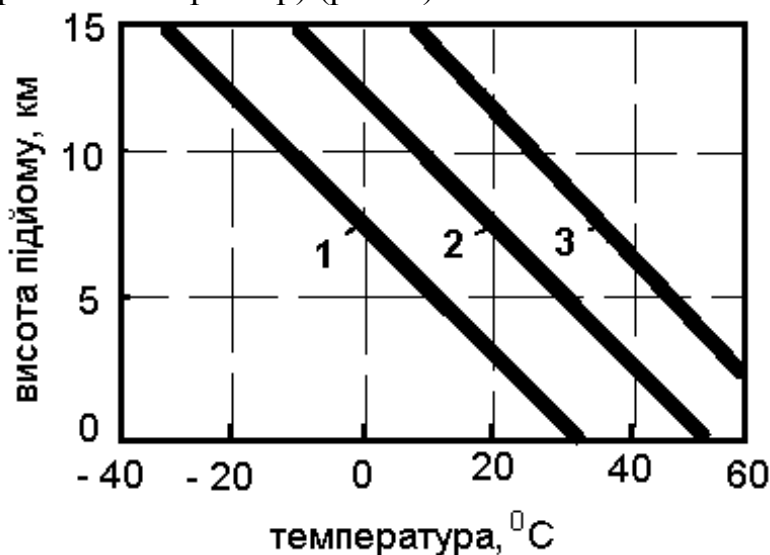


Рис. 2. Залежність допустимої висоти польоту літака від температури бензини за певних значень тиску її насиченої пари (тут: $p_1 > p_2 > p_3$)

Однією з проблем є обмороження карбюратора. Тут відбувається замерзання краплинок води, яка надходить з картерними газами.

Іншою причиною збоїв у роботі двигунів є виникнення конденсату з повітря, внаслідок різкого зниження температури робочої суміші під час інтенсивного випаровування бензину у карбюраторі. За температури, що є нижчою за 0°C на стінках карбюратора, у жиклері розпилювачі і, в першу чергу, на дросельній затулці кристалізується лід, що викликає перебої у роботі двигуна, а за особливо несприятливих умов двигун може, навіть, зупинитися.

Ступінь обмерзання карбюратора залежить від температури повітря, його відносної вологості, випаровуваності бензини, головним чином від температури википання, тепла випаровування вуглеводнів, що входять до складу бензину та конструкції паливної системи двигуна. Це призводить до зниження експлуатаційних показників бензинів.

Значне зниження температури робочої суміші відбувається якщо бензин легко випаровується і майже повністю переходить у парову фазу у карбюраторі. При використанні таких бензинів обмерзання карбюратора є можливим у більш широкому діапазоні температур та з достатньою розбіжністю відносної вологості повітря.

Дослідження доводять, що найбільша ступінь обмерзання карбюратора спостерігається за температури повітря $4,5^{\circ}\text{C}$. Тут обмерзання відбувається вже за відносної вологості повітря 60%, а за умов 100% вологості повітря обмерзання відбувається у межах температур від $-7...-8^{\circ}\text{C}$ до $12...13^{\circ}\text{C}$.

Тому визначення тривалості (інтервал часу – t) прогріву двигуна є доволі важливим елементом визначення експлуатаційних показників бензину. Хронометричні оцінки цих інтервалів часу свідчать про те, що він майже на 50% залежить від температури википання бензину і на 50% від температури навколишнього середовища. Прогрів двигуна прискорюється по мірі википання бензину (особливо за низьких температур повітря). У цьому випадку покращується здатність двигуна переходити з одного режиму роботи на інший.

Щоб забезпечити нормальну роботу двигуна важливим є рівномірний розподіл робочої суміші за окремими циліндрами. За таких умов повнотою випаровування бензини та характеризується температурами википання на 90% та закінчення процесу кипіння бензину. За високих значень цих температур ті фракції бензини, що мають високу температуру кипіння, не встигають випаровуватися у впускному трубопроводі двигуна і у вигляді рідкої плівки поступають у циліндри. Внаслідок неповного згоряння бензину у камері згоряння підвищуються його витрати та знижується економічність та потужність двигуна. Тому вирішення цієї проблеми є надзвичайно важливою інженерною задачею. Проведені нами дослідження дозволяють запропонувати наступні рекомендації щодо запобігання обмерзання: підігрів повітря, що надходить у карбюратор шляхом внесення конструктивних заходів; або додавання до бензину проти льодово-утворювальних добавок.

Висновки

Проведене дослідження підтверджує, що тиск насиченої пари бензину є ключовим показником, що впливає на запуск та стабільну роботу двигуна в різних температурних умовах. Отримані аналітичні залежності дозволяють прогнозувати поведінку палива, а запропоновані технічні заходи – зменшити ризики утворення парових пробок та обмерзання карбюратора, підвищуючи надійність експлуатації паливної системи.

Література

1. Кириченко В. І., Сіренко Г. О., Кириченко В. В. Сучасні паливно-мастильні матеріали: стан та поступ розвитку. Ч. 1. Паливні матеріали. Івано-Франківськ: Супрун В. П., 2016. 208 с.
2. Квасніков В. П., Громов В. О. Фізичні властивості бензинів: визначення їх експлуатаційних показників // Матеріали XVIII міжнар. наук.-практ. конф. «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси» (ІРТК-2025), 20–21 трав. 2025 р., Київ, Україна. Київ, 2025. С. 222–225.

Volodymyr P. Kvasnikov, V.O. Gromov

National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Performance indicators of gasolines for various temperature conditions

The performance properties of gasolines under different temperature conditions have been studied. The relationship between air temperature and saturated vapor pressure of gasoline has been established. The causes of vapor jams and carburetor icing have been considered. Technical solutions have been proposed to improve engine starting at low temperatures.

Keywords: *gasoline, vapor pressure, temperature, engine starting, icing.*
