

SECTION: MECHANICS AND ELECTRICAL ENGINEERING

DOI 10.70286/isu-13.08.2025.004

СПОСОБИ ЗБІЛЬШЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ВПУСКНОЇ СИСТЕМИ

Куделін Олександр Миколайович

засновник, головний інженер BMWSERVICE MIAMI LLC
м. Маямі, США

Пропускна здатність впускної системи безпосередньо визначає, скільки повітря або паливоповітряної суміші потрапляє у циліндри двигуна за один цикл, а отже, впливає на якість згоряння та кінцеві показники потужності й економічності. Для бензинових моторів від цього залежить стабільність утворення суміші, для дизельних - ефективність подачі повітря з урахуванням подальшого впорскування палива. Якщо опір руху потоку у впускному тракті високий, це знижує швидкість його проходження, ускладнює наповнення циліндрів і призводить до втрати крутного моменту та збільшення витрати палива. Оптимізована форма каналів, зменшення турбулентних зон і грамотне підбирання діаметра перерізу дають змогу підвищити коефіцієнт наповнення, забезпечуючи стабільну роботу двигуна в усьому діапазоні обертів.

Проблема недостатньої пропускної здатності зустрічається і в масових, і у високопродуктивних двигунах. У серійних моделях впуск зазвичай розробляється як компроміс між потужністю, шумовими характеристиками, собівартістю та екологічними обмеженнями. Це означає, що конструктивно існує запас для вдосконалення без радикальної зміни архітектури мотора. Сучасні можливості моделювання потоків та точна механічна обробка деталей дозволяють змінювати геометрію впуску під конкретні режими роботи. Найкращий результат досягається тоді, коли зміни у впускному тракті поєднуються з доопрацюванням випускної системи та коригуванням алгоритмів упорскування палива, що забезпечує збалансоване збільшення продуктивності без зниження надійності [2, с. 101].

Завдання підвищення пропускної здатності впускної системи не зводиться лише до збільшення діаметра каналів чи встановлення повітряного фільтра з меншим опором. Воно потребує комплексного технічного підходу, який враховує газодинамічні процеси, взаємодію з іншими системами двигуна, а також умови його експлуатації. Саме це визначає актуальність проведення детального аналізу існуючих методів та пошуку нових рішень у цій галузі.

Впускна система двигуна внутрішнього згоряння призначена для подачі у циліндри необхідного об'єму повітря або паливоповітряної суміші з

мінімальними втратами тиску та максимальною стабільністю потоку. Її робота базується на законах газодинаміки, які описують рух стисливого середовища в каналах змінного перерізу, вплив турбулентності та аеродинамічного опору на швидкість і рівномірність наповнення.

До основних елементів впускної системи належать [5, с. 59]:

- Повітрозабірник, який забезпечує надходження повітря з навколишнього середовища та, у деяких конструкціях, створює ефект динамічного наддуву за рахунок руху транспортного засобу.
- Повітряний фільтр, що очищує повітря від пилу та механічних домішок, запобігаючи зносу циліндро-поршневої групи. Його опір безпосередньо впливає на пропускну здатність всієї системи.
- Дросельна заслінка (або система дроселів у спортивних двигунах), яка регулює об'єм повітря, що подається в колектор, відповідно до навантаження та режиму роботи двигуна.
- Впускний колектор, який рівномірно розподіляє потік повітря або суміші між усіма циліндрами. Його геометрія (довжина та діаметр каналів, форма камер) впливає на резонансні явища, що можуть як підвищувати, так і знижувати ефективність наповнення.
- Впускні канали головки блока циліндрів, які визначають кінцеву швидкість та напрям потоку перед потраплянням у камеру згорання.

Ефективність роботи впускної системи залежить від кількох параметрів. Один із них - швидкість потоку повітря: надто низька швидкість знижує турбулентність і погіршує змішування з паливом, тоді як надто висока збільшує гідравлічні втрати та підвищує температуру повітря, що зменшує його густину. Інший важливий параметр - ступінь турбулентності, який повинен бути оптимальним: достатнім для утворення якісної суміші, але без надмірного опору руху.

Вплив геометрії каналів на пропускну здатність пояснюється законами Бернуллі та рівняннями Нав'є - Стокса. Звуження каналу збільшує швидкість потоку, але водночас підвищує втрати тиску, тоді як розширення знижує швидкість і може спричинити відрив потоку від стінок, утворення зон рециркуляції та зростання турбулентності. Тому профіль каналів проєктують таким чином, щоб досягти балансу між швидкістю та стабільністю потоку.

Особливу роль відіграють резонансні явища у впускному колекторі. При певній довжині каналів і частоті обертання колінчастого вала виникає ефект наддуву за рахунок хвиль тиску, що відбиваються від клапанів і знову спрямовують повітря в циліндр. Цей ефект може суттєво підвищити коефіцієнт наповнення, але лише в обмеженому діапазоні обертів, тому у сучасних двигунах застосовують системи змінної довжини колектора [3, с. 111].

Теоретичні основи роботи впускної системи вказують, що її оптимізація потребує комплексного підходу - одночасного врахування аеродинамічних властивостей, газодинамічних ефектів і взаємодії з іншими системами двигуна. Лише у такому випадку можна досягти максимальної пропускної здатності без негативних наслідків для ресурсу та економічності агрегату.

Збільшення пропускної здатності впускної системи є комплексним завданням, яке передбачає вдосконалення як окремих її елементів, так і оптимізацію роботи тракту в цілому. Кожен метод має свої технічні особливості, обмеження та сферу доцільного застосування, що визначаються конструкцією двигуна, його призначенням і режимами експлуатації.

Одним із базових напрямів підвищення пропускної здатності є зниження опору повітряного фільтра. Стандартні фільтри, що встановлюються виробниками, розраховані на тривалий ресурс і високий рівень очищення, але часто мають більший аеродинамічний опір. Використання фільтрів із збільшеною площею фільтруючої поверхні або фільтрів нульового опору дозволяє зменшити втрати тиску, водночас вимагаючи регулярнішого обслуговування та використання якісних матеріалів, щоб уникнути потрапляння абразивних частинок у циліндри [1, с. 27].

Важливим методом є оптимізація геометрії впускних каналів. Полірування та розширення каналів (портинг) зменшують шорсткість стінок і гідравлічний опір потоку, сприяючи зростанню швидкості надходження повітря. При цьому необхідно зберігати правильну конфігурацію перерізів, щоб не порушити газодинамічні ефекти, які допомагають наповненню циліндрів на певних обертах. Особливу увагу приділяють зоні стику впускного колектора та головки блока циліндрів, оскільки навіть невеликі невідповідності профілю створюють турбулентні зони та знижують ефективність потоку.

Використання впускних колекторів зі змінною довжиною каналів дає змогу ефективно застосовувати хвильові та резонансні процеси для поліпшення наповнення циліндрів у різних режимах роботи двигуна. При невисоких обертах довші канали сприяють підвищенню крутного моменту завдяки більш стабільному надходженню потоку, тоді як при зростанні частоти обертання короткі канали зменшують гідравлічний опір і дозволяють досягти вищої максимальної потужності. Перемикання довжини каналів може виконуватись механічними або електронними приводами, а результативність такого рішення на пряму залежить від точності синхронізації із робочими циклами двигуна.

Зміна діаметра дросельної заслінки також впливає на пропускну здатність впускного тракту. Збільшений переріз зменшує опір потоку і дає перевагу на високих обертах, коли об'єм споживаного повітря значно зростає. Водночас надмірне збільшення діаметра може негативно позначитися на чутливості дозування повітря на малих обертах, що призведе до менш плавної реакції двигуна на педаль акселератора.

Найбільш суттєве зростання пропускної здатності забезпечує використання систем примусового наддування - турбокомпресорів або механічних нагнітачів. У цьому випадку підвищений тиск у впускному тракті збільшує масу повітря, яке надходить у камери згоряння, і дає змогу суттєво підняти потужність без кардинальної зміни геометрії каналів. Проте впровадження наддуву потребує конструктивного підсилення деталей кривошипно-шатунного механізму, модернізації охолоджувальної системи та оптимізації паливоподачі, щоб уникнути перевантаження агрегату та перегріву.

У практиці тюнінгу поширене комбінування кількох методів: встановлення фільтра з низьким опором, портинг головки блока, заміна колектора на конструкцію зі змінною довжиною та збільшення діаметра дроселя. Такий підхід дозволяє досягти помітного приросту потужності, зберігаючи баланс між продуктивністю та надійністю агрегату [4, с. 30].

Підвищення пропускної здатності впускної системи — це не одноразова модифікація, а системна робота, яка повинна враховувати газодинаміку, ресурсні характеристики та відповідність обраних рішень цільовому призначенню двигуна.

Підвищення пропускної здатності впускної системи є одним із ключових напрямів удосконалення двигунів внутрішнього згоряння, який безпосередньо впливає на їхню потужність, економічність і екологічні показники. Проведений аналіз свідчить, що навіть незначні зміни у геометрії каналів, якості поверхонь та організації подачі повітря можуть суттєво змінити коефіцієнт наповнення циліндрів. При цьому технічна ефективність будь-яких удосконалень має оцінюватися з урахуванням конструктивних особливостей конкретного двигуна, умов його експлуатації та допустимих меж механічного та теплового навантаження.

У перспективі розвиток впускних систем буде пов'язаний із впровадженням активних аеродинамічних елементів і застосуванням адаптивного керування потоком повітря. Уже сьогодні розробники використовують системи з електронно регульованою довжиною колекторів, змінним перерізом дросельних вузлів та інтегрованими сенсорами для безперервного моніторингу швидкості й тиску потоку. Поєднання таких рішень із технологіями точного упорскування палива дозволить досягти оптимального співвідношення продуктивності та економічності, зберігаючи при цьому відповідність жорстким екологічним стандартам. Очікується, що в найближчі роки пріоритет отримає застосування легких композиційних матеріалів і адитивних технологій у виготовленні впускних колекторів, що відкриє нові можливості для гнучкого налаштування газодинамічних характеристик під конкретні режими роботи двигуна.

Список використаних джерел

1. Барановський В.М. Роль і місце технічного діагностування в системі технічної експлуатації автомобілів в сільському господарстві. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця : ВНАУ, 2018. Випуск 1 (100). С. 24-28.
2. Гунько І.В. Транспорт - актуальні проблеми та сьогодення. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця : ВНАУ, 2015. Випуск 2 (90). С. 98-103.
3. Паладійчук Ю.Б. Методи та засоби при експлуатаційній обкатці машин та механізмів. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Вінниця: ВНАУ, 2012. Випуск 10 (59). Т. 2. С. 110-113.
4. Пришляк В.М. Аналіз показників роботи двигуна Д-240 за розрахунками комп'ютерної програми DIESEL-RK. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця : ВНАУ, 2015. Випуск 2 (90). С. 28-32.
5. Пришляк В.М. Визначення ефективності роботи автотракторних двигунів адаптованих для часткових режимів навантаження. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця : ВНАУ, 2016. Випуск 3 (95). С. 57-62.