

Турбонаддув. екзотика чи життєва необхідність

ДВІГУНІ В

Макаренко Микола Григорович, доцент кафедри «Трактори і автомобілі Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка, сільськогосподарський дорадник

У складі силової установки дизель завоював провідне місце завдяки високій паливній економічності, низькій токсичності відпрацьованих газів і широким можливостям по рівню підвищення потужності із застосуванням різних систем.

Принцип роботи двигуна внутрішнього згоряння не змінювався з часів його винаходу. Він постійно удосконалювався, але робочий процес залишався той же. Так, наприклад, двигун легендарного Ford-T мав робочий об'єм 2,9 літри і розвивав потужність 20 кінських сил. Сьогодні з аналогічного двигуна виробники одержують в 10 разів більше потужності. Проте, за сторіччя доробок, стало зрозуміло – за існуючої конструкції досягнутий максимум літрової потужності.



Статистика інформус, що на сучасному рівні розвитку техніки витрати на її експлуатацію складають 31,7% від всіх витрат. Причому 59,7% витрат на експлуатацію складають витрати на нафтопродукти. Тож важливо мати двигун не тільки потужний з заданою характеристикою роботи, а перш за все економічний.

Не вдаючись в подробиці теорії двигунів внутрішнього згоряння, слід зазначити, що потужність поршневого двигуна визначається його робочим об'ємом і числом циліндрів, частотою обертання та середнім ефективним тиском в циліндрах. Очевидно, що підвищення потужності за рахунок збільшення робочого об'єму (збільшення розмірів і числа циліндрів, тобто літражу) зразу ж приведе до збільшення маси і габаритів двигуна і його вартості. Збільшення ж потужності шляхом збільшення частоти обертання колінчастого валу проблематично через технічні проблеми, що виникають при цьому (особливо на двигунах з великим робочим об'ємом).

Зако́ни фізики свідчать, що потужність двигуна напряму залежить від кількості спалюваного палива за один робочий цикл. Чим більше палива ми спалюємо, тим більша потужність. Таким чином, найбільш простий спосіб підвищення потужності двигуна – збільшення розміру циліндрів або їх кількості для можливості спалювання збільшеної кількості палива. Однак, природа так влаштована, що значна частина приросту потужності тут же буде втрачатись натертя і витрата палива на одиницю потужності стрімко зростає.

В середині 60-х років минулого століття величезний попит, що існував на потужні автомобілі примушував виробників збільшувати робочий об'єм двигуна. Яскравим тому прикладом були американські muscle-car. Їх двигуни мали об'єми по 4, 5, 6, і навіть 7 літрів і розвивали велику потужність та крутний момент. Проте у таких двигунів був один величезний недолік: велика витрата палива. І якщо в період так званого «золотого століття», коли літр бензину коштував менше банки кока-коли, а самі muscle-car продавалися практично за копійки (новий Ford Shelby Cobra GT350 в 1967 році коштував \$4547), то із зростанням цін на паливо попит на такі автомобілі різко впав. Європейські і японські автовиробники не могли собі дозволити таку розкіш, як багатолітрові двигуни і стали шукати альтернативний варіант. І такий варіант був знайдений.

Конструктори працюють в напрямку щоб не просто підвищити потужність двигуна, а при існуючій розмірності циліндрів отримати в них більшу літрову потужність (потужність на одиницю робочого об'єму), тобто форсувати двигун. Тертя, а відповідно, і втрати при цьому будуть збільшуватись не на стільки стрімко і економічність двигуна значно підвищується. Для форсування двигуна існує багато способів, але найбільш дієвим є форсування по наддуву.

Ідея не нова. Вона так само стара, як і історія самих двигунів внутрішнього згорання: обидва «прародителі» сучасних двигунів, Г. Даймлер і Р. Дизель, виразно уявляли, що попереднє стиснення повітря, що надходить до циліндрів, дозволяє

отримати надбавку потужності. Більш того, обидва робили спроби застосувати наддув в конструкції своїх двигунів.

Готтліб Вільгельм Даймлер (Gottlieb Wilhelm Daimler), ще в 1885 році придумав, як загнати в них більше повітря. Він згадався закачувати повітря в циліндри за допомогою нагнітача, що був вентилятором (компресор), який приводився в обертання безпосередньо від валу двигуна і подавав в циліндри стиснене повітря.

Швейцарський інженер-винахідник Альфред Бюхі (Alfred J. Buchi) пішов ще далі. Він завідував розробкою дизельних двигунів в компанії Sulzer Brothers, і йому не подобалося, що двигуни були великими і важкими, а потужність розвивали недостатньо. Віднімати енергію у колінчастого валу, щоб обертати приводний компресор, йому також не хотілося. Тому в 1905 році пан Бюхі запатентував перший в світі пристрій нагнітання, що об'єднав на одному валу крильчатки компресора і турбіни, та використовував енергію відпрацьованих газів. Простіше кажучи, він винайшов турбонаддув.

Ідея розумного швейцарця проста, як все геніальне. Як вітер обертає крила млина, так і відпрацьовані гази крутять колесо з лопатками. Різниця тільки в тому, що колесо це дуже маленьке, а лопаток дуже багато. Колесо з лопатками називається ротором турбіни і посаджено на один вал з колесом компресора. Вся ця конструкція і називається турбокомпресор (від латинських слів turbo – вихор і compressio – стиснення).

Турбіна одержує обертання від вихлопних газів, а сполучений з ним компресор, працюючи як «вентилятор», нагнітає додаткове повітря в циліндри.

Однак при існуючому на той час розвитку науки і техніки, створити досконалу конструкцію не вдалось. І це надовго віддалило ідею попереднього наддуву. Хоча окремі спроби повернутися до неї робилися неодноразово. Наприклад, ще до початку першої світової війни бензинові двигуни з наддувом зрідка з'являлися на гоночних автомобілях та тепловозах.

Не дивлячись на уявну простоту самої ідеї і конструкції газотурбонагнітача, створення працездатних агрегатів турбонаддува укупі з пристроями регулювання на практиці виявилось задачею непростюю. Для її вирішення були потрібні глибокі теоретичні і прикладні дослідження, а також створення високотехнологічних виробничих процесів. Це було пов'язане з тим, що вал турбокомпресора обертається з частотою понад 100 000 хв⁻¹. При цьому температура крильчатки турбіни, що взаємодіє з відпрацьованими газами, близька до 1000 °С (727 °С), тоді як з боку короткого валу, в зоні крильчатки компресора, вона в п'ять разів менше. Зрозуміло, що навіть забезпечення короткочасної роботи такого пристрою – проблема.

Та все ж проблеми турбонаддува на двигунах поступово розв'язувалися. Застосовувати турбонаддув на серійних автомобільних двигунах почала німецька компанія BMW, випустивши в 1973 році модель BMW 2002 turbo. Учувши вигідну технологію по стопах BMW пішли Porsche (911-а 1974 роки) і Saab (Saab-99 1978 роки). А незабаром – і весь світ..

Встановлені на них турбокомпресори забезпечують при впусканні невеликий (від 0,25 до 0,55 кгс/см²) надмірний тиск. Завдяки цьому крутний момент

всіх двигунів досягає максимуму вже при частоті обертання колінчастого валу 1600 - 1800 хв⁻¹. Крім того, вони відрізняються рекордною економічністю і відповідають останнім екологічним стандартам.

Прогрес турботехники привів до того, що в даний час частка навіть легкових автомобілів з турбонаддувними двигунами складає приблизно половину загального числа автомобілів у віці до 5 років і продовжує збільшуватися. З них порядку 20 % – бензинові автомобілі, інші – дизельні. Таке співвідношення не випадково. Дизелі істотно краще пристосовані до наддуву взагалі і до турбонаддуву зокрема.

ЧОМУ Ж В НАШІ ДНІ СТОРІЧНА ІДЕЯ ТУРБОНАДДУВА ДВИГУНІВ ТАК ПРИВЕРТАЄ ДВИГУНОБУДІВНИКІВ ?

Двигун, обладнаний турбокомпресором, як вже не раз згадувалося, має високу питому потужність і крутний момент. Використання турбонаддуву дає можливість досягти заданих характеристик силового агрегату (будь-якої потужності) при менших габаритах і масі, ніж у разі застосування "атмосферного двигуна". Звідси витікає ще один важливий наслідок: у турбодвигуна краща паливна економічність. Адже він більш компактний і навіть при однаковій потужності з "атмосферним двигуном" ефективно витрачає паливо. У нього менша тепловіддача, насосні втрати і відносні втрати на тертя. Економія палива сприяє і більш високий крутний момент, при низьких частотах обертання колінчастого валу. Крім того, у турбодвигуна кращі екологічні показники.

Наддув камери згоряння також приводить до зниження температури і, відповідно, зменшення утворення оксидів азоту. В дизелях додаткова подача повітря дозволяє змістити межу виникнення димності, тобто боротися з викидами частинок сажі. Не було б наддуву, відомі проблеми із застосуванням на дизелях каталітичних нейтралізаторів просто закрили б їм дорогу в майбутнє. Дизелі без наддуву насилу дотягують до норм "Євро-2".

Нарешті, турбодвигун сприяє поліпшенню комфортабельності. Компресор в магістралі впуску і турбіна у впускній системі істотно знижують шумність роботи двигуна і забезпечують акустичний комфорт. Він доповнюється зручністю управління. Високий, рівномірний розподілений по частоті обертання крутний момент додає двигуну велику еластичність.

Вказані методи підвищення економічності і потужності успішно реалізовані в двигунах серії Д-260, розроблених Мінським моторним заводом (ММЗ) для тракторів. Їх конструкція в повній мірі відповідає наведеній концепції розвитку світового двигунобудування. Саме двигуни цієї серії встановлюються на нових потужних тракторах МТЗ, тракторах «Слобожанець» та при переобладнанні на трактори ХТЗ. При випробуваннях встановлено, що при роботі двигунів Д-260.4 на тракторах ХТЗ і ХТА-200 «Слобожанець» на номінальному навантаженні, питома витрата палива у них на 15-20% менша, ніж у безнаддувних двигунів ЯМЗ-236М2, ЯМЗ-236Д. Крім того істотно підвищується питома потужність, покращується приємність, навіть на низьких обертах двигуна (оскільки такі двигуни мають значний запас крутного моменту), його експлуатація має більш високу паливну економічність, а робота супроводжується меншим викидом токсичних речовин у відпрацьованих газах.

Як показали випробування, проведені в Українському НДІ прогнозування та випробування техніки і технологій ім. Л. Погорілого і до-свід господарств, трактор з двигуном Д-260.4 - це трактор тягового класу 4 т. Він за своїми параметрами органічно вписується в сучасні агротехнології та агрегується з високопродуктивними машинами такими, як вітчизняні плуги оборотні ПО-5, ПЗ-51, ПЛМ-5-35, борони дискові УДА-3, 8, БДВПА-4, 2, БДТ-7, важкі культиватори КПЕ-8, посівні комплекси в складі АКГ-4, 5, СЗ-4, 5, сівалки-культиватори «Партнер», а також імпортні п'ятикорпусні оборотні плуги RS (Німеччина), плуги Diamant-9, сівалки John Deere 455, MCS, сівалки для нульової технології Great Plains, ґрунтообробні агрегати Farmet K600, TITAN 18, американський комбайн WIC-6, посівні комплекси Rapid 400C і Seed Hawk 600C (Vaderstad, Швеція) та інші.

На цих двигунах використаний найбільш перспективний засіб підвищення потужності двигуна і зменшення питомої витрати палива – регульований турбонаддув, оскільки використання турбіни з компресором, не вимагає затрат додаткової енергії. Застосування такого турбокомпресору дозволяє забезпечити необхідний закон зміни тиску наддуву залежно від навантаження. Подібними турбокомпресо-

Порівняльна таблиця витрати палива двигунами Д-260.4 і ЯМЗ-236 при агрегуванні з різними видами ґрунтообробної техніки *

Вид обробки ґрунту	Агрегуєма техніка	Витрата палива, л/га	
		Двигуном Д-260.4, л/га	Двигуном ЯМЗ-236, л/га
Боронування	борона УДА-3,8	5,5	7,7
	плуг ПЛМ-5-35	20	25 – 26
Оранка	оборотний плуг RS	17 – 18	24 (ЯМЗ-238М2)
	сівалка-культиватор «Партнер»	6,3 – 6,8	9 – 10

* В таблиці представлені реальні дані з господарств.

рами оснащуються більшість дизелів, що випускаються за рубежом для тракторів і комбайнів.

Щоб створити умови для згоряння в циліндрах ще більшої кількості палива, повітря, що стискається в компресорі, перед подачою його в циліндри двигуна охолоджується в холодильнику - інтеркуллері, який став невід'ємною частиною більшості двигунів з наддувом.

З другого боку, охолодження повітряного заряду приводить до пониження температури на початку такту стиску і дозволяє реалізувати ту ж потужність двигуна при зменшеному ступені стиску в циліндрі. Наслідком цього є зменшення температури відпрацьованих газів, що позитивно позначається на зменшенні теплового навантаження деталей камери згоряння.

Зменшення ступеня стиску у дизеля Д-260.4 до 15 і зменшення розмірів турбіни покращують типово слабкі сторони двигуна з турбонаддувом, а саме: дозволяють збільшити крутний момент при низьких частотах обертання колінчастого валу і скоротити час виходу на новий режим роботи при різкому прискоренні. Обидва ці чинники для двигуна з наддувом в експлуатаційних умовах мають велике значення таке ж, як і досягнення високої питомої потужності, оскільки трактор буде легко долати навантаження без перемикавання на нижчу передачу. Це особливо важливо для трактора, як багатопільової машини, у якого з метою підвищення його експлуатаційних показників система подачі повітря повинна забезпечувати високий ККД на експлуатаційних режимах, самих представницьких по енерговитратах.

Від характеристики системи турбонаддува залежать показники двигуна, а відповідно і трактора. Спостереження підтверджують, що при встановленні двигунів Д-260.4 оснащених регульованими турбокомпресорами на тракторах типу Т-150К (ХТЗ-170) (а таких по полях України і Росії працює понад 2000), за день роботи на оранці економіться до 40-50 літрів дизпалива в порівнянні з тракторами, обладнаними двигунами ЯМЗ при виконанні однакових робіт. Крім того, трактор з мінським, більш потужним (210 к.с.) двигуном, оре 10 га поля за той же час, за який трактор з двигуном ЯМЗ-236 оре тільки 8 га такого ж поля, тобто із використанням двигуна ММЗ продуктивність трактора зростає на 20%.

Відсутність на вітчизняному ринку сучасних економічних тракторів тягового класу 4-5 т (потужністю 200-250к.с.) обмежувало використання високопродуктивних комбінованих сільськогосподарських машин, що відповідають вимогам часу.

Мінський мотор Д-260.4 на харківських тракторах - руйнує ці перешкоди по багатьох параметрам.

Тракторам з цим двигуном під силу, наприклад, важка борона УДА-3, 8, сівалка-культиватор «Партнер», п'ятикорпусний плуг RS, які неспильні трактору з ярославською «шісткою».

Мінські мотори Д-262.2S2 (250 к.с.) мають більшу потужність, ніж їх ярославські аналоги і, що дуже важливо на комбайнах (Дон-1500), більший запас крутного моменту, що забезпечує стабільність швидкості обертання молотильного апарату комбайна при перевантаженні викликаних, наприклад, нерівностями поля та нерівномірною подачею хлібної маси - що дозволяє значно знизити втрати зерна. І в цьому випадку економія палива в порівнянні з моторами ЯМЗ складає за зміну на комбайні Дон-1500 від 50 до 70 літрів (!).