

Завдання підвищення потужності й крутного моменту двигуна була актуальна завжди. Потужність двигуна безпосередньо пов'язана з робочим об'ємом циліндрів і кількістю паливо-повітряної суміші яка подається в них. Тобто, чим більше в циліндрах згорає палива, тим більш високу потужність розвиває силовий агрегат. Однак найпростіше рішення - підвищити потужність двигуна шляхом збільшення його робочого об'єму призводить до збільшення габаритів і маси конструкції.

Кількість робочої суміші яка подається можна підняти за рахунок збільшення обертів колінчастого валу (іншими словами, реалізувати в циліндрах за одиницю часу більше число робочих циклів), але при цьому виникнуть серйозні проблеми, пов'язані зі зростанням сил інерції і різким збільшенням механічних навантажень на деталі силового агрегату, що призведе до зниження ресурсу двигуна. Найбільш дієвим способом у цій ситуації є наддування.

Такт впуску двигуна внутрішнього згорання: двигун в цей час працює як насос, до того ж вельми неефективний. На шляху повітря знаходиться повітряний фільтр, вигини впускних каналів, в бензинових двигунах - ще і дросельна заслінка. Все це, безумовно, знижує наповнення циліндра. Підняти тиск перед впускним клапаном - тоді повітря в циліндрі "поміститься" більше. При наддуванні поліпшується наповнення циліндрів свіжим зарядом, що дозволяє спалювати в циліндрах більшу кількість палива і отримувати за рахунок цього більш високу літрову потужність двигуна.

### **Види наддуву**

У ДВС застосовують три типи наддуву:

- резонансний-при якому використовується кінетична енергія об'єму повітря у впускних колекторах (нагнітач в цьому випадку не потрібен)
- механічний - у цьому варіанті компресор приводиться в обертання ременем від двигуна

- газотурбінний (або турбонаддув) - турбіна приводиться в рух потоком відпрацьованих газів.

У кожного способу свої переваги і недоліки, що визначають область застосування.

### **Резонансний наддування**

Для кращого наповнення циліндра слід підняти тиск перед впускним клапаном (рисунок 1). Між тим підвищений тиск необхідно зовсім не постійно - досить, щоб воно піднялося в момент закриття клапана і "довантажити" циліндр додатковою порцією повітря. Для короточасного підвищення тиску цілком підійде хвиля стиснення, що «гуляє» по впускному трубопроводу під час роботи двигуна. Достатньо лише розрахувати довжину самого трубопроводу, щоб хвиля, кілька разів відбившись від його кінців, прийшла до клапана в потрібний момент. Теорія проста, а от втілення її вимагає чималої винахідливості: клапан при різних обертах колінчастого валу відкритий неоднаковий час, а тому для використання ефекту резонансного наддуву потрібні впускні трубопроводи змінної довжини.

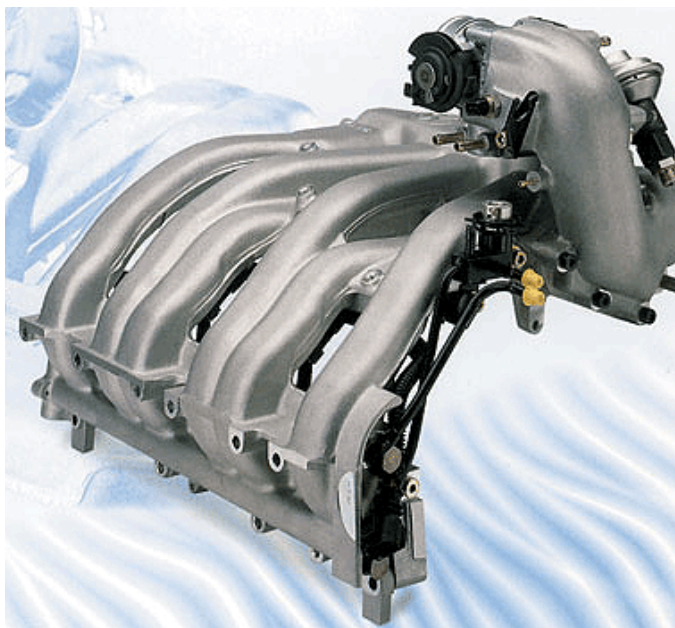


Рисунок 1- Резонансний наддування

При короткому впускному колекторі двигун краще працює на високих обертах, при низьких обертах більше ефективний довгий впускний тракт. Змінні довжини впускних трубопроводів можна створити двома способами: або шляхом підключення резонансної камери, або через переключення на потрібний впускний канал. Останній варіант називають ще динамічним наддувом. Ефекти наддуву, які створені за рахунок коливань напору повітряного потоку, знаходяться в діапазоні від 5 до 20 мілібар. Для порівняння: за допомогою турбонаддува або механічного наддування можна отримати значення в діапазоні між 750 і 1200 мілібар. Для повноти картини зазначимо, що існує ще інерційний наддування, при якому основним чинником створення надлишкового тиску перед клапаном є швидкісний напір потоку у впускному трубопроводі. Дає незначну надбавку потужності при високих (більше 140 км / год) швидкостях руху. Використовується в основному на мотоциклах.

### **Механічне наддування**

Механічні нагнітачі (по англ. Supercharger) (рисунок 2) дозволяють досить простим способом істотно підняти потужність двигуна. Маючи привід безпосередньо від колінчастого вала двигуна, компресор здатний закачувати повітря в циліндри при мінімальних обертах і без затримки збільшувати тиск наддуву суворо пропорційно обертам двигуна. Але у них є і недоліки. Вони знижують ККД ДВЗ, так як на їх привід витрачається частина потужності, що виробляється силовим агрегатом. Системи механічного наддуву займають більше місця, вимагають спеціального приводу (зубчастий ремінь або шестерний привід) і утворюють підвищений шум.

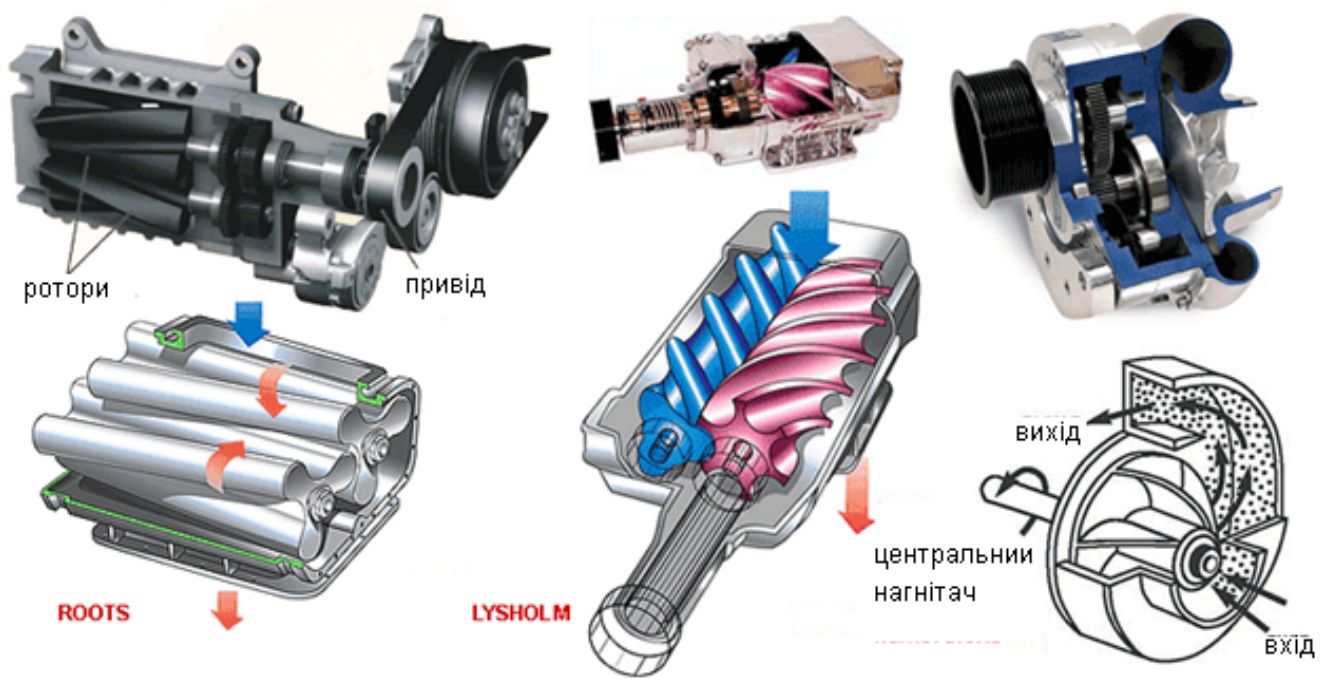


Рисунок 2- Механічні нагнітачі.

Існує два види механічних нагнітачів: об'ємні і відцентрові.

Типовими представителями об'ємних нагнітачів є нагнітач Roots і компресор Lysholm.

Конструкція Roots нагадує оливний шестерний насос. Два ротора обертаються в протилежні боки всередині овального корпусу. Вісі роторів пов'язані між собою шестернями. Особливість такої конструкції в тому, що повітря стискається не в нагнітач, а зовні - в трубопроводі, потрапляючи у простір між корпусом і роторами. Основний недолік - в обмеженому значенні наддуву. Як би бездоганно не були підігнані деталі нагнітача, при досягненні певного тиску повітря починає просочуватися назад, знижуючи ККД системи. Способів боротьби небагато: збільшити швидкість обертання роторів або зробити нагнітач двох-і навіть триступінчастим. Таким чином можна підвищити п значення тиску до прийняттого рівня, однак багатоступінчасті конструкції позбавлені своєї основної переваги - компактності. Ще одним мінусом є нерівномірне нагнітання на виході, адже повітря подається порціями. У сучасних конструкціях застосовуються ротори спіральної форми, а впускний і випускний

вікна мають трикутну форму. Завдяки цим хитрощам нагнітачі об'ємного типу практично позбулися пульсуючого ефекту. Невисокі швидкості обертання роторів, а отже, довговічність конструкції разом з низьким шумом привели до того, що ними щедро оснащують свою продукцію такі імениті бренди, як Daimler Chrysler, Ford і General Motors. Об'ємні нагнітачі (рисунок 3) піднімають криві потужності й крутного моменту, не змінюючи їх форми. Вони ефективні вже на малих і середніх оборотах, а це найкращим чином позначається на динаміці розгону. Проблема лише в тому, що подібні системи дуже примхливі у виготовленні та установці, а значить, досить дорогі.

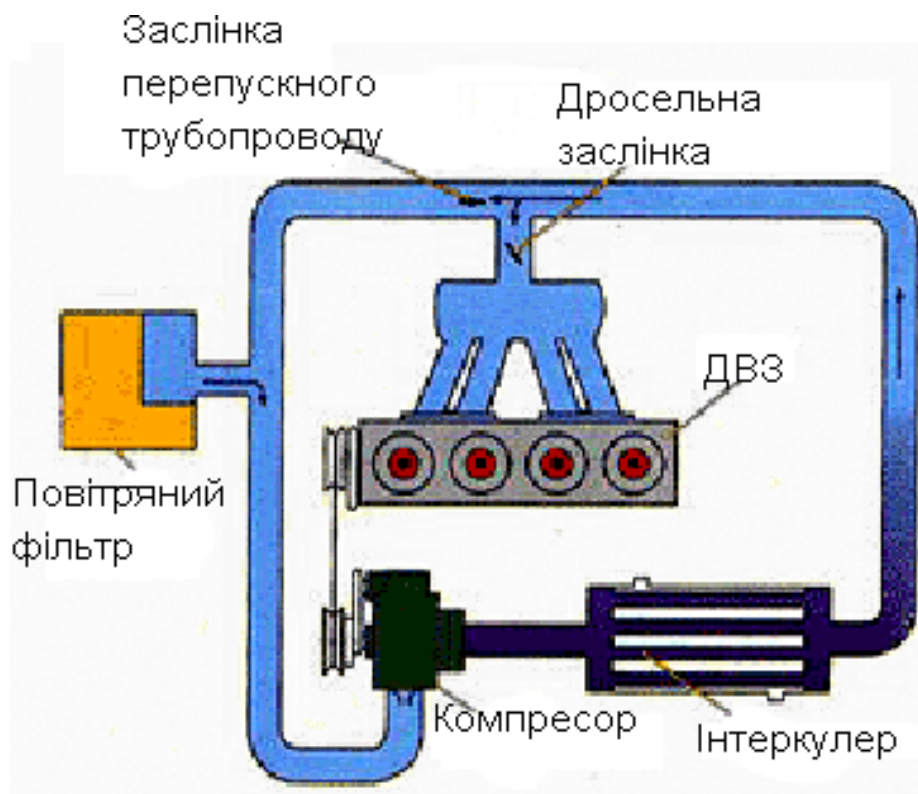


Рисунок 3- Принципова схема подачі повітря з застосуванням механічного нагнітача (компресора).

Ще один спосіб нагнітати у впускний колектор повітря під надлишковим тиском у свій час запропонував інженер Лісхольм (Lysholm). Його дітище охрестили гвинтовим нагнітачем, або «double screw» (подвійний гвинт).

Конструкція наддуву Лісхольма чимось нагадує звичайну м'ясорубку. Усередині корпусу встановлено два взаємодоповнюючих гвинтових насоса (шнека). Обертаючись у різні боки, вони захоплюють порцію повітря, стискають і заганяють її в циліндри. Характерна така система, внутрішнім стиском і мінімальними втратами, завдяки точно вивіренім зазорам. Крім того, гвинтові наддуву ефективні практично у всьому діапазоні обертів двигуна, безшумні, дуже компактні, але надзвичайно дорогі через складність у виготовленні. Однак ними не гребують такі імениті тюнінг-ательє, як AMG або Kleemann.

Відцентрові нагнітачі по конструкції нагадують турбонаддув. Надмірний тиск у впускному колекторі також створює компресорне колесо (крильчатка). Його радіальні лопаті захоплюють і відкидають повітря до кругового тунелю за допомогою відцентрової сили. Відмінність від турбонаддуву лише в приводі. Компресорне колесо повинно дуже швидко обертатись, щоб надати в циліндри необхідний повітряний заряд, деколи в десятки разів перевищуючи оберти двигуна. Ефективний відцентровий нагнітач на високих обертах. Механічні «відцентрові» не так примхливі в обслуговуванні і довговічніше газодинамічних побратимів, оскільки працюють при менш екстремальних температурах. Невибагливість, а отже, і дешевизна конструкції здобули їм популярність у сфері любительського тюнінга.

Схема управління механічним нагнітачем досить проста. При повному навантаженні заслінка перепускного трубопроводу закрыта, а дросельна відкрита - весь потік повітря надходить у двигун. При роботі з частковим навантаженням дросельна заслінка закривається, а заслінка трубопроводу відкривається - надлишок повітря повертається на вхід нагнітача. Вхідний в схему охолоджувач надувного повітря (Intercooler) є майже неодмінною складовою частиною не тільки механічних, але і газотурбінних систем наддуву. При стисканні в компресорі (або в нагнітач) повітря нагрівається, в результаті чого його щільність зменшується. Це призводить до того, що в робочому обсязі циліндра повітря, а, отже, і кисню, за масою міститься менше, ніж могло б поміститися за

відсутності нагрівання. Тому стиснене повітря перед подачею його в циліндри двигуна попередньо охолоджується в інтеркулері (рисунок 4).

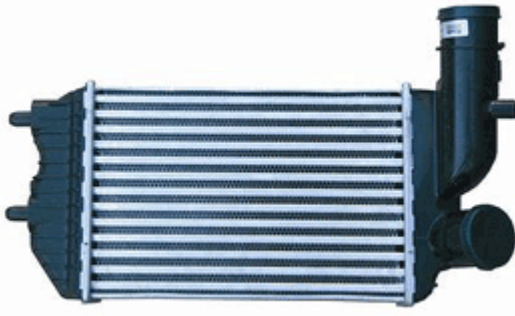


Рисунок 4- Інтеркулер.

По своїй конструкції це звичайний радіатор, що охолоджується або потоком повітря, що набігає, або охолоджувальною рідиною. Зниження температури наддувного повітря на 10 градусів дозволяє збільшити його щільність приблизно на 3%. Це, у свою чергу, дозволяє збільшити потужність двигуна приблизно на такий же відсоток.

### **Газотурбінний компресор**

Більш широко на сучасних автомобільних двигунах застосовуються турбокомпресори (рисунок 5). По суті, це той же відцентровий компресор, але з іншою схемою приводу. Це найважливіше, можна сказати, принципова відмінність механічних нагнітачів від "турбо". Саме схема приводу значною мірою визначає характеристики і області застосування тих чи інших конструкцій. У турбокомпресора крильчатка-нагнітач сидить на одному валу з крильчаткою-турбіною, яка вбудована у випускний колектор двигуна і приводиться в обертання відпрацьованими газами. Частота обертання може перевищувати 200.000 об./хв. Прямого зв'язку з колінчастим валом двигуна немає, і управління подачею повітря здійснюється за рахунок тиску відпрацьованих газів.

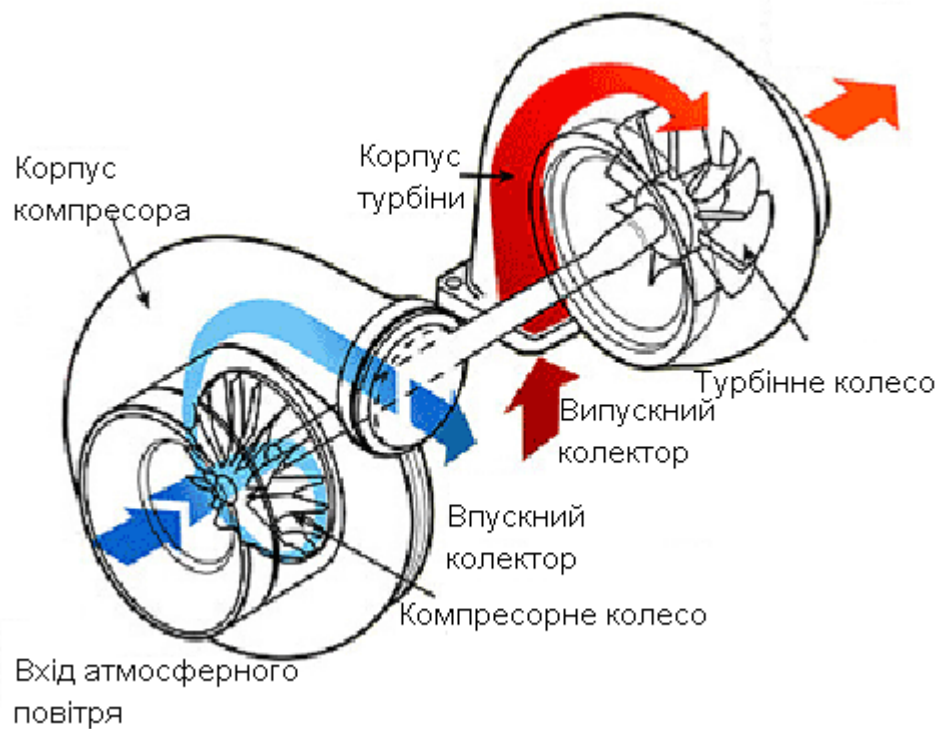


Рисунок 5- Турбонаддув.

До переваг турбонаддуву відносять: підвищення ККД і економічності двигуна (механічний привід відбирає потужність у двигуна, цей же використовує енергію відпрацьованих газів, отже, ККД збільшує). Не слід плутати питому і загальну економічність двигуна. Природно, що для роботи двигуна, потужність якого зросла за рахунок застосування турбонаддува, потрібно більше палива, ніж для аналогічного безнаддувного двигуна меншої потужності. Адже наповнення циліндрів повітрям покращують, як ми пам'ятаємо, для того, щоб спалити в них більшу кількість палива. Але масова частка палива, яка припадає на одиницю потужності в годину у двигуна, обладнаного ТН, завжди нижче, ніж у схожого



за конструкції силового агрегату, позбавленого наддуву. Турбонаддув дає можливість досягти заданих характеристик силового агрегату при менших габаритах і масі, ніж у разі застосування "атмосферного" двигуна. Крім того, у турбодвигуна краще екологічні показники. Наддування камери згоряння призводить до зниження температури і, отже, зменшення утворення оксидів азоту. У бензинових двигунах наддувом домагаються більш повного згоряння палива, особливо на перехідних режимах роботи. У дизелях додаткова подача повітря дозволяє знизити виникнення димності, тобто боротися з викидами частинок сажі (рисунок 6).



Рисунок 6- Турбонаддув ДВЗ.

Дизелі істотно краще пристосовані до наддуву взагалі, і до турбонаддуву зокрема. На відміну від бензинових двигунів, у яких тиск наддуву обмежується небезпекою виникнення детонації, їм таке явище невідомо. Дизель можна наддувати аж до досягнення граничних механічних навантажень в його механізмах. До того ж відсутність дроселювання повітря на впуску і висока ступінь стиснення забезпечують більший тиск відпрацьованих газів і їх меншу температуру в порівнянні з бензиновими двигунами. Загалом, як раз те, що потрібно для застосування турбокомпресора. Турбокомпресори більш прості у виготовленні, що перевищує ряд властивих їм недоліків.

При низькій частоті обертання двигуна кількість відпрацьованих газів невелика, відповідно, ефективність роботи компресора невисока. Крім того, турбонаддувні двигуни, як правило, мають так звані «турбояму» (по-англійськи "turbo-lag") – уповільнена реакція на збільшення подачі палива. Потрібно різко прискоритися – натискаємо на педаль акселератора, а двигун деякий час «думає» і лише потім підхоплює. Пояснення просте - потрібен час, поки двигун набере оберти, збільшиться тиск відпрацьованих газів, розкрутиться турбіна, разом з нею крильчатка нагнітача - і нарешті, "підє" повітря. Позбутися від зазначених недоліків конструктори намагаються різними способами. У першу чергу, зниженням маси деталей, що обертаються турбіни і компресора. Ротор сучасного турбокомпресора настільки малий, що легко вміщається на долоні. Зниження маси досягається не тільки конструкцією ротора, а й вибором для нього відповідних матеріалів. Основна складність при цьому-висока температура відпрацьованих газів. Металокерамічний ротор турбіни приблизно на 20% легше виготовленого з жаростійких сплавів, та до того ж володіє меншим моментом інерції. До останнього часу термін служби всього агрегату обмежувала довговічність підшипників. По суті, це були вкладиші, подібні вкладишів колінчастого валу, які змашувалися оливою під тиском. Зношення таких підшипників ковзання було, звичайно, значне, проте кулькові не витримували величезної частоти обертання і високих температур. Вихід знайшли коли вдалося розробити підшипники з керамічними кульками. Проте варто здивування не застосування кераміки - підшипники заповнені постійним запасом пластичного мастила, тобто канал від штатної масляної системи двигуна вже не потрібний. Позбутися від недоліків турбокомпресора дозволяє не тільки зменшення інерційності ротора, але і застосування додаткових, іноді досить складних схем керування тиском наддуву. При цьому основні завдання - зменшення тиску при високих обертах двигуна і підвищення його при низьких. Повністю вирішити всі проблеми можна використанням турбіни зі змінюваною геометрією (Variable Nozzle Turbine) (рисунок 7), наприклад, з рухомими (поворотними) лопатками, параметри якої можна змінювати в широких межах.

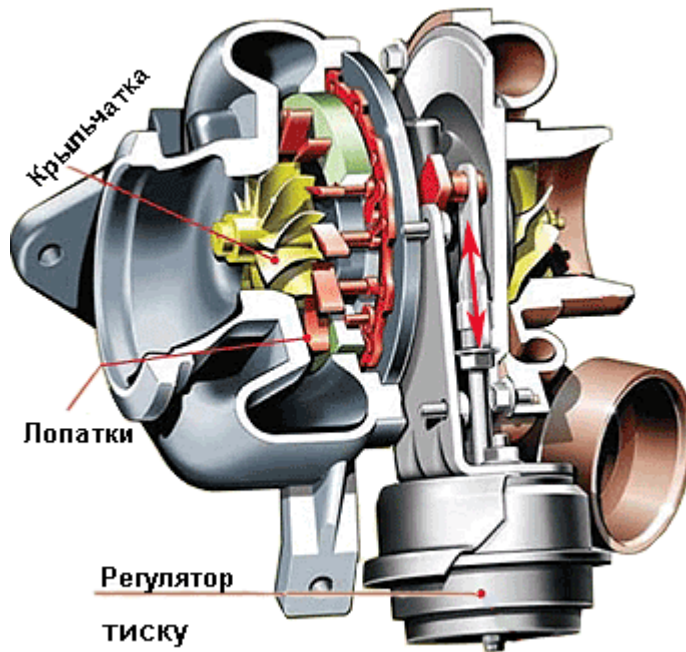


Рисунок 7 - VNT турбокомпресор.

Принцип дії VNT турбокомпресора полягає в оптимізації потоку відпрацьованих газів, що направляються на крильчатку турбіни. На низьких обертах двигуна і малій кількості відпрацьованих газів VNT турбокомпресор направляє весь потік відпрацьованих газів на колесо турбіни, тим самим збільшуючи її потужність і тиск наддуву. При високих обертах і високому рівні газового потоку турбокомпресор VNT має в своєму розпорядженні рухливі лопатки у відкритому положенні, збільшуючи площу перетину і відводиться частина відпрацьованих газів від крильчатки, захищаючи себе від перевищення обертів і підтримуючи тиск наддуву на необхідному двигуну рівні, виключаючи перенадув.

### **Комбіновані системи**

Крім одиночних систем наддуву зараз часто зустрічається і двоступінчастий наддування (рисунок 8). Перший ступінь - приводний компресор - забезпечує ефективний наддув на малих обертах ДВС, а друга - турбонагнітач - утилізує енергію вихлопних газів. Після досягнення силовим агрегатом достатніх для

нормальної роботи турбіни оборотів, компресор автоматично вимикається, а при їх падінні знову вступає в дію.

Ряд виробників встановлюють на свої мотори одразу два турбокомпресори. Такі системи називають «бітурбо» або «твінтурбо». Принципової різниці в них немає, за одним лише виключенням. «Бітурбо» має на увазі використання різних по діаметру, а отже і продуктивності, турбін. Причому алгоритм їх включення може бути як паралельним, так і послідовним (секвентальним). На низьких оборотах швидко розкручується і вступає в роботу турбонаддув маленького діаметру, на середніх до нього підключається «старший брат». Таким чином, вирівнюється розгінна характеристика автомобіля. Система дорога, тому її можна зустріти на престижних автомобілях, наприклад Maserati або Aston Martin.

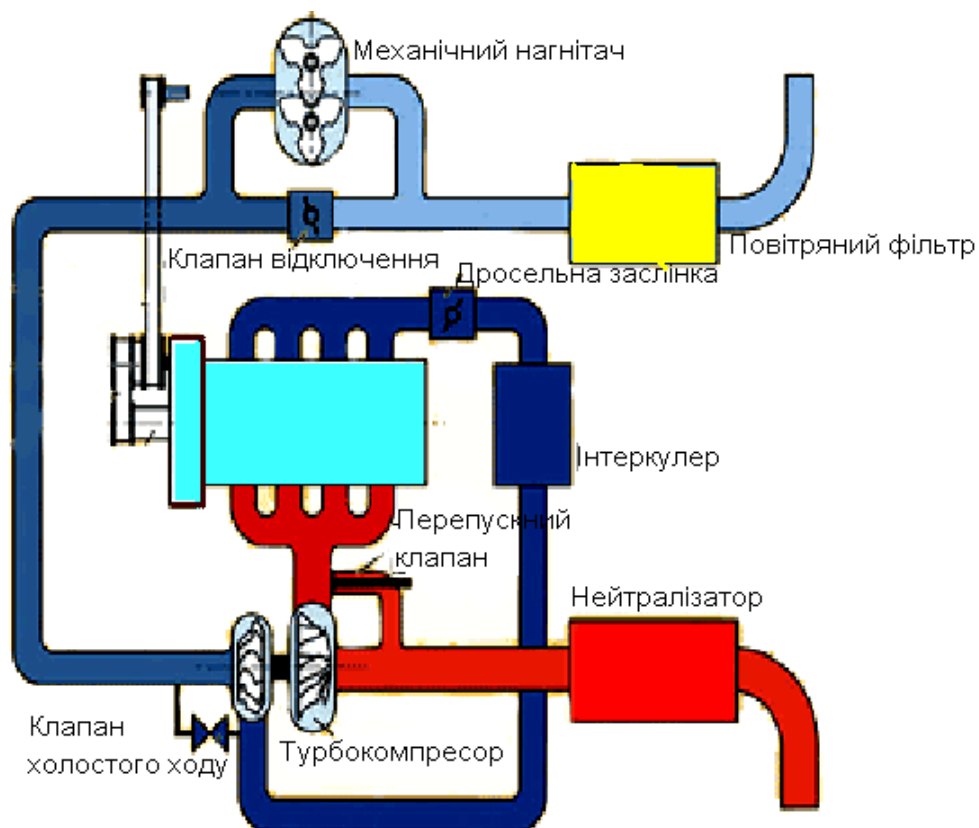


Рисунок 8- Двоступінчасте наддування.

Основне завдання «твінтурбо» полягає не в згладжуванні «турбоями», а в досягненні максимальної продуктивності. При цьому використовуються дві

однакові турбіни. Встановлюються «твін-» і «бітурбо» як на V-подібні блоки, так і на рядні двигуни. Варіанти підключення турбін також ідентичні системі «бітурбо». Справа в тому, що продуктивність турбіни безпосередньо залежить від двох її параметрів: діаметра і швидкості обертання. Обидва показники вельми капризні. Збільшення діаметру призводить до підвищення інерційності і, як наслідок, до горезвісної «турбоями». Швидкість же турбіни обмежується допустимими навантаженнями на матеріали. Тому дві скромні і менш інерційні турбіни можуть виявитися ефективніші однієї великої.

### **Рекомендації**

По-перше, вчасно міняйте масло і масляний фільтр. По-друге, використовуйте тільки масло, призначене для двигунів, обладнаних турбонаддувом, яке спочатку розраховане на більш високі температури, ніж звичайне. Але в дорозі всяке може трапитися, і якщо вам довелося залити невідоме масло, то не женіть, рухайтесь потихеньку. Двигун це масло переживе, а ось турбонаддув - не обов'язково. Приїхавши додому, відразу ж змініть масло і масляний фільтр. І, нарешті, третє, найголовніше умова нормальної роботи турбонаддува. У житті турбіни є два найвідповідальніших моменти: запуск двигуна і його зупинка. При запуску холодного двигуна масло в ньому має високу в'язкість, воно насилу прокачується по зазорах; ще не встановилися теплові зазори; нагрів різних деталей компресора, а отже, і теплове розширення, йдуть з різною швидкістю. Тому не поспішайте, дайте двигуну прогрітись. Якщо вам треба зупинитися, ніколи не глушіть двигун відразу. У залежності від режиму їзди дайте йому попрацювати на холостому ході 2-5 хвилин (взимку можна довше). За цей час вал турбіни знизить оберти до мінімальних, а деталі, що безпосередньо стикаються з відпрацьованими газами, плавно охолонуть. У цій ситуації значно полегшує життя турбо-таймер. Він простежить за тим, щоб гарячий двигун автомобіля попрацював кілька хвилин на холостому ході, охолоджуються елементи турбонаддуву, навіть якщо власник вже покинув і закрив своє авто. Втім, подібну функцію мають і багато охоронних сигналізацій.