

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.436.1

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2024.2-21.02>

АНАЛІЗ ПРИСУТНОСТІ ПРОГРЕСИВНИХ РІШЕНЬ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИСОКООБЕРТОВОГО МАЛОЛІТРАЖНОГО ДИЗЕЛЯ У ДВИГУНАХ СВІТОВОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

О.В. Грицюк

д.т.н., професор, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-5596-6254

Анотація

Вступ. Базові (які закріплюють розмірність) модифікації сімейств дизелів створюються до впровадження у серійне виробництво не менше 15 років, на протязі яких відбувається вибір основних конструктивних і регулювальних параметрів, прогнозування паливно-економічних і екологічних показників, а також формування стратегії подальшої долі наступних розробок сімейства. У роботі проведено аналіз досвіду створення вітчизняних автомобільних малолітражних високооберткових дизелів на протязі 15 років, а саме з 1998 по 2012 р. Визначено, що Харківська школа дизелебудування за своїм новим і дотепер ще останнім напрямом розвитку конструкцій вітчизняних двигунів внутрішнього згоряння створила за цей період ціле сімейство автомобільних дизелів потужністю 100–175 к. с. подвійного призначення у чотири- та шестициліндровому виконанні. **Мета.** Дана стаття аналізує той обсяг науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт вітчизняного автомобільного дизелебудування, який зробив свій внесок у світовий розвиток автомобільного транспорту. **Результати.** Визначено, що такі рішення, як 0,5 дм³ робочого об'єму циліндра, сформована зовнішня швидкісна характеристика та локальний передпусковий підігрів холодного палива, вже знайшли аналогічне застосування у сучасних закордонних конструкціях автомобільних дизелів, тоді як деякі інші ще знаходяться (винятково на думку автора) на творчому шляху до свого застосування. Серед них і зменшення відношення ходу поршня до діаметру циліндра до 0,93–0,95. **Висновки.** У матеріалі статті наведено конкретні приклади щодо кожного як конструктивного, так і регулювального рішення вітчизняного двигунобудування у сегменті автомобільного дизеля. Виконаний при цьому обсяг науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, безумовно, зробив свій внесок у світовий розвиток автомобільного транспорту.

Ключові слова: дизелі, конструктивні параметри, паливна апаратура, зовнішня швидкісна характеристика, передпускова підготовка.

ANALYSIS OF THE PRESENCE OF ADVANCED SOLUTIONS
OF THE DOMESTIC HIGH-REVVING SMALL-CAPACITY DIESEL
IN THE ENGINES OF THE WORLD AUTOMOBILE TRANSPORT

O.V. Grytsyuk

DSci., Prof., Professor of the Department of Internal Combustion Engines,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-5596-6254

Summary

Introduction. Basic (fixing the dimensions) modifications of diesel families are created before introduction into serial production for at least 15 years, during which the main structural and regulatory parameters are selected, fuel economy and environmental indicators are forecasted, and a strategy is formed for the further fate of subsequent developments of the family. In this paper, an analysis of the experience of creating domestic small-volume high-revving diesel engines for 15 years, namely from 1998 to 2012, was carried out. It was determined that the Kharkiv School of Diesel Engineering, following its new and so far the latest direction in the development of domestic internal combustion engine designs, created a whole family of automobile diesels with a capacity of 100-175 hp during this period. dual purpose in four- and six-cylinder versions. **Purpose.** This article analyzes the volume of research and development works of the domestic automotive diesel industry, which contributed to the global development of automobile transport. **Results.** It was determined that such solutions as 0.5 dm³ of the working volume of the cylinder, the formed external speed characteristic and the local pre-start warm-up of cold fuel have already found a similar application in modern foreign designs of diesel engines, while some others are still available (exclusively in the opinion of the author) on the creative path to its application. Among them is a decrease in the ratio of the stroke of the piston to the diameter of the cylinder to 0.93–0.95. **Conclusions.** In the materials of the article, specific examples are given for each of the constructive and regulatory solutions of the domestic engine industry in the automotive diesel segment. The volume of research and development work carried out at the same time definitely contributed to the global development of road transport.

Key words: diesel engines, structural parameters, fuel equipment, external speed characteristics, pre-launch preparation.

Вступ. Пропрацювавши більше 20 років на посаді головного конструктора [1], автор цього матеріалу добре усвідомлює, що базові (які закріплюють розмірність) модифікації сімейств дизелів створюються до впровадження у серійне виробництво не менше 15 років, на протязі яких відбувається вибір основних конструктивних і регулювальних параметрів, прогнозування паливно-економічних і екологічних показників, а також формування стратегії подальшої долі наступних розробок сімейства. Освоєння нового напрямку у двигунобудуванні країни, як це відбулося у нашій державі під час розроблення та намірів упровадження у виробництво малолітражного автомобільного дизеля потужністю 100–175 к. с. подвійного призначення (Слобожанський дизель) [2; 3], вимагає суттєвого технічного

переоснащення вже наявних виробництв і залучення виключно державних видатків розвитку, оскільки жодна спроба приватного капіталу підняти двигунобудівне виробництво без партнерства з державою успіху в Україні не мала.

Формулювання цілей статті. Визначити внесок Харківської школи дизелебудування [4; 5] у світовий розвиток автомобільного транспорту.

Виклад основного матеріалу. Незалежно від факту продовження долі двигуна у серійному виробництві розгляд завдання впровадження у виробництво нового сімейства відбувається лише за умови готовності базової моделі за всіма показниками вимог технічного завдання. Тобто в усіх випадках базова конструкція повинна бути доведеною до можливості почати підготовку серійного виробництва.

Базовим як у розробленні, так і у виготовленні та експлуатації вітчизняним дизелем проекту «Слобожанський дизель» для автомобільної галузі є високооборотний рядний вертикальний чотирициліндровий чотиритактний дизель 4ДТНА1 розробки ДП «Харківське конструкторське бюро з двигунобудування» (ХКБД). Натепер харківська школа дизелебудування (ХШД) довела до складальних креслень і кінцеві моделі сімейства, а саме дизелі 6ДТНА1 та 6ДТНА2 (рис. 1, 2), але власного виробництва малолітражних автомобільних дизелів усе ще не дочекалася.

Тим паче за результатами вже виконаних розробок можна констатувати про їх суттєвий внесок у світовий розвиток автомобільного транспорту.

По-перше, це вибір основних конструктивних параметрів дизеля для вантажно-пасажирських автомобілів, мінівенів і мікроавтобусів.

На базі кореляційного аналізу та аналізу на основі інформаційних показників взаємозв'язку встановлено ступінь впливу того або іншого конструктивного параметра на ефективні й експлуатаційні показники малолітражного дизеля. У результаті визначено, що відповідно до найбільш інформаційного показника – множинного інформаційного коефіцієнта зв'язку, найбільш суттєвим чинником під час створення конкурентоспроможного дизеля є узгодження значень робочого обсягу і ступеню стиснення [6].

Цей висновок обґрунтував можливість коректування відношення S/D порівняно з даними прогнозу та дав змогу з урахуванням граничних умов для створюваного базового дизеля автомобільного призначення вибрати такі основні конструктивні параметри:

Діаметр циліндра, мм	88
Хід поршня, мм	82
Робочий об'єм циліндра, дм ³	0,498
Ступінь стиснення	18,5
Відношення S/D	0,93

При цьому треба відзначити, що майже всі відомі автомобілебудівні фірми починаючи з 2010 р. і дотепер мають у своєму арсеналі 2-літрові чотирициліндрові моделі дизелів [7]. Але перевагою вітчизняного дизеля залишається найменший серед усіх цих моделей хід поршня (82 мм), що дає можливість забезпечити його сталу роботу за номінальної потужності (4200 хв⁻¹), тоді як номінальна потужність закордонних зразків світових лідерів залишається каліброваною, а саме відповідає вимогам лише 15-хвилинного діапазону її утримання під час стендових приймально-здавальних випробувань.

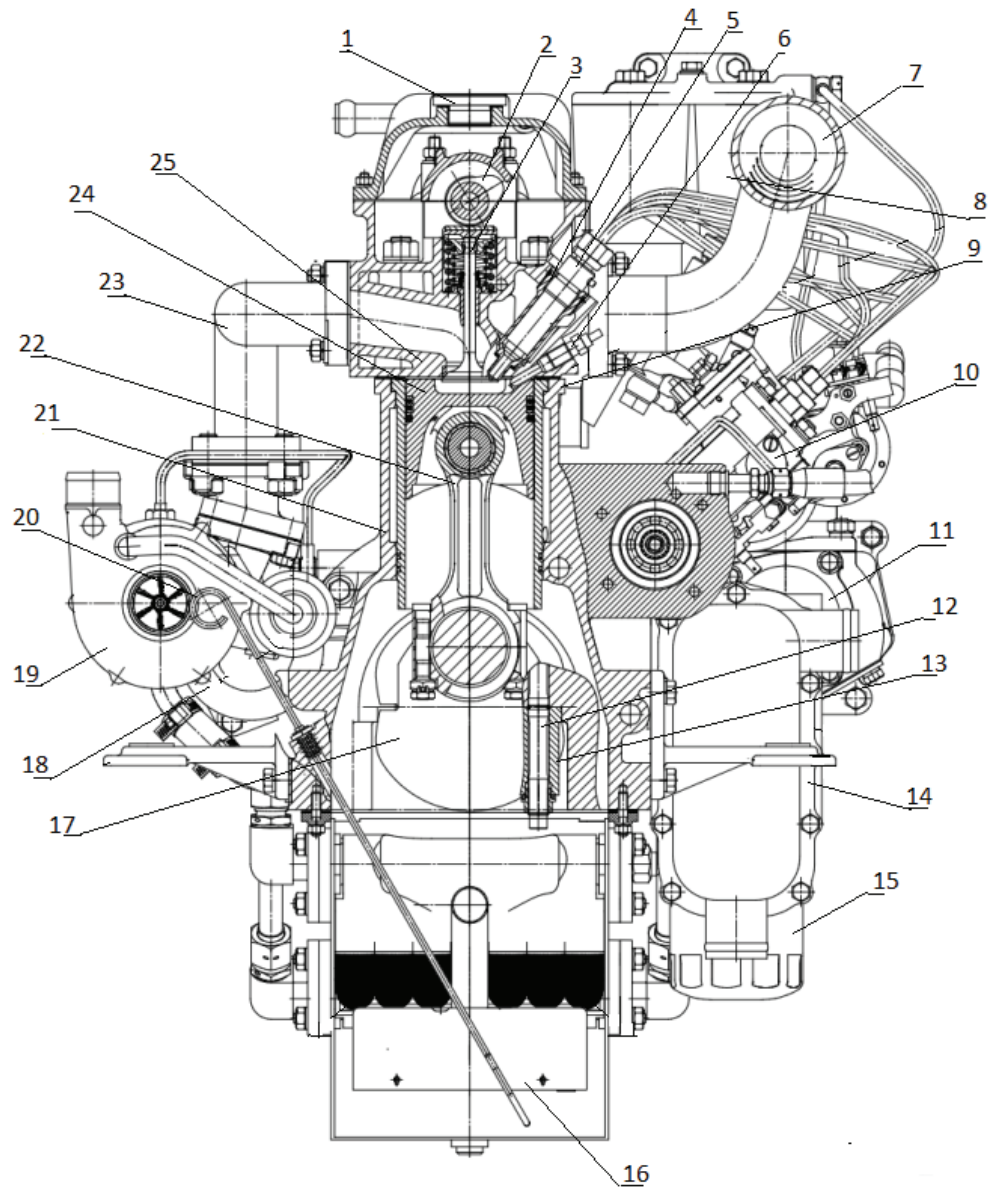


Рис. 1. Поперечний переріз дизеля 6ДТНА1:

1 – пробка маслозаливної горловини; 2 – розподільний вал; 3 – клапан;
4 – адаптер форсунки; 5 – форсунка; 6 – свічка розжарювання; 7 – колектор
впускний; 8 – фільтр паливний; 9 – гільза; 10 – паливний насос; 11 – повітряний
компресор; 12 – шпилька силова; 13 – підвіска корінної опори з підігрівачем;
14 – охолоджувач масла; 15 – фільтр масляний; 16 – маслозбірний відсік
із підігрівом; 17 – вал колінчастий; 18 – стартер; 19 – турбокомпресор;
20 – масляний щуп; 21 – блок; 22 – шатун; 23 – колектор випускний;
24 – поршень; 25 – головка циліндрів

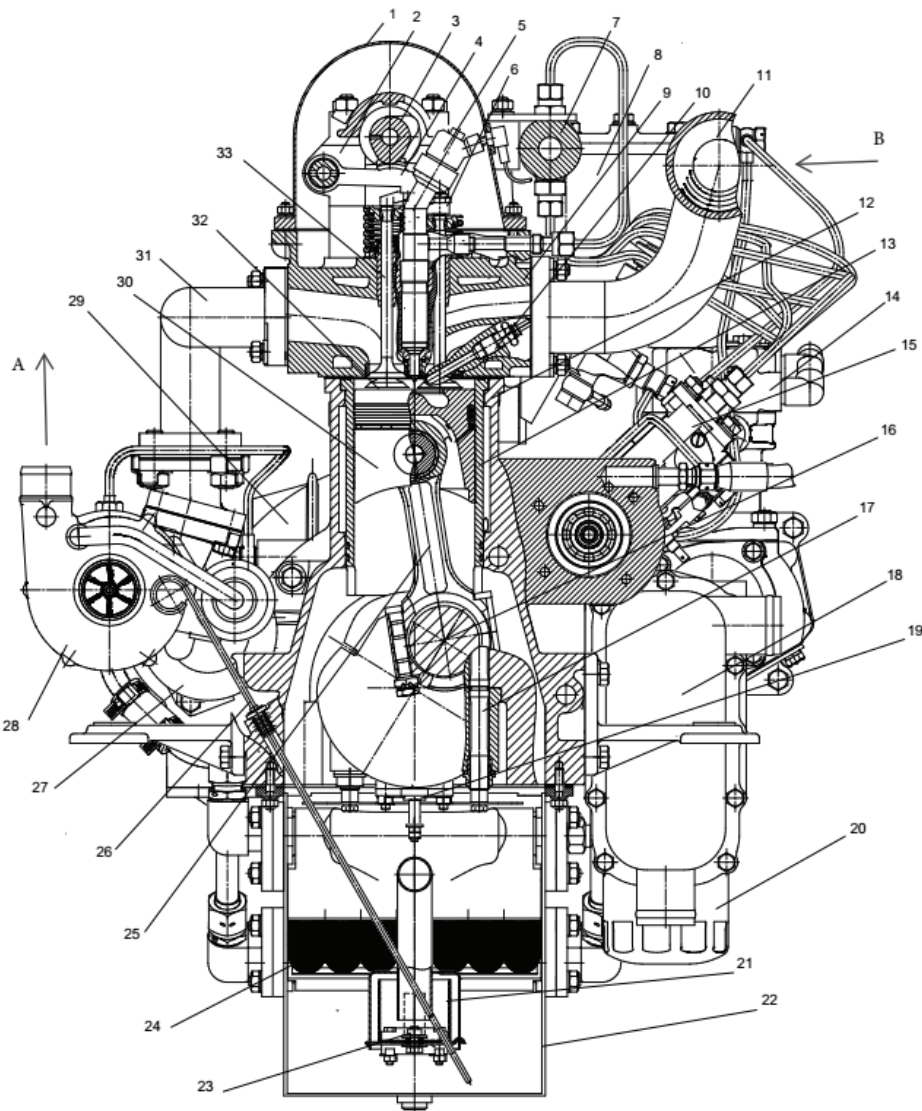


Рис. 2. Поперечний переріз дизеля 6ДТНА2:

1 – кришка головки циліндрів; 2 – корпус розподільного вала; 3 – розподільний вал; 4 – важіль; 5 – електрогідравлічна форсунка; 6 – траверса; 7 – акумулятор паливний; 8 – фільтр паливний; 9 – головка циліндрів; 10 – свічка розжарювання; 11 – колектор впускний; 12 – блок-картер; 13 – гільза циліндра; 14 – повітряний компресор; 15 – паливний насос високого тиску; 16 – вал колінчастий; 17 – шпилька силова; 18 – охолоджувач масла; 19 – підвіска корінної опори з підігрівачем; 20 – фільтр масляний; 21 – маслозбірний відсік із підігрівом; 22 – піддон картера; 23 – підігрівач масла; 24 – охолоджувач масла; 25 – шатун; 26 – щуп масляний; 27 – стартер; 28 – турбокомпресор; 29 – картер маховика; 30 – поршень; 31 – колектор випускний; 32 – клапан впускний; 33 – клапан випускний.
A – до охолоджувача наддувного повітря; B – від охолоджувача наддувного повітря

По-друге, це створення дослідних зразків оригінальної сучасної елементної бази як вузлів автомобільного дизеля.

Оскільки надійність і конкурентоспроможність автомобільного дизеля багато в чому залежать від паливної апаратури, яка, своєю чергою, є візитною карткою дизеля, ХШД паралельно створенню сучасної та вже добре відомої системи типу *CR* (*Common Rail*) розробила для двигунів подвійного призначення (із метою запобігання шкідливій дії засобів РЕБ) так звану «механічну альтернативу» – паливну апаратуру типу *HPM* (*Hydraulic Pneumatic Mechanical*), конструктивною новизною якої, окрім усього іншого, є форсунка закритого типу з найменшим у світі діаметром голки розпилювача (3,5 мм), котрі має диференціальний поршень і модулятор імпульсів тиску (рис. 3) [7].

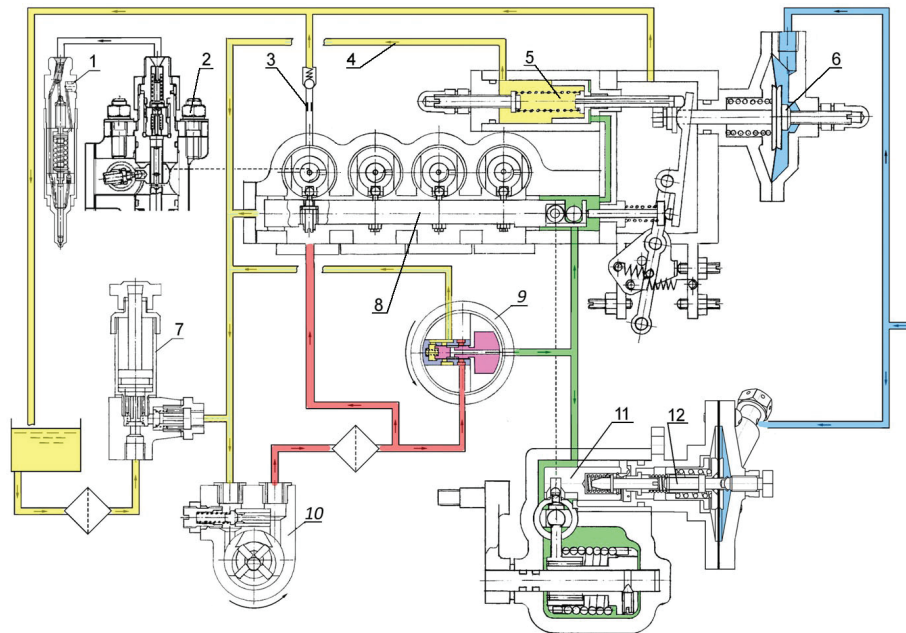


Рис. 3. Комплексна схема ПНВТ і регулятора:

1 – форсунка; 2 – секція ПНВТ; 3 – жиклер; 4 – злив палива з-під поршня паливного коректора; 5 – паливний коректор циклової подачі палива; 6 – пневматичний коректор циклової подачі палива; 7 – ручний паливопідкачувальний насос (ППН); 8 – рейка; 9 – вантаж-золотник; 10 – механічний ППН; 11 – паливний коректор КВВП; 12 – пневматичний коректор КВВП

Ця апаратура дає змогу сформувати раціональні зовнішню швидкісну (ЗШХ) та навантажувальні характеристики роботи дизеля, що, своєю чергою, є запорукою досягнення раціональних паливно-економічних і екологічних показників, причому переважно за міського циклу руху.

Пройшовши весь обсяг попередніх та визначальних випробувань, автомобільний дизель 4ДТНА1 з паливною апаратурою типу *HPM* нині знаходиться на етапі

довгострокових випробувань у складі транспортного засобу МА33, підтверджуючи з кожним кілометром своє право на визнання.

По-третє, це революційний розвиток процесів визначення та формування перебігу зовнішніх швидкісних характеристик (ЗШХ) автомобільних дизелів.

Першим вітчизняним дослідженням роботи зовнішньо навантаженого дизеля у всьому діапазоні частот обертання колінчастого вала від мінімальної частоти холостого ходу до частоти номінальної потужності є робота [8].

Продовжуючи цей почин, ЗШХ вітчизняних дизелів сімейства ДТНА було реалізовано за моделлю Грицюка – Овчиннікова [9], яка розроблена на кафедрі двигунів внутрішнього згоряння Харківського національного автомобільно-дорожнього університету та в якій ЗШХ поділено на дві швидкісні ділянки – ділянку від $n_{\text{мін}}$ до $n_{\text{Мкр}}$ і ділянку від $n_{\text{Мкр}}$ до $n_{\text{ном}}$, на кожній з яких застосовано свої критерії формування – K_p (коефіцієнт розгону, $K_p = Mn_{\text{мін}} / M_{Ne}$) та K_M (коефіцієнт пристосованості) – за одночасного обґрунтування загального критерію ЗШХ у цілому – коефіцієнта адаптації K_A ($K_A = K_M \cdot K_p$).

Автомобільний дизель може вважатися адаптованим до вантажно-пасажирських автомобілів, мінівенів та мікроавтобусів при $K_p \sim 0,6-0,85$; $K_A \sim 0,7-1,25$.

Графік реального перебігу ЗШХ крутного моменту M_e найновішого двигуна сімейства, а саме дизеля 6ДТНА2, показано на рис. 4.

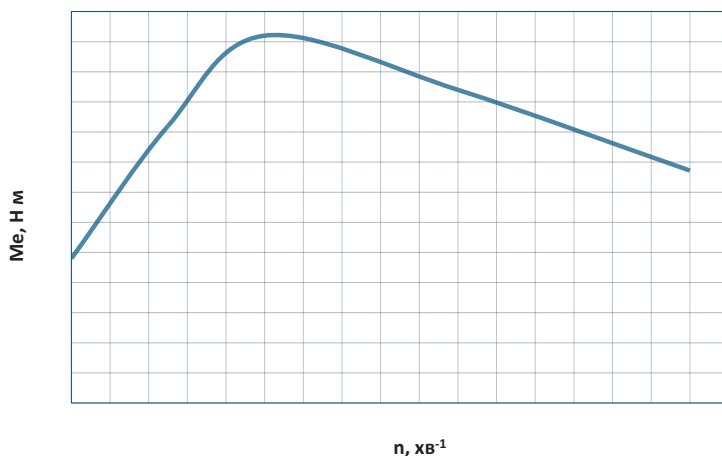


Рис. 4. ЗШХ крутного моменту M_e дизеля 6ДТНА2

По-четверте, це суттєві пропозиції більш ефективного рішення проблеми пуску холодного автомобільного дизеля у зимовий період експлуатації.

Для виконання сучасних вимог до сумарного викиду шкідливих речовин із відпрацьованими газами дизелів транспортних засобів дуже важливо виключити роботу режиму прогріву двигуна після холодного пуску. Саме для цього ХШД ще на початку нинішнього століття розроблені та гарно відпрацьовані нові способи передпускової підготовки з використанням як бортових, так і зовнішніх джерел електроживлення. Для загального використання створено системи локального

передпускового підігріву корінних опор колінчастого вала, масла в маслозбірному відсіку та палива вздовж магістралі низького тиску [4]. Із цією метою як нагрівальні пристрої уперше у світі використано запатентовані в Україні (за участю автора в 2004 р.) малогабаритні позисторні нагрівальні елементи (ПНЕ).

І якщо проблема збільшення тертя у вузлах холодного двигуна на закордонних дизелях-аналогах усе ще вирішується застосуванням дорогого синтетичного моторного масла з перемінною в'язкістю, то ідеологія підігріву палива для паливної апаратури холодного дизеля вже успішно реалізована (звісно, що без узгодження з авторами) у складі сучасного автомобільного транспорту, прикладом чого є конструкція паливного фільтра дизеля кросовера Renault Duster 2017 р. виготовлення, авторські фото якого показані на рис. 5 і 6.



Рис. 5. Фільтр паливний дизеля кросовера Renault Duster 2017 р. виготовлення



Рис. 6. Розташування трьох малогабаритних ПНЕ перед фільтроелементом у корпусі паливного фільтра кросовера Renault Duster

Висновки. Аналіз досвіду автора щодо процесу створення вітчизняних двигунів показав, що на протязі 15 років, а саме з 1998 по 2012 р., Харківська школа дизелебудування за своїм новим і дотепер ще останнім напрямом розвитку конструкцій вітчизняних ДВЗ розробила ціле сімейство автомобільних дизелів потужністю 100–175 к. с. подвійного призначення у чотири- та шестициліндровому виконанні. Виконаний при цьому обсяг науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, безумовно, зробив свій внесок у світовий розвиток автомобільного транспорту, а саме:

– обґрунтування та впровадження у конструкцію автомобільного дизеля робочого об'єму циліндра 0,5 дм³;

– цільове формування ЗШХ у повному діапазоні експлуатаційних частот обертання колінчастого вала – від режиму мінімальної частоти холостого ходу до режиму номінальної частоти з одночасним застосуванням визначених критеріїв цього формування;

– перед- і післяпусковий підігрів палива у паливному фільтрі у зимовий період експлуатації з використанням позисторних нагрівальних елементів.

Цілком імовірно, що на шляху до впровадження вже знаходяться:

– зменшення відношення S/D до 0,93–0,95;

– упровадження у виробництво розпилювачів паливних форсунок із діаметром голки 3,5 мм;

– паливна апаратура типу *HPM (Hydraulic Pneumatic Mechanical)*;

– локальний передпусковий підігрів корінних опор колінчастого вала та масла в маслозабірному відсіку за допомогою малогабаритних позисторних нагрівальних елементів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грицюк О.В. Відповідальність головного конструктора за долю розробки. *Збірник статей головного конструктора зі створення малолітражних дизелів. Saarbrücken, 2017. 90 с. ISBN 978-620-2-00678-1.*
2. Грицюк О.В., Парсаданов І.В., Мотора О.А. Новий напрям у дизелебудуванні України. *Двигуни внутрішнього згорання. 2011. № 1. С. 48–53.*
3. Техніко-економічне обґрунтування необхідності державної підтримки у виконанні інноваційно-інвестиційного проєкту: розроблення та впровадження у виробництво малолітражного автомобільного дизеля потужністю 100–175 к. с. подвійного призначення (Слобожанський дизель) : монографія / Ф.І. Абрамчук та ін. ; за ред. Ф.І. Абрамчука, О.В. Грицюка, І.А. Дмитрієва. Харків : ХНАДУ, 2012. 164 с.
4. Грицюк О.В. Теоретичні основи та практичні методи створення високообертового малолітражного дизеля багатоцільового призначення : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.05.03. Харків, 2010. 39 с.
5. У витоків читання лекцій і створення наукової школи з двигунобудування у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» / А.П. Марченко та ін. *Двигуни внутрішнього згорання. 2011. № 1. С. 15–21.*

6. Грицюк О.В. Випускники ТМ факультету Харківського політеху у Харківському конструкторському бюро з двигунобудування. *Двигуни внутрішнього згоряння*. 2015. № 1. С. 85–89.
7. Овчинніков О.О. Покращення показників високообертового автомобільного дизеля шляхом раціонального управління паливоподачею : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03. Харків, 2016. 20 с.
8. Грицюк О.В., Дубровський В.З. Механізм впливу пускового повітря на крутний момент двухтактного високообертового транспортного дизеля у процесі його пуску. *Двигуни внутрішнього згоряння*. 1988. Вип. 47. С. 23–28.
9. Грицюк О.В., Овчинніков О.О. Вибір та обґрунтування додаткових критеріїв формування зовнішньої швидкісної характеристики автомобільного дизеля. *Двигуни внутрішнього згоряння*. 2014. № 1. С. 109–116.

REFERENCES

1. Grytsyuk O.V. (2017) Responsibility of the chief designer for the fate of the development. A collection of articles by the chief designer on the creation of small diesel engines [Vidpovidalnist holovnoho konstruktora za doliu rozrobky. Zbirnyk statei holovnoho konstruktora zi stvorennia malolitrazhnykh dyzeliv] Saarbrücken: LAMBERT Academic Publishing, 90 p.
2. Grytsyuk O.V., Parsadanov I.V., Motora O.A. (2011) A new direction in diesel construction in Ukraine [Novyi napriamok u dyzelebuduvanni Ukrainy] Internal combustion engines. No. 1, Pp. 48–53.
3. Abramchuk F.I., Alyokhin S.O., Belov M.L. et al., (2012) Technical and economic substantiation of the need for state support in the implementation of the innovation and investment project «Development and implementation in the production of a small car diesel engine with a capacity of 100–175 hp. dual purpose (Slobozhansky diesel)» [Tekhniko-ekonomichne obhruntuvannya neobkhidnosti derzhavnoi pidtrymky u vykonanni innovatsiino-investytsiinoho proektu «Rozroblennia ta vprovadzhennia u vyrobnytstvo malolitrazhnoho avtomobilnoho dyzelia potuzhnistiu 100–175 k.s. podviinoho pryznachennia (Slobozhanskyi dyzel)»], KhNAHU, Kharkiv, 164 p.
4. Grytsyuk O.V. (2010), Theoretical foundations and practical methods of creating a high-revving low-displacement multi-purpose diesel engine [Teoretychni osnovy ta praktychni metody stvorennia vysokoobertovoho malolitrazhnoho dyzelia bahatotsilovoho pryznachennia: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stup. doktora tekhn. nauk: sp. 05.05.03 «Dvyhuny ta enerhetychni ustanovky»], Kharkiv, 39 p.
5. Marchenko A.P., Pylov V.A, Semenenko L.P. et al. (2011) In the origins of lectures and the creation of a scientific school for engine construction at the National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute» [U vytokiv chytannia lektsyi ta stvorennia naukovoї shkoly

- zi dvyhunobuduvanni u Natsyonalnomy tekhnicheskomy unyversytete «Kharkovskyy polytekhnicheskyy instytut») Internal combustion engines. No. 1, Pp. 15–21.
6. Grytsyuk O.V. (2015) Graduates of TM Faculty of Kharkiv Polytechnic University of Kharkiv Design Bureau for Engine Construction [Vypusknyky TM fakulteta Kharkivskoho polytekha u Kharkivskom konstruktorskom biuro zi dvyhunobuduvanniu] Internal combustion engines. No. 1, Pp. 85–89.
 7. Ovchinnikov O.O. (2016) Improving the performance of a high-speed automotive diesel engine through rational fuel supply management [Pokrashchenia pokaznykiv vysokoobertovoho avtomobilnoho dyzelia shliakhom ratsionalnoho upravlinnia palyvopodacheiu: avtoref. dys. na zdobuttia naukovooho stupenia kand. tekhn. nauk: spets. 05.05.03 «Dvyhuny ta enerhetychni ustanovky»), Kharkiv, 20 p.
 8. Grytsyuk O.V., Dubrovsky V.Z. (1988) The mechanism of the effect of starting air on the torque of a two-stroke high-speed transport diesel engine during its start-up [Mekhanizm vplyvu puskovoho povitria na krutnyi moment dvukhtaktnoho vysokoobertovoho transportnoho dyzelia pry yoho pusku] Internal combustion engines. No. 47, Pp. 23–28.
 9. Grytsyuk O.V., Ovchinnikov O.O. (2014) Selection and substantiation of additional criteria for the formation of the external speed characteristics of a car diesel engine [Vybir ta obgruntuvannia dodatkovykh kryteriiv formuvannia zovnishnoi shvydkisnoi kharakterystyky avtomobilnoho dyzelia] Internal combustion engines. No. 1, Pp. 109–116.