

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПРИВІДНОГО НАГНІТАЧА ROTREX ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В СИСТЕМАХ НАДДУВУ

Лисовал А.А., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна,
li-dvz@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-6168-4010

RESEARCH OPPORTUNITIES OF ROTREX SUPERCHARGER FOR APPLICATION IN EXHAUST SYSTEMS

Lisoval A.A., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine,
li-dvz@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-6168-4010

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИВІДНОГО НАГНІТАТЕЛЯ ROTREX ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМАХ НАДДУВА

Лисовал А.А., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев,
Украина, li-dvz@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-6168-4010

Постановка проблеми і аналіз останніх досліджень.

Відомо, що приводні нагнітачі (компресори) наддуву використовуються на поршневих двигунах внутрішнього згорання давно. Спочатку це були роторно-зубчасті нагнітачі типу Рутса, потім – гвинтові і відцентрові [1]. Всі вони мають прискорюючу передачу і відбирають енергію на свій привод від колінчастого вала. З цієї причини приводні нагнітачі програють газотурбінному наддуву за максимальним значенням ступеня підвищення тиску наддуву. Мають приводні нагнітачі і переваги, одна із них – практично безінерційна подача повітря наддуву при зміні частоти обертання колінчастого вала двигуна.

На автомобілях і мотоциклетній техніці приводні нагнітачі, найчастіше, застосовують на двигунах з іскровим запалюванням для підвищення динамічних якостей колісного транспортного засобу, наприклад – це серійні моделі та тюнінгові модифікації легкових автомобілів Мерседес-Бенц, Хонда, Субару, Форд. На серійних бензинових двигунах з механічним приводом компресора надлишковий тиск наддуву не перевищує 0,08 ... 0,10 МПа. На автотракторних дизелях приводні нагнітачі застосовувалися вже давно – на двотактних дизелях [2, 3], а зараз знаходять застосування в двоступеневих системах комбінованого наддуву [1].

Виробники систем наддуву постійно ведуть роботи з удосконалення конструкцій як турбокомпресорів, так і приводних нагнітачів (компресорів). Результатом удосконалення є збільшення к.к.д. агрегатів наддуву, зменшення гідравлічного опору для газових потоків, зменшення тертя в приводі та підшипниках.

Мета статті – описання конструкції та дослідження нових приводних нагнітачів Rotrex серії C15, де для забезпечення високого тиску наддуву і к.к.д. застосовано відцентрове компресорне колесо, безударну планетарну передачу оригінальної конструкції, спеціальну систему мащення-охолодження.

Завдання дослідження: проаналізувати особливості конструкції нових приводних відцентрових компресорів фірми Rotrex серії C15, розробити стенд для безмоторних досліджень відцентрових компресорів, виконати випробування компресора серії C15 на створеному безмоторному стенді, проаналізувати результати випробувань, розробити рекомендації щодо можливостей застосування приводних відцентрових компресорів фірми Rotrex серії C15.

Особливості конструкції приводного нагнітача.

Особливістю відцентрових нагнітачів серії C15 є компактність і швидкохідність – частота обертання вала колеса компресора досягає 200000 хв⁻¹.

Значення максимального ступеня підвищення тиску (π_k) досягають 2,45 ... 2,94 за секундних витрат повітря 0,12 ... 0,10 кг/с відповідно для модифікацій C15-16 і C15-20. Ці модифікації розраховані на максимальну витрату повітря до 0,15 кг/с і застосовуються при форсуванні двигуна внутрішнього згорання до 120 ... 125 кВт.

Модифікація нагнітача C15-60 розрахована вже на витрату повітря до 0,22 кг/с і максимальне значення $\pi_k = 2,35$. З таким відцентровим компресором можливе форсування двигуна внутрішнього згорання до 175 кВт.

Зовнішні габаритні розміри відцентрових нагнітачів серії C15 показані на рис. 1.

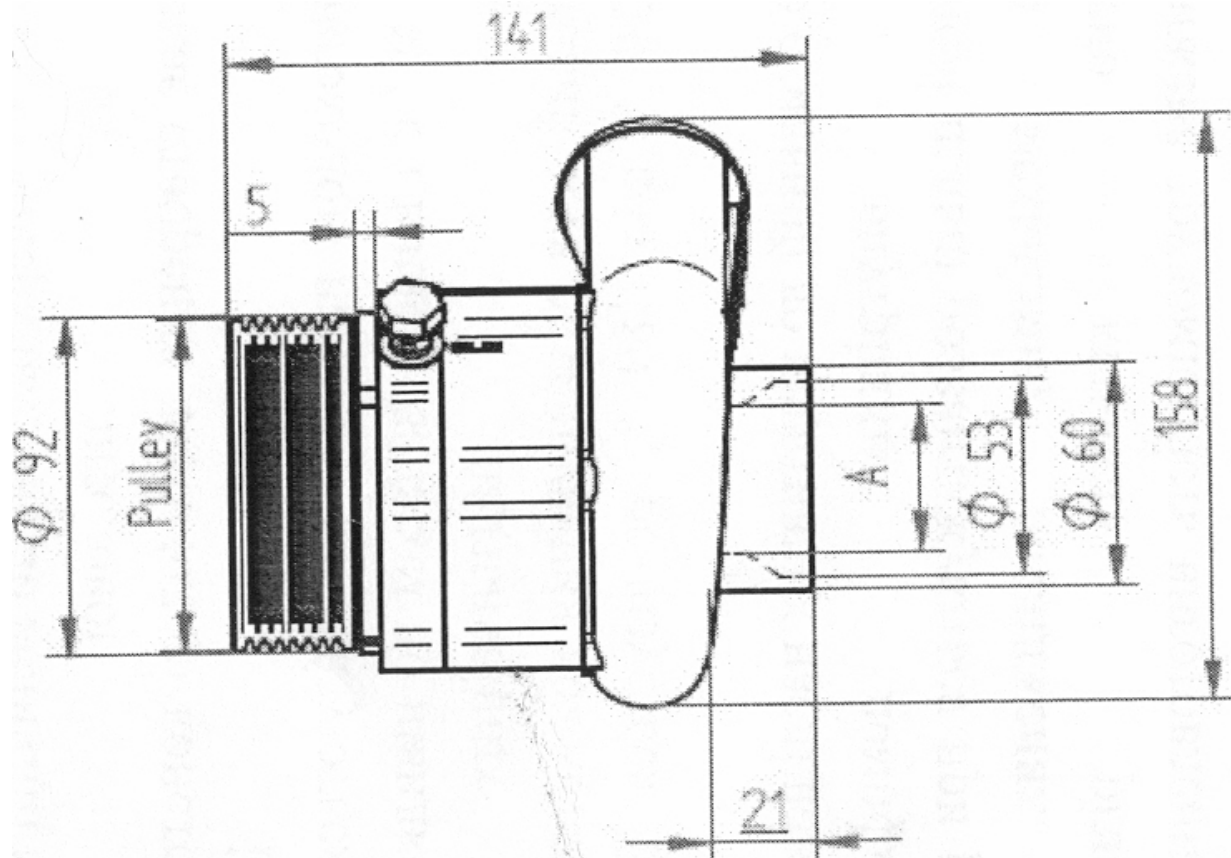


Рисунок 1 – Зовнішні розміри відцентрових нагнітачів Rotrex серії C15
Figure 1 – External dimensions of Rotrex centrifugal superchargers of model C15

Зовні модифікації відцентрових нагнітачів C15 відрізняються розміром вхідного отвору в компресор (позиція A на рис. 1) і можлива установка різних шківів (позиція Pully на рис. 1) для 7-ми або 8-ми струмкового паса. Крім того, кожна модифікація може мати 6 варіантів, тому що можливо при установці повертати корпус компресора на 60 град [4].

Колесо компресора з двома рядами лопаток різної висоти, розміщених у напрямку радіуса, приводиться в рух від вихідного і планетарної передачі. Остання отримує крутний момент від шківів (позиція Pully на рис. 1), який через 7-ми або 8-ми струмковий пасок створює кінематичний зв'язок з колінчастим валом двигуна. Дифузор щільний (без лопатковий), переходить в корпус типу равлик.

Зазвичай, у відцентрових приводних компресорах застосовують одноступеневу прискорюючу або планетарну передачі шестеренного типу [5]. Фірма Rotrex застосувала в планетарній передачі замість шестерні-сателітів циліндричні ролики з опорами на кулькових підшипниках, тобто передача крутного моменту від сонячної «шестерні без зубів» через три ролика-сателіта передається валу колеса компресора завдяки силам тертя між лініями контакту.

Конструкція нагнітача серії C15 є компактною, швидкохідною, з високими значеннями к.к.д. та малошумна. Для цієї серії відцентрових компресорів передавальне число безударної планетарної передачі становить 12,67.

Високі значення к.к.д. та передавальних чисел для такого виду безударних планетарних передач опосередковано підтверджено дослідженнями німецької філії фірми NSK. Ця фірма спеціалізується на розробці трансмісій для гібридних автомобілів і електромобілів [6]. Дослідники NSK використовують в конструкціях трансмісій, планетарних передачах не тільки ролики, але і конічні і кулькові сателіти.

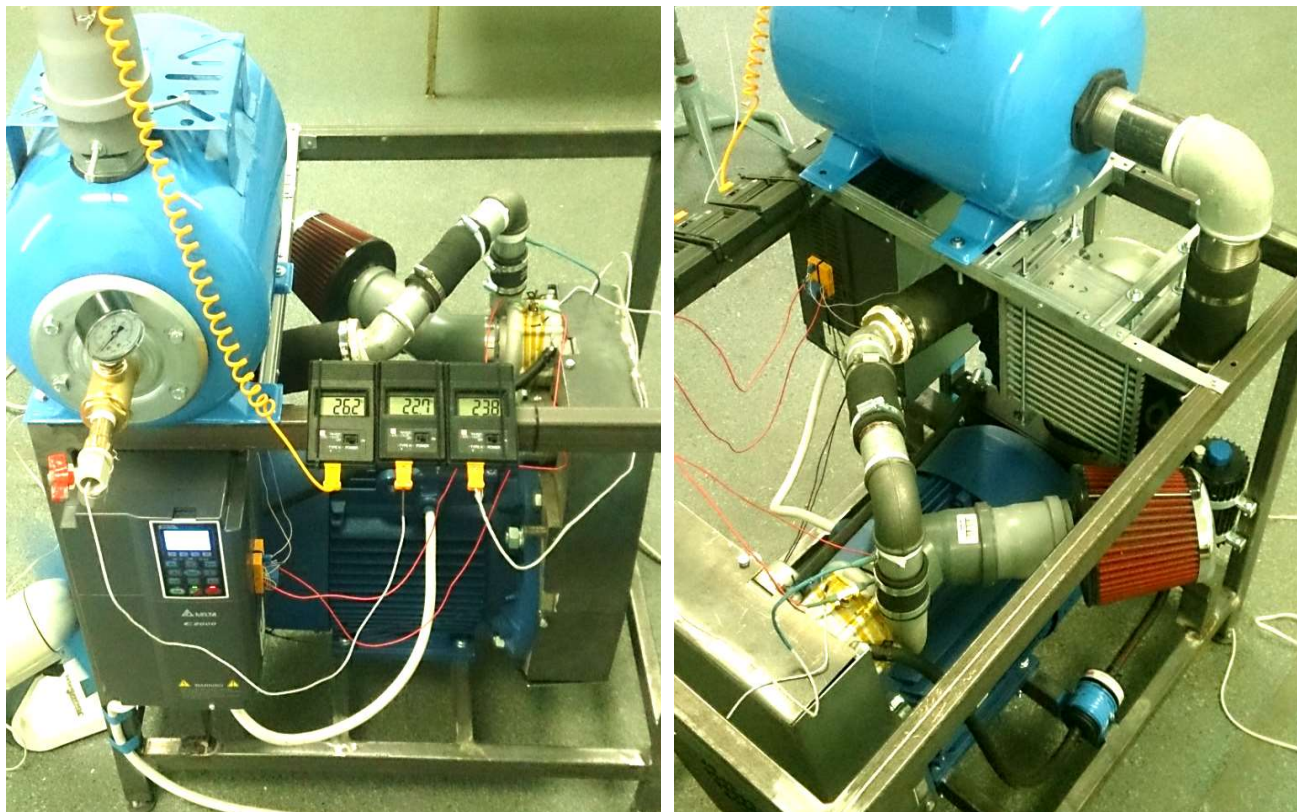
Складовою частиною безударної планетарної передачі є індивідуальна система мащення-охолодження, яка входить в комплект поставки від фірми Rotrex. Оригінальною є і олива для цієї системи мащення-охолодження.

Стенд для випробування приводного компресора.

За програмою інноваційного проекту «Динамічні системи повітряного охолодження» (DAS) для переробної галузі агропромислового комплексу (АПК) був придбаний відцентровий приводний нагнітач Rotrex серії C15-20 і виготовлений стенд для газодинамічних досліджень. Динамічна система промислового охолодження для АПК на даний час не описується.

На розробленому стенді моделювали роботу відцентрового компресора на автомобілі.

Загальний вид стенда для випробування нагнітача C15-20 показано на рис. 2.



а)

б)

Рисунок 2 – Вид стенда для випробувань відцентрового компресора C15-20:

а) збоку; б) зверху.

Figure 2 – Type of stand for testing the centrifugal superchargers of model C15-20:

a) sideways; b) from above.

Відцентровий нагнітач закріплений горизонтально відносно рами стенда та осі обертання вала однофазного електромотора змінного струму. Потужність електромотора 15 кВт.

Кінематичний зв'язок з ведучим валом безударної планетарної передачі здійснюється через шків і 7-ми струмковий пасок. Загальне передавальне число від вала електромотора через пасову і планетарну передачі до вала колеса компресора становить $3,4 \times 12,67 = 43$.

Після відцентрового компресора стиснуте повітря, надходить у проміжний охолоджувач (інтеркулер) типу повітря-повітря. Охолоджуючий потік зовнішнього повітря створювався повітряним вентилятором з електричним приводом.

Після охолоджувача стиснуте повітря надходило в ресивер, де на виході встановлювалися витратні шайби з каліброваними отворами для моделювання споживача повітря.

Частота обертання вала електромотора регулювалася за допомогою програмованого мікроконтролера, який регулював частоту електричного струму. Мікроконтролер дозволяв виставляти і утримувати частоту обертання вала електромотора з точністю 1 хв^{-1} .

Температура повітря до і після компресора і охолоджувача вимірювалася термопарами з цифровою індикацією. Опосередковано контролювали температуру оливи – вимірювали термпарою температуру на корпусі безударної планетарної передачі.

Для визначення витрати повітря вимірювали швидкість потоку за допомогою цифрового анемометра Benetech GM8901.

Результати випробувань.

Випробування відцентрового нагнітача С15-20 проводили за сталих режимів на розробленому стенді. В ручному режимі на мікроконтролері виставляли необхідну електричну частоту струму, витримували робочу температуру нагнітача і визначали параметри повітряного потоку. В ході випробувань міняли спеціальні витратні шайби, діаметр отвору в яких був від 9 мм до 16 мм. Витратні шайби встановлювали, як після ресивера, так і після компресора.

У табл. 1 наведено фрагмент протоколу випробувань відцентрового компресора з встановленою на виході витратною шайбою з діаметрами отвору 14 мм.

Таблиця 1 – Результати випробувань з витратною шайбою з діаметром отвору 14 мм
Table 1 – Test results with a flow washer with a hole diameter of 14 mm

Частота струму електромотора, Гц	Частота обертання вала електромотора, хв^{-1}	Частота обертання вала компресора, хв^{-1}	Швидкість потоку повітря, м/с
38,1	2322	100 000	16,3
41,9	2558	110 000	19,1
45,8	2791	120 000	20,9
49,5	3024	130 000	22,4
53,3	3255	140 000	23,2
57,1	3488	150 000	24,1
61,0	3724	160 000	25,1
64,8	3958	170 000	26,6

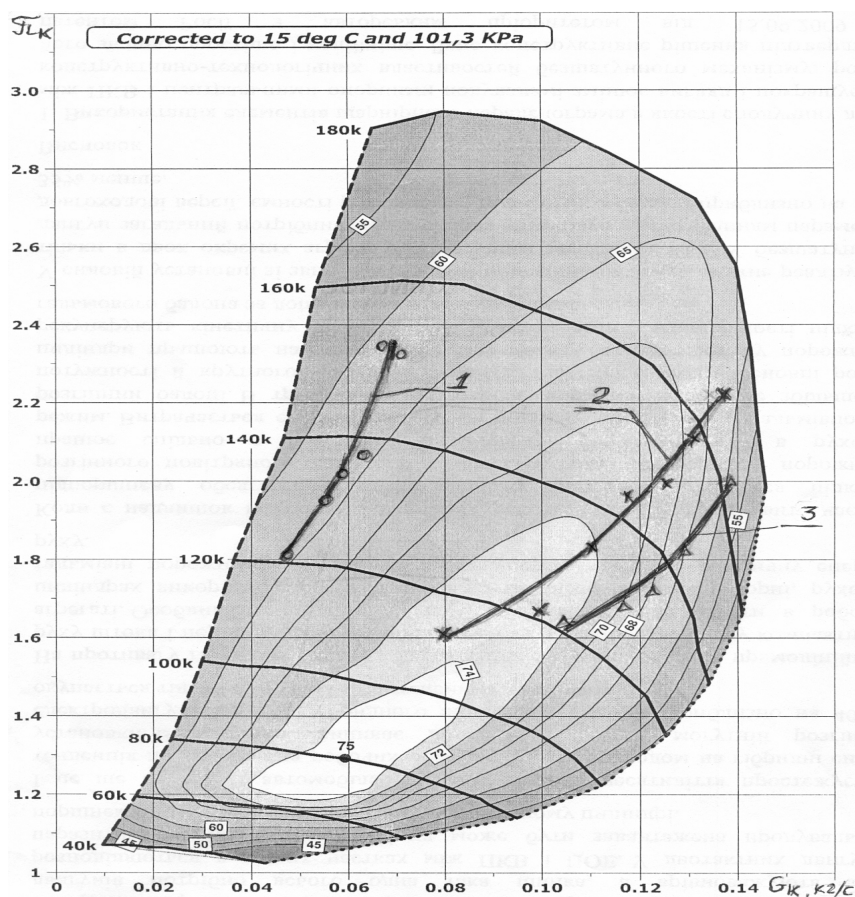


Рисунок 3 – Характеристика серійного С15-20 з нанесеними витратними характеристиками споживача при установці спеціальних шайб з діаметром отвору:

1 – 10,1 мм; 2 – 14,0 мм; 3 – 16,0 мм.

Figure 3 – Factory characteristics C15-20 with deposited consumption characteristics of the consumer when installing special washers with hole diameter:

1 – 10,1 mm; 2 – 14,0 mm; 3 – 16,0 mm.

За результатами випробувань визначили гідравлічні витратні характеристики після ресивера і після компресора. На рис. 3 показані експериментальні гідравлічні витратні характеристики компресора при установці спеціальних шайб з діаметром отворів 10,1; 14,0; 16,0 мм, які нанесені на характеристику серійного компресора C15-20 фірми Rotrex

На рис. 3 видно, що із зростанням частоти обертання вала компресора і при збільшенні витрати споживачем характеристики при постійній частоті обертання серійного компресора різко знижуються і потрапляють в зону малих значень к.к.д. Це відчувалося вже після 130000 хв⁻¹ вала компресора. З цієї причини досягти високого тиску наддуву на зібраному стенді з витратними шайбами з діаметром отворів 12,6 мм і більше не вдалося. Стрімке падіння частоти обертання вала компресора в зону низьких к.к.д. за великих витрат споживача – це негативний момент в роботі нагнітача C15-20.

Максимальний надлишковий тиск після компресора протягом тривалого періоду часу, який вдалося отримати з витратною шайбою з діаметром отвору 10,1 мм (позиція 1 на рис. 3), становив 1,3 МПа. Температура повітря після компресора була 120 ... 130⁰С.

Нагнітач C15-20 краще застосовувати для форсування бензинових двигунів легкових автомобілів, для покращення динамічних властивостей автомобіля.

Характеристики серійних модифікацій C15-16, C15-60 відрізняються від C15-20 кутом нахилу кривих за постійної частоти обертання компресора, швидкохідністю і зміщенням найвищих значень к.к.д. в зону вищих частот обертання компресора [4].

Нагнітач C15-60 може бути використаний самостійно і на дизелях, через більші витрати повітря. Всі нагнітачі серії C15 можуть бути використані в комбінованих системах наддуву. Для створення останніх необхідно провести експериментальні дослідження динамічних властивостей нагнітачів. Дослідження нагнітачів в динамічних режимах можна провести на створеному безмоторному стенді.

Висновки.

Випробування підтвердили працездатність створеного стенда для газодинамічних досліджень відцентрових компресорів. Надійно і з достатньою точністю працювала електронна система управління частотою струму електромотора.

В процесі випробувань відцентрового компресора модифікації C15-20 в статичних режимах визначена робоча зона споживача стисненого повітря для цього компресора. Характеристики споживача стисненого повітря моделювалися спеціальними шайбами з діаметром отвору від 10,1 до 14,0 мм. У робочому діапазоні споживача (автомобільного двигуна внутрішнього згорання) стиснутого повітря досягнуто максимальний надлишковий тиск наддуву 1,1 ... 1,3 МПа при витратах повітря 460 ... 250 кг/год відповідно.

Характеристики відцентрового компресора C15-20, результати випробувань засвідчили його призначення в якості агрегату наддуву для двигунів легкових автомобілів з іскровим запалюванням і можливість застосування його в системах комбінованого наддуву.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Патрахальцев Н.Н. Форсирование двигателей внутреннего сгорания наддувом / Н.Н. Патрахальцев, А.А. Савастенко. – М.: Легион Автodata, 2002. – 176 с.
2. Карягин А.В. Устройство, обслуживание и правила движения автомобилей / А.В. Карягин, Г.М. Соловьев. – М.: Военное издательство МО СССР, 1957.
3. Ханин Н.С. Наддув и нагнетатели автомобильных двигателей / Н.С. Ханин, А.Н. Шестаков, Е.Н. Зайченко, Ю.Н. Динеев. – М.: Машиностроение, 1965. – 221 с.
4. «Rotrex C15 supercharger range», available at: <http://www.rotrex.com>.
5. «Get inside ProCharger», available at: <http://www.procharger.com>.
6. NSK представит новые компактные системы привода для электромобилей [Електрон. ресурс], вхід 05.06.2019, <http://www.automaster.net.ua/artykuly/nsk-predstavit-novye-kompaktnye-sistemy-privoda-dlya-elektromobilej,52067>.

REFERENCES

1. Patrahaltsev N.N., Savastenko A.A. (2002), «Forcing of internal combustion engines supercharged», [«Forsirovaniye dvigateley vnutrennego sgoraniya nadduvom»], «Legion Avtodata», Moscow, 176 p. [in Russian]
2. Karyagin A.V., Solovyov G.M. (1957), «Device, service and rules of the movement of cars», [«Ustroystvo, obsluzhivaniye i pravila dvizheniya avtomobiley»], «Voyennoye izdatel'stvo MO SSSR», Moscow, 216 p. [in Russian]

3. Khanin N.S., Shestak A.N., Zaichenko E.N., Dineev Yu.N. (1965), «Supercharger and supercharger of automobile engines», [«Nadduv i nagnetateli avtomobil'nykh dvigateley»], «Mashinosmtroyeniye», Moscow, 221p. [in Russian]
4. «Rotrex C15 supercharger range», available at: <http://www.rotrex.com>.
5. «Get inside ProCharger», available at: <http://www.procharger.com>.
6. «NSK will introduce new compact drive systems for electric vehicles», (05.06.2019), [«NSK predstavit novye kompaktnye sistemy privoda dlya elektromobilej»], available at: <http://www.automaster.net.ua/artykuly/nsk-predstavit-novye-kompaktnye-sistemy-privoda-dlya-lektromobilej,52067>. [in Russian]

РЕФЕРАТ

Лісовал А.А. Дослідження можливостей приводного нагнітача Rotrex для застосування в системах наддуву / А.А. Лісовал // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Мета статті – описання конструкції та дослідження нових приводних нагнітачів Rotrex серії C15, де для забезпечення високого тиску наддуву і к.к.д. застосовано відцентрове компресорне колесо, безударну планетарну передачу оригінальної конструкції, спеціальну систему мащення-охолодження.

У статті наведено описання особливостей конструкції приводних відцентрових компресорів фірми Rotrex та результати експериментальних досліджень компресора серії C15 на створеному безмоторному стенді.

Особливістю конструкції нагнітачів серії C15 є компактність і швидкохідність – частота обертання колеса компресора досягає 200000 хв^{-1} . В планетарній передачі замість шестернних сателітів застосовано циліндричні ролики на кулькових підшипниках. Передавальне число від вала електродвигуна стенда до вала колеса компресора було 43.

Випробування нагнітача C15-20 виконано в статичних режимах. Характеристики споживача повітря наддуву моделювалися спеціальними шайбами з мінімальними діаметрами 10,1 ... 14,0 мм. Досягнуто максимальний надлишковий тиск 1,1 ... 1,3 МПа при витратах 460 ... 250 кг/год відповідно. Випробування підтвердили працездатність стенду для газодинамічних досліджень відцентрових компресорів, надійно працювала електронна система управління частотою струму електродвигуна.

Характеристики нагнітача C15-20, результати випробувань засвідчують про його призначення для двигунів легкових автомобілів з іскровим запалюванням. Їх можливо застосовувати в системах комбінованого наддуву як бензинових двигунів, так і дизелів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ, НАДДУВ, ВІДЦЕНТРОВИЙ КОМПРЕСОР, ВИПРОБУВАННЯ НАДДУВУ.

ABSTRACT

Lisoval A.A. Research opportunities of Rotrex supercharger for application in exhaust systems. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The purpose of the article is to describe the design and research of the new Rotrex superchargers of C15 series. In superchargers to ensure high boost pressure and efficiency centrifugal compressor wheel, shockless planetary gear of the original design, a special lubrication-cooling system were used.

The article describes the design features of Rotrex centrifugal superchargers and the results of experimental researches of the C15 series supercharger on a motor less stand.

The design feature of the C15 series superchargers is compactness and high speed – the compressor wheel speed reaches 200 000 rpm. In a planetary gear, cylindrical rollers on ball bearings are used instead of gear satellites. The gear ratio from the shaft of the stand motor to the shaft of the compressor wheel was 43.

Tests of the C15-20 supercharger are performed in static modes. Characteristics of the consumer of boost air were modeled with special washers with minimum diameters of 10,1 ... 14,0 mm. The maximum overpressure of 1.1 ... 1.3 MPa was achieved at a flow rate of 460 ... 250 kg/h, respectively. The tests confirmed the efficiency of the stand for gas-dynamic research of centrifugal compressors, the electronic control system of the electric motor current frequency reliably worked.

Characteristics of the C15-20 supercharger, test results confirmed its purpose for spark-ignition car engines. They can be used in combined boost systems of both gasoline engines and diesel engines.

KEY WORDS: INTERNAL COMBUSTION ENGINE, BOOST, CENTRIFUGAL SUPERCHARGER, BOOST TESTS.

РЕФЕРАТ

Лисовал А.А. Исследование возможностей приводного нагнетателя Rotrex для применения в системах наддува / А.А. Лисовал // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

Цель статьи – описание конструкции и исследование новых приводных нагнетателей Rotrex серии C15, где для обеспечения высокого давления наддува и к.п.д. применено центробежное компрессорное колесо, безударный планетарную передачу оригинальной конструкции, специальную систему смазки-охлаждения.

В статье приведены описание особенностей конструкции приводных центробежных компрессоров фирмы Rotrex и результаты экспериментальных исследований компрессора серии C15 на созданном безмоторном стенде.

Особенностью конструкции нагнетателей серии C15 является компактность и быстроходность – частота вращения колеса компрессора достигает 200000 мин^{-1} . В планетарной передаче вместо шестеренных сателлитов применены цилиндрические ролики на шариковых подшипниках. Передаточное число от вала электродвигателя стенда к валу колеса компрессора было 43.

Испытания нагнетателя C15-20 выполнено на статических режимах. Характеристики потребителя воздуха наддува моделировались специальными шайбами с минимальными диаметрами 10,1 ... 14,0 мм. Достигнуто максимальное избыточное давление 1,1 ... 1,3 МПа при расходах 460 ... 250 кг/ч соответственно. Испытания подтвердили работоспособность стенда для газодинамических исследований центробежных компрессоров, надежно работала электронная система управления частотой тока электродвигателя.

Характеристики нагнетателя C15-20, результаты испытаний подтвердили его назначение для двигателей легковых автомобилей с искровым зажиганием. Их можно применять в системах комбинированного наддува как бензиновых двигателей, так и дизелей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, НАДДУВ, ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ КОМПРЕССОР, ИСПЫТАНИЯ НАДДУВА

АВТОР:

Лісовал Анатолій Анатолійович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри двигунів та теплотехніки, e-mail: li-dvz@bigmir.net, тел. +380442804716, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 303а, orcid.org/0000-0001-6168-4010

AUTHOR:

Lisoval Anatoliy A., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Professor of the Department of engines and heat engineering, e-mail: li-dvz@bigmir.net, tel. +380442804716, Ukraine, 01010, Kyiv, Omeliyanovicha-Pavlenko St. 1, of. 303a, orcid.org/0000-0001-6168-4010

АВТОР:

Лисовал Анатолий Анатольевич, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры двигателей и теплотехники, e-mail: li-dvz@bigmir.net, тел. +380442804716, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленка 1, к. 303а, orcid.org/0000-0001-6168-4010

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Сахно Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

Майборода Олександр Миколайович, доктор технічних наук, професор, Державний університет інфраструктури і технологій, завідувач кафедри судноводіння та керування судном, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Sakhno V.P., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head of the Automobile department, Kyiv, Ukraine.

Mayboroda A.N., Doctor of Technical Science, Professor, State University of Infrastructure and Technology, Head of the Navigation and vessel control department, Kyiv, Ukraine.