

УДК 629.069

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОНАГНЕТАТЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Глинкин С. А., Драгомиров М. С., Журавлев С. А.

ОАО «Научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт электромашиностроения», Владимир, Россия (600009, Владимир, Россия, ул. Электrozаводская,1), e-mail: glinkinsa@mail.ru

Проведен анализ технических решений и характеристик нагнетателей для автомобильных двигателей. Рассмотрены варианты нагнетателей в осевом и центробежном исполнении. Отмечены преимущества и недостатки каждой схемы нагнетателя. Проанализированы современные тенденции развития электропривода нагнетателей надувочного воздуха. Установлено, что современные нагнетатели отличаются не только характеристиками, но и особенностями конструкции. На сегодняшний день различают два направления развития привода колеса компрессора – высокоскоростной электропривод и повышение частоты вращения выходного вала с помощью планетарного редуктора. Второй вариант исполнения нагнетателя позволяет снизить требования к электроприводу и уменьшить габариты агрегата. Проанализированы основные технические характеристики электронагнетателей, представленных на современном рынке. На основе анализа сформулированы основные технические требования, предъявляемые к разрабатываемой конструкции электронагнетателя.

Ключевые слова: электрический нагнетатель, наддув, двигатель внутреннего сгорания.

ANALYSIS OF DESIGN AND CHARACTERISTICS OF ELECTRIC SUPERCHARGERS FOR AUTOMOTIVE ENGINES

Glinkin S. A., Dragomirov M. S., Zhuravlev S. A.

JSC «Scientific Research & Technological Institute of Electric Machines», Vladimir, Russia (600009, Vladimir, Russia, street Elektrozavodskaya, 1), e-mail: glinkinsa@mail.ru

The analysis of technical decisions and characteristics of superchargers for automotive internal combustion engines is carried out. Some variants of axial and centrifugal superchargers with the electric drive are considered. Advantages and disadvantages of each design of a supercharger are noted. Trends of development of superchargers with electric drive are analyzed. It is revealed that modern electric superchargers differ not only by characteristics but also by design features. Today there are two directions of compressor wheel drive development. The first is a high-speed electric drive and the second is increasing rotation speed of wheel by using a planetary multiplier. The second variant of the supercharger performance allows to lower requirements to the electric drive and to reduce unit dimensions, but simultaneously increases unit cost. The cores technical characteristics (frequency of rotation, degree of increase of pressure, capacity etc.) of electric superchargers presented in the market are analyzed. On the basis of the analysis the main technical requirements to new design of an electric supercharger are formulated.

Key words: electric supercharger, supercharge, internal combustion engine.

Введение

Современный этап развития автомобилестроения и, в частности, двигателестроения характеризуется использованием электропривода основных узлов и агрегатов, что обусловлено несколькими причинами – стремлением повысить уровень комфорта пассажиров и улучшить динамические свойства автомобиля и ужесточением норм токсичности.

На сегодняшний день двигатель внутреннего сгорания (ДВС) достиг предельных значений показателей удельной мощности, экономичности и экологичности. В частности, это стало возможно благодаря использованию электропривода насоса охлаждения, термостата, вентилятора системы охлаждения и других агрегатов ДВС. В то же время дополнительный

прирост в динамике автомобиля можно получить, используя нагнетателя с электроприводом. При этом увеличивается крутящий момент на низких частотах вращения при сохранении номинальной мощности.

Целью данной работы является анализ и обобщение сведений о конструкциях и технических характеристиках современных электронагнетателей.

Обзор технических решений для организации наддува ДВС начнем с бюджетного варианта нагнетателя – нагнетатель осевого типа фирмы Eracing motorsport.

Нагнетатель такого типа представляет собой электродвигатель, на валу которого установлена крыльчатка. Корпус электродвигателя и крыльчатка находятся в цилиндрическом кожухе, что позволяет обеспечить необходимый теплоотвод от статора электрической машины. Стоимость комплекта такого нагнетателя со всеми необходимыми монтажными проводами, хомутами и фильтром очистки воздуха составляет 200...300 американских долларов. К преимуществам такого нагнетателя можно отнести также простоту монтажа.

Электродвигатель этого нагнетателя потребляет мощность 833 Вт при частоте вращения крыльчатки $25\ 300\ \text{мин}^{-1}$. При этом величина создаваемого нагнетателем давления равна 1,14 бар. Прирост мощности двигателя, заявленный производителем, составляет до 5 % [4].

Преимущество данного агрегата в его низкой стоимости и простоте монтажа. Среди недостатков отметим, что эффективность такого агрегата будет низка, поскольку для обеспечения необходимой степени повышения давления требуется использовать не менее 3...4 ступеней повышения давления, то есть 3...4 рабочих колеса компрессора. Также есть опасность, что на оборотах двигателя, близких к максимальным, вместо повышения давления нагнетатель будет создавать дополнительное сопротивление на впуске.

Особого внимания заслуживают экспериментальные работы по созданию высокооборотных электродвигателей на постоянных магнитах для привода нагнетателей [1,2,3].

Компания Mitsubishi публикует следующие данные относительно применения электронагнетателей на ДВС: использование турбокомпрессора совместно с электронагнетателем дает больший прирост крутящего момента и динамики, чем индивидуальное использование турбокомпрессора или электронагнетателя (рис.1).

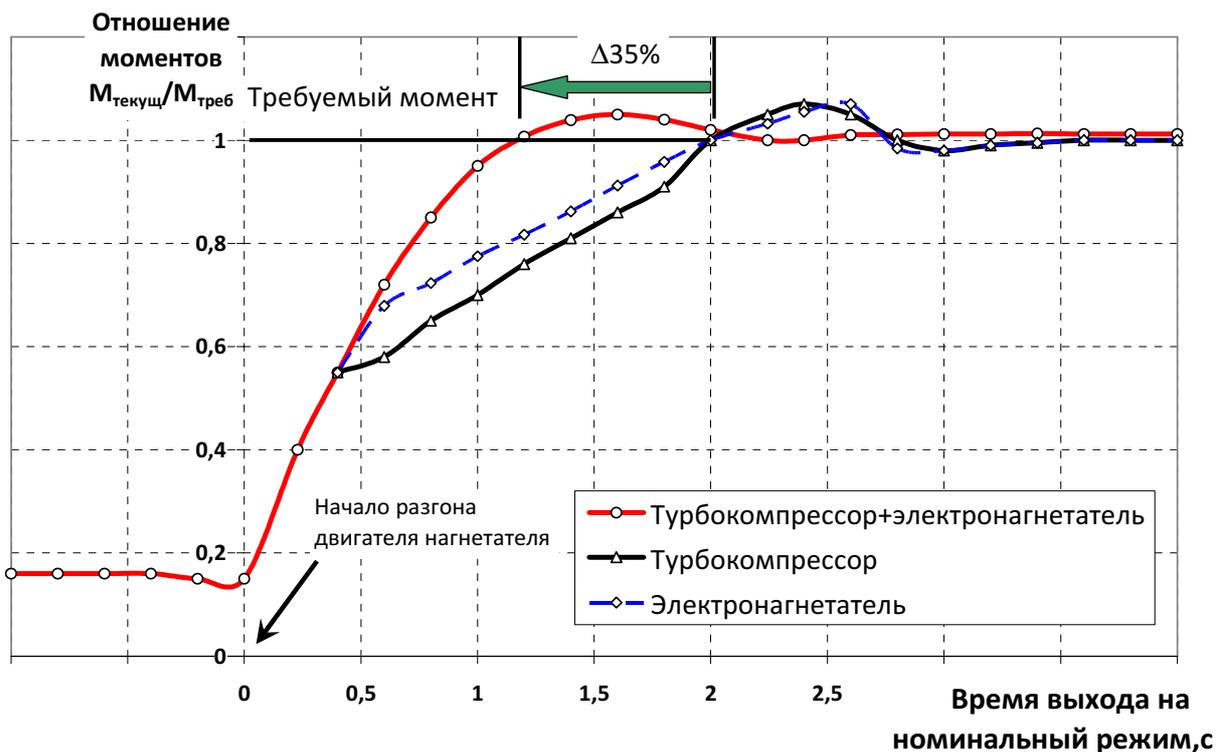


Рис.1. Изменение характеристики относительного крутящего момента при наддуве двигателя, $n=2000 \text{ мин}^{-1}$

Отличительной особенностью экспериментального образца нагнетателя с электроприводом фирмы Mitsubishi являются:

- Напряжение питания 12 В;
- Компрессор, мотор и инвертер интегрированы в один корпус;
- Потребляемая мощность на номинальном режиме работы – 2 кВт;
- Частота вращения вала двигателя на номинальном режиме – $140\,000 \text{ мин}^{-1}$.

Для регулирования скорости вращения используется широтно-импульсная модуляция, благодаря чему двигатель нагнетателя разгоняется с $10\,000$ до $140\,000 \text{ мин}^{-1}$ за 1 секунду.

Несмотря на это разработчики отмечают проблемы, которые необходимо решить перед подготовкой к серийному выпуску таких нагнетателей:

- долговечность подшипниковых узлов;
- уменьшение размеров, снижение уровня шума и цены.



Технические разработки нагнетателей с электроприводом предлагают фирмы Turborac и Controlled Power Technologies (рис.2).

Фирма Controlled Power Technologies заявляет следующие преимущества автомобильного двигателя объемом 1,4 л с электронагнетателем перед автомобильным двигателем объемом 1,6 литра без наддува:

Рис.2. Электрический нагнетатель фирмы Controlled Power Technologies

– уменьшение эмиссии CO₂ с 173 до 149 г/км;

- уменьшение расхода топлива с 7,3 до 6,4 л на 100 км пробега;
- улучшение динамики автомобиля (уменьшение времени разгона).

Применение указанного нагнетателя позволяет заметно увеличить динамические качества автомобиля (рис.3). Следует отметить также значительный прирост динамики, обусловленный увеличением крутящего момента на низких оборотах.

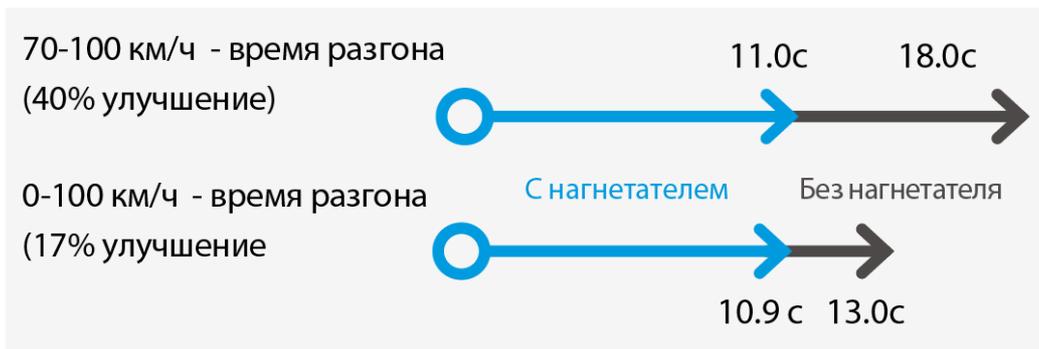


Рис. 3. Улучшение динамических качеств легкового автомобиля с рабочим объемом двигателя 1,6 л при использовании электронагнетателя фирмы Controlled Power Technologies

Характеристики расхода, которые обеспечивает нагнетатель с электроприводом фирмы Turborac, приведены на рис. 4. Зависимости давления наддува и потребляемого тока электродвигателя нагнетателя от объемного часового расхода воздуха через впускной коллектор приведены на рис.4.

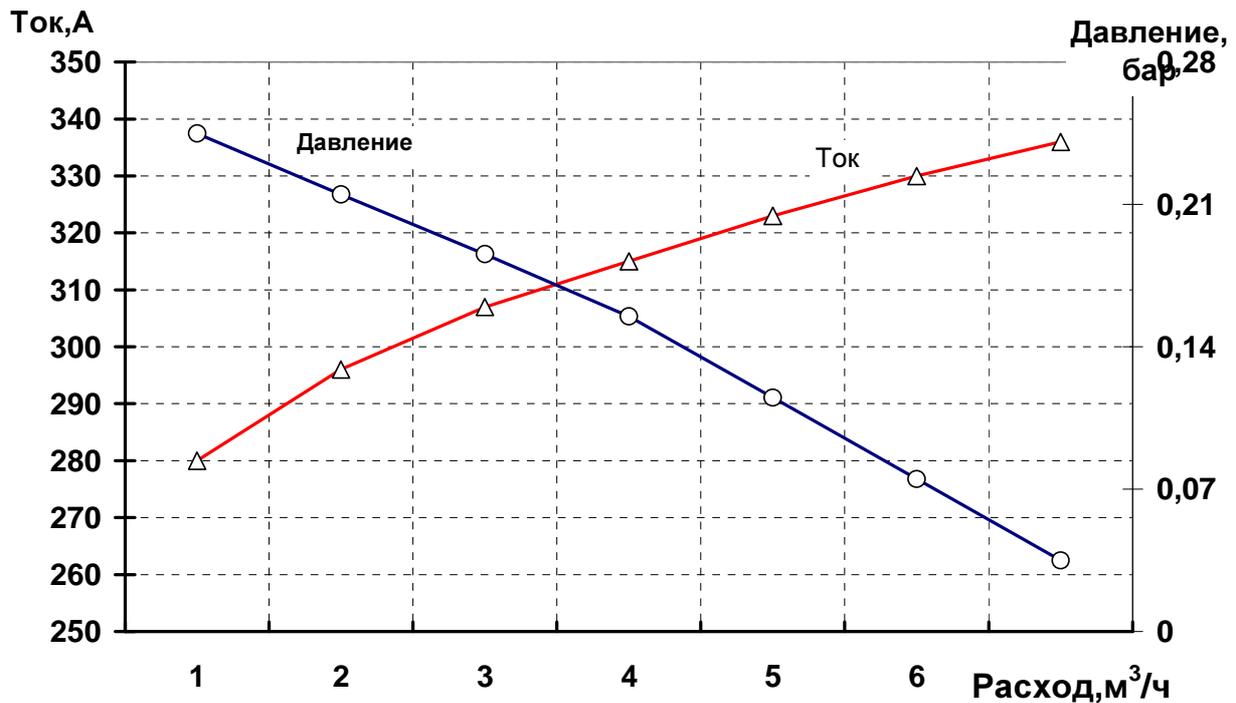


Рис. 4 Характеристики нагнетателя с электроприводом фирмы *Turbovac*

Особого внимания заслуживает разработка фирмы Rotrex [5]. Отличительной особенностью конструкции нагнетателя с электроприводом данной фирмы является наличие планетарного редуктора, что позволяет уменьшить габаритные размеры электропривода. Передаточное отношение редуктора составляет 12,52, благодаря чему электродвигатель имеет номинальную частоту вращения равную $19\,170\text{ мин}^{-1}$. Внешний вид нагнетателя фирмы Rotrex приведен на рис.5.

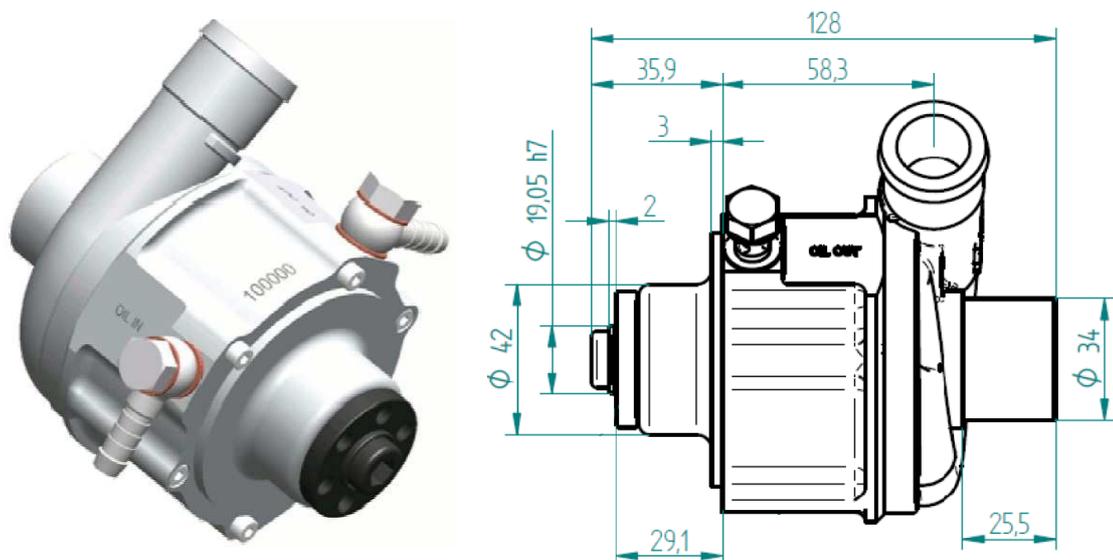


Рис. 5. Внешний вид нагнетателя с электроприводом фирмы Rotrex

Отметим, что такой нагнетатель имеет компрессор центробежного типа, вследствие чего степень повышения давления у этого агрегата находится в диапазоне 1,1...2,2.

Технические характеристики рассмотренных нагнетателей с электроприводом целесообразно представить в виде таблицы (см. табл.1).

Таблица 1

Сравнительные характеристики нагнетателей с электроприводом

Характеристика	Eracing motorsport	Controlled Power Technologies	Turbopac	Rotrex
тип компрессора	осевой	центробежный	центробежный	центробежный
потребляемая мощность, кВт	0,833	1,7	3	нет данных
Частота вращения вала двигателя, мин ⁻¹	25300	70 000	нет данных	19 170
Номинальная степень повышения давления	1,21	1,45	1,4	2,23
Время достижения максимальной частоты вращения, мс	100	350	нет данных	нет данных
Максимальный расход воздуха, кг/с	0,14...0,46	нет данных	0,18	0,065
Диаметр колеса компрессора, мм	76	нет данных	96,52	40
Отличительные черты	простота монтажа, низкая цена	-	электропривод с постоянными магнитами	планетарный редуктор с передаточным отношением 12,52, подвод масла в редуктор
Вес, кг.	нет данных	нет данных	нет данных	1,4
Цена, руб.	7000...9000	30 000*	≥45 000*	≥45 000*

*цена на нагнетатель неофициальная, получена по данным из интернет-ресурсов и рекламных брошюр.

Анализируя полученную таблицу, сформулируем основные требования к электронагнетателям для автомобильных двигателей с рабочим объемом до 2 л:

- ✓ для получения необходимых уровней расхода и степени повышения давления необходимо использовать компрессор центробежного типа;
- ✓ электропривод нагнетателя для легкового автомобиля с рабочим объемом двигателя 1,5...2,0 литра должен иметь номинальную мощность не менее 1,5...2 кВт;
- ✓ для обеспечения работы компрессора в зоне с высоким КПД необходимо обеспечить частоту вращения крыльчатки не менее 70000 мин⁻¹;
- ✓ время отклика (достижения максимальной частоты вращения крыльчатки компрессора) электронагнетателя не должно превышать 1 с;
- ✓ возможность простого монтажа без привлечения специализированного персонала и с минимальным вмешательством в блок управления двигателем;
- ✓ потребительская привлекательность – низкая цена готового агрегата и сервисные затраты на его обслуживание.

В заключении отметим, что соблюдение сформулированных выше требований при проектировании нагнетателя с электроприводом позволит создавать конкурентоспособный продукт, а также форсировать удельные показатели автомобильных двигателей внутреннего сгорания.

Список литературы

1. Masaru Kano, and Toshihiko Noguchi. Efficiency Improvement and Loss Analysis of Ultra-High Speed Permanent-Magnet Motor // The International Workshop on Mechatronics, Supalai Resort, Saraburi, Thailand . – 2006.
2. Pierre-Daniel Pfister, Yves Perriard. Very High Speed Slotless Permanent magnet motors: Analytical modeling, optimization, design and torque measurement methods // IEEE Transaction Industrial Electronics. – 2010. – Vol.57. – No.1.
3. Yukio Yamashita, Seiichi Ibaraki, Kunio Sumida, Mitsubishi. Development of Electric Supercharger to Facilitate the Downsizing of Automobile Engines // Heavy Industries Technical Review. – 2010. – Vol. 47, No.4.
4. The e-Ram Electric Supercharger. Technical Data and Tests Results [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.electricsupercharger.com> (дата обращения: 02.06.12).
5. Rotrex C. Type Superchargers. Technical Data Sheet [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rotrex.com> (дата обращения: 02.06.12).

Рецензенты:

Гоц Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры ТДиЭУ (Тепловые двигатели и энергетические установки) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых), г. Владимир.

Кульчицкий Алексей Рэмович, доктор технических наук, профессор кафедры ТДиЭУ (Тепловые двигатели и энергетические установки) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых), Россия, г. Владимир.