

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-611106>

Оригинальное исследование



# Совершенствование смазочной системы двигателя внутреннего сгорания

С.А. Алиев, А.Я. Алиев, О.М. Айдемиров

Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, Махачкала, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Модернизированная конструкция системы смазки с индивидуальным электроприводным масляным насосом обеспечивает подачу масла к удаленным и нагруженным деталям независимо от частоты вращения коленчатого вала, режима пуска и прогрева двигателя.

**Цель исследования** — проработка основных направлений совершенствования смазочных систем поршневых двигателей с целью определения возможности применения автономного электрического привода.

**Материалы и методы.** В качестве привода предлагается конструкция регулируемого индукторного электропривода с микропроцессорным управлением. Возможность получения точной скорости вращения зубчатых колёс насоса обеспечивается при помощи управляемого индукторного электродвигателя в зависимости от давления в системе смазки.

**Результаты.** Конструктивное и технологическое исполнение предлагаемого способа привода масляного насоса не требует серьёзных изменений конструкции двигателя. Упрощается компоновка масляного насоса на двигателе.

**Заключение.** Предлагаемая конструкция смазочной системы двигателя внутреннего сгорания обеспечивает оптимальную частоту вращения вала насоса независимо от режимов работы поршневого двигателя, в результате чего повышается ресурс работы двигателя.

**Ключевые слова:** насос шестерённый; смазочная система; поршневой двигатель; электродвигатель; трение; распределительный вал.

## Как цитировать:

Алиев С.А., Алиев А.Я., Айдемиров О.М. Совершенствование смазочной системы двигателя внутреннего сгорания // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 1. С. 75–80. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-611106>

Рукопись получена: 07.10.2023

Рукопись одобрена: 20.01.2024

Опубликована онлайн: 15.03.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-611106>

Original Study Article

# Enhancement of the lubrication system of an internal combustion engine

Sabir A. Aliev, Ali Ya. Aliev, Omar M. Aidemirov

Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov, Makhachkala, Russian Federation

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** The modernized design of the lubrication system with an individual electric-driven oil pump ensures the oil supply to remote and loaded parts, regardless of the crankshaft speed, starting mode and engine warm-up.

**AIM:** Study of the main directions for enhancement of the lubrication systems of piston engines in order to assess the option of using an autonomous electric drive.

**METHODS:** The design of an adjustable inductor electric drive with microprocessor control is proposed as a drive. The ability to keep rotation speed of the pump gears accurately is ensured using a controlled inductor electric motor, depending on the pressure in the lubrication system.

**RESULTS:** The design and technological implementation of the proposed method of driving an oil pump does not require major changes to the engine design. The layout of the oil pump at the engine is simplified.

**CONCLUSIONS:** The proposed design of the lubrication system of an internal combustion engine ensures optimal rotation speed of the pump shaft regardless of the operating modes of the piston engine, resulting in an increase in engine operating life.

**Keywords:** gear pump; lubrication system; piston engine; electric motor; friction; camshaft.

## To cite this article:

Aliev AY, Aliev SA, Aidemirov OM. Enhancement of the lubrication system of an internal combustion engine. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(1):75–80. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-611106>

Received: 07.10.2023

Accepted: 20.01.2024

Published online: 15.03.2024

## ВВЕДЕНИЕ

Долговечность работы подвижных сопряжений деталей двигателей внутреннего сгорания зависит от полноты удовлетворения смазочной системой следующих основных требований:

1. бесперебойность подачи смазки ко всем трущимся поверхностям деталей при работе на различных скоростных и нагрузочных режимах, подъемах и спусках до 35% и кренах до 25%, а также при изменении температуры окружающей среды от 323°K до 223°K, и, следствие этого вязкости, моторного масла;
2. высокая степень удаления продуктов износа от поверхностей трения и из смазки, предохранение сопряжения деталей от перегрева и коррозии;
3. длительность работы двигателя под нагрузкой без перегрева масла и больших трудозатрат на техническое обслуживание и энергозатрат на привод масляного насоса [1].

Для удовлетворения указанных требований системы смазки ДВС в основном выполняют комбинированными, обеспечивая смазку коренных и шатунных подшипников коленчатого вала, опор распределительных валов и подшипников поршневой головки шатунов под давлением, распределительных шестерен, кулачков распределительных валов, толкателей, клапанов и зеркал цилиндров разбрызгиванием.

Целью исследования является проработка основных направлений совершенствования смазочных систем поршневых двигателей с целью применения автономного электрического привода.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Комбинированные системы смазки состоят из масляного насоса, имеющего привод от коленчатого или распределительного вала, редукционных клапанов, масляных фильтров, вентилируемого картера, масляного насоса для предпусковой прокачки масла с приводом от аккумуляторных батарей.

Рассматриваемые системы смазки, широко применяемые для транспортных ДВС, не в полной мере удовлетворяют предъявляемым к системам смазки требованиям, как в части обеспечения бесперебойности циркуляции масла и долговечности сопряжений, так и энергозатрат на привод подвижных деталей и масляного насоса [3].

Например, при холодном и низкотемпературном пуске двигателя, реализуемом при минимальной пусковой частоте вращения коленчатого вала 50–100 об/мин, и в режиме прогрева после пуска на минимальной частоте вращения коленчатого вала на холостом ходу 500–700 об/мин, вследствие снижения частоты вращения шестерен масляного насоса и повышения вязкости, масло неудовлетворительно прокачивается по системе, существенно ухудшается доставка масла к периферийным

зонам. В результате характерная для рабочих режимов жидкостное трение с достаточным слоем масла в подшипниках коленчатого и распределительного валов сохранить не удастся. В зависимости от толщины пленки трение может быть граничным: полужидкостным или полусухим, что существенно повышает износ деталей ДВС, износ подвижных сопряжений деталей обусловлен на 75% холодными и низкотемпературными пусками, и прогревами двигателя после пуска для принятия полной нагрузки и только на 25% функционированием двигателя на рабочих режимах. В этой связи, ДВС нередко оборудуются специальным насосом для предпусковой прокачки масла и автономным предпусковым подогревателем двигателя типа ПЖД.

Весьма актуальной является задача снижения энергозатрат на привод как масляного, топливного и водяного насосов, так и распределительных валов, и вентилятора.

Основным недостатком существующих масляных насосов ДВС является как повышенные затраты мощности на их привод, так и зависимость их производительности и коэффициента подачи масла от частоты вращения шестерен и состояния торцевых и радиальных зазоров их в корпусе насоса. Так, при большой частоте вращения зубчатых колес шестеренного насоса происходит значительное уменьшение коэффициента подачи. Коэффициент подачи выбирают в пределах 0,6–0,8; он является функцией частоты вращения шестерен насоса. Оптимальная частота вращения должна быть не более 3000 об/мин [4].

Также на не установившихся режимах работы является неизбежным нарушение гидродинамических и граничных условий смазывания в узлах трения и, как следствие, их повышенное изнашивание и возможность появления задирав.

Отмеченные недостатки целесообразно устранять путем разработки масляного насоса, например, поршневого типа с автономным приводом, независимым от коленчатого или распределительного валов.

В качестве последнего целесообразно использовать стартер-генераторное устройство (СГУ) ДВС, позволяющее увеличить как бортовое напряжение до 42 В, так и создаваемую генератором мощность системы электропитания до 4 кВт [2].

Предлагаемое техническое решение допускает и другие варианты системы смазки ДВС и различные конструктивные исполнения масляного насоса.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

К вопросу модернизации системы смазки ДВС. Предлагаемый способ привода масляного насоса позволит устанавливать такую частоту вращения шестерен насоса, при которых давление масла в системе будет обеспечивать подачу масла к удаленным и нагруженным деталям независимо от частоты вращения коленчатого вала и режима пуска и прогрева ДВС [6].

На рис. 1 приводится предлагаемая схема смазки ДВС с электроприводным масляным насосом, расположенным внутри картера двигателя.

Как видно из схемы конструктивное и технологическое исполнение предлагаемого способа привода масляного насоса не требует серьезных изменений в деталях двигателя. Для этого достаточно приводной вал масляного насоса соединить с валом электродвигателя, питающегося от генератора и устанавливаемого в зависимости от расположения масляного насоса и конструктивного решения: на поддоне, сбоку или спереди блока картера.

Возможность получения любой точной скорости вращения зубчатых колес насоса обеспечивается при помощи управляемого индукторного электродвигателя — обратной бесконтактной электрической машины синхронного типа (см. рис. 2). Она имеет ряд несомненных достоинств. В том числе, такие как шихтованный зубчатый ротор 1 без обмотки, потери в котором, как известно, минимальны и многофазная обмотка статора 2, выполненная в виде отдельных концентрических катушек 3 без пересечения лобовых частей, что упрощает конструкцию, технологию производства, а также увеличивает надежность при эксплуатации [3].

Кроме указанных, предлагаемая система привода масляного насоса имеет еще и другие преимущества: упрощается конструкция самого масляного насоса в связи с уменьшением длины его приводного вала и необходимости изготовления на нем косозубой шестерни; упрощается конструкция распределительного вала в связи с отсутствием необходимости изготовления на нем косозубой шестерни; уменьшаются нагрузки на распределительный вал.

Работа электроприводного насоса системы смазки создаёт условия для регулирования напора масла

в системе смазки, в зависимости от режимов работы двигателя.

В отличие от классической системы, при расчёте системы смазки ДВС с индивидуальным приводным насосом необходимо подобрать электродвигатель привода масляного насоса и определить мощность, забираемую у генератора автомобиля.

Расчет обычно начинается с определения *количества теплоты*  $Q_M$ , отводимого смазочной системой в окружающую среду [5]:

$$Q_M = (0,02 \div 0,03) \cdot Q_{\text{топ}},$$

где  $Q_{\text{топ}}$  — теплота, внесённая с топливом; при заданной мощности двигателя.

*Объем масла*, необходимый для отвода данного количества теплоты от смазываемых поверхностей можно определить по формуле:

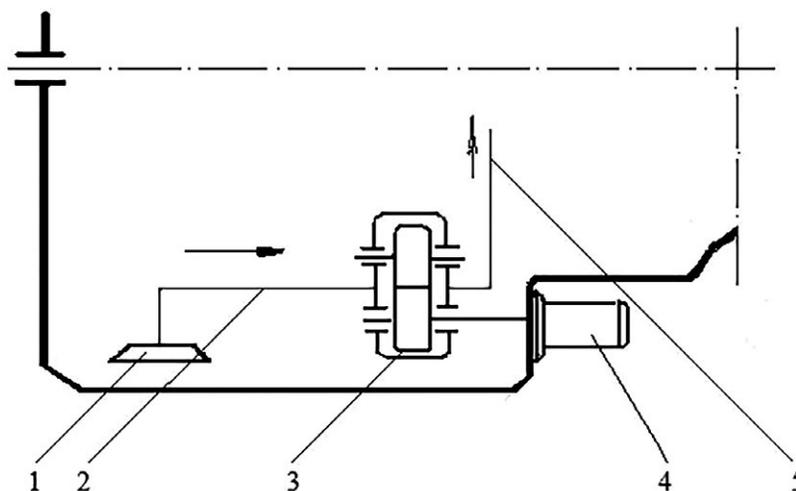
$$V_M^1 = \frac{Q_M}{\rho \cdot C_M (t_M^{11} - t_M^1)},$$

где  $\rho$  — плотность масла, кг/м<sup>3</sup>;  $C_M$  — теплоёмкость масла, выходящего из узла трения кДж/(кг·°C);  $t_M^{11} - t_M^1$  — разность температур масла на входе и выходе из смазочной системы, °C.

*Секундный расход масла* с учетом утечки и других неизбежных потерь, включая перепуск масла через редукционный клапан:

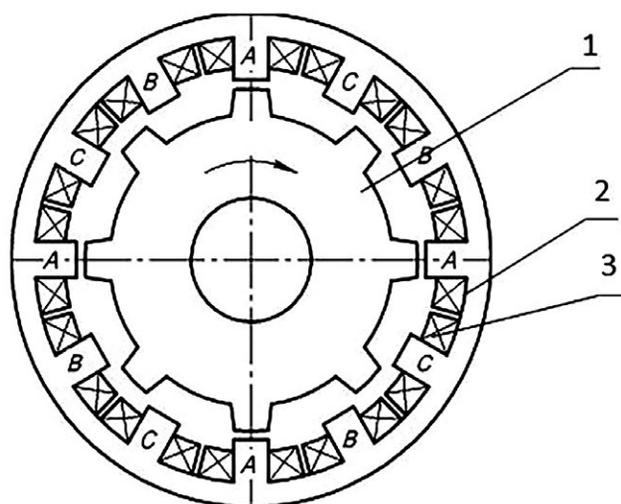
$$V_M = \frac{K \cdot V_M^1}{\eta_M},$$

где  $K$  — коэффициент, учитывающий утечки;  $\eta_M$  — коэффициент подачи масла насосом,  $V_M^1$  — производительность смазочных насосов, м<sup>3</sup>/с.



**Рис. 1.** Схема смазочной системы ДВС с электроприводным насосом: 1 — маслоприёмник; 2 — всасывающая часть; 3 — масляный насос; 4 — электродвигатель привода масляного насоса; 5 — нагнетательная часть.

**Fig. 1.** Diagram of the ICE lubrication system with an electrically driven pump: 1 — an oil header; 2 — a suction part; 3 — an oil pump; 4 — an electric engine for driving the oil pump; 5 — a pressure part.



**Рис. 2.** Устройство активной зоны индукторного электродвигателя: 1 — ротор, 2 — статор, 3 — катушка концентрическая.

**Fig. 2.** Design of the active area of an inductive electric motor: 1 — a rotor; 2 — a stator; 3 — a concentric coil.

Мощность, необходимая для привода масляного насоса определяется по формуле:

$$N_H = \frac{V_{\text{м.р}}^1 \cdot P}{\eta_{\text{мех}}},$$

где  $V_{\text{м.р}}^1$  — объем масла рабочий;  $\eta_{\text{мех}}$  — механический КПД насоса.

По полученному значению  $N_H$  выбирается электродвигатель для привода насоса системы смазки и определяют мощность, забираемую им у генератора автомобиля.

Расчет потребной мощности для привода масляного насоса.

1. Рассчитываем количество тепла, отводимого от двигателя маслом, учитывая, что в современных автомобильных двигателях отводится 1,5–3 % (принимая 2,2%) от общего количества теплоты, введенной в двигатель с топливом

$$Q_M = 0,022 G_T H_H = 0,02 \times \frac{18,872}{3600} 44000 = 4,61 \frac{\text{кДж}}{\text{с}}.$$

2. Рассчитываем циркуляционный расход масла. Массовый циркуляционный расход масла равен:

$$G_M = \frac{Q_M}{c_M \cdot \Delta T_M} = \frac{4,61}{2,094 \cdot 8} = 0,275 \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

при удельной теплоёмкости масла  $c_M = 2,094 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

3. Рассчитываем стабилизационный расход масла:

$$G'_M = 2 \cdot G_M = 2 \cdot 0,275 = 0,55 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

4. Определяем расчетную производительность насоса с учетом утечек масла через радиальные и торцевые зазоры:

$$G_p = \frac{2 \cdot G_M}{\eta_M} = \frac{2 \cdot 0,275}{0,7} = 0,786 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

5. Рассчитываем мощность, затрачиваемую на привод масляного насоса:

$$N_H = G_p H_M \frac{1}{\eta_{\text{мех}}} = G_p \cdot \frac{P_2 - P_1}{\rho_M} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{мех}}} =$$

$$= V_p \cdot \frac{P_M}{\eta_{\text{мех}}} \cdot 10^3 = 8,73 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{0,4}{0,819} \cdot 10^3 = 0,426 \text{ кВт},$$

где  $P_M = P_2 - P_1 = 0,4$  МПа — избыточное давление масла в системе ( $P_1$  и  $P_2$  — соответственно давление

масла перед насосом и за насосом);  $H_M = \frac{P_M}{\rho_M}$  — напор;

$V_p = \frac{G_p}{\rho_M} = \frac{0,786}{900} = 8,73 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$  — объёмный расход

масла.

## ВЫВОДЫ

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующий вывод: предлагаемая схема смазочной системы двигателя внутреннего сгорания обеспечивает оптимальную частоту вращения вала насоса независимо от режимов работы поршневых двигателей, в результате чего повышается ресурс двигателя.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** А.Я. Алиев — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; О.М. Айдемиров — редактирование текста рукописи; С.А. Алиев — редактирование текста рукописи, создание изображений. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** A.Y. Aliev — search for publications, writing the text of the manuscript; O.M. Aidemirov — editing the text of the manuscript; S.A. Aliev — editing the text of the manuscript, creating images. Authors confirm the compliance of their authorship with the ICMJE international criteria. All authors made a substantial

contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

**Competing interests.** The authors declares the absence of obvious and potential conflicts of interest.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ховак М.С., Маслов Г.С. Автотракторные двигатели. М.: Машиностроение, 1971.
2. Алиев А.Я., Реднов Ф.А. Стартер-генераторное устройство для перспективных легковых автомобилей. В кн.: Автомобильное электрооборудование, конструкции, материалы, технология, проблемы перевода АТЭ на напряжение питания 42 В. Тез. Докл. Международного симпозиума. Суздаль, 2001. С. 24–25.
3. Луканин В.Н., Шатров М.Г. Двигатели внутреннего сгорания. М.: Высшая школа, 2005.

4. Ефимов С.И., Иващенко Н.А., Ивин В.И. и др. Двигатель внутреннего сгорания. Системы поршневых и комбинированных двигателей. М.: Машиностроение, 1985.
5. Колчин А.И., Демидов В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. М.: Высшая школа, 2002.
6. Патент РФ 91108 / 27.01.2010. Фаталиев Н.Г., Алиев А.Я. Система смазки ДВС с электроприводным масляным насосом. Дата обращения: 07.10.2023. Режим доступа: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_38378023\\_18408334.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_38378023_18408334.pdf) EDN: PENYJI

## REFERENCES

1. Khovakh MS, Maslov GS. *Avtotraktornye dvigateli*. Moscow: Mashinostroenie; 1971.
2. Aliev AY, Rednov FA. Starter-generatornoye ustroystvo dlya perspektivnykh legkovykh avtomobiley. In: *Avtomobilnoye elektrooborudovaniye, konstruksii, materialy, tekhnologiya, problemy perevoda ATE na napryazheniye pitaniya 42 V. Tez. Dokl. Mezhdunarodnogo simpoziuma*. Suzdal'k 2001. S. 24–25.
3. Lukanin VN, Shatrov MG. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya*. Moscow: Vysshaya shkola; 2005.

4. Efimov SI, Ivashchenko NA, Ivin VI, et al. *Dvigatel vnutrennego sgoraniya. Sistemy porshnevykh i kombinirovannykh dvigateley*. Moscow: Mashinostroenie; 1985.
5. Kolchin AI, Demidov VP. *Raschet avtomobilnykh i traktornykh dvigateley*. Moscow: Vysshaya shkola; 2002.
6. Patent RUS 91108 / 27.01.2010. Fataliev NG, Aliev AY. Sistema smazki DVS s elek-troprivodnym maslyanym nasosom. [cited: 07.10.2023] Available from: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_38378023\\_18408334.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_38378023_18408334.pdf) EDN: PENYJI

## ОБ АВТОРАХ

### \* Алиев Сабир Алиевич,

доцент, канд. техн. наук,  
доцент кафедры «Автомобильный транспорт»;  
адрес: Российская Федерация, 367030, Махачкала,  
проспект имама Шамиля, д. 91;  
ORCID: 0009-0007-6340-8627;  
eLibrary SPIN: 5461-5012;  
e-mail: aliev.777@mail.ru

### Алиев Али Ямудинович,

доцент, канд. техн. наук,  
доцент кафедры «Автомобильный транспорт»;  
ORCID: 0009-0005-8970-5369;  
eLibrary SPIN: 3758-3014;  
e-mail: aliev-47@mail.ru

### Айдемиров Омар Магомедович,

доцент, канд. техн. наук,  
доцент кафедры «Автомобильный транспорт»;  
ORCID: 0009-0009-4057-6489;  
eLibrary SPIN: 6333-7895;  
e-mail: omar1963@yandex.ru

## AUTHORS' INFO

### \* Sabir A. Aliev,

Associate Professor, Cand. Sci. (Engineering),  
Associate Professor of the Automotive Transport Department;  
address: 91 imam Shamil avenue, 367030 Makhachkala,  
Russian Federation;  
ORCID: 0009-0007-6340-8627;  
eLibrary SPIN: 5461-5012;  
e-mail: aliev.777@mail.ru

### Ali Y. Aliev,

Associate Professor, Cand. Sci. (Engineering),  
Associate Professor of the Automotive Transport Department;  
ORCID: 0009-0005-8970-5369;  
eLibrary SPIN: 3758-3014;  
e-mail: aliev-47@mail.ru

### Omar M. Aidemirov,

Associate Professor, Cand. Sci. (Engineering),  
Associate Professor of the Automotive Transport Department;  
ORCID: 0009-0009-4057-6489;  
eLibrary SPIN: 6333-7895;  
e-mail: omar1963@yandex.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author