

# Функциональные возможности смазочной системы двигателей автотранспортных средств

## Functional capability of lubricant system engines of auto vehicles

УДК 621.896

Получено: 20.10.2025

Одобрено: 22.11.2025

Опубликовано: 25.12.2025

### Королев А.Е.

Канд. техн. наук, доцент кафедры технические системы, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень

e-mail: alexkorolev72@mail.ru

### Korolev A.E.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Systems, Tyumen Industrial University, Tyumen

e-mail: alexkorolev72@mail.ru

### Аннотация

В статье представлены расчётно-экспериментальные исследования по функционированию смазочной системы на рабочих режимах двигателей. Система смазки в значительной степени определяет надёжную и экономичную работу двигателей. Масляный насос обеспечивает снижение потерь на трение, отвод теплоты от деталей и вынос продуктов износа из сопряжений. Моторное масло является не только защитной средой для деталей, но и источником информации о техническом состоянии двигателей. Приведены расчётные зависимости между показателями работоспособности смазочной системы. Установлена корреляционная взаимосвязь между кинематической вязкостью и плотностью номенклатуры моторных масел. Показано влияние динамической вязкости масла на давление в смазочной среде и толщину масляного слоя в подшипниковых узлах. Даны практические рекомендации по контролю и обслуживанию системы смазки.

**Ключевые слова:** двигатель, система смазки, вязкость, плотность и давление масла, толщина масляного слоя.

### Abstract

The article presents theoretical and experimental studies on the operation of the lubrication system at a technological breaking-in of engines. Lubrication system a large extent determines the reliable and efficient operation of the engines. The oil pump provides decrease friction losses, heat removal by details and removal the wear products out conjugations. Engine oil reports not only a protective medium for parts, but also of source of information about the technical condition of the engines. The calculated relationships between the working capacity indicators of the lubrication system are given. Correlation interrelationship between kinematic viscosity and density of motor oils nomenclature is established. Influence of dynamic viscosity of oil on pressure in lubricating medium and thickness of oil layer in bearing units is shown. Practical recommendations for control and maintenance of the lubrication system are given.

**Keywords:** engine, lubrication system, viscosity, density and oil pressure, oil layer thickness.

## Введение

Работоспособность структурных элементов системы смазки [1] и качество масла [2] существенно влияют на износостойкость и, как следствие, долговечность двигателей. Насос обеспечивает подачу необходимого объема смазки к подвижным сопряжениям. Моторные масла характеризуются многофункциональными свойствами [3]. К физическим показателям их состояния относятся: вязкость, плотность, температура застывания и вспышки. От вязкости зависит холодный запуск и расход топлива двигателей, степень смазывания и перегрева деталей. Плотность масла влияет на механические потери и толщину защитного слоя. С ростом температуры и нагрузки толщина масляной пленки уменьшается.

## Объекты и методы исследования

Гидродинамическая теория смазки описывает процесс разделения масляным слоем поверхностей подшипников скольжения коленчатого вала и турбин двигателей внутреннего сгорания. Давление в системе смазки вычисляется по формуле:

$$P_c = \frac{8 \cdot L \cdot Q^2 \cdot \lambda \cdot \mu}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5}, \quad (1)$$

где  $Q$  - производительность масляного насоса;  
 $L, D$  - длина и внутренний диаметр трубопровода;  
 $\lambda$  - коэффициент потерь;  
 $\mu$  - динамическая вязкость масла;  
 $g$  - ускорение свободного падения

Давление масла в сопряжениях кривошипно-шатунного механизма составит:

$$P_k = \frac{\mu \cdot \omega}{\xi \cdot (s \cdot d)^2}, \quad (2)$$

где  $\omega$  - угловая скорость;  
 $\xi$  - безразмерная величина (число Зоммерфельда);  
 $S$  - зазор в сопряжении;  
 $d$  - диаметр вала.

Согласно гидродинамической теории трения толщина масляного слоя зависит от режима нагружения, размеров подшипникового узла и вязкости масла [4]:

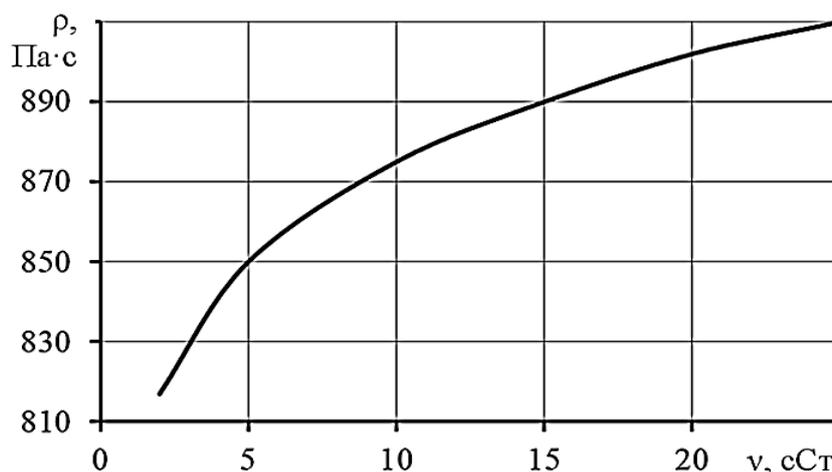
$$h = \frac{(1-\chi) \cdot \sqrt{C_R}}{2 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot \omega}{P}}}, \quad (3)$$

где  $p$  - удельная нагрузка в сопряжении;  
 $\chi$  - относительный эксцентриситет;  
 $C_R$  - коэффициент нагруженности подшипника, зависящий от  $\chi$  и  $1/d$ .

Динамическая вязкость равна произведению кинематической на плотность масла. Следовательно, в представленных зависимостях имеем комплексное воздействие двух факторов на выходные параметры. Из формул (1) и (2) видно, что взаимосвязь с давлением прямо пропорциональная, а в выражении (3) - гиперболическая.

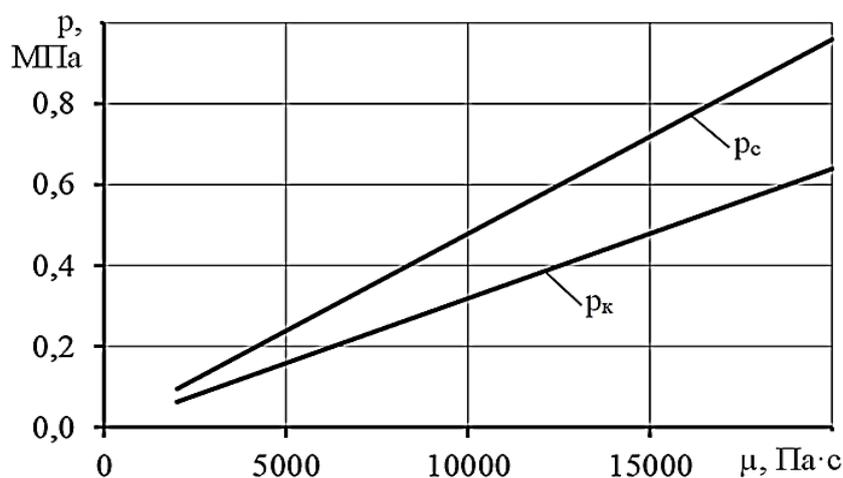
## Результаты исследования

Для анализа рассматриваем всю номенклатуру моторных масел по классификации SAE J300. Используя нормируемые показатели, устанавливаем взаимосвязь между плотностью и вязкостью масел (рис. 1).



**Рис. 1.** Изменение плотности ( $\rho$ ) от кинематической вязкости ( $\nu$ ) моторных масел

Зависимость аппроксимируется степенной функцией, вязкость в этом диапазоне изменяется в 6 раз, а плотность - только в 1,2 раза. В то же время можно выделить, что коэффициент парной корреляции между параметрами составляет 0,86, это указывает на их достаточно высокую связь. В дальнейших расчётах используем технические характеристики систем, узлов и сопряжений двигателя КамАЗ - 740.705-300, который соответствует стандарту Евро-5 и устанавливается на автомобили КамАЗ - 43118, КамАЗ - 45141, КамАЗ - 53504. Рекомендуемые масла для этого двигателя 10W-40 и 15W-40, динамическая вязкость которых не более 7000 Па·с при температуре - 25°C, а кинематическая - 12.5...16.3 cСт при +100°C. На основе этих данных получены закономерности изменения давления в системе (рис. 2).



**Рис. 2.** Влияние динамической вязкости масла на давление в системе смазки ( $p_c$ ) и подшипниковом узле ( $p_k$ )

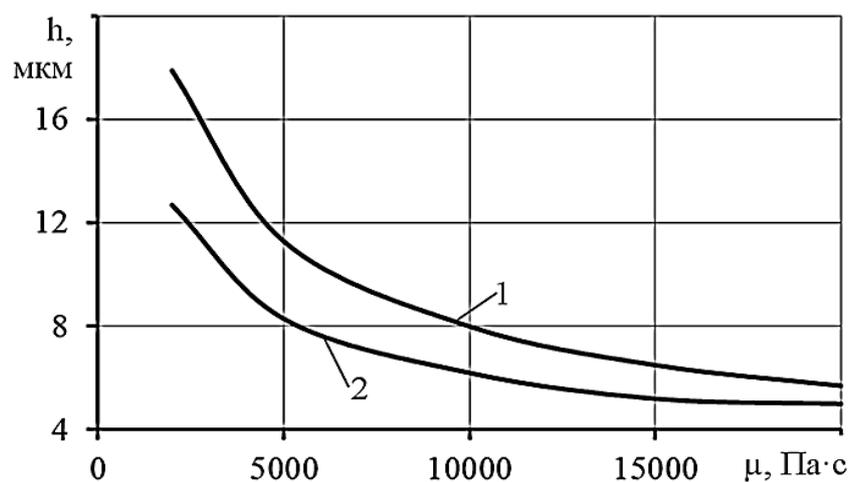
При малой вязкости перепад давления ( $\Delta p = p_c - p_k$ ) составляет 0,03 МПа, а при высокой в 10 раз больше, это связано с ухудшением прокачиваемости масла через сопряжения.

В свою очередь, рост давления вызывает повышение вязкости масла:

$$\mu_p = \mu_0 \cdot e^{a \cdot p}, \quad (4)$$

где  $\mu_p$  - вязкость масла при давлении  $p$ ;  
 $\mu_0$  - вязкость масла при атмосферном давлении;  
 $a$  - постоянная для данного масла (0,03...0,23).

Исходя из этого, выполнен расчёт возможной толщины разделительного слоя масла в сопряжении коренная шейка коленчатого вала - вкладыш (рис. 3).



**Рис. 3.** Изменение зазора в подшипниковом узле в зависимости от динамической вязкости масла с учётом (1) и без учёта (2) давления в системе смазки

Грузоподъёмность подшипника возрастает с увеличением частоты вращения вала и снижением температуры масла [5]. Из графика следует, что давление определяет несущую способность масляного слоя. Следовательно, в эксплуатации необходим постоянный контроль этого показателя. Для рассматриваемой модели двигателя  $h_{\min} \geq 8$  мкм, это значение обеспечивается рекомендуемыми сортами масел на всех режимах работы системы.

### Заключение

Установленные закономерности позволяют выполнять рациональный подбор смазочных масел и управлять режимами работы двигателей. В соответствии с регламентом и текущим техническим состоянием следует своевременно проводить диагностику и обслуживание смазочной системы. В системе смазки, помимо визуальных неисправностей, проявляются, как правило, пониженное или повышенное давление, поэтому необходимо проводить своевременную замену масла, промывку двигателя, фильтров грубой очистки и вентиляции картера.

### Литература

1. Алтунин В.А. Разработка способов увеличения ресурса и надежности систем смазки двигателей внутреннего сгорания наземного транспорта / В.А. Алтунин, К.В. Алтунин, И.Н. Алиев, А.А. Щиголев, Е.Н. Платонов // Известия высших учебных заведений. - 2015. - № 10. - С. 47-57.
2. Бакулина В.Д. Оценка влияния отдельных физико-химических показателей моторных масел на содержание продуктов износа при эксплуатации двигателей автомобилей / В.Д. Бакулина, С.В. Корнеев, С.В. Дорошенко, И.И. Ширлин // Динамика систем, механизмов и машин. - 2022. - Т. 10. - № 4. - С. 2-6.
3. Данилов И.К. К вопросу аналитической оценки толщины масляного слоя в шатунных подшипниках дизелей КАМАЗ / И.К. Данилов, И.М. Попова // Аграрный научный журнал. - 2017. - № 4. - С. 53-55.
4. Шпак Е.Д. Физико-химические показатели качества моторного масла / Е.Д. Шпак, В.И. Митрофанова // Вестник Амурского государственного университета. - 2019. - № 85. - С. 103-106.
5. Шуханов С.Н. Зависимость толщины масляного слоя в подшипниках скольжения от разных условий работы двигателей внутреннего сгорания / С.Н. Шуханов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2023. - № 1. - С. 169-173.