



Научная статья

<https://doi.org/10.32523/3136-3385-2026-155-2-128-144>

Исследование динамики изменения параметров моторного масла и технического состояния системы смазки дизельного двигателя в процессе эксплуатации

**А.М. Табинбаев¹ , К.К. Жолдасова¹ , А.М. Биниязов^{2*} ,
А.С. Денисов³ **

¹*Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан*

²*Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск, Казахстан*

³*Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, Саратов, Российская федерация*

E mail: amanzhol.tabinbayev.84@mail.ru, k.joldassova@satbayev.unersity, abiniyazov@mail.ru, denisov0307@mail.ru

Аннотация. Целью данного исследования является детальный анализ взаимосвязи количественных и качественных параметров функционирования системы смазки дизельного двигателя и закономерностей их изменения в течение эксплуатационного периода. Понимание этой динамики критически важно для повышения надежности и долговечности дизельных агрегатов. Методология работы включала комплексное расчетно-аналитическое и экспериментальное исследование с использованием методов физико-химического анализа проб моторного масла и мониторинга эксплуатационных показателей двигателя. Установлено, что текущие изменения физико-химического состава моторного масла являются ключевым фактором, определяющим динамику всех количественных и качественных показателей системы смазки. Развитие процесса старения масла (включая его полимеризацию) напрямую влияет на скорость деградации компонентов, существенно сокращая его полезный ресурс и требуя строгого соблюдения регламента замены. В работе также выявлен риск: изменение технического состояния системы смазки может привести к попаданию масляных фракций в топливную систему. Это является серьезным нарушением эксплуатационных норм, вызывая нерасчетные режимы работы и многократно повышая риск преждевременного износа и отказа двигателя. Таким образом, динамика изменения показателей смазочной системы является сложной, многофакторной зависимостью, которую можно представить графической моделью. Практическая ценность

исследования состоит в разработке базы для оптимизации стратегий обслуживания и повышения эксплуатационной эффективности дизельных двигателей.

Ключевые слова: автотранспортная техника; проектирование агрегатов; износ двигателя; изменение свойств масла; расход масла на угар; регулирование расхода топлива.

Received 28.12.2025. Revised 06.04.2026. Accepted 28.05.2026. Available online 30.03.2026

* the correspondence author

Введение

Система смазки является одной из важнейших систем дизельного двигателя, надёжное и безаварийное функционирование которой во многом определяет надёжность работы всего двигателя в целом. На проблемы системы смазки приходится значительная часть всего объёма нарушений и отказов в работе двигателя, в то время как характер изменения количественных и качественных показателей данной системы существенным образом влияет на долговечность эксплуатации двигателя. В частности, нарушения работы дизельного двигателя, обусловленные спонтанным поступлением дизельного масла в систему смазки, вызывают ухудшение характеристик двигателя (как количественных, так и качественных), значительно снижают срок службы масла в смазочной системе, а также негативно сказываются на безопасности эксплуатации двигателя в целом [4]. При этом благоприятные изменения в работе системы смазки могут быть обусловлены своевременным форсированием дизельных двигателей. При этом происходит увеличение объёма картера двигателя и, следовательно, объёма потребляемого масла, отмечается значительное увеличение рабочего давления масла в двигателе, а также существенным образом изменяются параметры регулировки дизельного двигателя [1]. В целом, изучение проблематики влияния изменения показателей смазочной системы на функционирование дизельного двигателя имеет большую актуальность в контексте развития технического парка Республики Казахстан, учитывая то обстоятельство, что двигатели данного типа широко применяются в различных отраслях народного хозяйства страны, в частности в аграрном секторе, автомобильной промышленности, в железнодорожной сфере и т.д. Указанный спектр вопросов был рассмотрен в научных исследованиях А.М. Biniyazov, A.S. Denisov, (2023), V. Aulin, et al. (2024), J. Huniczet al, (2024), A. Zare et al, (2021), S. George,, S. Balla, M. Gautman, (2022), R.O., McClellan, T.W. Hesterberg, а также J.C. Woll (2022), Unver, I. Altin, S. Gurgen, (2021).

Ряд проблемных аспектов определения требований к параметрам диагностики работающего моторного масла дизельного двигателя рассмотрен в научном исследовании А.С. Денисова, А.М. Биниязова (2023). Авторы обращают внимание на тот факт, что важнейшими диагностическими параметрами, определяющими характер количественных и качественных изменений в системе смазки дизельного двигателя, являются щёлочность масла и уровень масла в картере двигателя. Их изменения во многом определяют характер функционирования двигателя и работу смазочной системы в целом.

В научном исследовании V. Aulin, et al. (2024) рассматриваются вопросы изучения причин изменения параметра мощности дизельного автомобильного двигателя, работающего в нестационарных условиях, при изменениях количественных и

качественных показателей топливной системы. Учёные отмечают, что эксплуатация автомобильных, дизельных двигателей в нестандартных условиях является одной из наиболее сложных задач транспортной системы любой страны. По мнению авторов, управление характером изменений количественных и качественных показателей системы смазки такого двигателя обеспечивает возможность решения задач по эффективному управлению функционированием двигателя в целом.

При этом дополнительного исследования требуют вопросы взаимосвязи различных нарушений изменения количественных и качественных показателей функционирования системы смазки дизельных двигателей с проблемами развития технических сфер Республики Казахстан, в которых такие двигатели нашли широкое применение.

Целью данной научной работы выступает исследование динамики изменений ключевых показателей работы смазочной системы дизельного двигателя внутреннего сгорания.

Методология

Подшипники коленчатого вала относятся к динамически нагруженным сопряжениям, в которых, кроме действия основных нагрузок, из-за наличия зазоров в сопряжениях появляются дополнительные динамические нагрузки, обусловленные ускоренным относительным перемещением деталей в пределах зазора. Приняв по результатам исследований М.М. Хрущова прямо пропорциональную зависимость интенсивности изнашивания α от давления p в зоне трения, Ф.Н. Авдонькин [4] получил прямо пропорциональную зависимость α от износа DS .

Решая это линейное дифференциальное уравнение, он обосновал, что общий износ в процессе эксплуатации возрастает по экспоненциальной зависимости:

$$S = S_0 e^{bl}, \quad (1)$$

а интенсивность изнашивания α с учетом уравнений возрастает также по экспоненциальной зависимости:

$$\alpha = \alpha_0 e^{bl}, \quad (2)$$

где α_0 , S_0 – соответственно интенсивность изнашивания и износ в конце приработки, приведенные к началу эксплуатации ($l = 0$); b – изменение интенсивности изнашивания на единицу износа деталей.

С учётом выражений (1) и (2) было получено выражение для определения зависимости давления масла в системе смазки от выработки дизельного двигателя:

$$P = \frac{\alpha}{S_0^m e^{mb l}} = P_0 e^{-bpl} \quad (3)$$

где параметр $P_0 = \alpha/S_0^m$ отображает давление на конечном этапе приработки деталей двигателя, приведенное на момент начала его эксплуатационного использования.

Для исследования информативности рабочих параметров масла в системе смазки была выведена формула:

$$\Delta S = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \cdot 100\% \quad (4)$$

где S_0 – начальное, а S_k – конечное значение расчётного параметра.

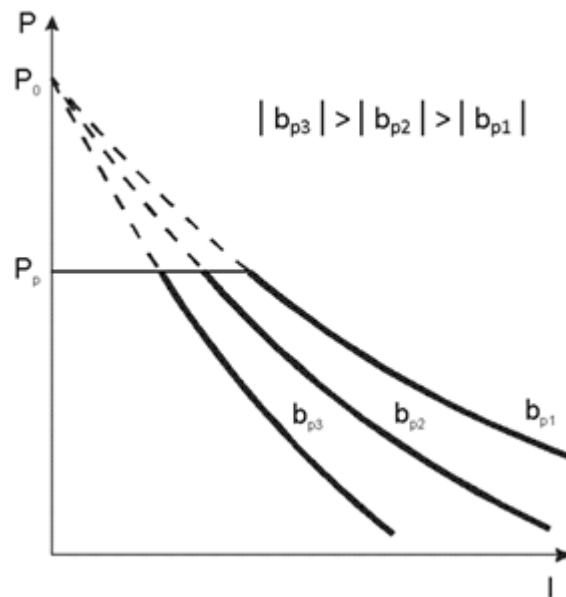


Рисунок 1. К понятию смысла параметров p_0 и b_p : p_p – давление, ограниченное редукционным клапаном

При низком скоростном режиме двигателя давление в системе смазки снижается сразу же с начала эксплуатации, а при номинальном скоростном режиме, когда давление ограничивается редукционным клапаном, давление некоторое время после начала эксплуатации остается постоянным (согласно регулировке редукционного клапана), а затем снижается по мере увеличения зазоров в подшипниках коленчатого вала. Геометрический смысл параметров p_0 и b_p показан на рис. 1 [5, 6].

Результаты и обсуждение

Параметры системы смазки претерпевают изменения в процессе работы дизельного двигателя. В общем виде они могут быть разделены на качественные и количественные. К числу качественных показателей смазочной системы относятся старение масла, а также его разжижение топливом и тосолом. Количественными показателями смазочной системы являются: производительность масляного насоса, потери на утечки и угар масла, а также износ и зазоры в подшипниках коленчатого вала двигателя [1]. Характер изменения количественных и качественных показателей системы смазки в процессе эксплуатации дизельного двигателя во многом оказывает влияние на его производительность, а также определяет общий срок службы агрегата с учётом особенностей его эксплуатации и технического обслуживания.

Процесс эксплуатации моторного масла при работе дизельного двигателя сопряжён с частичной регенерацией свойств, которая имеет место при доливке масла в объёме,

рекомендованном для данного типа смазочной системы, а также при фильтрации масла в дизельном двигателе. Поэтому, проводя анализ изменения количественных и качественных показателей смазочной системы при функционировании дизельного двигателя, следует принимать во внимание такие аспекты, как: полный комплекс процессов (как физических, так и химических), протекающих в процессе использования (старения масла), а также процесс обновления масла, посредством вливания свежего, до необходимого объёма.

Принимая во внимание тот факт, что в реальных условиях эксплуатационного использования двигателя не только качество претерпевает существенные изменения с течением времени, вследствие развития регенерационных процессов, но также под влиянием физических и химических процессов, происходящих в масштабах всего объёма масла дизельного двигателя, представляется, что объективно релевантным отображением кинетики изменений следует считать экспоненциальные кривые. Экспоненциальная зависимость отображена на рисунке 2. При этом её также следует считать определённым приближением среднего характера, преимущество которого заключается в том, что таким образом происходит относительно точное отображение общей тенденции изменений показателей качества моторного масла в процессе эксплуатации дизельного двигателя.

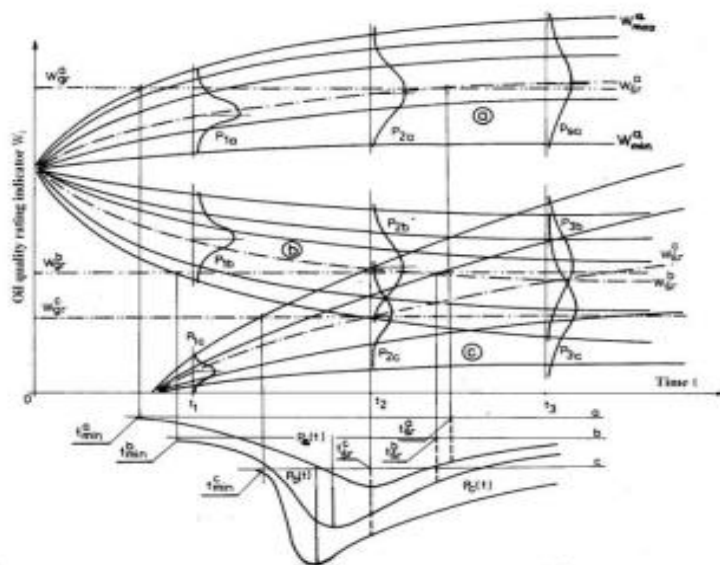


Рисунок 2. Кинетика изменений показателей оценки качества масла.

В частности, абсолютная разница параметров свежего моторного масла и этого же масла по истечении определённого промежутка времени его эксплуатационного использования даёт возможность провести оценку изменения свойств данного масла (состарившегося в процессе эксплуатации, по сравнению со свежими образцами). Последовательность изменений подобного рода представлена в виде формул Chmielewski, 2022):

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (P_0 - P_i)_p = \alpha \times \Delta t = 0,33 \times 122 = 40,26 \quad (5)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^n k^n = \alpha \times \Delta t \times k / 1 - k = 0,33 \times 122 \times 0,35 / 1 - 0,35 = 21,68 \quad (6)$$

где α – угол наклона прямой кинетики изменения показателя качества масла в системе смазки двигателя, Δt – время непрерывной работы двигателя между последовательными добавлениями масла в систему смазки, n – количество циклов циркуляции жидкости в

двигателе, k – выбранная единица объема свежего масла в смазочной системе двигателя при упорядоченном добавлении порционных объемов нового масла, P – анализ характеристик масла в системе смазки, которое для свежего, неиспользованного масла принимает значение параметра P_0 и при старении, без учета обновления, претерпевает прямолинейные изменения в зависимости от параметра времени эксплуатационного использования до принятия окончательного значения числа n в очередном рабочем цикле.

Математическая модель, описанная посредством выражений (5) и (6), даёт основания сделать вывод о том, что процесс старения моторного масла при работе дизельного двигателя не имеет прямой зависимости от параметра времени. При этом показатель кинематической вязкости моторных масел, функционирующих при рабочей температуре 100°C в любых эксплуатационных условиях, может быть использован для составления предварительных прогнозов поведения моторного масла на любом этапе работы дизельного двигателя. При этом необходимо принимать во внимание тот факт, что для получения полной картины текущих изменений, происходящих в моторном масле, следует соотносить параметр кинематической вязкости с параметром динамической вязкости (HTHS), а также учитывать степень окисления и показатель кислотности масла. Все перечисленные параметры способны оказать существенное влияние на надёжность функционирования дизельного двигателя на любом этапе эксплуатации, что обуславливает важность непрерывного наблюдения за процессом старения моторного масла. Кроме того, имеет значение характер эксплуатации дизельного двигателя в конкретных погодных условиях, а также особенности его запуска, прогрева, работы на холостом ходу, остановки и т.д. Следовательно, характер изменения количественных и качественных показателей смазочной системы при работе дизельного двигателя не всегда соответствует реальным изменениям, имеющим место в двигателе в процессе его эксплуатации в среднестатистических условиях, а также при усреднённых рабочих нагрузках.

Особое значение в контексте общей динамики количественных и качественных изменений системы смазки имеет показатель износа подшипников коленчатого вала дизельного двигателя. В процессе эксплуатации дизельного двигателя показатель общего износа возрастает по экспоненте [1]:

$$S = S_0 e^b = 3,23 \times 0,56 = 1,8088 \quad (7)$$

При этом параметр интенсивности изнашивания также возрастает в экспоненциальной зависимости:

$$A = A_0 e^b = 1,55 \times 0,56 = 0,868 \quad (8)$$

где A_0 и S_0 соответственно показатели интенсивности изнашивания и фактический износ

на этапе конечной приработки деталей, отмеченные на момент начала эксплуатационного использования дизельного двигателя; b – параметр изменения интенсивности изнашивания деталей на единицу их износа.

С учётом выражений (5) и (6) можно получить выражение для определения зависимости давления масла в системе смазки от выработки дизельного двигателя [1].

$$P = 0,33/3,23=0,102$$

(9)

где параметр $P_0 = \alpha/S_0^m$ отображает давление на конечном этапе приработки деталей двигателя, приведенное на момент начала его эксплуатационного использования.

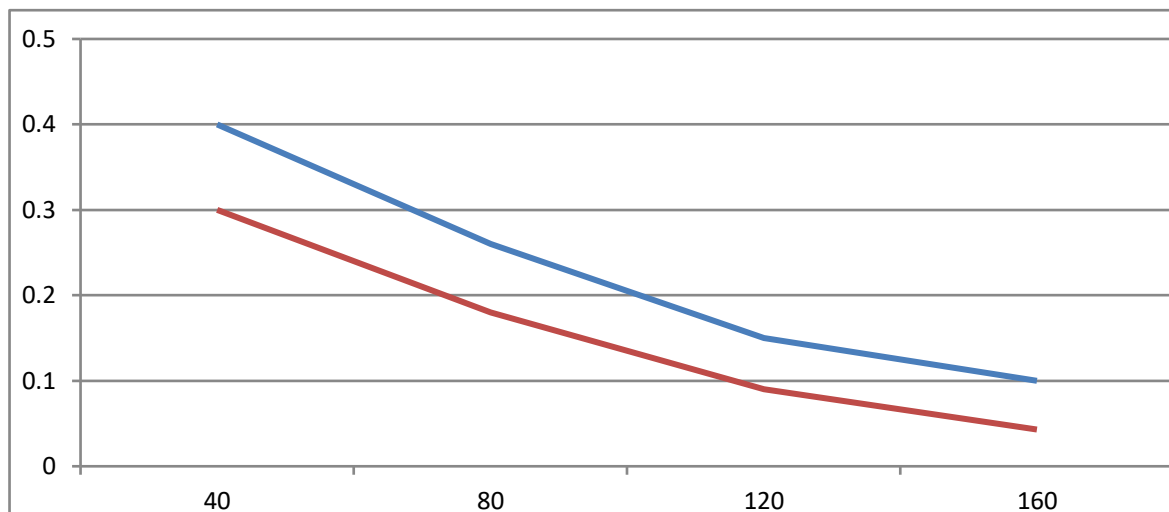


Рисунок 3. Зависимость параметра давления в смазочной системе от пробега двигателя ЯМЗ-236.

На рисунках 3 и 4 представлены диаграммы зависимости параметра давления масла в системе смазки от выработки дизельного двигателя с течением времени, полученная вследствие математической обработки выражения (9). Эксперимент был проведен с использованием двигателей ЯМЗ -236 и Мерседес 611.

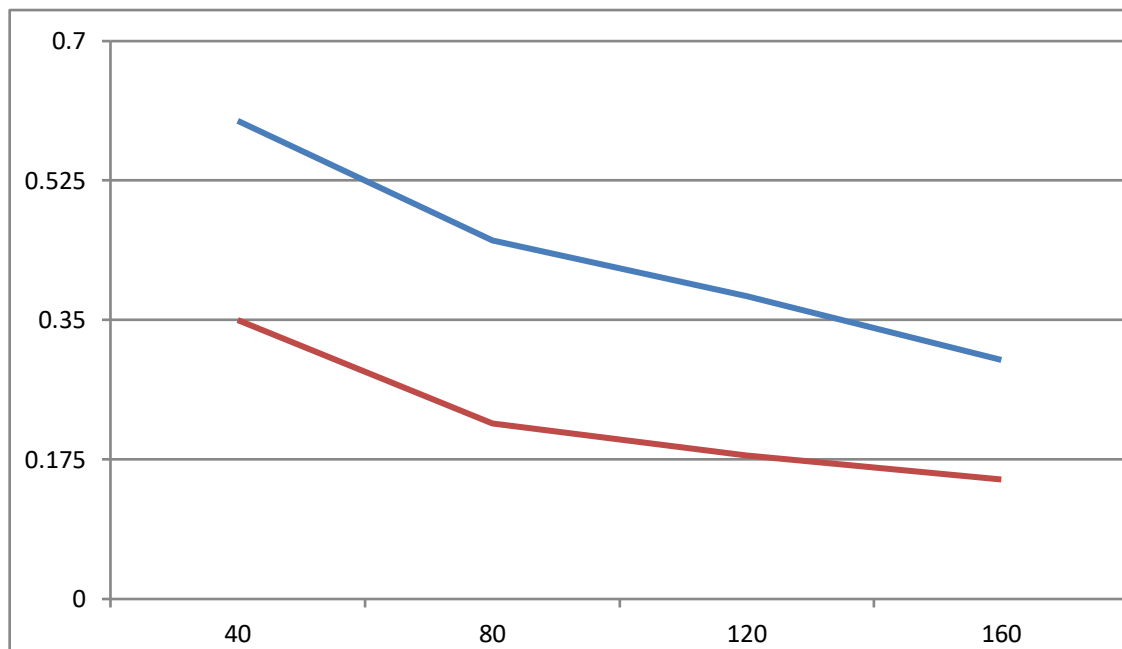


Рисунок 4. Зависимость параметра давления в смазочной системе от пробега двигателя Мерседес 611.

На рисунках 3 и 4 синим цветом отображены зависимости на номинальном режиме работы двигателя, красным цветом – на холостом ходу. При этом при снижении давления масла в системе смазки двигателя отмечается заметное изменение воздействия силы трения на подшипники коленчатого вала двигателя, что отображается на показателях его износа. Таким образом, проведенный эксперимент показывает заметное снижение параметра давления масла в системе смазки по мере пробега двигателя. При этом по мере увеличения пробега двигателя после 120000 км показатель давления масла в топливной системе снижается менее интенсивно, нежели при меньшем пробеге. Закономерно, что в данном случае отмечается значительно меньший износ трущихся частей, в частности подшипников коленчатого вала двигателя. Отмечается непосредственная взаимосвязь между равномерностью снижения показателя давления масла в картере двигателя и продолжительностью его срока службы, и износом в целом

Отдельного внимания заслуживает исследование характера изменений таких параметров моторного масла, как: щелочного числа S , показателя вязкости масла μ , температуры вспышки t , а также плотности ρ в зависимости от наработки двигателя в процессе его эксплуатационного использования. Для расчёта данных параметров была использована формула (6) [2].

В ходе эксперимента был исследован характер изменения указанных параметров дизельных двигателей ЯМЗ-236 и Мерседес 611 на 5000 километров пробега. При анализе проб масла определялись: кинематическая вязкость (ν), температура вспышки в открытом тигле (t_o), щелочное число (мг КОН/г) масла, плотность при 20 $^{\circ}\text{C}$ (г/дм^3). Параметры определялись в лаборатории по методикам ГОСТ.

Щелочное число масел выражено через количество (в мг) гидроокиси калия (KOH), эквивалентное содержанию всех видов щелочей в 1 г масла.

Кинематическая вязкость (ν) определялась в соответствии с ГОСТ 33-2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости».

Температура вспышки в открытом тигле (t_o) определялась в соответствии с ГОСТ 4333-87 «Нефтепродукты. Метод определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле». Полученные результаты представлены соответственно в таблицах 1 и 2.

Как следует из данных, представленных в таблицах 1 и 2, на протяжении взятых для экспериментального исследования 5000 километров пробега наиболее существенно изменяются такие параметра масла, как объём масла в системе, щелочное число, вязкость и температура вспышки. Плотность масла подобных существенных изменений не претерпевает. Это относится к обоим типам двигателей, взятых для экспериментального исследования. При установленных предварительно величинах выбранного для исследования показателя в начале использования масла границу образов неисправностей двигателя определяет фактическая динамика изменения параметра работающего масла на любой стадии эксплуатации двигателя [2]. Она определяет и окончательную величину исследуемого показателя при установленном характере научного исследования.

Полученные в ходе экспериментального исследования показатели работающего масла на установленное количество километров пробега определяют характер развития неисправностей, возникающих при эксплуатации дизельного двигателя. В частности, изменения показателя уровня масла в картере дизельного двигателя (увеличение данного

параметра) может указывать на наличие неисправностей в работе топливной системы в целом. В ходе проведенного экспериментального исследования были получены показатели 35 литров масла для двигателя ЯМЗ-236 и 42 литра масла для двигателя Мерседес 611 со снижением данных параметров до уровня 19 и 20 литров соответственно. Кроме того, нарушения распыливания топлива в топливной системе может привести к попаданию части топлива в картер двигателя, что увеличивает объем масла и негативно сказывается на функционировании смазочной системы двигателя в целом.

Таблица 1. Характер изменения параметров масла в системе смазки двигателя ЯМЗ-236 на 5000 километров пробега.

Параметр	S_0	S_k	$\Delta S\%$
Объем масла в системе л	35	19	45,7
Щелочное число	18	14	22,2
Плотность масла, кг/м ³	875	868	0,8
Вязкость масла, мм ² /с	10,5	8,1	22,8
Температура вспышки, °С	225	210	6,6

Источник: составлено автором

Таблица 2. Характер изменения параметров масла в системе смазки двигателя Мерседес 611 на 5000 километров пробега.

Параметр	S_0	S_k	$\Delta S\%$
Объем масла в системе, л	42	20	52,3
Щелочное число	17	11	35,2
Плотность масла, кг/м ³	886	880	0,6
Вязкость масла, мм ² /с	10,6	8,2	22,6
Температура вспышки, °С	234	215	8,1

Источник: составлено автором

Щелочное число является вторым по значимости показателем работы масла в системе смазки дизельного двигателя. В ходе эксперимента были получены показатели снижения щелочного числа со значений 18 для двигателя ЯМЗ-236 и 17 для двигателя Мерседес 611 соответственно до показателей 14 и 11. В случае более интенсивного снижения рассматриваемого параметра может быть отмечен перегрев двигателя, что приведёт к его преждевременному выходу из строя. Вязкость масла является также важным показателем с точки зрения оценки общей эффективности функционирования масла в смазочной системе. В ходе проведенного эксперимента отмечено снижение данного показателя со значений 10,5 мм²/с для двигателя ЯМЗ-236 и 10,6 мм²/с для двигателя Мерседес 611

соответственно до показателей 8,1 мм²/с и 8,2 мм²/с. Более интенсивное снижение рассматриваемого параметра может стать индикатором нарушения целостности тракта впуска масла в системе. В то же время, увеличение данного параметра свидетельствует о высокой степени загрязнения фильтров системы смазки.

Температура вспышки масла является показателем, по которому можно судить о степени исправности топливной аппаратуры. В ходе проведенного экспериментального исследования были отмечено существенное снижение данного показателя со значений 225 °С для двигателя ЯМЗ-236 и 234 °С для двигателя Мерседес 611 соответственно до показателей 210 °С и 215 °С соответственно. В обоих случаях подобное снижение свидетельствует об имеющихся неисправностях функционирования топливной системы, которые требуют своевременного устранения.

Показатель плотности масла не претерпел существенных изменений в ходе проведенного эксперимента и его не следует принимать во внимание при оценке динамики изменения основных показателей функционирования смазочной системы.

Таким образом, характер изменения основных количественных и качественных показателей системы смазки при работе дизельного двигателя внутреннего сгорания отображает его текущее состояние и может считаться индикатором развития процессов, оказывающих непосредственное влияние на функциональность двигателя. По динамике изменения данных параметров можно судить о состоянии двигателя в целом и исправности отдельных его систем, что имеет значение с точки зрения обеспечения безаварийной эксплуатации дизельного двигателя и проведения его плановых ремонтов при возникновении подобной необходимости.

В ходе выполнения данной научно-исследовательской работы были получены результаты, свидетельствующие о наличии выраженной взаимосвязи характера изменения качественных и количественных показателей системы смазки дизельного двигателя с химическим и физическим составом используемого масла. Кроме того, подтверждено ключевое значение своевременности проведения мониторинга технического состояния смазочной системы в контексте его влияния на функционирование двигателя в целом.

В контексте тематики, заявленной в данной научной работе, имеет особое значение оценка возможных рисков, возникающих при работе дизельного двигателя. Широкий ряд проблемных аспектов снижения рисков при обслуживании двухтактных дизельных двигателей был рассмотрен в совместной научно-исследовательской работе B. Unver, I. Altin, S. Gurgen, (2021). Учёные обращают внимание на тот факт, что своевременно выполненные работы по техническому обслуживанию дизельных двигателей имеют большое значение для их безопасного последующего использования. По мнению авторов, продолжительность безаварийного функционирования дизельного двигателя во многом зависит от состояния его системы смазки, а также эффективного отслеживания характера изменения её количественных и качественных параметров. В целом выводы автором подтверждаются результатами данной работы, поскольку подчёркивают взаимосвязь между параметрами смазочной системы двигателя и безаварийностью его эксплуатации.

Характер изменений количественных и качественных показателей системы смазки при работе дизельного двигателя во многом определяется степенью очистки масла в системе. В свою очередь, J. Huniczetal, (2024) в совместной научно-исследовательской работе, направленной на изучение ключевых аспектов сжигания смеси гидроочищенного масла в

дизельном двигателе, отмечают, что характер изменения количественных и качественных показателей системы смазки при работе дизельного двигателя во многом определяется выбором масла в данной системе. В частности, высокая скорость циркуляции отработанных газов в процессе сгорания оказывает влияние на параметр давления наддува, что, в свою очередь, влияет на объёмы выбросов, причём характер изменения данных объёмов напрямую зависит от показателя очистки масла в системе смазки. В контексте результатов данной работы выводы исследователей нуждаются в проверке, поскольку давление наддува оказывает косвенное влияние на характер изменения параметров смазочной системы двигателя.

Отдельного внимания заслуживает рассмотрение возможных типов масел, используемых в системе смазки при работе дизельного двигателя. Вопросы применения различных типов масел при работе дизельного двигателя при холодном и горячем пуске на кислородосодержащих топливах были рассмотрены в совместной научной статье А. Zareetal, (2021). Учёными отмечается, что на сегодняшний день большинство дизельных двигателей оснащаются турбонаддувом, что позволяет значительно экономить топливо и снижать расход масла в системе смазки. При этом изменение количественных и качественных показателей системы смазки при работе дизельного двигателя также связано с типом используемого топлива, в частности, биотопливо с большой концентрацией кислорода улучшает сгорание при задержке турбокомпрессора. Мнение исследователей подтверждается полученными результатами, поскольку тип топлива непосредственно влияет на изменение параметров смазочной системы двигателя. Вопросы качества очистки масла играют одну из ключевых ролей в вопросах оценки характера количественных и качественных изменений параметров системы смазки при работе дизельного двигателя. Проблематика влияния загрязнения масла в системе смазки на параметры износа дизельного двигателя рассматриваются в научной работе S. George, S. Balla, M. Gautman, (2022). Авторами отмечается, что загрязнение масла в системе смазки дизельной сажей является одной из причин износа двигателей и их преждевременного выхода из строя. В данном контексте особое значение имеет изучение факторов, оказывающих влияние на изменение поверхности сажи и её модификацию, а также влекущих за собой изменения в работе дизельного двигателя, ведущие к снижению его моторного ресурса и преждевременному выходу из строя. Характер износа дизельного двигателя напрямую связан с характером загрязнения его смазочной системы, что свидетельствует о соответствии результатов учёных результатам данного научного исследования.

Отдельного внимания заслуживают вопросы влияния выбросов масла в окружающую среду на характер изменения количественных и качественных параметров смазочной системы. В совместной научно-исследовательской работе С. Pardo-Garcia, S. Orjuela-Abril, J. Rabon-Leon, (2022) затрагиваются ключевые аспекты влияния ключевых характеристик выбросов и циркуляции масла в системе смазки на изменение свойств двойного дизельного двигателя внутреннего сгорания двойного действия, функционирующего на дизельном топливе и водороде. Учёными отмечается, что, как правило, влияние водорода на изменение характеристик масла в системе смазки полностью игнорируется, несмотря на то, что этот элемент является одним из основных видов газообразных топлив. Изменение физико-химических характеристик смеси топлива оказывает влияние, как на окружающую среду, так и на характер функционирования дизельного двигателя, что необходимо учитывать при проведении технических расчётов ключевых параметров. В контексте

результатов данной работы высказанное мнение представляется спорным, поскольку характер влияния изменения физико-химических характеристик смеси топлива на окружающую среду до конца не изучен.

Одной из побочных проблем влияния изменения количественных и качественных показателей функционирования системы смазки дизельного двигателя является пропуски зажигания в цилиндрах. Данному вопросу посвящено научное исследование A. Syno, J. Czarnigowski и P. Jaklinski, (2021), в котором авторами отмечается, что вибрация дизельного двигателя является одним из ключевых показателей его нормального функционирования. Нарушения работы системы смазки, проявляющиеся в проблемах и неполадках зажигания, а также повышенной вибрации двигателя, являются следствием нарушения оптимального сочетания количественных и качественных параметров работы системы смазки, что ведёт к её преждевременному износу и выходу из строя. Высказанное мнение подтверждается полученными результатами, поскольку характер изменения количественных и качественных показателей смазочной системы дизельного двигателя напрямую влияет на его износ и срок фактической эксплуатации.

В контексте взаимосвязи процессов расходования масла в системе смазки дизельного двигателя с процессами сгорания топлива и выброса отработанных газов в окружающую среду представляет научный интерес совместное исследование группы учёных в составе M. Mikulskietal, (2022). По мнению авторов, исследованию влияния различных типов масел на функциональность системы смазки посвящено множество научных работ в разных странах. Разнообразие исследований обуславливает наличие множества противоречивых результатов, что приводит к неопределённости в оценках степени влияния количественных и качественных показателей смазочной системы двигателя на течение процессов сгорания топлива и выброса отработанных газов в окружающую среду. Высказанное учёными мнение является спорным в контексте результатов данной работы, ввиду того что при использовании специально разработанной математической модели исследований реально установить фактическую зависимость степени износа дизельного двигателя и срока его эксплуатации от характера изменения количественных и качественных параметров его системы смазки.

Проблематика влияния фактора трения на работоспособность системы смазки имеет ключевое значение в контексте оценки эффективности функционирования дизельного двигателя. В частности, в научно-исследовательской работе группы авторов M.K. Dubey et al, (2022) рассматриваются проблемы влияния модификаторов трения на состояние моторного масла легковых автомобилей с дизельными двигателями. Учёные отмечают, что экспериментальные исследования эффективности применения органических и неорганических модификаторов трения наглядно демонстрируют динамику изменения коэффициента трения, а также параметров контактного износа и последовательности образования смазочной плёнки, которые являются важными качественными показателями системы смазки. Это мнение соответствует полученным в данном исследовании результатам, поскольку установлена непосредственная зависимость влияния силы трения на характер износа дизельного двигателя в процессе эксплуатации.

При оценке характера изменения количественных и качественных показателей работы смазочной системы дизельного двигателя особое значение имеет фактор использования в нём специальных типов топлива, в частности биодизеля. В научном исследовании J. Kataria, S. K. Mahapatra, и K. Kundu, (2019), направленном на изучение различных аспектов данной

проблемы, отмечается, что применение биодизельного топлива значительно снижает показатель трения в смазочной системе, что позитивно сказывается на продолжительности функционирования системы смазки и сроке эксплуатации дизельного двигателя в целом. Данное мнение подтверждается результатами проведенного научного исследования, поскольку доказано влияние снижения силы трения в системе смазки дизельного двигателя на его фактический срок эксплуатации.

Заключение

В ходе выполнения данной научно-исследовательской работы удалось установить, что характер изменения качественных показателей системы смазки при нормальном функционировании дизельного двигателя определяется текущим состоянием моторного масла и его физическими свойствами. Развитие процесса старения моторного масла определяет последовательность окисления его ключевых компонентов, а также их полимеризацию и нейтрализацию. При этом ограничивается допустимый срок службы моторного масла, что предполагает необходимость проведения процедуры его замены чаще, нежели установлено регламентом эксплуатации дизельного двигателя. Кроме того, текущие неисправности системы смазки могут привести к попаданию в моторное масло несгоревших фракций дизельного топлива, что ведёт к существенным качественным изменениям структуры моторного масла. Подобные процессы также имеют место в случае попадания в моторное масло охлаждающей жидкости, вследствие неисправности системы охлаждения дизельного двигателя. В подобных случаях необходимо своевременное принятие мер по ремонту двигателя, во избежание осложнения ситуации с последующим выходом его из строя.

Уменьшение показателя вязкости масла в системе смазки приводит к возрастанию вероятности сбоя нормального режима гидродинамического трения в сопряжённых узлах и механизмах. Одним из ключевых, подлежащих контролю показателей нормального функционирования системы смазки следует считать уровень масла в картере дизельного двигателя. Тем не менее, даже в случае сохранения стабильного уровня данного параметра, качественные параметры функционирования системы в целом могут существенно различаться. Данное обстоятельство следует принимать во внимание при создании и практическом внедрении систем диагностики дизельных двигателей.

Ограничения данного исследования обуславливаются наличием определённых технических характеристик систем смазки дизельных двигателей, оказывающих влияние на параметры работы двигателей в различных режимах.

Перспективы проведения последующих научных исследований в рамках тематики данной работы, обуславливаются необходимостью поиска оптимальных вариантов эксплуатации смазочных систем двигателей.

Вклад авторов:

А.М. Табинбаев – принимал участие в разработке математической модели, подготовке и написании текста статьи, внес существенный вклад в разработку концепции и дизайна исследования, участвовал в анализе и интерпретации полученных результатов, осуществлял критический пересмотр содержания статьи. Утвердил окончательный вариант статьи для публикации и согласился нести ответственность за достоверность данных и целостность исследования.

К.К. Джолдасова – принимала участие в разработке математической модели, подготовке и написании текста статьи. Утвердила окончательный вариант статьи для публикации.

А.М. Биниязов – внес существенный вклад в разработку концепции и дизайна исследования, участвовал в анализе и интерпретации полученных результатов, осуществлял критический пересмотр содержания статьи. Утвердил окончательный вариант статьи для публикации и согласился нести ответственность за достоверность данных и целостность исследования.

А.С. Денисов – участвовал в анализе и интерпретации полученных результатов. Утвердил окончательный вариант статьи для публикации.

Список литературы

1. Биниязов, А.М., Денисов, А.С., Анализ количественных и качественных изменений параметров смазочной системы в процессе эксплуатации дизеля // Наука и техника Казахстана. 2023, №2, с. 119-128.
2. Денисов, А.С., Биниязов, А.М., Требования к диагностическим параметрам работающего масла автомобильных дизельных двигателей // Научный журнал «Новости науки Казахстана», 2019, № 4. с. 127-136.
3. Aulin, V., Slon, V., Research on changes in power of car engines operating in non-stationary conditions, MOTROL. // Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2024. -Vol.17.- No.2. -pp. 103-108.
4. Chybowski, L., Szczepanek, M., A Quantitative and Qualitative Analysis of the Lubricity of Used Lubricating Oil Diluted with Diesel Oil // Applied Sciences. – 2024. - Volume 14. - Issue 11. - pp. 45-67.
5. Dubey, M.K., Chaudhary, R., Tribological evaluation of passenger car engine oil: Effect of friction modifiers // Results in Engineering. – 2022. - Volume 16. 100727.
6. George, S., Balla, S., Effect of diesel soot contaminated oil on engine wear // Wear. - 2022. - Volume 262. - Issues 9–10. - pp. 1113-1122.
7. Hunicz, J., Mikulski, M., Partially premixed combustion of hydrotreated vegetable oil in a diesel engine: Sensitivity to boost and exhaust gas recirculation // Fuel. - 2022. - Volume 307. 121910.
8. Kataria, J., Mahapatra, S.K., Kundu, K. Biodiesel production from waste cooking oil using heterogeneous catalysts and its operational characteristics on variable compression ratio CI engine // Journal of the Energy Institute. – 2019. - Volume 92. - Issue 2. - pp. 275-287.
9. McClellan, R.O., Hesterberg, T.W., Woll, J.C., Evaluation of carcinogenic hazard of diesel engine exhaust needs to consider revolutionary changes in diesel technology // Regulatory Toxicology and Pharmacology. – 2022. - Volume 63. - Issue 2, - pp. 225-258.
10. Mikulski, M., Hunicz, J., Tyre pyrolytic oil fuel blends in a modern compression ignition engine: A comprehensive combustion and emissions analysis // Fuel. - 2022. - Volume 320. 123869.
11. Pardo-Garcia, C., Orjuela-Abril, S., Pabon-Leon, J., Investigation of Emission Characteristics and Lubrication Oil Properties in a Dual Diesel–Hydrogen Internal Combustion Engine // Lubricants. – 2022. - №10(4). - pp. 1-15.
12. Syno, A., Czarnigowski, J., Jaklinski, P., Detection of cylinder misfire in an aircraft engine using linear and non-linear signal analysis // Measurement. - 2021. - Volume 174, 108982.

13. Tabinbayev A.M., Diagnosis and assessment of the lubrication system of KAMAZ diesel engines / A. Tabinbayev, K. Okas, L. Nurgaliyev, L. Sarsenbayeva, A. Biniyazov // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. Pages 1-15. 2026.
14. Unver, B., Altin, I., Gurgen, S., Risk ranking of maintenance activities in a two-stroke marine diesel engine via fuzzy AHP method // Applied Ocean Research. - 2021. - Volume 111, 102648.
15. Zare, A., Bodisko, T.A., Nabi, M.N., Hossain, F.M., Ristovski, Z.D., Brown, R.J., 2021, Fuel, Volume 228, pp. 390-404.

A.M. Tabinbayev¹, K.K. Dzholdasova¹, A.M. Biniyazov^{*2}, A.S. Denisov³

¹ Satbayev University, Almaty city, Republic of Kazakhstan

² West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk city, Republic of Kazakhstan

³ Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov city, Russian Federation

Researching the dynamics of engine oil property changes and diesel lubrication system condition during service life

Abstract. The aim of this study is to provide a detailed analysis of the relationship between the quantitative and qualitative performance parameters of a diesel engine lubrication system and the patterns of their change throughout the operational period. Understanding these dynamics is critical for enhancing the reliability and durability of diesel power units. The methodology involved a comprehensive computational, analytical, and experimental investigation, utilizing physico-chemical analysis of motor oil samples and monitoring the engine's operational indicators. It was established that ongoing changes in the physico-chemical composition of the motor oil are a key factor determining the dynamics of all quantitative and qualitative indicators within the lubrication system. The progression of oil aging (including polymerization) directly affects the rate of component degradation, significantly shortening its useful service life and necessitating strict adherence to replacement schedules. The study also identified a specific risk: changes in the technical condition of the lubrication system can lead to oil fractions entering the fuel system. This constitutes a serious violation of operational standards, causing off-design operating modes and multiplying the risk of premature engine wear and failure. In conclusion, the dynamics of change in lubrication system indicators is a complex, multifactorial dependency that can be represented by a graphical model. The practical value of this research lies in developing a foundation for optimizing maintenance strategies and increasing the operational efficiency of diesel engines.

Keywords: automotive machinery, design of units and assemblies, engine wear, change in oil properties, oil consumption due to evaporation and burning, fuel economy regulation.

References

1. Biniyazov, A.M., Denisov, A.S., Analiz kolichestvennyh i kachestvennyh izmenenij parametrov smazочноj sistemy v processe ekspluatatsii dizelya [Tekst] // Nauka i tekhnika Kazahstana.-2023.-№2. - S. 119-128.

2. Denisov, A.S., Biniyazov, A.M., Trebovaniya k diagnosticheskim parametram rabotayushchego masla avtomobil'nyh dizel'nyh dvigatelej [Tekst] // Nauchnyj zhurnal «Novosti nauki Kazahstana». - 2019. - № 4. - S. 127-136.
3. Aulin, V., Slon, V., Research on changes in power of car engines operating in non-stationary conditions, MOTROL. // Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2024. -Vol.17.- No.2. -pp. 103-108.
4. Chybowski, L., Szczepanek, M., A Quantitative and Qualitative Analysis of the Lubricity of Used Lubricating Oil Diluted with Diesel Oil // Applied Sciences. – 2024. - Volume 14. - Issue 11. - pp. 45-67.
5. Dubey, M.K., Chaudhary, R., Tribological evaluation of passenger car engine oil: Effect of friction modifiers // Results in Engineering. – 2022. - Volume 16. 100727.
6. George, S., Balla, S., Effect of diesel soot contaminated oil on engine wear // Wear. - 2022. - Volume 262. - Issues 9–10. - pp. 1113-1122.
7. Hunicz, J., Mikulski, M., Partially premixed combustion of hydrotreated vegetable oil in a diesel engine: Sensitivity to boost and exhaust gas recirculation // Fuel. - 2022. - Volume 307. 121910.
8. Kataria, J., Mahapatra, S.K., Kundu, K. Biodiesel production from waste cooking oil using heterogeneous catalysts and its operational characteristics on variable compression ratio CI engine // Journal of the Energy Institute. – 2019. - Volume 92. - Issue 2. - pp. 275-287.
9. McClellan, R.O., Hesterberg, T.W., Woll, J.C., Evaluation of carcinogenic hazard of diesel engine exhaust needs to consider revolutionary changes in diesel technology // Regulatory Toxicology and Pharmacology. – 2022. - Volume 63. - Issue 2, - pp. 225-258.
10. Mikulski, M., Hunicz, J., Tyre pyrolytic oil fuel blends in a modern compression ignition engine: A comprehensive combustion and emissions analysis // Fuel. - 2022. - Volume 320. 123869.
11. Pardo-Garcia, C., Orjuela-Abril, S., Pabon-Leon, J., Investigation of Emission Characteristics and Lubrication Oil Properties in a Dual Diesel–Hydrogen Internal Combustion Engine // Lubricants. – 2022. - №10(4). - pp. 1-15.
12. Syno, A., Czarnigowski, J., Jaklinski, P., Detection of cylinder misfire in an aircraft engine using linear and non-linear signal analysis // Measurement. - 2021. - Volume 174, 108982.
13. Tabinbayev A.M., Diagnosis and assessment of the lubrication system of KAMAZ diesel engines / A. Tabinbayev, K. Okas, L. Nurgaliyev, L. Sarsenbayeva, A. Biniyazov // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. Pages 1-15. 2026.
14. Unver, B., Altin, I., Gorgen, S., Risk ranking of maintenance activities in a two-stroke marine diesel engine via fuzzy AHP method // Applied Ocean Research. - 2021. - Volume 111, 102648.
15. Zare, A., Bodisko, T.A., Nabi, M.N., Hossain, F.M., Ristovski, Z.D., Brown, R.J., 2021, Fuel, Volume 228, pp. 390-404.

Сведения об авторах:

Табинбаев Аманжол Муратович, докторант по образовательной программе «Транспорт, транспортная техника и технологии», кафедры «Технологические машины и транспорта». Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы 410003 Республика Казахстан.

Джолдасова Куралай Каирберлиновна, кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Технологические машины и транспорта».

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы 410003 Республика Казахстан.

Биниязов Абзал Махсотович, доктор философии (PhD), ассоциированный профессор кафедры «Транспорт и технологии», Западно Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск, 090009, Республика Казахстан

Денисов Александр Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Организация перевозок, безопасность движения и сервис автомобилей». Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, г. Саратов 410003 Российская федерация.

Tabynbayev Amanzhol Muratovich, Doctoral Student in the educational program "Transport, Transport Equipment and Technologies", Department "Technological Machines and Transport". Satbayev Kazakh National Research Technical University, Almaty 410003, Republic of Kazakhstan.
Dzholdasova Kuralay Kairberlinovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department "Technological Machines and Transport". Satbayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, 410003, Republic of Kazakhstan.

Biniyazov Abzal Makhsotovich, Doctor of Philosophy (PhD), Associate Professor, Department "Transport and Technologies", West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, 090009, Republic of Kazakhstan.

Denisov Alexander Sergeevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department "Organization of transportation, traffic safety and car service". Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov 410003, Russian Federation.



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).