

**ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПЛИВА И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ/CHEMICAL TECHNOLOGY OF FUELS AND HIGH-ENERGY SUBSTANCES**DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.128> EDN: OXDBNR**ПОКАЗАТЕЛИ ВИБРАЦИИ КАК ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИСАДОК, ИЗМЕНЯЮЩИХ РАБОЧИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Научная статья

Цыганков Д.В.¹, Дрозденко Ю.В.², Полозова А.В.^{3,*}, Мирошников А.М.⁴^{1, 2, 3} Кузбасский государственный технический университет, Кемерово, Российская Федерация⁴ Кемеровский государственный университет, Кемерово, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (avbashtanova96[at]mail.ru)

Аннотация

Актуальность. Работа посвящена разработке экспресс-метода определения эффективности топливных присадок, которые изменяют условия горения топлива. Такой подход позволяет ускорить подбор топливных присадок для конкретного топлива и спрогнозировать его эффективность работы в реальных условиях.

Цель. Разработка методики, позволяющей по показателям вибрации оценить эффективность работы топливных композиций с присадками.

Методы. Данный метод основан на измерении виброускорений по частотам работы двигателя как под нагрузкой, так и на холостом ходу. Он вытекает из второго закона термодинамики, согласно которому при эффективной работе присадки будет возрастать чистая работа pV , но вместе с работой увеличиваются и потери – это вибрации, свет и нагрев камеры сгорания двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Поэтому, если измерить вибрацию и установить, что она возрастает, то можно сделать вывод, о том, что будет увеличиваться чистая работа, а значит и эффективность присадки.

Результаты и выводы. Оценить эффективность присадки напрямую по технико-экономическим показателям ДВС бывает не всегда возможно, а по показателю вибрации – это может оказаться намного быстрее и проще. Данный метод не позволяет получить абсолютные показатели двигателя, но для сравнительных характеристик он вполне подходит. Чтобы убедиться в данных предположениях, была испытана присадка, которая заранее доказала свою эффективность по влиянию на технико-экономические показатели ДВС. Измерено виброускорение в разных точках двигателя и установлено, что в присутствие присадки происходит рост общего уровня виброускорения, а также происходит гармонизация колебаний, характеризующаяся ритмичностью повторяющихся колебаний. Рост виброускорения говорит о том, что присадка работает и дает увеличение чистой работы ДВС, а ритмичность подтверждает то, что присадка делает работу ДВС более плавной.

Ключевые слова: оксид пропилена, вибрация, виброускорение, ритмичность колебаний, частоты.

VIBRATION INDICES AS AN EXPRESS METHOD FOR DETERMINING THE EFFECTIVENESS OF ADDITIVES THAT MODIFY THE OPERATING PARAMETERS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Research article

Cyganov D.V.¹, Drozdenko Y.V.², Polozova A.V.^{3,*}, Miroshnikov A.M.⁴^{1, 2, 3} Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation⁴ Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

* Corresponding author (avbashtanova96[at]mail.ru)

Abstract

Relevance. The work is devoted to the development of an express method for determining the effectiveness of fuel additives that modify fuel combustion conditions. Such an approach makes it possible to expedite the selection of fuel additives for a specific type of fuel and to predict their performance under real-world conditions.

Objective: To develop a methodology for assessing the performance of fuel compositions with additives based on vibration indices.

Methods. This technique is based on measuring vibration accelerations at various engine speeds, both under load and at idle. It follows from the second law of thermodynamics, according to which, when the additive is working effectively, the net work pV will increase, but along with the work, losses also increase – these are vibrations, light and heating of the combustion chamber of the internal combustion engine (ICE). Therefore, if vibration is measured and found to be increasing, it can be concluded that net work will increase, and consequently so will the additive's effectiveness.

Results and conclusions. It is not always possible to evaluate the effectiveness of an additive directly based on the technical and economic performance of an ICE; however, assessing it based on vibration indices can prove to be much quicker and simpler. This method does not provide absolute engine performance figures, but it is entirely suitable for comparative analysis. To verify these assumptions, an additive was tested which had previously demonstrated its effectiveness in terms of its impact on the technical and economic performance of internal combustion engines. Vibration acceleration was measured at various points on the engine, and it was found that in the presence of the additive, there is an increase in the overall level of vibration acceleration, as well as a harmonisation of the vibrations, characterised by the rhythmic repetition of the oscillations.

The increase in vibration acceleration suggests that the additive is working and improves the engine's net performance, while the rhythmic nature confirms that the additive makes the engine's operation smoother.

Keywords: propylene oxide, vibration, vibration acceleration, oscillation rhythmicity, frequencies.

Введение

Важнейшими эксплуатационными характеристиками дизельных двигателей внутреннего сгорания являются показатели надежности, топливной экономичности и экологической безопасности, зависящие от комплекса конструктивных и эксплуатационных факторов.

Наиболее распространенным способом обеспечения требуемых свойств дизельного топлива отраженных в работах авторов [1], [2], является введение многофункциональных присадок. Предметом данного исследования является топливные присадки, изменяющие условия горения топлива, а целью работы является определение эффективности данных присадок за счет изменений показателей вибрации при работе двигателя.

Вибрация сопровождает многие процессы в технике, поэтому широко изучается уже долгое время. В технических системах зачастую происходит перемещение одних деталей по другим и при этом, чтобы избежать заклинивания, детали взаимодействуют с небольшими зазорами, которые в процессе износа будут только увеличиваться, а значит будет расти и вибрация. На этом принципе построена вся вибродиагностика в технических системах. Особенное распространение она получила в двигателях внутреннего сгорания, где множество деталей имеет посадки с зазором [3], [4].

В данном исследовании авторами использован обратный метод. Если в случае вибродиагностики, ее увеличение происходит за счет увеличения зазоров, то при положительном действии присадки, способствующей улучшению горения в двигателе, растут активные и инерционные силы в двигателе, что способствует и росту вибрации. При вибродиагностике меняются зазоры в сопряжениях, в нашем случае меняются силы, действующие на определенные детали двигателя.

Данное направление исследований описано в работе [5] д.т.н., профессора Родионова Юрия Викторовича в работе предлагается оценивать эффективность водно-топливных эмульсий схожим методом. При этом важно правильно выбрать места на двигателе для измерения показателей вибрации. От этого будет напрямую зависеть адекватность и точность измерений.

Поэтому основные задачи как в этой работе, так и на будущее, это правильное выявление мест локализации вибрации на двигателе.

Тема актуальна, поскольку традиционные методы оценки по технико-экономическим показателям двигателя часто требуют длительных и ресурсоемких испытаний.

Методы и принципы исследования

Согласно источника [6, С. 292] все тепловые двигатели, в том числе и ДВС работают по второму закону термодинамики, который можно записать следующим образом:

$$G = U - TS + pV, \quad (1)$$

Потенциал Гиббса (G) — это термодинамическая функция, которая показывает максимальную полезную работу, которую может совершить система при постоянных температуре и давлении. Для химических реакций (например, сгорания топлива).

где G — полная энергия;

U — внутренняя энергия;

T — температура;

S — энтропия;

p — давление;

V — объем.

Произведение pV представляет собой механическую работу двигателя. Однако производство чистой механической работы в ДВС связано с вибрациями, нагревом деталей и световой энергией [7]. В данном уравнении это не отражено, однако при анализе преобразовании энергий необходимо это учитывать. Очевидно, что чем выше будет чистая энергия pV , тем выше будут обозначенные потери.

При введении в топливо присадок, улучшающих условия сгорания, будет увеличиваться чистая работа pV , а значит больше станут и потери, в частности вибрация. Если нет данных об истинной эффективности топливной присадки, то можно измерить вибрацию двигателя и в том случае если она увеличится сделать вывод о положительном влиянии присадки. Зачастую, измерение вибрации сделать более просто, чем определить эффективность присадки по ее влиянию на технико-экономические показатели двигателя. В этом и состоит экспресс-метод определения эффективности присадок, изменяющих условия сгорания.

Основные результаты

Для того чтобы в этом убедиться, была испытана топливная композиция на основе оксида пропилена [8], [9] с точки зрения ее влияния на показатели вибрации дизеля. Испытания проводились на тракторном дизеле Д-37М при помощи вибронализатора «STD-3300, комплектации CORVET». Датчик прибора устанавливался сбоку и сзади двигателя в районе расположения площадки с номером двигателя. Двигатель располагался на моторном нагрузочном гидравлическом стенде штифтового типа марки VEB Diselmotorenwerk производства ГДР.

На первом этапе измерения проводились в режиме холостого хода, а на втором этапе под нагрузкой. Для испытания под нагрузкой рейка ТНВД перемещалась в крайнее максимальное положения и за счет стенда давалась такая нагрузка, которая обеспечивала поддержание сначала 1000 об/мин, а затем 1500 об/мин.

Результаты испытаний под нагрузкой представлены на рисунке 1 и 2. Ось абсцисс — это частоты в Герцах, на которых снимались показания, а ось ординат это виброускорение в м/с^2 .

Величины общего фона вибраций представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Величины общего фона вибрации на номере двигателя в зависимости от частоты вращения коленчатого вала

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.128.1>

Холостой ход			Под нагрузкой		
Без присадки	С присадкой	Δ , %	Без присадки	С присадкой	Δ , %
вибрация/ виброускорение, м/с^2			вибрация/ виброускорение, м/с^2		
Частота вращения коленчатого вала, 1000 об/мин					
0,837	0,910	108,7	1,4	1,604	114,6
Частота вращения коленчатого вала, 1500 об/мин					
1,602	1,987	124	1,376	2,302	167,3
Частота вращения коленчатого вала, 2000 об/мин					
3,217	3,729	115,9	-	-	-

Как видно из таблицы 1, величина виброускорения во всех случаях с присадкой больше, чем без присадки, что говорит об эффективности присадки с точки зрения сгорания.

Для того чтобы убедиться в том, что показатели вибрации действительно связаны с эффективными показателями двигателя было произведено измерение нагрузки для частоты 1000 об/мин по внешней скоростной характеристике двигателя. По результатам нагрузки и оборотов была определена мощность (N_e) при работе двигателя без присадки и с присадкой. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Изменение виброускорения в зависимости от максимальной мощности двигателя при 1000 об/мин

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.128.2>

Эффективная мощность N_e в кВт при 1000 об/мин		Прирост мощности в %	Увеличение виброускорения, %
Без присадки	С присадкой		
Без присадки	23,54	—	—
С присадкой	23,68	0,6	14,6*

Примечание: расчет изменения виброускорения в процентах произведен по данным таблицы 1*

Как видно из таблицы 2, при увеличении мощности действительно происходит увеличение показателей вибрации, в частности виброускорения. Если произвести корреляцию, то легко установить, что для данного условия на каждый кВт прироста мощности виброускорение увеличивается на $1,46 \text{ м/с}^2$.

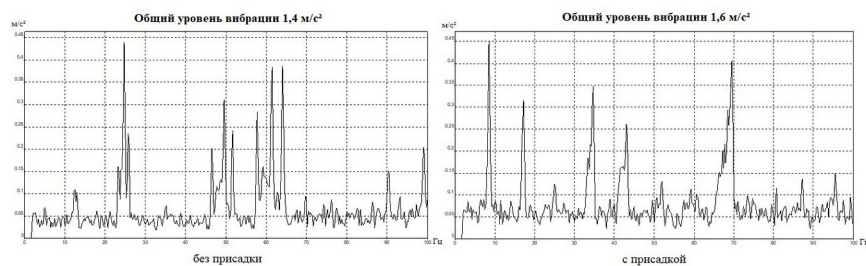


Рисунок 1 - Виброускорение двигателя при нагрузке на 1000 об/мин
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.128.3>

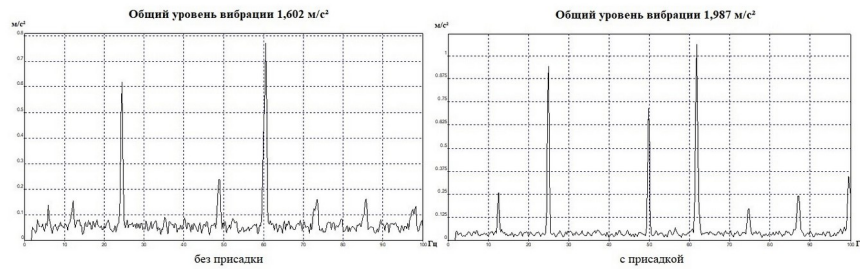


Рисунок 2 - Виброускорение двигателя при холостом ходу на 1500 об/мин
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.128.4>

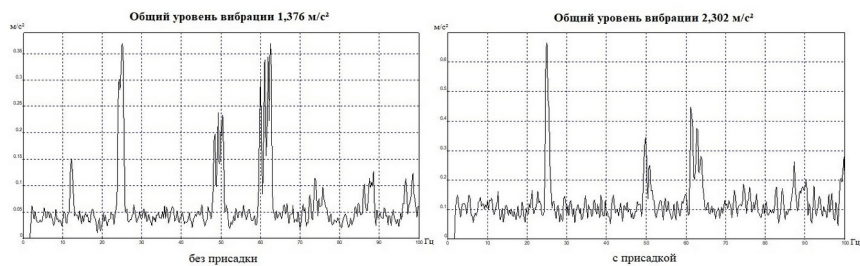


Рисунок 3 - Виброускорение двигателя при нагрузке на 1500 об/мин
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.128.5>

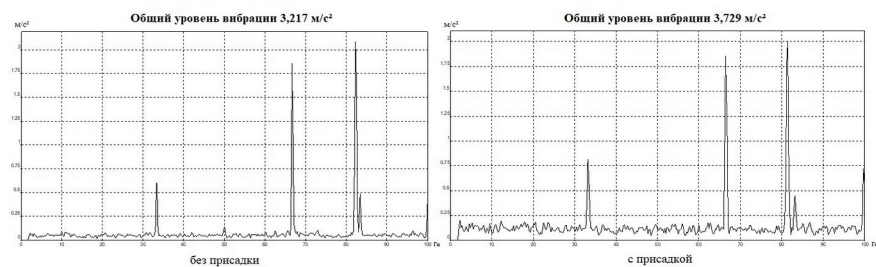


Рисунок 4 - Виброускорение двигателя при холостом ходу на 2000 об/мин
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.128.6>

Как оказалось, очень большое значение имеет точка измерения и положение измерительной головки (вертикальное или горизонтальное) на первом этапе мы производили измерения на блоке двигателя в районе расположения номера. При этом разница по измеренному виброускорению без присадки и с присадкой составляет менее, чем в 2 раза (см. таблицу 1), тогда как в следующий раз мы проводили измерения на том же двигателе, но ближе к очагам вибрации и зафиксировали расхождение по среднему уровню вибрации более чем в 10 раз (см. рисунки 2 и таблицу 3). Измерения проводились при частоте вращения 1000 об/мин, при этом если измерения проводились на холостом ходу, то рейка выставлялась на данную частоту, когда измерения проводились под нагрузкой, то рейка выставлялась в крайнее максимальное положение и при помощи увеличения нагрузки добивались 1000 об/мин.

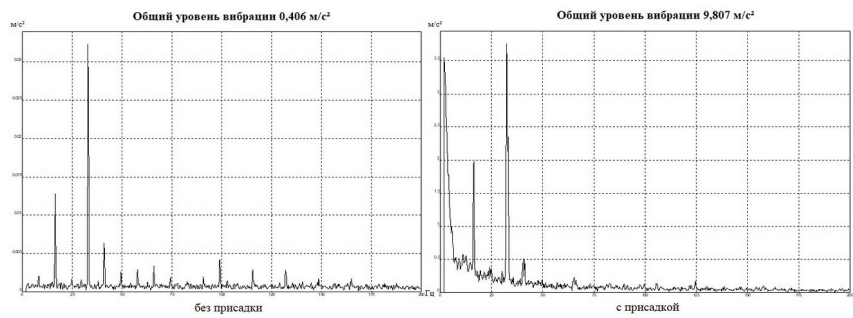


Рисунок 5 - Виброускорение двигателя при холостом ходу выход коленвала, вертикально снизу
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.128.7>

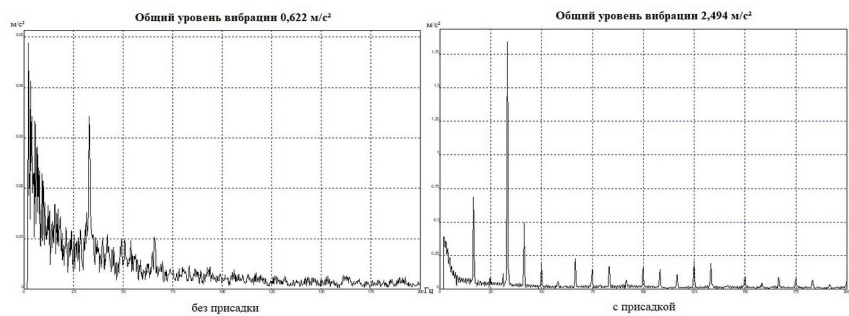


Рисунок 6 - Виброускорение двигателя под нагрузкой выход коленвала, вертикально снизу
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.128.8>

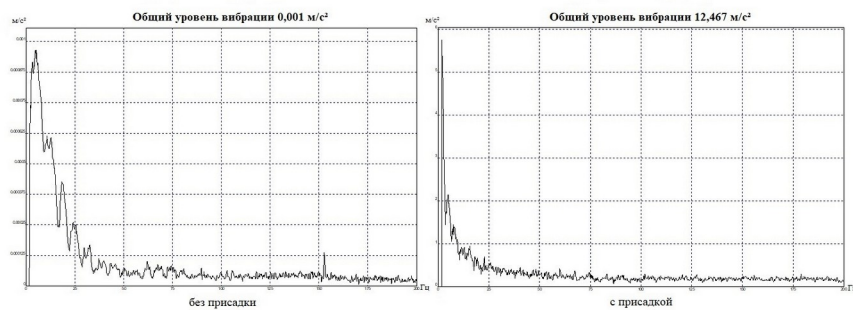


Рисунок 7 - Виброускорение двигателя при холостом ходу, вертикально на блоке
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.128.9>

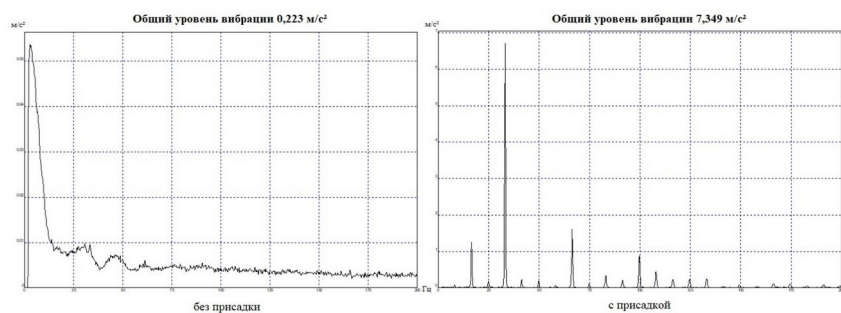


Рисунок 8 - Виброускорение двигателя под нагрузкой, вертикально на блоке
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.128.10>

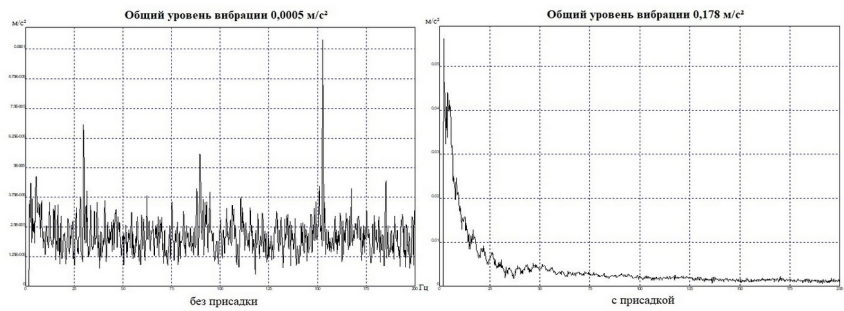


Рисунок 9 - Виброускорение двигателя при холостом ходу, горизонтально на блоке
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.128.11>

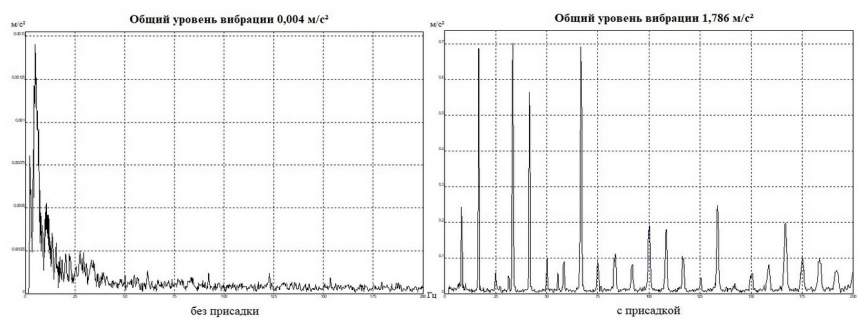


Рисунок 10 - Виброускорение двигателя под нагрузкой, горизонтально на блоке
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.128.12>

Таблица 3 - Величины общего фона вибрации в разных точках двигателя при 1000 об/мин
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.128.13>

Холостой ход			Под нагрузкой		
Без присадки	С присадкой	Δ, %	Без присадки	С присадкой	Δ, %
вибрация/ виброускорение, м/с ²			вибрация/ виброускорение, м/с ²		
Выход коленвала, вертикально снизу					
0,406	9,807	2413,7	0,622	2,494	401
Вертикально на блоке					
0,0024	12,467	519458	0,223	7,349	3289,6
Горизонтально на блоке					
0,0005	0,178	35600	0,004	1,786	45794,9

Отдельно следует отметить, то, что во всех случаях при втором замере, работа двигателя с присадкой под нагрузкой сопровождалась гармонизацией колебаний, через определенную частоту проявились повторяющиеся колебания. Такой результат может быть следствием того, что оксид пропилена делает работу двигателя более плавной, что неоднократно отмечалось на слух.

Такая работа двигателя объясняется следующим:

1. Присадка обеспечивает самовоспламенение дизельного топлива четко в соответствии с углом поворота коленчатого вала.
2. С присадкой работа идет на более низкой частоте, время одного колебания уменьшается, поскольку воспламенение начинается раньше. Такое предположение возможно по той причине, что оксид пропилена имеет очень малую энергию зажигания [10].

Обсуждение

В последние годы растет интерес ученых по изучению вибраций, в том числе ДВС. В одном случае вибрация изучается как исходный показатель шума двигателя. Чем выше вибрация, тем больше шум, а он строго



регламентируется, поэтому необходимо так проектировать двигатель, чтобы вписаться в этот норматив [11]. В другом случае вибрация изучается как показатель общей надежности тепловой машины. Чем выше вибрация, тем чаще необходимо протягивать элементы крепежей ДВС. С этой целью в конструкции многоцилиндровых двигателей используются балансировочные валы. Рассматривается изучение вибрации как способ диагностики ДВС. Измеряя в определенных местах виброускорение можно судить о состоянии коренных и шатунных подшипников коленчатого вала и не только их [12], [13].

Данное исследование направлено на получение сравнительных характеристик, которые помогут на начальных испытаниях присадки выявить ее эффективность. Не менее актуальным направлением измерения виброускорения, будут и те случаи, когда невозможно оценить эффективность присадки технико-экономическими показателями ДВС напрямую.

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о чувствительности вибрационных характеристик работы двигателя к наличию в топливе активной присадки. Работа вносит вклад в развитие методов диагностики и оперативного тестирования моторных топлив.

Предложенный метод оценки качества нефтепродукта позволит увеличить число испытательных методик, что в конечном счете способствует разнообразию проводимых испытаний. К. В. Шаталов указывает, что уровень метрологического обеспечения лаборатории позволяет совершенствовать метрологическое обеспечение испытаний, что в конце концов повышает качество и конкурентоспособность продукции [14]. В свою очередь, разнообразие испытательных методов и методик будет также оказывать влияние как на точность определения отдельных показателей, так и на качество топлива в целом.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Беляк А.Л., Восточно-Сибирский институт МВД России,
Иркутск Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.128.14>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Belyak A.L., East Siberian Institute of the Ministry of Internal
Affairs of Russia, Irkutsk Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.128.14>

Список литературы / References

1. Михайлова Н.Н. Прогрессивные методы улучшения эксплуатационных характеристик дизельного топлива / Н.Н. Михайлова, Э.И. Гасанзаде, С.Ю. Шавшукова и др. // International Journal of Advanced Studies. — 2023. — №1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/progressivnye-metody-uluchsheniya-ekspluatatsionnyh-harakteristik-dizelnogo-topliva>. (дата обращения: 10.02.26) doi: 10.12731/2227-930X-2024-14-2-286
2. Безюков О.К. Современные присадки к дизельному топливу / О.К. Безюков, В.А. Жуков, М.М. Маад // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. — 2016. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-prisadki-k-dizelnomu-toplivu>. (дата обращения: 04.09.25)
3. Журавлев А.О. Методы вибродиагностики от способа получения данных до их обработки современными средствами / А.О. Журавлев, А.О. Поляков, Д.А. Андриков // Вестник Российского университета дружбы народов.. — 2024. — №4. — URL: <http://doi.org/10.223.63/2312-8143-2024-05-4-380-396>. (дата обращения: 11.02.26) doi: 10.22363/2312-8143-2024-25-4-380-396
4. Садриев А.Г. Система определения технического состояния двигателя внутреннего сгорания на основе измерения и анализа вибрации / А.Г. Садриев, Д.М. Шамсутдинов, С.А. Вильцын и др. // International Journal of Advanced Studies. — 2024. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-opredeleniya-tehnicheskogo-sostoyaniya-dvigatelya-vnutrennego-sgoraniya-na-osnove-izmereniya-i-analiza-vibratsii>. (дата обращения: 11.02.26) doi: 10.12731/2227-930X2024-14-2-286
5. Родионов В.Ю. Исследование влияния водно-топливной эмульсии на уровень вибрации дизельного двигателя / В.Ю. Родионов // Наука в центральной России. — 2022. — URL: https://vniitin.ru/wp-content/uploads/2022/06/%D0%9C%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82_%D0%9D%D0%A6%D0%A0_%E2%84%963_2022_76-83.pdf. (дата обращения: 10.09.25)
6. Киреев В.А. Курс физической химии / В.А. Киреев. — Москва: Химия, 1975. — 776 с.
7. Злобин В.Г. Техническая термодинамика. Часть 1. Основные законы термодинамики. Циклы тепловых двигателей / В.Г. Злобин, С.В. Горбай, Т.Ю. Короткова. — Санкт-Петербург: Санкт-петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2016. — URL: <https://www.c-o-k.ru/library/document/12874/35771.pdf> (дата обращения: 21.10.25)
8. Пат. 2461605 Российская Федерация, МПК С10L1/18. Многофункциональная присадка к дизельному топливу / Мирошников А.М., Цыганков Д.В., Текутьев И.Б.; заявитель и патентообладатель Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева. — № 201111417304; заявл. 2011-04-11; опубл. 2012-09-20, — 5 с.
9. Цыганков Д.В. Повышение экологической безопасности автомобильного транспорта за счет использования оксида пропилен в качестве многофункциональной присадки к жидкому моторному топливу / Д.В. Цыганков. — Кемерово: КузГТУ, 2024. — 233 с.
10. Большаков Г.Ф. Физико-химические основы применения топлив и масел. Теоретические основы химмотологии / Г.Ф. Большаков. — Новосибирск: Наука. Сибирское отд-ние, 1987. — 208 с.



11. Руссиновский В.С. Разработка метода расчета вибрации и структурного шума корпусных деталей автомобильных дизелей dis. ...Candidate of Sciences: 05.04.02 : защищена 2005-07-09 : утв. 2005-07-09 / В.С. Руссиновский. — Москва: 2005. — 183 с.
12. Герике П.Б. Анализ виброакустических характеристик двигателей внутреннего сгорания / П.Б. Герике // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2014. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vibroakusticheskikh-harakteristik-dvigatelyey-vnutrennego-sgoraniya>. (дата обращения: 09.08.25)
13. Безюков О.К. Методы измерения виброактивности энергоустановок с использованием теории подобия и анализа размерностей / О.К. Безюков, О.В. Афанасьева // Записки Горного института. — 2015. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-otsenki-vibroaktivnosti-energoustanovok-s-ispolzovaniem-teorii-podobiya-i-analiza-razmernostey>. (дата обращения: 10.08.25)
14. Шаталов К.В. Новый подход к организации метрологического обеспечения испытаний нефтепродуктов / К.В. Шаталов // Химия и технология топлив и масел. — 2020. — 6. — С. 35–42.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Mixajlova N.N. Progressivny'e metody' uluchsheniya e'kspluatacionny'x charakteristik dizel'nogo topliva [Advanced methods for improving the performance of diesel fuel] / N.N. Mixajlova, E.I. Gasanzade, S.Yu. Shavshukova et al. // International Journal of Advanced Studies. — 2023. — №1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/progressivnye-metody-uluchsheniya-ekspluatatsionnyh-harakteristik-dizel'nogo-topliva>. (accessed: 10.02.26) doi: 10.12731/2227-930X-2024-14-2-286 [in Russian]
2. Bezyukov O.K. Sovremennye prisadki k dizel'nomu toplivu [Modern additives for diesel fuel] / O.K. Bezyukov, V.A. Zhukov, M.M. Maad // Oil and Gas Technologies and Environmental Safety. — 2016. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-prisadki-k-dizel'nomu-toplivu>. (accessed: 04.09.25) [in Russian]
3. Zhuravlev A.O. Metody' vibrodiagnostiki ot sposoba polucheniya danny'x do ix obrabotki sovremenny'mi sredstvami [Methods of vibration diagnostics, from data acquisition to modern data processing] / A.O. Zhuravlev, A.O. Polyakov, D.A. Andrikov // Peoples Friendship University of Russia. — 2024. — №4. — URL: <http://doi.org/10.223.63/2312-8143-2024-05-4-380-396>. (accessed: 11.02.26) doi: 10.22363/2312-8143-2024-25-4-380-396 [in Russian]
4. Sadriev A.G. Sistema opredeleniya texnicheskogo sostoyaniya dvigatelya vnutrennego sgoraniya na osnove izmereniya i analiza vibratsii [System for determining the technical condition of an internal combustion engine based on vibration measurement and analysis] / A.G. Sadriev, D.M. Shamsutdinov, S.A. Vil'cy'n et al. // International Journal of Advanced Studies. — 2024. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-opredeleniya-tehnicheskogo-sostoyaniya-dvigatelya-vnutrennego-sgoraniya-na-osnove-izmereniya-i-analiza-vibratsii>. (accessed: 11.02.26) doi: 10.12731/2227-930X2024-14-2-286 [in Russian]
5. Rodionov V.Yu. Issledovanie vliyaniya vodno-toplivnoj e'mul'sii na uroven' vibratsii dizel'nogo dvigatelya [Study of the effect of water-fuel emulsion on the vibration level of a diesel engine] / V.Yu. Rodionov // Science in the central Russia. — 2022. — URL: https://vniit.ru/wp-content/uploads/2022/06/%D0%9C%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82_%D0%9D%D0%A6%D0%A0_%E2%84%963_2022_76-83.pdf. (accessed: 10.09.25) [in Russian]
6. Kireev V.A. Kurs fizicheskoy khimii [Course of Physical Chemistry] / V.A. Kireev. — Moscow: Ximiya, 1975. — 776 p. [in Russian]
7. Zlobin V.G. Tekhnicheskaya termodinamika. Chast 1. Osnovnye zakoni termodinamiki. Tsikli teplovix dvigatelei [Technical Thermodynamics. Part 1. Basic Laws of Thermodynamics. Cycles of Heat Engines] / V.G. Zlobin, S.V. Gorbai, T.Yu. Korotkova. — Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 2016. — URL: <https://www.c-o-k.ru/library/document/12874/35771.pdf> (accessed: 21.10.25) [in Russian]
8. Pat. 2461605 Russian Federation, IPC C10L1/18. Mnogofunkcional'naya prisadka k dizel'nomu toplivu [Multifunctional additive for diesel fuel] / Mirosnik A.M., Cy'gankov D.V., Tekut'ev I.B.; the applicant and the patentee Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev. — № 201111417304; appl. 2011-04-11; publ. 2012-09-20, — 5 p. [in Russian]
9. Cy'gankov D.V. Povyshenie e'kologicheskoy bezopasnosti avtomobil'nogo transporta za schet ispol'zovaniya oksida propilena v kachestve mnogofunkcional'noj prisadki k zhidkomu motornomu toplivu [Improving the environmental safety of road transport by using propylene oxide as a multifunctional additive to liquid motor fuel] / D.V. Cy'gankov. — Kemerovo: KuzGTU, 2024. — 233 p. [in Russian]
10. Bol'shakov G.F. Fiziko-khimicheskie osnovy' primeneniya topliv i masel. Teoreticheskie osnovy' ximologii [Physical and chemical foundations of fuel and oil applications. Theoretical foundations of chemical engineering] / G.F. Bol'shakov. — Novosibirsk: Nauka. Sibirskoe otd-nie, 1987. — 208 p. [in Russian]
11. Russinovskij V.S. Razrabotka metoda rascheta vibratsii i strukturnogo shuma korpusny'x detalej avtomobil'ny'x dizelej [Development of a method for calculating vibration and structural noise of automobile diesel engine housings] dis.....of PhD in : 05.04.02 : defense of the thesis 2005-07-09 : approved 2005-07-09 / В.С. Руссиновский. — Moscow: 2005. — 183 p. [in Russian]
12. Gerike P.B. Analiz vibroakusticheskix charakteristik dvigatelej vnutrennego sgoraniya [Analysis of the vibroacoustic characteristics of internal combustion engines] / P.B. Gerike // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. — 2014. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vibroakusticheskikh-harakteristik-dvigatelyey-vnutrennego-sgoraniya>. (accessed: 09.08.25) [in Russian]
13. Bezyukov O.K. Metody' izmereniya vibroaktivnosti e'nergoustanovok s ispol'zovaniem teorii podobiya i analiza razmernostey [Methods for measuring the vibration activity of power plants using similarity theory and dimensional analysis] /



O.K. Bezyukov, O.V. Afanas'eva // Notes of the Mining Institute. — 2015. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-otsenki-vibroaktivnosti-energoustanovok-s-ispolzovaniem-teorii-podobiya-i-analiza-razmernostey>. (accessed: 10.08.25) [in Russian]

14. Shatalov K.V. Novy'j podxod k organizacii metrologicheskogo obespecheniya ispy'tanij nefteproduktov [A new approach to the organization of metrological support for testing petroleum products] / K.V. Shatalov // Chemistry and technology of fuels and oils. — 2020. — 6. — P. 35–42. [in Russian]