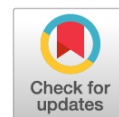


Оригинальное исследование

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-643273>

EDN: DHHPGQ



Инновационный подход к исследованию влияния альтернативных видов топлива на виброактивность двигателей внутреннего сгорания

Е.В. Тельпиз, В.Г. Рыбачук

Московский политехнический университет, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Использование аммиака (NH_3) в качестве добавки к дизельному топливу представляет значительный интерес для решения экологических и эксплуатационных проблем, таких как сокращение выбросов вредных веществ и повышение эффективности двигателей. Однако влияние аммиака на вибрационные характеристики дизельных двигателей остаётся малоизученным, что требует детального исследования.

Цель работы — анализ влияния аммиака (NH_3) в качестве добавки к дизельному топливу на вибрационные характеристики дизельного двигателя с помощью искусственной нейронной сети (ИНС), разработанной для прогнозирования этих параметров.

Методы. В работе использованы методы моделирования на основе искусственной нейронной сети. Для создания и обучения нейросети применялись фреймворки TensorFlow и Keras. В качестве входных данных использовались параметры двигателя (диаметр цилиндра, частота вращения, степень сжатия и др.) и характеристики топливных смесей с содержанием NH_3 (5%, 10%, 15%). Точность модели оценивалась на основе экспериментальных данных.

Результаты. Разработанная ИНС продемонстрировала высокую точность прогнозирования вибраций, достигая 98,67%. Экспериментальные данные показали, что увеличение концентрации аммиака в топливной смеси приводит к росту вибрационной активности двигателя. Максимальная амплитуда вибрации составила 11,67 м/с² при концентрации NH_3 15%. Полученные результаты указывают на потенциальные риски ухудшения эксплуатационных характеристик двигателя при использовании аммиака, несмотря на его экологические преимущества.

Заключение. Исследование показало, что добавление аммиака в дизельное топливо приводит к повышению вибрационной активности двигателя, что может негативно сказаться на его надежности и долговечности. Несмотря на высокую точность прогноза нейронной сети, выявленное увеличение вибрации требует дополнительного изучения. Для безопасного применения NH_3 в качестве топливной добавки необходимы дальнейшие исследования, направленные на оптимизацию состава смеси и изучение влияния других факторов, таких как давление и температура.

Ключевые слова: аммиак (NH_3); дизельное топливо; вибрации двигателя; нейронная сеть; экологические добавки; прогнозирование; виброактивность.

Как цитировать:

Тельпиз Е.В., Рыбачук В.Г. Инновационный подход к исследованию влияния альтернативных видов топлива на виброактивность двигателей внутреннего сгорания // Тракторы и сельхозмашины. 2025. Т. 92, № 2. С. 107–115. DOI: 10.17816/0321-4443-643273 EDN: DHHPGQ

Original Study Article

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-643273>

EDN: DHHPGQ

An Innovative Approach to the Study of the Effect of Alternative Fuels on the Vibration Activity of Internal Combustion Engines

Egor V. Telpiz, Vladislav G. Rybachuk

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The use of ammonia (NH₃) as a diesel fuel additive is of great interest for addressing environmental and operational challenges, such as reducing harmful emissions and improving engine efficiency. However, the influence of ammonia on vibration parameters of diesel engines is still understudied, thus requiring detailed research.

AIM: This study aims to analyze the influence of ammonia (NH₃) as a diesel fuel additive on vibration parameters of a diesel engine using an artificial neural network (ANN) designed to predict these parameters.

METHODS: The study employs modeling methods based on neural networks. TensorFlow and Keras frameworks were used to develop and train the neural network. Parameters of the engine (engine bore, speed, compression ratio, etc.) and fuel mixtures containing 5%, 10%, and 15% NH₃ were used as inputs. The model's accuracy was assessed based on experimental data.

RESULTS: The developed ANN showed high vibration prediction accuracy (up to 98.67%). Experimental data showed that increased ammonia additive ratio in the fuel mixture results in increased engine vibration. The highest vibration amplitude was 11.67 m/s² at 15% NH₃. The results indicate potential risks of lower engine performance when using ammonia, despite its environmental advantages.

CONCLUSION: The study showed that ammonia additives in diesel fuel increase engine vibration, which could affect its reliability and durability. Despite the high accuracy of neural network predictions, the observed increase in vibration requires further investigation. Additional research is required to ensure the safe use of NH₃ as a fuel additive by focusing on optimal mixture proportions and the influence of other factors, such as pressure and temperature.

Keywords: ammonia (NH₃); diesel fuel; engine vibrations; neural network; environmental additives; prediction; vibrational activity.

To cite this article:

Telpiz EV, Rybachuk VG. An Innovative Approach to the Study of the Effect of Alternative Fuels on the Vibration Activity of Internal Combustion Engines. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2025;92(2):107–115. DOI: 10.17816/0321-4443-643273 EDN: DHHPGQ

Submitted: 21.12.2024

Accepted: 05.03.2025

Published online: 22.05.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Использование аммиака (NH_3) в качестве добавки к топливным смесям представляет собой важное направление для решения современных экологических и эксплуатационных проблем в области энергетики и транспортных технологий. В условиях растущего потребления энергии и связанных с этим увеличенных выбросов парниковых газов, аммиак демонстрирует уникальные преимущества, способные повысить эффективность работы двигателей и минимизировать их негативное воздействие на окружающую среду.

Одним из ключевых факторов, способствующих актуальности данного исследования, является увеличение концентрации вредных выбросов, связанных со сжиганием традиционных углеводородных топлив. Аммиак, как соединение, не содержащее углерода, способен значительно снижать уровень выбросов оксидов азота (NO_x) и других загрязняющих веществ, что было подтверждено рядом исследований. Например, Кобаяши и др. [7] описали, как применение NH_3 в процессе горения влияет на снижение выбросов и улучшение эксплуатационных характеристик двигателей.

В дополнение к экологическим аспектам, исследования показывают, что аммиак может улучшать теплотворную способность топливных смесей. Благодаря своей способности выступать в роли носителя водорода, NH_3 может способствовать улучшению сгорания, что, в свою очередь, повышает общую эффективность работы двигателей. Однако, несмотря на имеющиеся данные о преимуществах использования NH_3 , существующие исследования часто игнорируют его влияние на вибрационные характеристики дизельных двигателей, что подчёркивает необходимость проведения детальных исследований в этой области.

В силу того, что аммиак в чистом виде является достаточно токсичным веществом, проведение экспериментальных исследований, подразумевающих его применение, процесс смешивания чистого аммиака с топливом для последующего сжигания, значительно затруднено. Поэтому в роли отличной альтернативы стандартным исследованиям двигателя на стенде с применением вибродатчиков, выступает анализ имеющихся параметров силового агрегата в совокупности с данными о топливной смеси на предмет возможных возникающих вибраций в конкретном двигателе с использованием искусственной нейронной сети (ИНС).

Для решения этой задачи требуется создание достаточно обученной искусственной нейронной сети (ИНС), позволяющей прогнозировать влияние добавок, таких как аммиак, в дизельном топливе на вибрационные характеристики двигателя в зависимости от топливного состава смеси.

Таким образом, данное исследование является актуальным и уникальным, так как оно предлагает новые подходы к анализу влияния добавок на вибрационные

характеристики дизельных двигателей, а результаты исследования помогут в разработке более эффективных и экологически чистых топливных смесей, способствующих снижению зависимости от традиционных углеводородных источников энергии.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель данного исследования заключается в анализе влияния инновационных добавок к дизельному топливу, таких как аммиак (NH_3), на вибрационные характеристики дизельного двигателя. С учётом современных требований к снижению выбросов вредных веществ и повышению эффективности работы двигателей, исследование NH_3 представляет особый интерес для энергетического сектора.

В дополнение к существующим эмпирическим зависимостям виброактивности от динамических характеристик двигателя и к данным о параметрах исследуемых топливных смесей, в качестве источника информации для нейросети будут использованы результаты исследований виброактивности двигателей, работающих на традиционных и альтернативных видах топлива. Указанный подход позволяет верифицировать результаты работы нейросети и оценить потенциальные преимущества применения ИНС в анализе вибрационных характеристик двигателей.

Таким образом, основная цель работы заключается в определении влияния добавок на вибрационную активность дизельных двигателей и в подтверждении гипотезы о том, что добавка в виде NH_3 может не только уменьшить выбросы, но и оказать влияние на эксплуатационные характеристики двигателей.

МЕТОДЫ

Для достижения цели данного исследования, заключающейся в аналитическом изучении влияния аммиака (NH_3) в качестве добавки к дизельному топливу на вибрационные свойства двигателя, был разработан подход, включающий создание и обучение искусственной нейронной сети (ИНС) и прогнозирование результатов испытаний виброактивности дизельного двигателя на топливных смесях с различным содержанием аммиака.

Моделирование процесса с использованием искусственной нейронной сети

Нейронные сети представляют собой математические модели, работающие по принципу биологических нейронов человеческого мозга. Они состоят из множества слоёв, где каждый слой включает нейроны, соединённые с другими слоями. В процессе обучения сеть настраивает связи между нейронами, чтобы находить зависимости в данных. Например, в данном исследовании нейросеть определяет, как параметры двигателя и топлива влияют на амплитуду вибрации. Эта способность находить нелинейные зависимости делает нейросети незаменимыми

для прогнозирования в сложных системах, таких как двигатели внутреннего сгорания.

В ходе испытаний во Вроцлавском университете науки и техники [1] были получены значения виброускорений испытуемого двигателя при работе на разных режимах. На основании этих данных с использованием конструкционных параметров двигателя и свойств топлива можно характеризовать модель работающего двигателя для установления зависимостей между параметрами.

Для считывания значений нейросети в качестве входного источника данных программе необходимо передать файл, содержащий построчно записанные параметры, характеризующие состояние двигателя в конкретный момент времени. В зависимости от частоты измерений вибродатчика и длительности измерений объём набора может быть разным. В нашем случае частота измерений датчика равнялась 8,5 кГц, что при длительности измерений в 10 секунд, обеспечивает набор данных объёмом в 85 000 строк. В процессе работы двигателя его конструкционные параметры не изменяются, как и свойства топлива (при краткосрочных испытаниях), поэтому в наборе измерений, который соответствует определённой частоте вращения двигателя, будет отличаться только параметр амплитуды вибрации, которая будет разной для каждого измерения датчика. При переходе к следующему режиму работы двигателя также изменится и параметр частоты вращения коленчатого вала, что в совокупности с измерениями вибродатчика обеспечит очередную выборку данных.

Такой формат предоставления данных обязателен для восприятия нейросетью динамики изменения параметров. Примером формата данных может служить табл. 1, в которой отображены две случайные строки общей выборки данных о работе двигателя при частоте вращения коленчатого вала 1200 об/мин.

Важной предварительной задачей является подготовка, нормализация и приведение данных к единому формату и типу FLOAT (числа с плавающей точкой), в данном случае. Нормализация данных заключается в преобразовании исходных данных, таким образом, чтобы их значения были приведены к единой шкале в диапазоне от 0 до 1. Этот шаг крайне важен при обучении нейросети, так как улучшается сходимость модели и предотвращается числовая нестабильность. Если используемые параметры

(свойства) имеют разные диапазоны (например, частота вращения измеряется в тысячах оборотов, а степень сжатия в единицах) модель может «отдавать приоритет» параметрам с наибольшими абсолютными значениями. Процесс нормализации данную проблему устраняет.

После разделения и нормализации данные преобразовывались в формат, который легко воспринимается инструментами машинного обучения, такими как TensorFlow или Keras. Каждый входной параметр (например, диаметр цилиндра или вязкость топлива) соответствовал отдельному нейрону входного слоя модели. Единственный выходной нейрон предсказывал амплитуду вибрации двигателя для заданного набора входных параметров. Выполненные действия являются ключевыми для успешного обучения нейронной сети, так как они обеспечивают корректную работу алгоритмов машинного обучения, минимизацию ошибок, связанных с некорректной подготовкой данных, возможность объективной оценки качества модели.

Данные по вибрациям имеют временную структуру, то есть представляют собой значения, полученные за определённые интервалы времени, поэтому изначально для исследования была выбрана рекуррентная нейронная сеть. Но затем, ввиду большого количества признаков, выбор был изменён в пользу полносвязной нейронной сети, которая больше подходит для задач регрессии и прогноза, позволяя эффективно обрабатывать многомерные данные и выдавать точные результаты на выходе. Соблюдение всех этапов подготовки данных, выполненных в рамках исследования, оказалось критически важным для успешного обучения модели. Эти действия обеспечили стабильную работу алгоритмов машинного обучения, свели к минимуму риски возникновения ошибок, вызванных недостаточной обработкой данных, и позволили достичь объективной и достоверной оценки качества модели.

На рис. 1 схематически показана послойная структура нейросети.

Количество составляющих входного слоя обусловлено параметрами, используемыми в исследовании, которые, в свою очередь, определяются глубиной имеющихся данных и наличием вычислительных мощностей.

Облачные вычисления играют ключевую роль в современных исследованиях, связанных с машинным обучением. Аренда облачного сервера позволяет

Таблица 1. Параметры входного слоя нейросети

Table 1. Parameters of the input layer of the neural network

Диаметр цилиндра, мм	Частота вращения коленчатого вала, об/мин	Ход поршня, мм	Степень сжатия	Масса поршня, г	Момент инерции коленчатого вала, кг·м ²	Диаметр выпускного клапана, мм	Плотность топлива, кг/м ³	Вязкость топлива, мм ² /с	Цетановое число	Амплитуда вибрации, мм
69,6	1200	82	17,6	310	0,2	30,5	820	3	50	1,64875
69,6	1200	82	17,6	310	0,2	30,5	820	3	50	1,60124

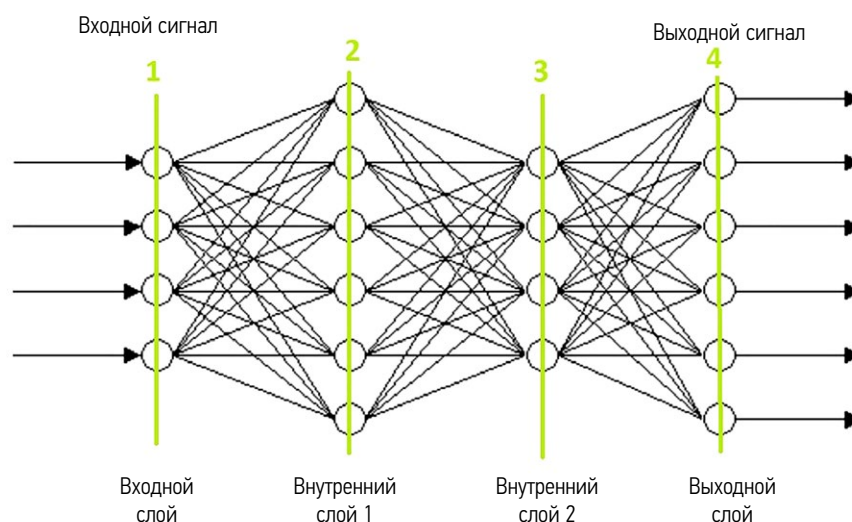


Рис. 1. Схема послойной структуры нейросети.

Fig. 1. A diagram of the layered structure of a neural network.

исследователям использовать ресурсы с высокой вычислительной мощностью без необходимости инвестировать в собственное оборудование. Работа по обучению нейросети достаточно ресурсоёмкий процесс, в связи с этим для выполнения вычислительных задач по обучению нейронной сети был арендован облачный сервер у компании Selectel.

На сервере была установлена операционная система Ubuntu, совместимая с популярными библиотеками машинного обучения, такими как TensorFlow и Keras. Все данные, включая 12 ключевых параметров (например, частота вращения двигателя и вязкость топлива), были предварительно подготовлены, нормализованы и загружены в формате CSV (Comma-Separated Values — значения, разделённые запятыми). Эти данные использовались для обучения нейросети с оптимизированными гиперпараметрами, что позволило достичь высокой точности прогнозов. Использование вычислительных мощностей, обеспечило эффективную обработку данных и сокращение времени обучения модели, позволило сосредоточиться на анализе данных, освобождая от необходимости решать задачи инфраструктурного характера, в связи с этим исследование было выполнено в рамках заданных сроков.

Количество нейронов во входном слое напрямую зависит от числа исследуемых параметров. В данном случае это параметры, которые описывают конструкцию двигателя, свойства топлива и амплитуду вибрации как целевую переменную. Например, в табл. 1 перечислены 12 входных признаков:

1. Диаметр цилиндра.
2. Частота вращения коленчатого вала.
3. Ход поршня.
4. Степень сжатия.
5. Масса поршня.

6. Момент инерции коленчатого вала.
7. Диаметр выпускного клапана.
8. Плотность топлива.
9. Вязкость топлива.
10. Цетановое число топлива.
11. Теплотворная способность топлива.
12. Амплитуда вибрации (целевая переменная).

Эти параметры обеспечивают подробное описание системы, позволяя нейросети обучиться сложным взаимосвязям.

Функции активации вводят нелинейность в процесс обработки данных на каждом слое сети. Это позволяет нейросети эффективно работать с данными, где взаимосвязи между входными и выходными параметрами носят нелинейный характер, как в случае с параметрами двигателя и вибрациями.

Функции активации играют ключевую роль в работе нейронных сетей, так как именно они позволяют моделям улавливать сложные нелинейные зависимости в данных. Без функций активации любая нейронная сеть свелась бы к простой линейной модели, что значительно ограничивало бы её способность решать сложные задачи, такие как прогнозирование вибраций двигателя на основе множества входных параметров.

В конфигурации описываемой нейросети использовалась функция ReLU (Rectified Linear Unit), которая обеспечивает приемлемый баланс между прогнозной точностью и вычислительной эффективностью. Благодаря своей форме функция ReLU эффективно выделяет значимые особенности в данных, что особенно важно при работе с большим количеством входных параметров, как в нашем исследовании.

При использовании параметров биодизельного топлива модель искусственной нейронной сети продемонстрировала результаты, максимально приближенные

к экспериментальным данным, которые ранее были получены в ходе испытаний во Вроцлавском университете науки и техники [1]. Этот результат подтверждает согласованность модели с реальными данными и её способность точно воспроизводить сложные процессы, происходящие в двигателе. На этапе предварительной подготовки данные были разделены на две группы: обучающую выборку (70% от общего объёма), которая использовалась для настройки модели, и тестовую выборку (30%), предназначенную для проверки её производительности на новых наблюдениях, не участвовавших в процессе обучения.

Процесс обучения модели был сосредоточен на минимизации значения среднеквадратичной ошибки, которая широко используется в задачах линейной регрессии в качестве основного показателя качества предсказаний.

Этот показатель рассчитывается следующим образом: для каждого наблюдения вычисляется разница между предсказанным и фактическим значениями, затем эта разница возводится в квадрат, чтобы устранить возможные отрицательные значения, и результат усредняется по всему набору данных. Такой подход позволяет эффективно оценивать общую ошибку модели и стремиться к её минимизации.

На этапе обучения и валидации точность модели составила 98,67%. Этот показатель демонстрирует не только высокую точность прогнозов, но и согласованность модели с реальными экспериментальными данными, что особенно важно для применения её в исследованиях сложных систем. Данные, предсказанные нейросетью, показали свою корректность, что делает модель надёжным инструментом для дальнейших исследований, связанных с анализом влияния различных параметров на вибрационные характеристики двигателей. Сравнение экспериментальных и прогнозных данных изображено на рис. 2.

Получение прогнозных данных о виброактивности двигателя при использовании аммиака

Для получения прогнозных данных о вибрации двигателя с добавлением аммиака в дизельное топливо были проведены три итерации расчетов, моделирующие работу двигателя при содержании аммиака в топливной смеси на уровнях 5%, 10% и 15% по объёму. Эти пропорции были выбраны с учетом рекомендаций по безопасной концентрации аммиака в топливных системах и его влияния на процессы горения. На каждой итерации изменялись входные параметры топлива, включая плотность, вязкость и цетановое число, что соответствовало физико-химическим характеристикам смеси при каждом уровне добавки аммиака. Остальные входные параметры, связанные с конструкцией двигателя, оставались неизменными, что позволяло сосредоточиться исключительно на влиянии состава топлива.

На первом этапе расчёта, для смеси с 5% аммиака, нейронная сеть спрогнозировала минимальные изменения вибрации по сравнению с чистым дизельным топливом, так как теплотворная способность и вязкость смеси изменились незначительно. При 10% аммиака прогноз показал увеличение амплитуды вибрации, что может быть связано с ухудшением процесса воспламенения и неоднородностью смеси. Прогнозная диаграмма виброускорений двигателя изображена на рис. 3. На третьей итерации, с содержанием аммиака в 15%, модель спрогнозировала более значительное изменение параметров вибрации, что свидетельствует о возросших колебательных нагрузках на двигатель. Эти результаты подчёркивают необходимость тщательной оптимизации состава топлива и настройки двигателя для каждого уровня добавления аммиака, чтобы минимизировать негативное влияние на долговечность и стабильность работы двигателя.

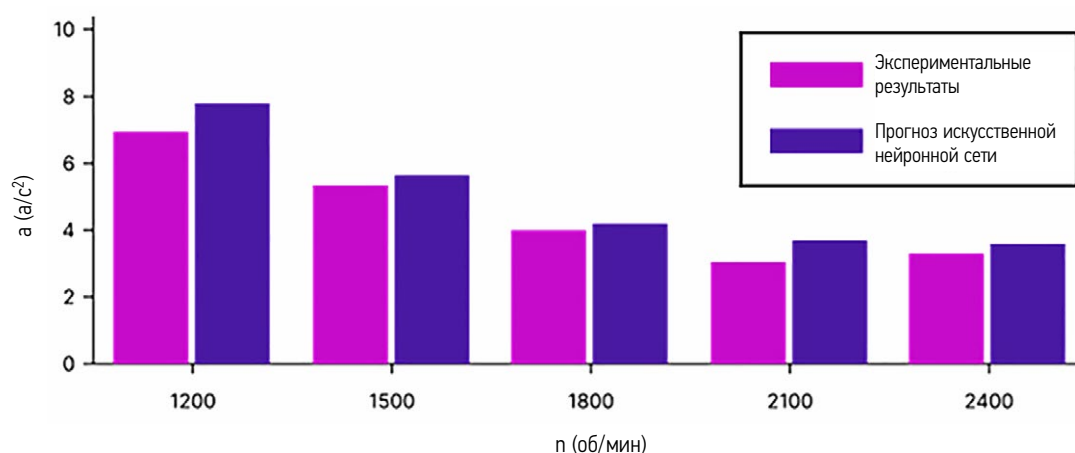


Рис. 2. Сравнение экспериментальных и прогнозных данных виброактивности двигателя, работающего на биодизеле (по вертикали — значение ускорения двигателя; по горизонтали — частота вращения коленчатого вала двигателя).

Fig. 2. Comparison of experimental and forecast data on vibration activity of a biodiesel engine (vertically: the acceleration value of the engine; horizontally: the rotational speed of the crankshaft of the engine).

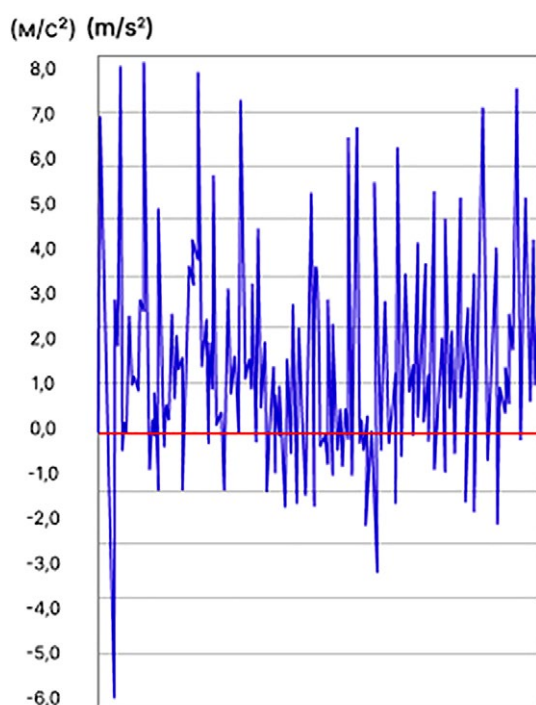


Рис. 3. Прогнозная диаграмма виброускорений двигателя при работе на топливной смеси 10%NH₃ (по вертикали отображены значения ускорения, подобные измерениям, полученным с вибродатчика).

Fig. 3. The forecast diagram of the vibration acceleration of the engine when running on a fuel mixture of 10%NH₃ (acceleration values are displayed vertically, similar to the measurements obtained from the vibration sensor).

Анализ и сравнение результатов

Проведённое нами исследование показало, что с увеличением концентрации аммиака (NH₃) в топливной смеси наблюдается тенденция к росту вибрационной активности двигателя. Такой эффект связан с изменением процессов горения, обусловленных физико-химическими характеристиками аммиака.

Например, NH₃ обладает более низкой теплотворной способностью по сравнению с дизельным топливом, что влияет на динамику воспламенения и распространение пламени

Введение аммиака на уровне 5% практически не изменяет основные вибрационные характеристики двигателя. Незначительное увеличение амплитуды связано с изменением плотности и вязкости смеси, однако эти изменения не критичны для общей работы двигателя.

При концентрации 10% наблюдается заметное увеличение амплитуды вибраций. Это связано с ухудшением стабильности процесса горения, что может привести к неравномерному распределению давления в цилиндрах. В результате возникают дополнительные динамические нагрузки на поршневую группу и кривошипно-шатунный механизм.

Максимальное увеличение вибрационной активности зафиксировано при концентрации 15%. Амплитуда вибрации достигает 11,67 м/с², что указывает на существенное изменение динамики процесса сгорания. Нестабильное воспламенение и более высокая скорость горения смеси с NH₃ создают дополнительные колебательные нагрузки, что может привести к ускоренному износу компонентов двигателя.

Особое внимание было уделено зависимости вибрационной активности от частоты вращения двигателя. Мы зафиксировали, что во всех протестированных соотношениях добавок NH₃ (5%, 10%, 15%) амплитуда вибраций снижается по мере увеличения частоты вращения двигателя с 1200 до 2400 об/мин. Максимальные уровни вибрации наблюдались при 1200 об/мин, что соответствует работе двигателя на холостом ходу. Увеличение содержания NH₃ в топливной смеси привело к росту вибрации, что связано с неравномерностью горения, характерной для высоких концентраций аммиака.

Иллюстрация описанной зависимости представлена на рис. 4.

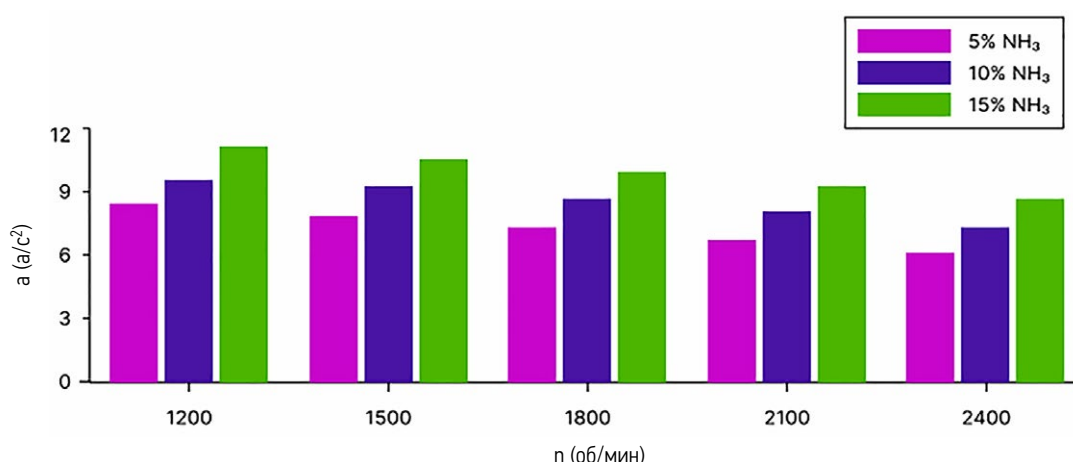


Рис. 4. Сравнение уровней виброактивности в зависимости от содержания NH₃ в топливной смеси (по вертикали — значение ускорения двигателя; по горизонтали — частота вращения коленчатого вала двигателя).

Fig. 4. Comparison of vibration activity levels depending on the NH₃ content in the fuel mixture (vertically: the acceleration value of the engine; horizontally: the rotational speed of the crankshaft of the engine).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование, направленное на изучение влияния добавления аммиака (NH_3) к дизельному топливу на вибрационные характеристики дизельного двигателя, продемонстрировало, что использование NH_3 в концентрациях 5%, 10% и 15% приводит к увеличению вибрационной активности. Анализ прогнозных данных показал, что при максимальной концентрации аммиака в смеси (15%) амплитуда ускорения достигает значения $11,67 \text{ м/с}^2$. Этот результат подчёркивает негативное воздействие аммиачной добавки на динамические параметры двигателя, указывая на необходимость дальнейшего изучения.

Данные исследования ставят под сомнение ожидаемую эффективность использования NH_3 как средства для улучшения характеристик двигателя и снижения выбросов вредных веществ. Рост вибрационной активности при увеличении концентрации аммиака может негативно сказаться на эксплуатационной надёжности и долговечности силового агрегата. Такой рост обусловлен изменением физико-химических свойств топлива, что приводит к неравномерности процесса сгорания и, как следствие, к увеличению вибрационных нагрузок на конструктивные элементы двигателя.

Следует отметить, что искусственные нейронные сети (ИНС), применённые для моделирования вибрационных характеристик, продемонстрировали высокую точность прогнозов, близкую к 99%. Тем не менее, несмотря на столь высокую точность модели, её прогнозы не всегда коррелируют с фактическими эксплуатационными данными, особенно при увеличении концентрации аммиака выше 10%.

Это несоответствие может быть связано с ограничениями модели, а также сложностью описания всех аспектов горения аммиачных топливных смесей.

Результаты подчёркивают важность дальнейших исследований, направленных на глубокое изучение химико-физических свойств топлив с добавлением NH_3 и их влияния на работу дизельных двигателей. Особое внимание необходимо уделить изучению влияния таких факторов, как давление, температура, а также изменение состава топливной смеси на стабильность работы двигателя. Эти факторы могут оказать существенное влияние на характер сгорания топлива, процессы теплообмена и вибрационную активность.

Таким образом, настоящее исследование открывает перспективные направления для дальнейшего изучения возможности применения аммиака в качестве топливной добавки. Однако выявленные риски, связанные с увеличением вибрационной активности, подчёркивают необходимость осторожного и комплексного подхода к внедрению NH_3 в качестве компонента дизельного топлива. Для достижения этой цели требуется разработка технологий, способных нивелировать негативное влияние аммиака, и дальнейшая оптимизация состава топливных смесей, обеспечивающая их экологическую безопасность и устойчивость работы двигателя.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Е.В. Тельпиз — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста, работа с графиками и диаграммами и редактирование статьи; В.Г. Рыбачук — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, работа по созданию и обучению нейросети, подготовка и написание текста статьи; все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Неприменимо.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали один внешний рецензент, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: E.V. Telpiz: literature review, collection and analysis of literary sources, writing text, working with graphs and diagrams and editing the manuscript; V.G. Rybachuk: literature review, collection and analysis of literary sources, work on creating and training a neural network, preparing and writing the text of the manuscript. Thereby, 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.

Ethics approval: Not applicable.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities or interests for the last three years related with for-profit or non-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: When creating this work, the authors did not use previously published information (text, illustrations, data).

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing is not applicable to this work, and no new data has been collected or created.

Generative AI: Generative AI technologies were not used for this article creation.

Provenance and peer-review: This work was submitted to the journal on its own initiative and reviewed according to the usual procedure. One external reviewer, a member of the editorial board and the scientific editor of the publication participated in the review.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Wrobel R, Sierzputowski G, Sroka Z. Comparison of diesel engine vibroacoustic properties powered by Bio and standard fuel. *Energies*. 2021;14(5):1478. doi: 10.3390/en14051478 EDN: CUFONJ
2. Erdiwansyah, M, SM Sani, Mamat R. et al. Vibration analysis of the engine using biofuel blends: A Review. *MATEC Web of Conferences*. 2018;225:01010. doi: 10.1051/mateconf/201822501010
3. Li G, Gu F, Wang T, et al. Investigation into the vibrational responses of cylinder liners in an IC engine fueled with biodiesel. *Applied Sciences*. 2017;7(7):717. doi: 10.3390/app7070717
4. Berwal P, Kumar S, Khandelwal B. A comprehensive review on synthesis, chemical kinetics, and practical application of ammonia as future fuel for combustion. *Journal of the Energy Institute*. 2021;99:273–298. doi: 10.1016/j.joei.2021.10.001
5. Van Rooij A. Engineering contractors in the chemical industry. the development of ammonia processes, 1910–1940. *History and Technology*. 2005;21(4):345–366. doi: 10.1080/07341510500268215
6. Ramensky AYu, Shelishch PB, Nefedkin SI. The use of hydrogen as a motor fuel for automobile internal combustion engines. history, present and prospects. *Alternativnaya energetika i ekologiya* (ISJAEE). 2006;(11):63–70. (In Russ.) EDN: HYRUAL
7. Lindstedt RP, Lockwood FC, Selim MA. Detailed kinetic modelling of chemistry and temperature effects on ammonia oxidation. *Combustion Science and Technology*. 1994;99(4–6):253–276. doi: 10.1080/00102209408935436
8. Uludamar E, Tüccar G, Aydın K, Özcanlı M. Vibration analysis of a diesel engine fueled with sunflower and canola biodiesels. *Advances in Automobile Engineering*. 2016;05(01):23–37. doi: 10.4172/2167-7670.1000137
9. Yang T, Wang T, Li G, et al. Vibration characteristics of compression ignition engines fueled with blended petro-diesel and Fischer-Tropsch diesel fuel from coal fuels. *Energies*. 2018;1(8):2043. doi: 10.3390/en11082043
10. Xinling L, Zhen H. Emission reduction potential of using gas-to-liquid and dimethyl ether fuels on a turbocharged diesel engine. *Science of The Total Environment*. 2009;407(7):2234–2244. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.11.043

ОБ АВТОРАХ

* Тельпиз Егор Валерьевич,

аспирант кафедры «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики»;
адрес: Россия, 107023, Москва, ул. Б. Семёновская д. 38;
ORCID: 0009-0005-5117-4267;
eLibrary SPIN: 9059-3050;
e-mail: egor_telpiz@mail.ru

Рыбачук Владислав Геннадьевич,

аспирант кафедры «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики»;
ORCID: 0009-0002-9235-6209;
eLibrary SPIN: 2449-5185;
e-mail: rybachuk97@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Egor V. Telpiz,

postgraduate of the Power Plants for Transport and Small Energy Department;
address: 38 B. Semenovskaya st, Moscow, Russia, 107023;
ORCID: 0009-0005-5117-4267;
eLibrary SPIN: 9059-3050;
e-mail: egor_telpiz@mail.ru

Vladislav G. Rybachuk,

postgraduate of the Power Plants for Transport and Small Energy Department;
ORCID: 0009-0002-9235-6209;
eLibrary SPIN: 2449-5185;
e-mail: rybachuk97@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author