

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.43

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-2-71-75

**ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПОДАЧИ СПИРТА В ЦИЛИНДРЫ  
ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ****ГАЙДАР СЕРГЕЙ МИХАЙЛОВИЧ** , *д-р техн. наук, профессор*techmash@rgau-msha.ru , <https://orcid.org/0000-0003-4290-2961>; ResearcherID: I-4723-2018; Scopus Author ID: 57191589797**ПИКИН ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**, *аспирант*

pickin.dmitrij@yandex.ru

**ПАВЛОВ ЯРОСЛАВ ДМИТРИЕВИЧ**, *аспирант*

pickin.dmitrij@yandex.ru

**БИЖАЕВ АНТОН ВЛАДИСЛАВОВИЧ**, *канд. техн. наук, ст. преподаватель*

a.bizhaev@mail.ru

**БАЛЬКОВА ТАТЬЯНА ИВАНОВНА**, *канд. техн. наук, доцент*

balkova.ti@yandex.ru

**ПИКИНА АННА МИХАЙЛОВНА**, *ассистент*

lapsar.anna2013@yandex.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

**Аннотация.** Основной проблемой современных двигателей внутреннего сгорания является увеличение требований к экологической безопасности. Для решения этой проблемы предложено добавлять к дизельному топливу спирт: этанол или метанол, – который способствует снижению вредных выбросов продуктов сгорания в атмосферу, повышению эффективности работы ДВС на основных режимах работы. На процесс сгорания топливно-воздушной смеси со спиртом большое влияние оказывает метод ее подачи в камеру сгорания. Существует большое количество методов подачи спирта в двигатель, но их сравнительные характеристики до сих пор полностью не изучены. С целью оценки различных методов введения спирта в дизельный двигатель разработана экспериментальная установка, включающая в себя электрическую тормозную балансированную машину и дизельный двигатель. Установка позволяет нагрузить ДВС до необходимого значения крутящего момента и дает возможность фиксировать основные механические параметры двигателя. В исследовании авторами рассматривалась подача спирта двумя методами: в цилиндры дизельного двигателя в виде эмульсии с топливом и подача спирта с воздухом на впуске (во впускной коллектор). Установка позволяет получать количественную оценку при различных режимах работы двигателя и долю содержания спирта, поступающего как в виде эмульсии, так и с воздухом. Исследования дадут возможность оценить целесообразность использования спиртовых добавок и скорректировать теоретическое обоснование происходящих процессов при сгорании топливо-спиртовой смеси в цилиндре.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, дизельное топливо, альтернативное топливо, спирт, экологическая безопасность, топливный насос, форсунки.

**Формат цитирования:** Гайдар С.М., Пикин Д.А., Павлов Я.Д., Бижаев А.В., Балькова Т.И., Пикина А.М. Оценка методов подачи спирта в цилиндры дизельного двигателя экспериментальной установкой // *Агроинженерия*. 2022. Т. 24. № 2. С. 71-75. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-2-71-75>.

© Гайдар С.М., Пикин Д.А., Павлов Я.Д., Бижаев А.В., Балькова Т.И., Пикина А.М., 2022



## ORIGINAL PAPER

**EVALUATING METHODS OF ALCOHOL SUPPLY TO DIESEL ENGINE  
CYLINDERS OF AN EXPERIMENTAL INSTALLATION****SERGEY M. GAIDAR** , *DSc (Eng), Professor*techmash@rgau-msha.ru , <https://orcid.org/0000-0003-4290-2961>; ResearcherID: I-4723-2018; Scopus Author ID: 57191589797**DMITRIY A. PIKIN** (Eng), *postgraduate student, the Department of Tractors and Automobiles*

pickin.dmitrij@yandex.ru

**YAROSLAV D. PAVLOV** (Eng), *postgraduate student, the Department of Tractors and Automobiles*

pickin.dmitrij@yandex.ru

**ANTON V. BIZHAEV** (Eng), *Lead Research Engineer, Senior Lecturer*

a.bizhaev@mail.ru

**TATYANA I. BALKOVA** (Eng), Lead Research Engineer, Associate Professor

balkova.ti@yandex.ru

**ANNA M. PIKINA** (Eng), Research Assistant

lapsar.anna2013@yandex.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

**Abstract.** The main problem of modern internal combustion engines at present is the growing shortage of fuel and the increase in environmental safety requirements. To solve this problem, the authors suggest adding alcohol to diesel fuel. This additive – ethanol or methanol – will help reduce harmful emissions of combustion products into the atmosphere and increase the efficiency of the internal combustion engine in the main operating modes. The method of feeding the mixture into the combustion chamber will have a great effect on the combustion process of the fuel-air mixture with alcohol. There is a large number of ways to supply alcohol to the engine, but their comparative characteristics have not been fully studied yet. To evaluate various methods of introducing alcohol into a diesel engine, an experimental installation including an electric brake balanced machine and a diesel engine has been developed. The installation allows the diesel engine to be loaded to the required torque value and makes it possible to record the main mechanical parameters of the engine. In this study, the authors considered the supply of alcohol in the diesel engine cylinders with two methods: in the form of an emulsion with fuel and with air on the intake stroke (in the intake manifold). The unit will quantify at different engine operating modes and the proportion of alcohol delivered both as an emulsion and with air. The research will help assess the feasibility of using alcohol additives and adjust the theoretical justification of the processes occurring during the combustion of the fuel-alcohol mixture in the cylinder.

**Key words:** internal combustion engine, diesel fuel, alternative fuel, alcohol, environmental safety, fuel pump, injectors.

**For citation:** Gaidar S.M., Pikin D.A., Pavlov Ya.D., Bizhaev A.V., Balkova T.I., Pikina A.M. Evaluating methods of alcohol supply to diesel engine cylinders of an experimental installation. Agricultural Engineering (Moscow), 2022; 24(2): 71-75. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-2-71-75>.

**Введение.** К двигателям внутреннего сгорания (ДВС) автотракторной техники предъявляются требования экологической безопасности и эффективности работы [1]. Главными проблемами ДВС являются повышенная токсичность отработавших газов в камере сгорания и низкий КПД, которые можно решить, используя добавку к дизельному топливу – спирт (этанол или метанол).

Сжигание спирта в цилиндрах ДВС требует его существенной модернизации. Спирт может подаваться непосредственно в цилиндры двигателя или через впускной трубопровод как в чистом виде, так и в виде смеси с дизельным топливом, в жидкой фазе и в виде пара [3] (рис. 1). Спирт или его эмульсия с дизельным топливом могут подаваться в камеру сгорания с помощью штатного топливного насоса высокого давления.



**Рис. 1. Методы подачи спирта в двигатель внутреннего сгорания**  
**Fig. 1. Methods for supplying alcohol to the internal combustion engine**

Подача спирта к топливу приводит к охлаждению смеси внутри цилиндра бензинового двигателя [6]. Добавка спирта к топливу способствует снижению температуры горения, уменьшению образования оксидов азота и снижению токсичности вредных выбросов [2]. На различных режимах эксплуатации наблюдается увеличение

мощности ДВС, определяемое химическим преобразованием воздушно-топливной смеси со спиртом [4].

Исследования, проведенные в данной области, позволяют провести общую оценку эффективности методов введения спирта в дизельный двигатель. Но исследования сравнительных показателей того или иного метода не проводились.

**Цель исследований:** разработка установки, позволяющей фиксировать эффективные и экологические показатели с ДВС, работающего на различных типах топлив, и обеспечивающей топливоподачу непосредственно в цилиндр.

**Материалы и методы.** С целью оценки различных методов введения спирта в дизельный двигатель разработана экспериментальная установка (рис. 2), включающая в себя электрическую тормозную балансированную машину и дизельный двигатель. Установка позволяет нагрузить ДВС до необходимого значения крутящего момента и дает возможность фиксировать основные механические параметры двигателя. Объёмный расход воздуха, поступающего в цилиндры двигателя, измеряется с помощью газового расходомера РГ-100 [8]. Установленные на двигателе датчики фиксируют основные параметры его работы: давление масла, расход топлива, температуру цилиндра и отработавших газов и др. Установка оборудована системами для подачи жидкой добавки к топливу и подачи на впуск распыляемой фракции.

Рассматривалась подача спирта в цилиндры дизельного двигателя в виде эмульсии с топливом и подача спирта с воздухом на впуске (во впускной коллектор).

Эмульсия спирта с топливом, полученная механическим или ультразвуковым способом, подается через топливный насос высокого давления через форсунку в камеру сгорания. Отметим, что во избежание отделения спирта от топлива поток смеси не проходит через фильтры. Спирт и дизельное топливо фильтруют до их смешивания [8].



**Рис. 2. Экспериментальный стенд для оценки методов подачи спирта в ДВС**

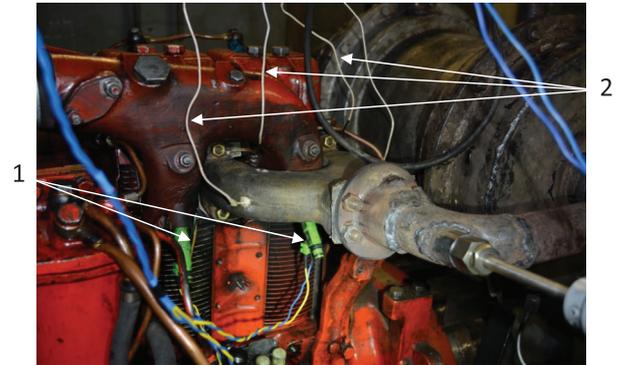
**Fig. 2. Experimental bench for evaluating the methods of supplying alcohol to the internal combustion engine**

Для обеспечения системы подачи и хранения жидкого топлива либо присадки установлена специализированная ёмкость, внутрь которой помещен коррозионноустойчивый электрический насос с максимальным рабочим давлением порядка 10 бар.

Для приготовления смеси топлива со спиртом включается насос, который подает спирт через распылитель в дизельное топливо. Через определенное время смесь становится однородной, и образуется эмульсия. Поскольку смесь неоднородна и со временем разделяется на составляющие, ее необходимо использовать сразу после приготовления. Если смесь не готова, то спирт и топливо находятся в разных баках.

Введение спирта с воздухом осуществляется через впускной коллектор посредством форсунок (рис. 3). Форсунками управляет силовой полевой транзистор, работу которого контролирует регулируемый ШИМ-контроллер, обеспечивающий заданную длительность импульсов. Длительность импульсов

и, как следствие, длительность открытия форсунки определяют, какое количество спирта будет подано во впускной тракт двигателя. Подачу спирта необходимо осуществлять непосредственно перед открытием впускного клапана, чтобы он мог более качественно перемешаться с воздухом и частично испариться под воздействием температуры двигателя. Система фазового впрыска не гарантирует точности подачи доз спирта в камеру сгорания, и для более точной регулировки требуется обратная связь, которая создается с помощью датчиков температуры отработавших газов на выпускном коллекторе.

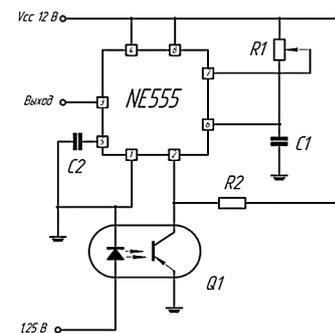


**Рис. 3. Внешний вид форсунок для подачи спирта (1) с датчиками температуры в выпускном коллекторе (2)**

**Fig. 3. View of fuel injectors for supplying alcohol (1) with temperature sensors in the exhaust manifold (2)**

Отдельные электронные блоки независимо друг от друга управляют форсунками и способствуют получению сигнала с датчика фазы, установленного на валу ТНВД.

Датчик представляет собой диск с прорезью, на который установлены щелевые оптические датчики под таким углом, при котором необходимо отправить сигнал для открытия соответствующей датчику форсунки. Схемы для управления (рис. 4) собраны на таймерах NE555.



**Рис. 4. Милливольтметры, встроенные в приборный щиток:**

Vcc – напряжение питания схемы;

1-8 – номера выхода из микроконтроллера;

R1 – потенциометр регулировки длительности открытия форсунки; R2 – резистор для устойчивости сигнала;

C1 – конденсатор, образующий RC контур вместе с R1;

C2 – стабилизирующий конденсатор;

Q1 – щелевой оптический датчик; NE555 – таймер

**Fig. 4. Millivoltmeters built into the instrument panel:**

V<sub>cc</sub> – the supply voltage of the circuit;

1-8 – the microcontroller outputs; R1 – potentiometer for adjusting the duration of the fuel injector opening;

R2 – resistor for signal stability; C1 – a capacitor that forms an RC circuit together with R1;

C2 – a stabilizing capacitor;

Q1 – a slit optical sensor; NE555 – a timer

Таким образом, для подачи спирта с воздухом сконструирована система с регулируемой длительностью впрыска, имеющая обратную связь. Такая схема управления способна работать в импульсном режиме с установленной частотой сигнала и по синхронизирующему импульсу, полученному с оптического датчика. Синхронизация системы подачи индивидуально к каждому цилиндру обеспечивает наиболее точное распределение поданного вещества по цилиндрам, что позволяет минимизировать погрешность.

**Результаты и обсуждение.** Экспериментальная установка, состоящая из двигателя Д-120 и сочлененной с ним электрической тормозной балансирной машины, обеспечивающей обратную связь в управлении и поддерживающей частоту вращения и крутящего момента в зависимости от режима работы, позволит с помощью датчиков снимать показания в соответствии с программой эксперимента.

Программа исследований подразумевает серию экспериментов по подаче спирта двумя методами: с топливом, с воздухом и получение регуляторных и нагрузочных характеристик двигателя.

Регуляторная характеристика определяется при изменении частоты вращения коленчатого вала двигателя в естественных условиях работы и неизменности других параметров. Полагалось, что в этом случае при изменении частоты вращения коленчатого вала двигателя рейка топливного насоса высокого давления совершает свой рабочий ход за счёт изменения геометрии рычагов регулятора.

Концепция нагрузочной характеристики состоит в изменении внешней нагрузки, приложенной к двигателю посредством тормоза при неизменной частоте вращения, в процессе изменения которой показатели двигателя образуют нагрузочную характеристику. При этом фиксируются следующие показатели: частота вращения, температура масла в ДВС, температура стенок цилиндров, температура отработавших газов, давление масла, давление топлива в магистрали низкого давления, расход топлива, расход воздуха, крутящий момент, содержание токсичных компонентов (оксидов азота, монооксида углерода, углеводородов) и сажи.

Предположительно в процессе проведения экспериментальных исследований при подаче спиртовых добавок в камеру сгорания мощность двигателя должна иметь тенденцию снижения, а удельный эффективный расход топлива должен повыситься, что связано в первую очередь с меньшей теплотворной способностью спирта по сравнению с дизельным топливом.

Результаты других исследований, проведенных при различных режимах работы, указывают на некоторое снижение токсичных показателей при определенной доле содержания спирта относительно чистого дизельного топлива.

### Библиографический список

1. Гайдар С.М., Чумаков А.Г. Перспективы применения нанотехнологий в двигателестроении // *Авиационно-космическая техника и технология*. 2009. № 10(67). С. 12-16.
2. Гайдар С.М., Свечников В.Н., Усманов А.Ю. и др. Улучшение эксплуатационных характеристик двигателя с применением нанотехнологий // *Труды ГОСНИТИ*. 2013. Т. 111, № 1. С. 4-8.
3. Девянин С.Н., Щукина В.Н., Павлов Я.Д. и др. Экспериментальная установка с дизельным двигателем

Подача спирта в камеру сгорания реализуется разными методами, поэтому химические процессы при сгорании и характер их протекания будут в каждом случае индивидуальными. В зависимости от метода подачи спиртовых добавок главным образом будет наблюдаться различие в эффективных и экологических показателях.

При тщательном смешивании спирта с воздухом и подаче смеси через форсунку процесс распространения фронта пламени начинается в зоне топливной струи, где состав рабочей смеси близок стехиометрическому. При этом температура достигает свыше 2000°C, что способствует активному образованию оксидов азота. Но при определенной доле содержания спирта в топливной струе температура будет ниже, чем в струе, состоящей из чистого дизельного топлива, что должно привести к снижению образования оксидов азота. Результат влияния подачи спирта в топливо на продукты неполного сгорания будет зависеть от содержания спирта в топливе и качества смесеобразования, так как температура на них не оказывает такого влияния, как на оксиды азота. Данное положение может быть проверено в ходе экспериментального исследования.

Предполагается, что спирт с воздухом будет равномерно распределяться в камере сгорания и процесс сгорания будет отличаться от процесса сгорания дизельного топлива в струе. В данном случае добавка спирта также повлияет на показатель токсичности. При этом методе смесеобразования спирт успеет более качественно смешаться с топливом, что позволит обеспечить ему более полное сгорание и снизить выбросы продуктов неполного сгорания – монооксида углерода и углеводородов. Подобные результаты наблюдались в исследованиях при подаче воды на выпуск [7].

На представленной экспериментальной установке результаты еще не получены, но выдвинуты общие положения по процессу сгорания и образованию токсичных продуктов. В ходе проведения эксперимента могут быть получены результаты, отличающиеся от предполагаемых положений. В таком случае это позволит теоретически описать процессы работы двигателя с опорой на фактические результаты.

### Выводы

1. Разработанная установка для исследования методов подачи спирта в камеру сгорания двигателя позволяет снимать его основные параметры, определять оптимальный вариант подачи спирта, долю содержания поданного спирта и соответствующий ему режим работы двигателя.
2. Исследования дают возможность оценить целесообразность использования спиртовых добавок и скорректировать теоретическое обоснование происходящих процессов при сгорании топливо-спиртовой смеси в цилиндре.

### References

1. Gaidar S.M., Chumakov A.G. Perspektivy primeneniya nanotekhnologiy v dvigatelestroyenii [Prospects for the use of nanotechnologies in engine building]. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2009; 10(67): 12-16. (In Rus.)
2. Gaidar S.M., Svechnikov V.N. Usmanov A.Yu., Ivanov M.I. Uluchshenie ekspluatatsionnykh kharakteristik dvigatelya s primeneniem nanotekhnologiy [Improving the performance of the engine with the use of nanotechnology]. *Trudy GOSNITI*, 2013; 111(1): 4-8. (In Rus.)
3. Devyanin S.N., Shchukina V.N., Pavlov Ya.D., Simonenko A.N. Eksperimental'naya ustanovka s dizel'nym dvigatelem

IVECO // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2018. № 3(85). С. 30-34. <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-3-30-34>

4. Гайдар С.М., Пучин Е.А., Свечников В.Н. и др. Повышение долговечности и экономичности двигателей с применением нанотриботехнологии // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2012. № 9. С. 24-28.

5. Гайдар С.М., Дмитревский А.Л., Быков К.В. Улучшение эксплуатационных характеристик двигателей внутреннего сгорания с применением наноматериалов // Грузовик. 2012. № 11. С. 28-35.

6. Марков В.А., Девянин С.Н., Камалтдинов В.Г. и др. Расчетное исследование процессов топливоподачи и распыливания биотоплива в камере сгорания дизеля // Сборник докладов Международной научно-технической конференции «9-е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса». М., 2021. С. 298-313.

7. Бижаев А.В., Девянин С.Н. Снижение токсичности отработавших газов дизеля путем подачи топлива с водой в камеру сгорания // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2019. Т. 18, № 12. С. 586-588.

8. Бижаев А.В. Экспериментальная установка для оценки методов подачи воды в ДВС // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 3. С. 26-29.

#### Критерии авторства

Гайдар С.М., Пикин Д.А., Павлов Я.Д., Бижаев А.В., Балькова Т.И., Пикина А.М. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Гайдар С.М., Пикин Д.А., Павлов Я.Д., Бижаев А.В., Балькова Т.И., Пикина А.М. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Статья поступила в редакцию 02.02.2022**

**Одобрена после рецензирования 18.02.2022**

**Принята к публикации 21.02.2022**

IVECO [Experimental plant with an IVECO diesel engine]. Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University, 2018; 3(85): 30-34. <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-3-30-34> (In Rus.)

4. Gaidar S.M., Puchin E.A. Svechnikov V.N., Nizamov R.K. Povyshenie dolgovechnosti i ekonomichnosti dvigateley s primeneniem nanotribotekhnologii [Improving the durability and efficiency of engines using nanotribotechnology]. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*, 2012; 9: 24-28. (In Rus.)

5. Gaidar S.M., Dmitrevskiy A.L., Bykov K.V. Uluchshenie ekspluatatsionnykh kharakteristik dvigateley vnutrennego sgoraniya s primeneniem nanomaterialov [Improving the operational characteristics of internal combustion engines using nanomaterials]. *Gruzovik*, 2012; 11: 28-35. (In Rus.)

6. Markov V.A., Devyanin S.N., Kamaltdinov V.G., Neverov V.A., Sa B. Raschetnoe issledovanie protsessov toplivopodachi i raspylivaniya biotopliva v kamere sgoraniya dizelya [Computational study of biofuel supply and atomization in a diesel combustion chamber]. *Sbornik докладов Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "9-ye Lukaninskiye chteniya. Problemy i perspektivy razvitiya avtotransportnogo kompleksa"*. Moscow, 2021: 298-313. (In Rus.)

7. Bizhaev A.V., Devyanin S.N. Snizhenie toksichnosti otrabotavshikh gazov dizelya putem podachi topliva s vodoy v kameru sgoraniya [Reducing the toxicity of diesel exhaust gases by supplying fuel with water to the combustion chamber]. *Avtogazozapravochnyy kompleks + Al'ternativnoe toplivo*, 2019; 18; 12: 586-588. (In Rus.)

8. Bizhaev A.V. Eksperimental'naya ustanovka dlya otsenki metodov podachi vody v DVS [Experimental installation for evaluating methods of water supply to internal combustion engines]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*, 2015; 3: 26-29. (In Rus.)

#### Contribution

S.M. Gaidar, D.A. Pikin, Ya.D. Pavlov, A.V. Bizhaev, T.I. Balkova, A.M. Pikina performed theoretical studies and, based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. S.M. Gaidar, D.A. Pikin, Ya.D. Pavlov, A.V. Bizhaev, T.I. Balkova, A.M. Pikina have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

#### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

**The article was received 02.02.2022**

**Approved after reviewing 18.02.2022**

**Accepted for publication 21.02.2022**