

mittee of the Republic of Belarus. Official website. – Access mode: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Search?code=1063066>.

7. Territory and administrative-territorial division of the Republic of Belarus as of January 1, 2020 Statistical Yearbook 2020 [Electronic resource] // National Statistical Committee of the Republic of Belarus. Official website. – Access mode: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/c68/c68ec3c1ac53374bedc363044769f2c1.pdf>.

8. Afanasyev, L. L. Passenger automobile transportation / L. L. Afanasyev [et al.]. – 1986. – P. 137–138.

9. The Village Bus in Kolsillre: passengers do the timetable via a website; also acts as the driver [Electronic resource] / Euromontana. Official website. – Access mode: <https://www.euromontana.org/en/project/move-on-green-2/mog-good-practices/>. – Access date: 03/21/2022.

10. Demand related public transport system for 4 villages in South Burgenland [Electronic resource] / Euromontana. Official website – Access mode: <https://www.euromontana.org/wp-content/uploads/2014/07/9.5-demand-related-public-transport-system-for-4-villages-in-south-bur-genl.pdf>. – Access date:– 03/21/2022.

УДК 621.43

БЫСТРЕНКОВ О. С.,

ст. преп.

E-mail: oleg.bystrenkov@mail.ru

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 05.05.2022

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ УЛУЧШЕНИЯ ПУСКОВЫХ КАЧЕСТВ ГАЗОДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Затраты времени на вспомогательные операции при эксплуатации двигателя отражаются на эффективности использования автотракторной техники. К вспомогательным операциям относится в том числе и пуск двигателя, который особенно затруднен на холодном двигателе в зимнее время при низких температурах окружающей среды. Хорошие пусковые качества двигателей облегчают эксплуатацию и повышают производительность автомобилей и тракторов.

На пусковые качества двигателя влияет множество параметров, в числе которых: свойства топлива, пусковое число оборотов, температура топливовоздушной смеси на впуске, температура окружающей среды и т. д.

Работы многих моторных и автомобильных заводов, а также научно-исследовательских организаций по улучшению пусковых качеств двигателей направлена в основном на создание специальных жидкостных или воздушных подогревателей, обеспечивающих обихий предпусковой разогрев двигателя. Однако разрабатываются и другие вспомогательные средства, легковоспламеняющиеся пусковые жидкости, которые вводятся в двигатель в виде воздушно-жидкостной эмульсии.

Ключевые слова: *газовое топливо, дизельное топливо, газодизельный двигатель, пуск двигателя, цетановое число, частота вращения, задержка воспламенения, энергия воспламенения, рабочий процесс, подогреватель.*

Введение

Эффективность использования автотракторной техники зависит в том числе и от времени, затрачиваемого на вспомогательные операции [1]. Одной из таких вспомогательных операций является пуск двигателя. Хорошие пусковые качества двигателей облегчают эксплуатацию и повышают производительность автомобилей и тракторов [2].

На пусковые качества двигателя влияет множество параметров, в числе которых: свойства топлива [3], пусковое число оборотов, температура топливоздушная смеси на впуске, температура окружающей среды и т. д.

Особую трудность составляет пуск холодного двигателя в зимний период. Работы многих моторных и автомобильных заводов, а также научно-исследовательских организаций по улучшению пусковых качеств двигателей направлена в основном на создание специальных жидкостных или воздушных подогревателей и других устройств [4], обеспечивающих общую предпусковую подготовку двигателя. Однако разрабатываются и другие вспомогательные средства, легковоспламеняющиеся пусковые жидкости, которые вводятся в двигатель в виде воздушно-жидкостной эмульсии [5].

Основная часть

Цетановое число – характеристика воспламеняемости топлива, определяющая период задержки горения рабочей смеси (т. е. свежего заряда) (промежуток времени от впрыска топлива в цилиндр до начала его горения) [6]. Чем выше цетановое число, тем меньше задержка и тем более спокойно и плавно горит топливная смесь (рисунок 1) [7, 8].

Оптимальную работу современных дизельных двигателей обеспечивают топлива с цетановым числом от 45 до 55. При цетановом числе меньше 40 резко возрастает задержка горения (время между началом впрыскивания и воспламенением топлива) и скорость нарастания давления в камере сгорания, увеличивается износ двигателя. Стандартное топливо характеризуется цетановым числом 48–51, а топливо высшего качества (премиальное) имеет цетановое число 51–55. Согласно стандартам, цетановое число летнего и зимнего дизтоплива должно быть не менее 48 единиц. Кроме того, технические условия для зимних сортов с депрессорными присадками разрешают выпуск арктического топлива с цетановым числом не менее 40.

При цетановом числе больше 60 снижается полнота сгорания топлива, возрастает дымность выхлопных газов, повышается расход топлива.

При более высоком цетановом числе задержка воспламенения значительно уменьшается, давление в цилиндре нарастает более плавно и максимальное значение немного ниже. Топливо сгорает более полно, меньше выбросов, меньше ударных нагрузок на детали двигателя.

Влияние цетанового числа на пуск холодного двигателя показано на рисунке 2.

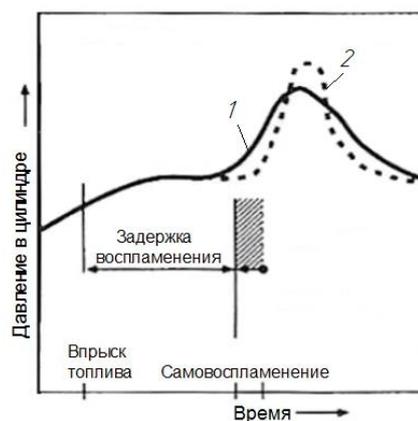


Рисунок 1 – Характер изменения давления в цилиндрах двигателя: 1 – более высокое цетановое число; 2 – более низкое цетановое число

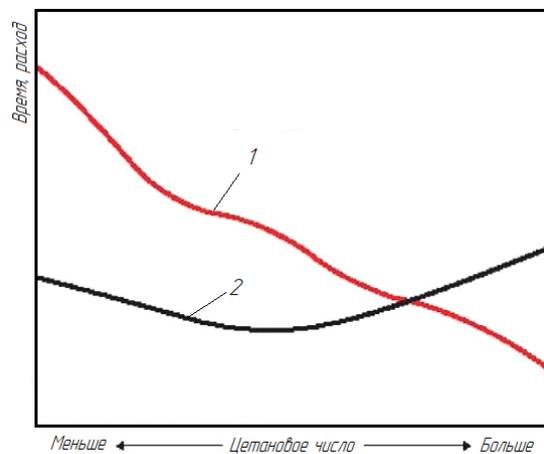


Рисунок 2 – Влияние цетанового числа на пуск двигателя: 1 – время пуска холодного двигателя; 2 – расход топлива

Влияние цетанового числа на минимальную температуру, при которой двигатель будет устойчиво заводиться, показано на рисунке 3.

В цилиндр газодизельного двигателя поступает дизельное и газовое топлива, которые в свою очередь характеризуются собственным цетановым числом.

Конкретная величина цетанового числа во многом определяется компонентами, входя-

щими в состав топлива. Среди них стоит отметить парафины, нафтены, ароматические вещества, олефины и т. д.

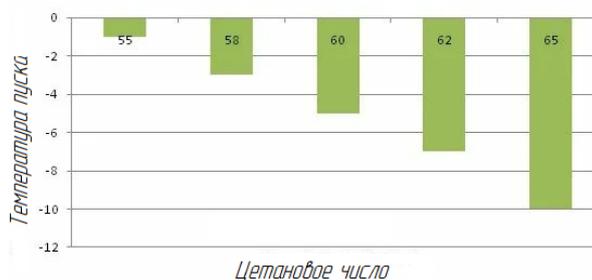


Рисунок 3 – Минимальная температура устойчивого пуска двигателя в зависимости от цетанового числа

Под воздействием высокого содержания парафиновых воспламеняемость будет происходить быстрее, а увеличение доли ароматических – к замедлению этого процесса.

Надо отметить, что к примеру метан также является парафином, однако его цетановое число заметно ниже чем у дизельного топлива. Его присутствие (как и присутствие других газов) в цилиндре двигателя будет снижать цетановое число топлива.

Важным параметром для воспламенения является энергия воспламенения топлива.

Минимальная энергия, необходимая для воспламенения данной горючей смеси, называется энергией воспламенения этой смеси.

Среди моторных топлив водород характеризуется наиболее низкой энергией воспламенения. Также авторы отмечают, что энергия воспламенения водорода на порядок ниже, чем у, к примеру, у бензина или дизельного топлива.

На рисунке 4 приведена зависимость энергии воспламенения различных топлив от коэффициента избытка воздуха α .

Видно, что по характеру зависимости от состава смеси кривые практически идентичны, при этом в области стехиометрических смесей минимальная энергия воспламенения водорода (0,02 МДж) в 10–15 раз ниже, чем у углеводородных топлив.

Энергия воспламенения дизельного топлива ниже, чем у газовых топлив. Соответственно в цилиндре газодизельного двигателя от сжатия будет воспламеняться только оно, и, следовательно, необходимо обеспечить необходимые условия его воспламенения (доступ кислорода и др.).

К моменту начала сгорания в цилиндре газодизельного двигателя находится смесь воздуха, газового топлива и дизельного топлива. Вследствие перемешивания свежего заряда частицы дизельного топлива попадают то в область с газовым топливом, то в область с воздухом. При

попадании частиц дизельного топлива в область с газовым топливом на их поверхности образуется слой молекул метана вследствие адсорбции (самопроизвольный процесс увеличения концентрации растворенного вещества у поверхности раздела двух фаз) (рисунок 5).

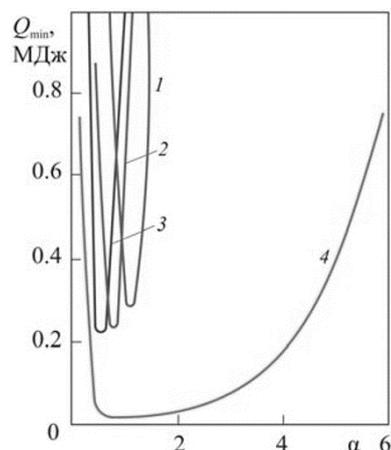


Рисунок 4 – Зависимость энергии воспламенения горючих смесей от коэффициента избытка воздуха: 1 – метан; 2 – пропан; 3 – гексан; 4 – водород

Адсорбцию в случае, когда требуется подчеркнуть природу сил взаимодействия, называют физической адсорбцией.

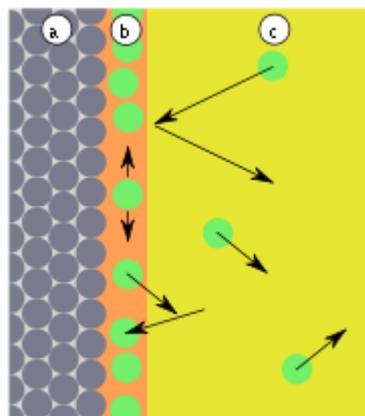


Рисунок 5 – Образование адсорбционного слоя: а – адсорбент, б – адсорбат, с – адсорбтив

Физическая адсорбция является обратимым процессом, условие равновесия определяется равными скоростями адсорбции молекул адсорбтива P на вакантных местах поверхности адсорбента S^* и десорбции – освобождения адсорбата из связанного состояния $S-P$:



уравнение равновесия в таком случае:

$$K = \frac{[S - P]}{[S^*] \cdot [P]},$$

где K – константа равновесия; $[S - P]$ и $[S^*]$ – доли поверхности адсорбента, занятые и незанятые адсорбатом; $[P]$ – концентрация адсорбтива.

Количественно процесс физической мономолекулярной адсорбции в случае, когда межмолекулярным взаимодействием адсорбата можно пренебречь, описывается уравнением Ленгмюра:

$$\theta = \frac{\alpha \cdot P}{1 + \alpha \cdot P},$$

где θ – доля площади поверхности адсорбента, занятая адсорбатом; α – адсорбционный коэффициент Ленгмюра; P – концентрация адсорбтива.

Поскольку $[S - P] = \theta$ и, соответственно, $[S^*] = 1 - \theta$, уравнение адсорбционного равновесия может быть записано следующим образом:

$$K = \frac{\theta}{(1 - \theta) \cdot P}.$$

Для полноценного воспламенения дизельного топлива от сжатия с последующим воспламенением газового топлива к частицам дизельного топлива необходим свободный доступ воздуха (кислорода воздуха). Понятно, что при нахождении частиц дизельного топлива в среде газового топлива возгорания происходит не будет из-за отсутствия воздуха (кислорода воздуха) (рисунок 6).

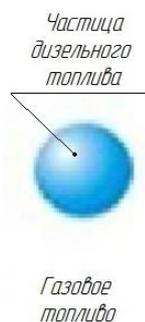


Рисунок 6 – Частица дизельного топлива в среде газового топлива

Соответственно для начала процесса горения частица дизельного топлива должна контактировать с воздухом или целиком находиться в воздушной среде. Частицы дизельного топлива, которые после подачи их в цилиндр

двигателя и сжатия оказались сразу в среде воздуха будут беспрепятственно возгораться. Однако та часть частиц, которая побывала в среде газового топлива попадет в среду воздуха с уже образовавшимся на их поверхности адсорбционным слоем (рисунок 7).

Соответственно должного возгорания дизельного топлива происходить не будет.

Данная оболочка вокруг частицы дизельного топлива, состоящая из молекул газового топлива, будет препятствовать доступу кислорода к дизельному топливу (рисунок 8).



Рисунок 7 – Образование адсорбционного слоя на частице дизельного топлива



Рисунок 8 – Недостаток кислорода для возгорания дизельного топлива

Возможными путями улучшения пуска холодного двигателя могут стать:

- 1) пуск двигателя на дизельном топливе;
- 2) увеличение величины подаваемой в цилиндр двигателя запальной порции дизельного топлива на пуске;
- 3) применение веществ (присадок) снижающих адсорбцию;
- 4) применение веществ (присадок) повышающих цетановое число;
- 5) переход к предкамерному или вихрекамерному смесеобразованию;
- 6) интенсификация перемешивания топлив и воздуха в цилиндре двигателя (к примеру, за счет профилирования впускных каналов), с целью дробления капель дизельного топлива о воздушно-газовые потоки в цилиндре двигателя, что может привести уменьшению времени

контакта поверхности капле с метаном и увеличению времени контакта капле с воздухом (кислородом воздуха);

7) использование свечей накаливания;

8) подогрев впускного коллектора.

Дополнительным вариантом для улучшения пуска газодизельного двигателя может стать применение форкамерного смесеобразования с впрыском запальной порции дизельного топлива в форкамеру, конструктивная реализация которого представлена на рисунке 9.

На блок цилиндров 1 устанавливается головка блока цилиндров 11. В цилиндре двигателя находится поршень 2, который, через шатун, соединен с коленчатым валом двигателя (не показаны). В головке блока цилиндров 11 находятся впускной канал 6 и впускной клапан 8, а также впускной канал 3 и впускной клапан 12, предназначенные для подачи рабочей смеси в цилиндр двигателя и форкамеру соответственно. Выпускной канал и выпускной клапан, предназначенные для отвода отработавших газов из цилиндра двигателя, на рисунке не показаны. Форсунка 7 установлена в головке блока цилиндров 11 таким образом, чтобы ее распылитель располагался во впускном канале 6 над

впускным клапаном 8. Форсунка 13 устанавливается таким образом, чтобы ее распылитель находился в форкамере 14. Форкамера 14 соединена узким каналом с цилиндром двигателя. В форкамере условия для воспламенения запальной порции дизельного топлива окажутся лучше, чем в основной камере сгорания. Расчетная модель представлена на рисунке 10.

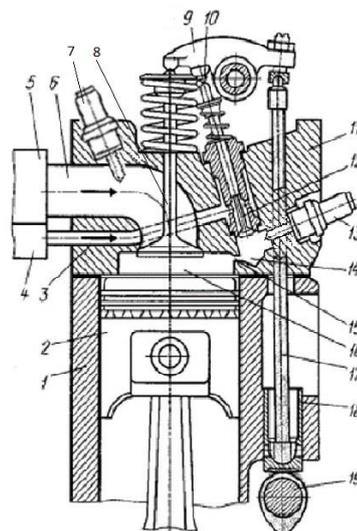


Рисунок 9 – Газодизельный двигатель с форкамерным зажиганием

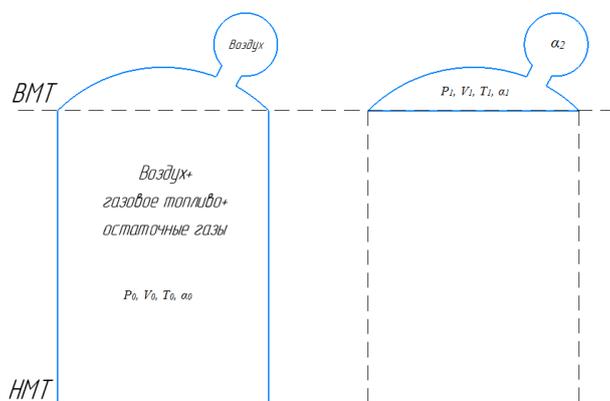


Рисунок 10 – Расчетная модель

Применение двух клапанов улучшит наполнение цилиндра, два потока воздуха из основного клапана и из клапана форкамеры обеспечат более качественную подготовку рабочей смеси к воспламенению, что отразится в более качественном смешении топлива и воздуха. Кроме того, клапан в форкамере позволит пропустить саму форкамеру от остаточных газов. На такте сжатия в цилиндре двигателя окажется смесь газового топлива, воздуха и остаточных газов. В форкамере будет только чистый воздух. В процессе сжатия часть газового топлива с воздухом и отработавшими газами вытиснится из основной камеры в форкамеру. Запальная порция дизельного топлива будет впрыскиваться в форкамеру за 40 град. п. к. в. до ВМТ.

Если предположить, что в основную камеру сгорания газовое топливо было подано с коэффициентом избытка воздуха $\alpha_0 = 1,4$, то в форкамере к моменту воспламенения дизельного топлива коэффициент избытка воздуха α_2 по отношению к дизельному топливу окажется 1,6–1,7 в зависимости от объема форкамеры, что выше, чем если бы запальная порция впрыскивалась в основную камеру. Кроме того, в форкамере коэффициент остаточных газов окажется ниже на 20–40 %.

Выводы

Проведен анализ условий протекания рабочего процесса газодизельного двигателя на ре-

жиме пуска. Выявлены факторы, в существенной степени влияющие на данный процесс. Показан характер их влияния.

Проанализированы возможные пути улучшения пусковых качеств газодизельного двигателя. Предложен способ реализации рабочего процесса газодизельного двигателя с применением форкамерного зажигания. Данное решение направлено на улучшении пусковых качеств газодизельного двигателя. В форкамере условия для воспламенения запальной порции дизельного топлива окажутся лучше (коэффициент избытка воздуха окажется более высоким), чем в основной камере сгорания.

Литература

1. Микулин, Ю. В. Пуск холодных двигателей при низкой температуре / Ю. В. Микулин, В. В. Карницкий, Б. А. Энглин. – М.: Машиностроение, 1971. – 216 с.

2. Минкин, М. Л. Пуск автотракторных дизелей / М. Л. Минкин. – М.: Машгиз, 1948. – 124 с.

3. Нефтепродукты. Свойство, качество, применение. Справочник / под общ. ред. Б. В. Лосикова. – М.: Химия, 1966. – 776 с.

4. Минкин, М. Л. Пусковые устройства автомобильных двигателей / М. Л. Минкин. – М.: Машгиз, 1961. – 140 с.

5. Карницкий, В. В. Пуск холодных двигателей с помощью легковоспламеняющейся жидкости / В. В. Карницкий, М. Л. Минкин // Автомобильная пром-сть. – 1965. – № 11. – С. 10–15.

6. Межгосударственный стандарт. Топливо дизельное. Технические условия: ГОСТ 305-82. – Введ. 01.01.2015. – М.: Стандартинформ, 2014. – 15 с.

7. Энглин, Б. А. Влияние цетанового числа дизельных топлив на пуск двигателя / Б. А. Энглин [и др.] // Автомобильная промышленность. – 1965. – № 8. – С. 14–19.

8. Цетановое число. Подробное объяснение важной характеристики дизельного топлива! [Электронный ресурс] / Oilchoice.RU. – Режим доступа: <https://zen.yandex.ru>. – Дата доступа: 18.10.2021.

UDC 621.43

BYSTRENKOV Oleg S.,

Senior Lecturer

E-mail: oleg.bystrenkov@mail.ru

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 05 May 2022

INVESTIGATION OF WAYS TO IMPROVE THE STARTING QUALITIES OF A GAS-DIESEL ENGINE

The time spent on auxiliary operations during the operation of the engine affects the efficiency of the use of automotive equipment. Auxiliary operations include starting the engine, which is especially difficult on a cold engine in winter at low ambient temperatures. Good starting qualities of engines make it easier to operate and increase the productivity of cars and tractors.

The starting qualities of the engine are affected by many parameters, including: fuel properties, starting speed, temperature of the fuel-air mixture at the intake, ambient temperature, etc.

The work of many motor and automobile plants, as well as research organizations to improve the starting qualities of engines is mainly aimed at creating special liquid or air heaters that provide general pre-start heating of the engine. However, other auxiliary means are also being developed, flammable starting fluids that are introduced into the engine in the form of an air-liquid emulsion.

Keywords: gas fuel, diesel fuel, gas-diesel engine, engine start, cetane number, speed, ignition delay, ignition energy, working process, heater.

References

1. Mikulin, Yu.V. Start of cold engines at low temperature / Yu. V. Mikulin, V. V. Karnitsky, B. A. Englin. –M.: Mashinostroenie, 1971. – 216 p.

2. Minkin, M.L. Start-up of automotive vehicles / M. L. Minkin. – Moscow: Mashgiz, 1948. – 124 p.

3. Petroleum products. Property, quality, application. Handbook / under the general editorship of B. V. Losikov. – M. : Chemistry, 1966. – 776 p.

4. Minkin, M. L. Starting devices of automobile engines / M. L. Minkin. – M. : Mashgiz, 1961. – 140 p.

5. Karnitsky, V. V. Start of cold engines with the help of flammable liquid / V. V.Karnitsky, M.

L.Minkin // Automotive industry. – 1965. – № 11. – p. 10–15.

6. Interstate standard. Diesel fuel. Technical conditions: GOST 305-82: Introduction. 01.01.2015. – Moscow: Standartinform, 2014. – 15 p.

7. Englin, B. A. Influence of cetane number of diesel fuels on engine start / B. A. Englin [et al.] // Automotive industry. – 1965. – No. 8. – P. 14–19.

8. Zen.yandex.ru [Electronic resource]. – Access mode: Cetane number. A detailed explanation of the important characteristics of diesel fuel! | Oil-choice.EN | Yandex Zen (yandex.ru) – Access date: 18.10.2021(in Russian).

УДК 630.377.44

КЛОКОВ Д. В., канд. техн. наук, доц.,
доцент каф. «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»¹
E-mail: klokov_dm@bntu.by

ЛЕОНОВ Е. А., канд. техн. наук, доц.,
доцент²
E-mail: debarger13@rambler.ru

ГАРАБАЖИУ А. А., канд. техн. наук, доц.,
доцент²
E-mail: garabazhiu_aa@bntu.by

ЛЕШКЕВИЧ А. Ю., канд. техн. наук, доц.,
доцент каф. «Инженерная графика машиностроительного профиля»¹
E-mail: leshkevich_ayu@bntu.by

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 16.09.2022

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРИЦЕПНОГО ФОРВАРДЕРА «БЕЛАРУС» ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ МАНЕВРЕННОСТИ И ПРОХОДИМОСТИ

В статье рассматривается оценка основных свойств использования прицепной погрузочно-транспортной машины в типичных условиях эксплуатации с применением разработанных методик. Машина служит для более эффективной заготовки сортиментов на рубках ухода. Эксплуатационные свойства прицепного форвардера в значительной степени зависят от его основных компоновочных параметров: осевых нагрузок, базы, размещения элементов технологического оборудования. Для оценки маневренности был проведен анализ существующей сети дорог, просек и различных трасс.