

## ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АПК TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT FOR AGROINDUSTRIAL SECTOR

Научная статья

УДК 621.436.1

doi: 10.34655/bgsha.2024.75.2.016

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПУСКА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

**Александр Викторович Кузьмин,<sup>1</sup> Виктория Альбертовна Махутова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Иркутский геологоразведочный техникум Иркутского Национального исследовательского технического университета, Иркутск, Россия

<sup>1</sup>kuzmin\_burgsha@mail.ru,

<sup>2</sup>makhutova2012@yandex.ru

**Аннотация.** Цель данной статьи – анализ экспериментальных данных исследования пуска автотракторного дизеля при низких температурах с использованием опытного предпускового подогревателя. Объектом исследования является процесс пуска автотракторных дизелей в условиях низких температур. В настоящей статье приводятся вопросы обоснования актуальности проблемы пуска автотракторных дизелей в условиях низких температур. Рассматриваются теплотехнические основы повышения температуры масла в поддоне дизеля во время предпускового подогрева. Методика исследования представляла собой проведение ряда экспериментов на опытной установке. Установлено, что использование опытной установки позволяет повысить температуру масла в поддоне при пуске дизеля штатными пусковыми устройствами. В последнее время в силу оказываемых экономических санкций со стороны западных стран намечается рост отечественного сельского хозяйства. Так, вопросам изучения проблемы пуска автотракторных дизелей в условиях низких температур уделяется большое внимание в некоторых регионах Российской Федерации. В данной работе изложены результаты экспериментов по обеспечению запуска при низких температурах на базовом двигателе Д-240. Так, экстремальные условия Сибири создают определенные трудности при пуске двигателей автомобилей. Нами был использован опытный предпусковой подогреватель. Подогреватель на опытной установке отличается от штатного предпускового подогревателя ПЖБ–200 тем, что для оптимального использования теплоты уходящих газов для подогрева масла в картере двигателя в поддоне был установлен оребренный газоход. Расчеты показали, что применение наших разработок позволит повысить эффективность до 10%. Применение разработанных устройств показало, что подогреватель быстро выходит на необходимый рабочий режим (в течение 1...2 минут). Таким образом, обеспечивается пуск дизеля штатными пусковыми устройствами при температуре до минус 33° С.

**Ключевые слова:** дизель, подогреватель, специальный поддон, газоход, теплоемкость, температура масла, коэффициент теплоотдачи.

Original article

## ENABLING OF STARTING OF DIESEL ENGINES AT LOW AMBIENT TEMPERATURES

Alexander V. Kuzmin<sup>1</sup>, Victoria A. Makhutova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, Irkutsk, Russia

<sup>2</sup>Irkutsk Geological Exploration College, Irkutsk, Russia

<sup>1</sup>kuzmin\_burgsha@mail.ru,

<sup>2</sup>makhutova2012@yandex.ru

**Annotation.** The purpose of the article is to analyze experimental data on the study of starting of automotive diesel engine at low temperatures using an experimental pre-starter heater. The object of the study is the process of starting of automotive diesel engines at low temperatures. The article presents substantiating the relevance of the problem of starting of tractor diesel engines at low temperatures. The thermotechnical engineering bases of increasing of the oil temperature in the diesel tray during pre-starter heating are studied. The research methodology consisted of conducting a series of experiments on a pilot unit. It was found out, that the use of a pilot unit allows increasing the temperature of the oil in a tray when starting the diesel engine with standard starting devices. These days, due to the economic sanctions imposed by Western countries, the rapid development of domestic agriculture is imminent. Thus, in some regions of the Russian Federation much attention is paid to the study of the problem of starting tractor diesels at low temperatures. In this paper, the results of experiments to ensure the start of the D-240 base engine at low temperatures are presented. The extreme conditions of Siberia provide certain difficulties when starting car engines. A pilot pre-starting heater was used. The heater on the pilot unit differs from the standard pre-starting heater PZHB-200 by the presence of a ribbed gas duct installed in the tray for optimal use of the heat of the exhaust gases to heat the oil in the crankcase of the engine. Calculations have shown that the use of the suggested unit will increase efficiency by 10%. The application of the developed devices showed that the heater quickly reaches the required operating mode (within 1 ... 2 minutes). Thus, standard starting devices at temperatures equals to 33 ° C below zero.

**Keywords:** diesel, heater, special tray, flue, heat capacity, oil temperature, heat transfer coefficient.

**Введение.** В принятой концепции Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы уделяется внимание всем российским регионам, в том числе и Сибирскому региону [1]. В нашей статье приведены проблемы холодного запуска дизелей в условиях холодного климата. Эксперименты проводились на двигателе Д-240, широко применяемом в сельскохозяйственных машинах и на хорошо всем известных тракторах МТЗ, модификации которых устанавливаются также на автомобилях ЗИЛ-5301 «Бычок», ГАЗ-3309, ГАЗ-33081 «Садко», ГАЗ-33086 «Земляк», автобусах ПАЗ-4234, ПАЗ-4230 «Аврора».

Часто в зимнее время возникает необходимость эксплуатации транспортных

средств без хранения в теплом гараже, особенно в экспедициях, в командировках в отдалении от населенных пунктов. Серийные подогреватели трудно справляются с поставленной задачей при -40° C и ниже.

В данной работе изложены результаты экспериментов по обеспечению запуска при низких температурах на базовом двигателе Д-240.

Природно-климатические условия Республики Саха (Якутия) характеризуются продолжительным периодом с низкими температурами зимой и коротким жарким летом. В зимний период температура опускается до -40° C и ниже. В течение длительного времени с ноября по февраль стабильно держится в пределах 30...-45° C, временами опускаясь до -50° C,

а нередко еще ниже.

Эти экстремальные условия создают непреодолимые трудности при пуске двигателей автомобилей и другой мобильной техники. Особенности рабочего процесса дизелей обуславливают практическую невозможность для автономного пуска.

Известно, что в момент впрыска дизельного топлива температура сжатого воздуха должна превышать температуру самовоспламенения на  $100^{\circ}\text{C}$ . Зимнее дизельное топливо имеет температуру самовоспламенения  $240^{\circ}\text{C}$ , а арктическое –  $230^{\circ}\text{C}$  [2, 3].

При понижении температуры окружающего воздуха от  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $-30^{\circ}\text{C}$  максимальный момент сопротивления вращению у дизеля Д-240 увеличивается от 60 до 580 Н м [4].

При подогреве дизеля Д-240 штатным подогревателем ПЖБ-200 при температуре минус  $31^{\circ}\text{C}$  в течение 1, 2, 3 минут температура головки блока достигает  $60^{\circ}\text{C}$ , температура коренных подшипников остается минус  $22... 27^{\circ}\text{C}$ , а масло в поддоне картера – минус  $27^{\circ}\text{C}$  [4].

В таких условиях становится невозможным не только повысить температуру сжатого воздуха до температуры самовоспламенения дизельного топлива, но и даже провернуть коленчатый вал дизеля.

Современные системы, обеспечивающие пуск дизелей при низких температурах, имеют ограниченный температурный диапазон применения и не решают про-

блемы автономного пуска при температурах ниже минус  $30^{\circ}\text{C}$ .

Нами были проведены исследования на опытной установке пуска дизелей при низких температурах. Опытная установка состояла из трактора МТЗ-80 с дизелем Д-240 с монтированным опытным предпусковым подогревателем ПЖБ-12 (ПЖБ-100).

**Цель** данной статьи – анализ экспериментальных данных исследования пуска автотракторного дизеля при низких температурах с использованием опытного предпускового подогревателя.

**Условия и методы исследования.** Исследования проводились на опытной установке, состоящей из трактора МТЗ-80 с дизелем Д-240 с предпусковым подогревателем ПЖБ-12 и специально оборудованного поддона картера двигателя (рис. 1). Установка была создана на основе технического решения патента РФ № 2140010 [5]. Подобными вопросами интересовались многие авторы [6, 7]. Кроме того, существуют похожие технические решения [8 - 12]. Однако наш подогреватель на опытной установке отличается от штатного предпускового подогревателя ПЖБ-200 тем, что для оптимального использования теплоты уходящих газов для подогрева масла в картере двигателя, в поддоне 1 был установлен орребренный газоход 2 длиной 375 мм, диаметром 65 мм, с общей площадью орребрения  $82\text{ см}^2$  (рис. 1).

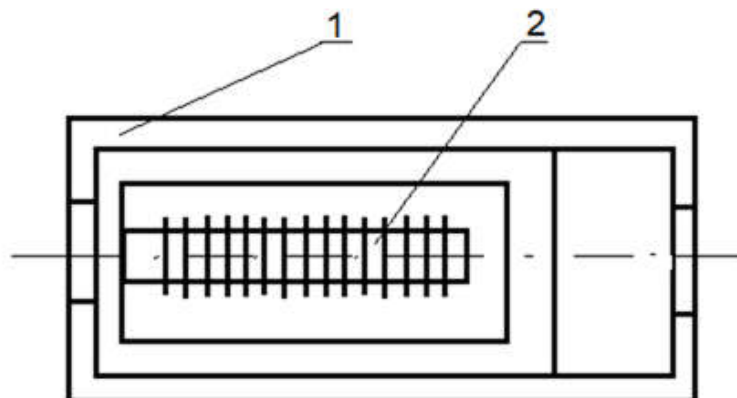


Рисунок 1. Специально подготовленный поддон с газоходом

Котел подогревателя для лучшей термосифонной циркуляции был наклонен относительно горизонта. Для полной автономности подогреватель приспособляется для работы от паяльной лампы. На опытной установке вентилятор демонтируется, сопло зажженной паяльной лампы вставляется в отверстие для забора воздуха вместо вентилятора. Для контроля температуры масла в поддоне использовались термодатчики сопротивления ТЭУ-48, температура головки блока контролировалась спиртовыми термометрами.

**Результаты исследования.** Для обоснования эффективности газохода были проведены предварительно теоретические расчеты.

Количество теплоты, переданное уходящими газами трубе в течение одного часа, можно определить из выражения

$$Q = \alpha_r F_r \left( \frac{T_K + T_{YX}}{Z} - T_M \right), \quad (1)$$

где:  $\alpha_r$  – коэффициенты теплоотдачи от газов к стенкам газохода,  $\text{кДж/м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{°C}$ ;

$F_r$  – поверхность нагрева газохода,  $\text{м}^2$ ;

$T_K = 640$  температура уходящих газов на входе в газоход поддона,  $\text{°C}$ ;

$T_{YX} = 540$  температура газов на выходе из газохода поддона,  $\text{°C}$ ;

$T_M = -20$  средняя температура масла в поддоне до подогрева,  $\text{°C}$ .

При этом надо иметь в виду, что при

$$Q = \alpha_r F_r \left( \frac{T_K + T_{YX}}{Z} - T_M \right) = 321,34 \times 0,074 \times \left( \frac{640 + 560}{2} + 20 \right) = 14743,07 \text{кДж}$$

Теплота, переданная уходящими газами поддону с маслом через газоход, составляет 10,47 % от всей теплоты, полученной при сгорании 2,48 кг бензина.

Расчеты показывают, что применение поддона с газоходом позволит повысить использование теплоты уходящих газов до 10%.

Экспериментальная проверка полученных выводов на основании расчетов проводилась при температурах окружающего воздуха минус 15, 20, 26, 33 $\text{°C}$  сле-

нагреве масла от минус 40 $\text{°C}$  до 0 $\text{°C}$  количество передаваемой теплоты уходящими газами через трубу снижается, т.к. снижается температурный напор.

Для определения теплоты задаемся размерами газохода: длина 375 мм, диаметр 63 мм.

Коэффициент теплоотдачи от газов трубе газохода определяется по формуле

$$\alpha_k = \left[ \frac{0,076}{d_{r3} + 0,01} \right] \times \varepsilon \left[ \frac{(14,4 \times \gamma + 1) \times G \times d_{r3}}{F_r} \right]^{0,65} \quad (2)$$

где:  $d_{r3} = \frac{4F}{U}$  эквивалентный диаметр газохода, м;

$\varepsilon = 1$  поправка на отношение длины газохода к эквивалентному диаметру;

$F = 0,074$  – площадь сечения газохода,  $\text{м}^2$ ;

$G$  – часовой расход топлива,  $\text{кг/ч}$ ;

$\gamma = 1,18$  – общий коэффициент избытка воздуха;

$U$  – периметр сечения газохода, м.

Расчетный коэффициент теплоотдачи равен 76,75  $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}$ , или 321,34  $\text{кДж/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}$ .

За 1 час работы подогревателя при часовом расходе бензина 2,48 кг выделяется 140784  $\text{кДж}$ .

При температуре масла минус 40 $\text{°C}$  через газоход маслу передается теплота.

дующим образом:

1. Систему охлаждения трактора заправляли антифризом и оставляли на ночь на улице;

2. На следующее утро замеряли температуру окружающего воздуха, подключали датчик ТЭУ-48 к указателю. Устанавливали термометры на головку блока;

3. Запускали подогреватель;

4. Расход топлива определяли взвешиванием паяльной лампы до и после подогрева;

5. Запускали дизель Д-240 штатными пусковыми устройствами.

При этом во время пуска дизеля затруднений, связанных с низкой температурой, не наблюдалось.

Результаты экспериментов, проведенных при температуре минус 33°С приведены в таблице 1. Далее приводятся результаты обработки этих данных.

Во время экспериментов было выявлено, что паяльная лампа после установки его сопла в отверстие для забора воздуха подогревателя быстро выходит на рабочий режим (примерно в течение 1...2 минут). В обычных условиях выход на рабочий режим длится порядка 10 минут, пока не прогреется сопло.

**Таблица 1** – Результаты экспериментов на опытной установке.

№ п/п	Показатели	Величина показателей
1	Температура окружающего воздуха, °С	– 33
2	Время подогрева, мин	27
3	Температура масла в конце подогрева, °С	+ 2
4	Температура головки блока, °С	+ 27
5	Расход топлива, кг	0,888

Установлено, что в течение 27,0 мин подогреватель израсходовал 0,888 кг бензина, при этом выделилось теплоты 52090,0 кДж.

Количество теплоты, полученной маслом с поддоном при его нагреве от минус 33°С до 2°С, определяли по формуле:

$$Q = (C_M M_M + C_{II} M_{II}) \times \Delta T$$

где:  $C_M = 2,42$  удельная теплоемкость масла, кДж/кг;

$$M_M = 12 \text{ литров или } 11,0 \text{ кг;}$$

$C_{II} = 0,98$  примерная удельная теплоемкость дюралевого поддона при температуре от минус 33 до плюс 2, кДж/кг;

$M_{II} = 11,45$  – масса поддона, с газохранилищем, кг;

$\Delta T = 35^\circ\text{C}$  – повышение температуры масла в поддоне за время подогрева.

Теплота, полученная маслом от уходя-

щих газов подогревателя, составляет 5813,2 кДж, или 11,15 % от всей теплоты подогревателя.

Таким образом, теоретические и экспериментальные исследования эффективности опытного подогревателя позволяют сделать следующие **выводы**:

1. Применение предпускового подогревателя со специальным поддоном повышает использование теплоты уходящих газов на 10 -11 %.

2. При температуре окружающего воздуха минус 33°С температура масла в поддоне повышается до +2°С.

3. Использование опытного подогревателя обеспечивает пуск дизеля Д-240 штатными пусковыми устройствами при температуре минус 33°С.

#### Список источников

1. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы . [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_223631/5223937f0c160937f22f0fc39f33770fe3f0674b/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_223631/5223937f0c160937f22f0fc39f33770fe3f0674b/)
2. Патент № 2029116 С1 Российская Федерация, МПК F02B 69/02, F02B 23/08, F02M 43/00. Много-топливный двигатель внутреннего сгорания и его система питания : № 5015694/06 : заявл. 06.12.1991 : опубл. 20.02.1995 / Г. Те, В. М. Савченко, Ю.А. Байков. EDN: ISDCRS.
3. Патент № 2213252 С2 Российская Федерация, МПК F02N 17/06. Система предпускового подогрева двигателя внутреннего сгорания (варианты) : № 2001116290/06 : заявл. 13.06.2001 : опубл. 27.09.2003 / В.П. Перфилов. EDN: ZNVHNR.
4. Патент № 2231676 С1 Российская Федерация, МПК F02N 17/02. подогреватель силовой установки бронеемкости : № 2003104347/06 : заявл. 14.02.2003 : опубл. 27.06.2004 / В.С. Москалев, В.А. Кравченко, Ю.А. Бурдейный ; заявитель Общевоинская академия Вооруженных Сил Российской Федерации. EDN: TIHEAU.

5. Патент № 2140010 С1 Российская Федерация, МПК F02N 17/06. Устройство для подогрева двигателя перед пуском : № 98109335/06 : заявл. 19.05.1998 : опубл. 20.10.1999 / А.А. Махутов, В.Н. Дорофеев, А.А. Махутов ; заявитель Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. EDN: HZRGPD.
6. Анисимов И.Ф. Период задержки воспламенения в газодизеле / И.Ф. Анисимов, С.Ф. Чернобрисов, А.В. Димогло // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2007. № 6. С. 19-20. EDN: IAUJVV.
7. Махутов А.А. О проблемах пуска тракторных дизелей в условиях низких температур / А.А. Махутов, В.А. Махутова // Вестник ИрГСХА. 2015. № 70. С. 92-97. EDN: VCJINL.
8. Патент № 2164309 С2 Российская Федерация, МПК F02M 41/00. Топливный насос высокого давления : № 99109312/06 : заявл. 26.04.1999 : опубл. 20.03.2001 / Л.Г. Ковалев, П.Л. Ковалев, А.А. Дудкин; заявитель Омский государственный аграрный университет. EDN: VNNCGP.
9. Патент № 2075621 С1 Российская Федерация, МПК F02M 51/00. устройство для подачи топлива в многоцилиндровый двигатель внутреннего сгорания : № 94015856/06 : заявл. 28.04.1994 : опубл. 20.03.1997 / М.Г. Крупский, Ю.Ф. Куянов, В.Е. Кузин, С.В. Гришин. EDN: LHVQCM.
10. Патент № 2242631 С2 Российская Федерация, МПК F02M 41/16. Устройство для подачи топлива в дизелях : № 2002114539/06 : заявл. 03.06.2002 : опубл. 20.12.2004 / А.А. Махутов, А.А. Махутов ; заявитель Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. EDN: MWBIRW.
11. Патент № 2072439 С1 Российская Федерация, МПК F02N 17/06. электрический подогреватель двигателя : № 93010130/06 : заявл. 26.02.1993 : опубл. 27.01.1997 / П.И. Чайкин. EDN: VWDKQE.
12. Патент № 2059049 С1 Российская Федерация, МПК E02F 9/20, E02F 9/22, F02N 17/06. устройство предпускового прогрева привода землеройно-строительной машины : № 94018193/03 : заявл. 18.05.1994 : опубл. 27.04.1996 / Н.Н. Карнаухов, В.Ф. Крамской, А.И. Тархов, Н.А. Харитонов ; заявитель Тюменский индустриальный институт. EDN: ZPWTYL.

#### References

1. The Federal Scientific and Technical Program for the development of agriculture for 2017-2025. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_223631/5223937f0c160937f22f0fc39f33770fe3f0674b/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_223631/5223937f0c160937f22f0fc39f33770fe3f0674b/)
2. Patent No. 2029116 C1 Russian Federation, IPC F02B 69/02, F02B 23/08, F02M 43/00. A multi-fuel internal combustion engine and its power supply system : No. 5015694/06 : application 06.12.1991 : publ. 02/20/1995 / G. Te, V.M. Savchenko, Yu.A. Baykov (In Russ.)
3. Patent No. 2213252 C2 Russian Federation, IPC F02N 17/06. Pre-start heating system of the internal combustion engine (variants) : No. 2001116290/06 : application 13.06.2001 : publ. 27.09.2003 / V.P. Perfilov (In Russ.)
4. Patent No. 2231676 C1 Russian Federation, IPC F02N 17/02. heater of the power plant of the armored object : No. 2003104347/06 : application. 02/14/2003 : publ. 06/27/2004 / V.S. Moskalev, V.A. Kravchenko, Yu.A. Burdeyny; applicant Combined Arms Academy of the Armed Forces of the Russian Federation (In Russ.)
5. Patent No. 2140010 C1 Russian Federation, IPC F02N 17/06. Device for heating the engine before starting : No. 98109335/06 : application 19.05.1998 : publ. 20.10.1999 / А.А. Makhutov, V.N. Dorofeev, А.А. Makhutov ; applicant Irkutsk State Agricultural Academy (In Russ.)
6. Anisimov I.F., Chernobrisov S.F., Dimoglo A.V. The ignition delay period in gas diesel. *Tractors and agricultural machines*. 2007;6:19-20 (In Russ.)
7. Makhutov A.A., Makhutova V.A. On the problems of starting tractor diesels at low temperatures. *Bulletin of the IrGSHA*. 2015;70:92-97 (In Russ.)
8. Patent No. 2164309 C2 Russian Federation, IPC F02M 41/00. High-pressure fuel pump : No. 99109312/06 : application 04/26/1999 : published 03/20/2001 / L.G. Kovalev, P.L. Kovalev, A.A. Dudkin ; applicant Omsk State Agrarian University (In Russ.)
9. Patent No. 2075621 C1 Russian Federation, IPC F02M 51/00. Device for supplying fuel to a multi-cylinder internal combustion engine : No. 94015856/06 : application. 04/28/1994 : publ. 03/20/1997 / M.G. Krupsky, Yu.F. Kuyanov, V.E. Kuzin, S.V. Grishin (In Russ.)
10. Patent No. 2242631 C2 Russian Federation, IPC F02M 41/16. Device for supplying fuel in diesels : No. 2002114539/06 : application 03.06.2002 : publ. 20.12.2004 / А.А. Makhutov, А.А. Makhutov ; applicant Irkutsk State Agricultural Academy (In Russ.)
11. Patent No. 2072439 C1 Russian Federation, IPC F02N 17/06. Electric engine heater : No. 93010130/06 : application 26.02.1993 : publ. 27.01.1997 / P.I. Chaikin (In Russ.)
12. Patent No. 2059049 C1 Russian Federation, IPC E02F 9/20, E02F 9/22, F02N 17/06. Device for preheating the drive of an earthmoving and construction machine : No. 94018193/03 : application. 05/18/1994 : publ. 04/27/1996 / N.N. Karnaukhov, V.F. Kramskoy, A.I. Tarkhov, N.A. Kharitonov ; applicant Tyumen industrial Institute (In Russ.)

### **Сведения об авторах**

**Александр Викторович Кузьмин** – доктор технических наук, профессор кафедры технического сервиса и общеинженерных дисциплин, kuzmin\_burgsha@mail.ru;

**Виктория Альбертовна Махутова** – преподаватель, Геологоразведочный техникум Иркутского Национального исследовательского технического университета, makhutova2012@yandex.ru.

### **Information about the authors**

**Alexander V. Kuzmin** – Doctor of Science (Engineering), Professor, Chair of Technical Service and General Engineering Disciplines, kuzmin\_burgsha@mail.ru;

**Victoria A. Makhutova** – Teacher, Geological Exploration College of the Irkutsk National Research Technical University, makhutova2012@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 09.01.2024; одобрена после рецензирования 15.04.2024; принята к публикации 23.04.2024.

The article was submitted 09.01.2024; approved after reviewing 15.04.2024; accepted for publication 23.04.2024.