

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ И ПАРАМЕТРОВ ПРЕДПУСКОВОЙ ТЕПЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ЗАПУСКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**Е.А. Потапов, Д.А. Вахрамеев, С.А. Синицкий, В.М. Медведев, А.Г. Терентьев**

Реферат. Вследствие отсутствия общепринятой методики расчета пусковых процессов автотракторных дизельных двигателей на сегодняшний день нет возможности с достаточной степенью точности рассчитать их температурные параметры при пуске, которые и определяют условие гарантированного процесса запуска. Основная проблема в применении теоретических расчетов заключается в том, что в них учитывается степень сжатия двигателя. Но степень сжатия и величина реального давления в цилиндрах двигателя в процессе пуска являются абсолютно разными показателями. Целью данной работы является корректировка общепринятых зависимостей по определению температурных параметров дизеля путем введения поправочного коэффициента, который учитывает пониженное значение давления в цилиндрах двигателя в процессе пуска, а также расчета температурных параметров в процессе пуска согласно предложенной методике расчетов. Поправочный коэффициент определяется экспериментальным путем и зависит от температуры двигателя. При применении поправочного коэффициента появляется возможность точного расчета температуры топливовоздушной смеси, которая и определяет возможность гарантированного процесса пуска и вместе с этим позволяет установить минимальные необходимые требования к средствам тепловой предпусковой подготовки.

Группа аспирантов и преподавателей (ФГБОУ ВО Ижевская государственная сельскохозяйственная академия и ФГБОУ ВО Казанский аграрный университет) провели ряд практических исследований на базе одного из ведущих сельскохозяйственных предприятий Удмуртской республики АО «Путь Ильича». За объект исследования был взят трактор МТЗ-82. Предметом исследования стал пуск его двигателя Д-243 в условиях низких температур в реальных эксплуатационных условиях. Выбор данной модели дизельного двигателя обусловлен его широким применением на тракторах.

Исследования проведены согласно утвержденной программе испытаний, заключающейся в пуске двигателя Д-243 трактора МТЗ-82 при температурах от -30°C с интервалом в 5°C до $+5^{\circ}\text{C}$ (температура двигателя равна температуре окружающей среды), а также от $+5^{\circ}\text{C}$ до $+90^{\circ}\text{C}$ с интервалом 20°C (температура окружающей среды $+20^{\circ}\text{C}$). Замеры проведены с целью определения величины компрессии в цилиндрах двигателя и частоты вращения коленчатого вала при определенных температурах. Эксперименты проводились при помощи пуско-зарядного устройства, обеспечивающего полную электрическую мощность стартера дизеля.

В результате проделанной экспериментальной работы установлено изменение значения поправочного коэффициента от температуры двигателя, а также в соответствии с измененной методикой теоретических расчетов приведены значения температуры топливовоздушной смеси в конце такта сжатия дизеля при пуске. Установлено, что минимальная необходимая предстартовая температура дизеля должна составлять не менее $+5^{\circ}\text{C}$.

По результатам анализа расчетов предложены направления обеспечения гарантированного пуска дизельного двигателя путем одновременного подогрева охлаждающей жидкости и моторного масла. Данные требования может обеспечить система теплового аккумулирования, не требующая дополнительных источников энергии для своего функционирования.

Ключевые слова: процесс пуска двигателя трактора, тепловой аккумулятор, предпусковая подготовка, компрессия, топливо-воздушная смесь.

Введение. В ряде работ отмечается необходимость использования динамических характеристик дизельного двигателя при создании мобильных машин и в частности системе подачи воздуха [1, 2, 3].

Цикл работы любого двигателя внутреннего сгорания применяемого на тракторах и мобильных машинах берет начало с процесса пуска, который представляет собой особый интерес ввиду многообразия и сложности происходящих в данный период изменений различных параметров. Подобные процессы очень сложно описать конкретными математическими зависимостями, но поскольку пуск является кратковременным периодом работы двигателя, то он не получил особого внимания в различных областях исследований, [4, 5, 6].

Именно качество процесса пуска определяет эксплуатационные возможности двигателя и его ресурс.

В данной работе уделено внимание устройствам предпусковой тепловой подготовки и самому процессу пуска двигателя внутреннего сгорания в условиях низких температур, где особые затруднения испытывают дизели. Это обусловлено тремя основными причинами:

1) гарантированный процесс воспламенения топливо-воздушной смеси в камере сгорания возможен при температуре не менее 300°C согласно ГОСТ 305-82 «Топливо дизельное». Технические условия»;

2) охлажденное дизельное топливо распыляется на достаточно крупную фракцию, что значительно затрудняет процесс смешивания

и воспламенения;

3) для обеспечения достаточной компрессии в процессе пуска дизельного двигателя частота вращения его коленчатого вала должна быть не менее 100 оборотов в минуту, что бывает достаточно проблематично ввиду понижения выдаваемой мощности тока аккумуляторной батареей в условиях низких температур и загустения моторного масла в картере двигателя. Поэтому уже при температуре окружающей среды ниже -10°C могут возникать проблемы с запуском дизельного двигателя.

Целью представленных практических и теоретических исследований является определение минимальной необходимой предпусковой температуры дизельного двигателя путем анализа зависимости компрессии в цилиндрах дизеля от его температуры.

Условия, материалы и методы. Представим расчетные зависимости температуры топливо-воздушной смеси, образующейся в цилиндре дизельного двигателя Д-243 в момент его пуска (при условии, что температура двигателя равна температуре окружающей среды):

-температура воздуха в цилиндре двигателя в процессе работы, [7]:

$$T = (T_a + \Delta T + T_r \cdot \gamma_r) / (1 + \gamma_r); \quad (1)$$

где T_a – температура воздуха окружающей среды, $^{\circ}\text{K}$;

ΔT – увеличение температуры воздуха при его прохождении по воздушному тракту двигателя, $^{\circ}\text{K}$;

T_r – температура остаточных газов двигателя, $^{\circ}\text{K}$;

γ_r – коэффициент остаточных газов.

Для процесса пуска холодного двигателя формула (1) приобретает вид:

$$T = T_a. \quad (2)$$

Температура воздуха в цилиндре двигателя в конце такта сжатия в процессе работы двигателя определяется из выражения, [7]:

$$T_e = T \cdot \varepsilon^{k_1}, \quad (3)$$

где ε – степень сжатия двигателя, для двигателя Д-243 $\varepsilon=17$;

k_1 – показатель адиабаты сжатия, для процесса пуска примем $k_1=1,376$.

Данная зависимость абсолютно несправедлива для процесса пуска, поскольку она не учитывает множество факторов, основополагающим из которых является низкое давление в камере сгорания в конце такта сжатия (компрессия). И если брать за основу расчета именно выражение (3), то в него следует ввести поправочный коэффициент «К», учитывающий пониженное значение фактической компрессии в процессе пуска дизеля.

Тогда выражение (3) примет вид:

$$T_e = K \cdot T \cdot \varepsilon^{k_1}. \quad (4)$$

Для обеспечения точности расчетов необходимо знать точное значение коэффициента «К». Но поскольку данный коэффициент зависит от множества факторов, то его определение достаточно сложно.

Определим основные факторы, которые

влияют на снижение значения компрессии в процессе пуска дизеля в условиях низких температур:

$$K = K_1 \cdot K_2, \quad (5)$$

где K_1 – поправочный коэффициент, учитывающий низкое число оборотов коленчатого вала двигателя вследствие пониженной мощности тока стартерной аккумуляторной батареи и высокой вязкости моторного масла;

K_2 – поправочный коэффициент, учитывающий увеличенные значения тепловых зазоров цилиндро-поршневой группы.

В свою очередь, значения поправочных коэффициентов K_1 и K_2 являются переменными величинами и имеют явно выраженную зависимость от температуры. Определить данную зависимость математическими методами достаточно сложно. Одновременно практические исследования в данной области позволили определить достаточно точную связь между вышеуказанными параметрами и температурой.

Анализ и результаты исследования.

Группа аспирантов и преподавателей (ФГБОУ ВО Ижевская государственная сельскохозяйственная академия и ФГБОУ ВО Казанский аграрный университет) провели ряд практических исследований на базе одного из ведущих сельскохозяйственных предприятий Удмуртской республики АО «Путь Ильича». За объект исследования был взят трактор МТЗ-82. Предметом исследования стал пуск его двигателя Д-243 в условиях низких температур в реальных эксплуатационных условиях. Выбор данной модели дизельного двигателя обусловлен его широким применением на тракторах.

Исследования проведены согласно утвержденной программе испытаний, заключающейся в пуске двигателя Д-243 трактора МТЗ-82 при температурах от -30°C с интервалом в 5°C до $+5^{\circ}\text{C}$ (температура двигателя равна температуре окружающей среды), а также от $+5^{\circ}\text{C}$ до $+90^{\circ}\text{C}$ с интервалом 20°C (температура окружающей среды $+20^{\circ}\text{C}$). Замеры проведены с целью определения величины компрессии в цилиндрах двигателя и частоты вращения коленчатого вала при определенных температурах. Эксперименты проводились при помощи пуско-зарядного устройства, обеспечивающего полную электрическую мощность стартера дизеля.

В результате испытаний были получены следующие данные, которые представлены в таблице 1.

Проанализировав представленные данные, стоит отметить, что компрессия в двигателе при пуске снижается в геометрической прогрессии в зависимости от линейного снижения температуры окружающей среды. Поправочный коэффициент «К» можно определить, зная номинальное значение компрессии для данного типа двигателя и значение компрессии при определенной температуре окружающей среды:

$$K = P_{\phi} / P_n, \quad (6)$$

Таблица 1 - Результаты замера компрессии двигателя Д-243

Температура окружающей среды, °С	Компрессия в цилиндрах двигателя				Среднее значение компрессии	Частота вращения кол. вала
	1 цилиндр	2 цилиндр	3 цилиндр	4 цилиндр		
Един. изм	атм.	атм.	атм.	атм.	атм.	Об/мин.
-30	9	9	11	10	9,75	70
-25	10	10	12	13	11,25	90
-20	12	15	16	16	14,75	120
-15	14	16	17	17	16	150
-10	15	17	18	17	16,75	177
-5	17	18	20	19	18,5	222
0	18	19	21	19	19,25	230
5	18	20	22	20	20	238
25	21	22	23	22	23	295
45	24	25	25	25	24,75	323
65	25	26	26	26	25,75	335
90	27	27	28	27	27,25	340

где $P_{ф}$ – фактическое значение компрессии при определенной температуре окружающей среды, атм;

P_n – номинальное значение компрессии для данного типа двигателя, атм. (для дизеля Д-243 $P_n=27$ атм.).

Таким образом, согласно выражению (6) для температуры -30°С по данным таблицы 1, поправочный коэффициент К:

$$K=9,75/27=0,36.$$

Тогда температура воздуха в конце такта сжатия при пуске двигателя Д-243 при -30°С (243°К) согласно выражению (4):

$$T_г = 0,36 \cdot 243 \cdot 170,376 = 253^{\circ}\text{К} = -20^{\circ}\text{С}.$$

Как видим, полученное значение температуры слишком мало для процесса пуска дизельного двигателя.

Для гарантированного процесса самовоспламенения топливо-воздушной смеси необходимым условием является обеспечение минимальной необходимой температуры. Для зимнего сорта дизельного топлива по ГОСТ 305-82 «Топливо дизельное» данная температура должна быть не менее 300°С. Необходимо учитывать не только температуру сжатого в цилиндре дизеля воздуха, но и температуру впрыскиваемого топлива. Приведем следующий расчет:

Масса воздушного заряда, поступающего в цилиндр двигателя в процессе впуска [7]:

$$M_г = V_ц \cdot \rho \cdot \eta_v \quad (7)$$

где $V_ц$ - рабочий объем цилиндра, для двигателя Д-243 $V_ц = 0,0011 \text{ м}^3$;

ρ - плотность воздуха при заданной расчетной температуре, кг/м³;

η_v - коэффициент наполнения, при пуске двигателя $\eta_v = 0,95$.

Цикловую подачу топлива в процессе пуска двигателя Д-243 определим исходя из ха-

рактеристик настройки топливного насоса УТН-5. Производительность секции насоса при пуске двигателя составляет не менее 120 мм³/цикл.

Поэтому принимаем цикловую подачу топлива $g_ц = 120 \text{ мм}^3/\text{цикл} = 0,00012 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{цикл}$.

Масса топлива цикловой подачи:

$$M_m = g_ц \times \rho_m \quad (8)$$

где ρ_m - плотность дизельного топлива при заданной расчетной температуре.

Температура топливовоздушной смеси в процессе пуска двигателя Д-243:

$$T_{см} = (C_{pв} \cdot M_г \cdot T_г + C_{pт} \cdot M_m \cdot T_m) / (C_{pв} \cdot M_г + C_{pт} \cdot M_m), \quad (9)$$

где $C_{pв}$ - удельная теплоемкость воздуха при заданной расчетной температуре, Дж/(кг·град);

$C_{pт}$ - удельная теплоемкость топлива при заданной расчетной температуре, Дж/(кг·град).

Для обеспечения гарантированного пуска дизеля в идеальном случае следует подавать в цилиндры разогретый воздух, но практически реализовать это сложно. Но если провести анализ зависимости (5), то можно утверждать, что температуру воздуха в цилиндре двигателя в конце такта сжатия можно существенно увеличить двумя способами:

1. снижением передачи тепловой энергии холодным деталям путем их предварительного нагрева (снижение коэффициента K_1);

2. увеличением давления в цилиндре за счет увеличения частоты вращения коленчатого вала двигателя в процессе пуска путем предварительного подогрева моторного масла и снижения его вязкости (снижение коэффициента K_2). Данными техническими решениями возможно получить аналогичный эффект, что и при подаче подогретого воздуха непосредственно в цилиндры двигателя. Но здесь

Таблица 2 - Расчет температуры газозвушной смеси в конце такта сжатия при пуске дизельного двигателя Д-243.

Температура окружающей среды и дизеля, °С	Поправочный коэффициент «К»	Температура воздуха в конце такта сжатия в цилиндре, °С	Температура газозвушной смеси в цилиндре, °С
-30	0,36	-20	-22
-25	0,42	+29	+24
-20	0,55	+130	+111
-15	0,59	+168	+144
-10	0,62	+200	+126
-5	0,68	+255	+222
0	0,71	+289	+252
+5	0,74	+323	+282
+10	0,77	+359	+313
+15	0,8	+395	+347
+20	0,82	+423	+372

гораздо проще осуществить процесс в реальной эксплуатации.

Произведем расчет температуры топливозвушной смеси в конце такта сжатия в цилиндрах дизеля серии Д-240 согласно выражению (9) от -30°С до значений нормальной температуры (+20°С) с интервалом в 5°С.

Таким образом, при анализе расчетных данных таблицы 2 видим, что гарантированный пуск дизеля при применении зимнего сорта топлива возможен при температуре от +5°С и выше. И это условие можно распространить на большинство моделей дизелей. Такую рекомендацию дает и сам завод-изготовитель двигателей данной модели, полученную по статистическим данным эксплуатации от потребителя. Эту рекомендацию возможно распространить на все основные модели дизелей. Это говорит о том, что значения поправочного коэффициента «К» определены верно и могут быть использованы в дальнейших расчетах. Также, полученные данные таблицы 2 позволяют оптимизировать режимы работы устройств предпусковой тепловой подготовки. Подобные устройства должны гарантировать прогрев дизельного двигателя минимум до температуры +5°С.

На сегодняшний день широкое распространение получил электрический подогрев систем охлаждения двигателей, а также приме-

нение автономных жидко-топливных подогревателей, обеспечивающих поддержание заданной температуры охлаждающей жидкости и моторного масла [7]. Также, для обеспечения запуска в условиях низких температур, множество моделей дизельных двигателей имеют в своей конструкции свечи накала, расположенные в камере сгорания и служащие для подогрева поступающего в цилиндры двигателя воздуха. Стоит отметить, что все представленные методы имеют ряд существенных недостатков, среди которых общим для всех является необходимость затрат дополнительной энергии, что в условиях реальной эксплуатации либо является затратным процессом, либо не во всех ситуациях имеется доступ к дополнительной энергии [8].

В настоящее время начинают приобретать все большее распространение тепловые аккумуляторы для двигателей, предназначенные для сохранения тепловой энергии охлаждающей жидкости в период стоянки или хранения техники в период между сменами.

Приведем таблицу сравнительного анализа методов тепловой подготовки автотракторного двигателя, где знаком «+» отмечены преимущества, а знаком «-» отмечены недостатки методов [9, 10, 11].

Таким образом, проанализировав данные таблицы 3, можно заметить, что в сравнении с

Таблица 3 - Сравнительный анализ методов предпускового подогрева

Вид подогрева	Безопасность	Время прогрева	Автономность	Источник энергии	Экологичность	Габариты	Трудоемкость	Цена
Автономный	-	-	+	-	-	+	+	-
Электрический	-	-	+	-	+	+	+	+
Подогрев газозвушной смесью	-	-	-	-	-	+	-	+
Тепловой аккумулятор	+	+	+	+	+	-	+	-

другими типами подогрева двигателя применение теплового аккумулятора является самым перспективным методом, имеющим наибольшее преимущество [12].

Выводы. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования, связанные с условиями запуска дизельного двигателя Д-243, позволили определить его минимальную необходимую предпусковую температуру, обеспечивающую гарантированный процесс пуска. Данная температура составляет +5°C. С учетом данной температуры появляется возможность оптимизации параметров систем

предпусковой тепловой подготовки дизельных двигателей, что позволит снизить конечные затраты на эксплуатацию техники в целом.

Также проведен краткий обзор и сравнительный анализ методов предпускового подогрева, который показал, что система теплового аккумуляирования для предпусковой подготовки двигателей внутреннего сгорания является достаточно перспективным методом, не требующим использования дополнительных источников энергии.

Литература

1. Потапов, Е.А. Снижение содержания токсичных веществ в отработавших газах двигателя машинно-тракторного агрегата путем применения комплексных систем / Е.А. Потапов, Д.А. Вахрамеев, Р.Р. Шакиров [и др.] // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания : Материалы X Международной научно-практической конференции "Наука – Технология – Ресурсосбережение": сборник научных трудов, Киров, 07 февраля 2017 года. – Киров: Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 2017. – С. 14-17.
2. Медведев, В.М. Математическая модель оценки динамических показателей двигателя МТА при неустановившейся нагрузке / В.М. Медведев, С.А. Сеницкий // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 2(53). С. 106-110.
3. Сеницкий, С.А. Влияние динамических факторов на показатели двигателя МТА при неустановившейся нагрузке / С.А. Сеницкий, В.М. Медведев // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 4(274). – С. 16-19.
4. Abbass M.K., Andrews G.E., Ichaq R.B. Comparison of the Particulate Composition between Turbocharged and Naturally Aspirated Diesel Engines // SAE Technical Paper Series. — 1991. — N 910733. — P. 1–16.
5. Jakobs R., Westbrooke K. Aspects of Influencing Oil Consumption in Diesel Engines for Low Emissions // SAE Technical Paper Series. — 1990. — N 900587. — P. 1–18.
6. Ueki S., Miura A. Effect of Difference of High Pressure Fuel Injection Systems on Exhaust Emissions from HDDI Diesel Engine // JSAE Review. — 1999. — V. 20. — N 4. — P. 555–557.
7. Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов. - 3-е изд. Перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 2003. -496с.
8. Денисов, Р.В. Перспективы использования автономных предпусковых подогревателей в условиях ужесточающихся экологических требований к двигателям автомобилей / Р.В. Денисов, М.Ю. Петухов // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика: матер. науч.-практ. конф.: в 2т. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2014. - Т.2. - С.120-126.
9. Ловцов, И.А. Применение современных инженерных решений в методах предпускового подогрева автомобильных двигателей И.А. Ловцов, В.И. Козликин // Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2016): сборник статей VIII Международной научно-технической конференции. - 2016. - С. 236-239.
10. Неговора, А.В. Повышение эффективности работы жидкостного предпускового подогревателя / А.В. Неговора, М.М. Разяпов, Н.А. Шерстнев // Технологии реновации машин и оборудования : Материалы Всероссийской научно-практической конференции в рамках XI Промышленного салона и специализированных выставок "Промэкспо, станки и инструмент", "Сварка. Контроль. Диагностика", Уфа, 26 февраля 2016 года. – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2016. – С. 184-188.
11. Потапов, Е.А. Тепловой аккумулятор для предпусковой подготовки двигателя машинно-тракторного агрегата / Е.А. Потапов, Д.А. Вахрамеев, Ф.Р. Арсланов [и др.] // Динамика механических систем : материалы I Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора А.К. Юлдашева, Казань, 05–06 апреля 2018 года / Казанский государственный аграрный университет; Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. – Казань: Без издательства, 2018. – С. 84-90.
12. Пат. 182409 Российская Федерация. Тепловой аккумулятор для двигателя внутреннего сгорания / Вахрамеев Д.А., Потапов Е.А., Корепанов Ю.Г.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. - № 2017138880; заявл. 08.11.2017 г.; опубл. 16.08.2018 г. - бс.: ил.

Сведения об авторах:

Потапов Евгений Александрович – специалист, e-mail: agroingener.ep@yandex.ru

АО «ИЭМЗ «Купол», г. Ижевск, Россия

Вахрамеев Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: vdaig@yandex.ru

Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, г. Ижевск, Россия

Сеницкий Станислав Александрович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: stanislavsin@mail.ru

Медведев Владимир Михайлович – кандидат технических наук, заместитель декана, e-mail: mvm-mail@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

Терентьев Алексей Григорьевич – доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, e-mail: agterent@rambler.ru

Чувашский государственный аграрный университет, г. Чебоксары, Россия

OPTIMIZATION OF METHODS AND PARAMETERS OF PRE-START THERMAL PREPARATION OF THE ENGINE FOR STARTING DEPENDING ON THE AMBIENT TEMPERATURE

E. A. Potapov, D. A. Vakhrameev, S.A. Sinitsky, V.M. Medvedev, A.G. Terentyev

Abstract. Due to the lack of a generally accepted methodology for calculating the starting processes of automotive diesel engines, today it is not possible to calculate their temperature parameters with a sufficient degree of accuracy during start-up, which determine the condition of a guaranteed start-up process. The main problem in applying theoretical calculations is that they take into account the compression ratio of the engine. But the compression ratio and the value of the actual pressure in the engine cylinders during the start-up are completely different indicators. The purpose of this work is to correct the generally accepted dependencies for determining the temperature parameters of a diesel engine by introducing a correction factor that takes into account the reduced pressure in the engine cylinders during start-up, as well as calculating the temperature parameters during start-up according to the proposed calculation method. The correction factor is determined experimentally and depends on the engine temperature. When applying the correction factor, it becomes possible to accurately calculate the temperature of the fuel-air mixture, which determines the possibility of a guaranteed start-up process and at the same time allows you to set the minimum necessary requirements for the means of thermal pre-start preparation.

A group of graduate students and teachers (Izhevsk State Agricultural Academy and Kazan Agrarian University) conducted a number of practical studies on the basis of one of the leading agricultural enterprises of the Udmurt Republic JSC "Ilyich's Way". The MTZ-82 tractor was taken as the object of the study. The subject of the study was the launch of its D-243 engine at low temperatures in real operating conditions. The choice of this model of diesel engine is due to its wide application on tractors.

The studies were carried out according to the approved test program, which consists in starting the D-243 engine of the MTZ-82 tractor at temperatures from -30°C with an interval of 5°C to $+5^{\circ}\text{C}$ (engine temperature is equal to ambient temperature), as well as from $+5^{\circ}\text{C}$ to $+90^{\circ}\text{C}$ with an interval of 20°C (ambient temperature $+20^{\circ}\text{C}$). Measurements were carried out to determine the amount of compression in the engine cylinders and the speed of rotation of the crankshaft at certain temperatures. The experiments were carried out using a starter charger that provides the full electric power of the diesel starter.

As a result of the experimental work carried out, a change in the value of the correction coefficient from the engine temperature was established, and in accordance with the modified methodology of theoretical calculations, the values of the temperature of the fuel-air mixture at the end of the compression stroke of the diesel engine at start-up are given. It is established that the minimum required pre-start temperature of the diesel engine should be at least $+5^{\circ}\text{C}$.

Based on the results of the analysis of calculations, the directions of ensuring a guaranteed start of the diesel engine by simultaneously heating the coolant and engine oil are proposed. These requirements can be provided by a thermal storage system that does not require additional energy sources for its operation.

Key words: the process of starting the tractor engine, heat accumulator, pre-start preparation, compression, fuel-air mixture.

References

1. Potapov, E.A. Reducing the content of toxic substances in the exhaust gases of the engine of a machine-tractor unit by using complex systems / E.A. Potapov, D.A. Vakhrameev, R.R. Shakirov [et al.] // Improving the performance of internal combustion engines: Materials of the X International Scientific and Practical Conference "Science - Technology - Resource Saving": collection of scientific papers, Kirov, February 07, 2017. - Kirov: Vyatka State Agricultural Academy, 2017. - P. 14-17.
2. Medvedev, V.M. Mathematical model for assessing the dynamic performance of the MTA engine at unsteady load / V.M. Medvedev, S.A. Sinitsky // Bulletin of Kazan State Agrarian University. 2019. Vol. 14. No. 2 (53). P. 106-110.
3. Sinitsky, S.A. Influence of dynamic factors on the performance of the MTA engine at unsteady load / S.A. Sinitsky, V.M. Medvedev // Rural machinery and equipment. - 2020. - No. 4 (274). - P. 16-19.
4. Abbass M.K., Andrews G.E., Ichaq R.B. Comparison of the Particulate Composition between Turbocharged and Naturally Aspirated DJ Diesel Engines // SAE Technical Paper Series. — 1991. — N 910733. — P. 1-16.
5. Jakobs R., Westbrooke K. Aspects of Influencing Oil Consumption in Diesel Engines for Low Emissions // SAE Technical Paper Series. — 1990. — N 900587. — P. 1-18.
6. Ueki S., Miura A. Effect of Difference of High Pressure Fuel Injection Systems on Exhaust Emissions from HDDI Diesel Engine // JSAE Review. — 1999. — V. 20. — N 4. — P. 555-557.
7. Kolchin, A.I. Calculation of automobile and tractor engines: textbook. manual for universities / A.I. Kolchin, V.P. Demidov. - 3rd ed. Revised and add. - M.: Higher. shk., 2003. - 496p.
8. Denisov, R.V. Prospects for the use of autonomous pre-heaters in conditions of stricter environmental requirements for car engines / R.V. Denisov, M. Yu. Petukhov // Ecology and scientific and technical progress. Urban studies: mater. scientific-practical conf.: in 2v. - Perm: PNRPU Publishing House, 2014. - Vol. 2. - P. 120-126.
9. Lovtsov, I.A. Application of modern engineering solutions in the methods of pre-starting heating of automobile engines / I.A. Lovtsov, V.I. Kozlikin // Modern automotive materials and technologies (SAMIT-2016): collection of articles of the VIII International scientific and technical conference. - 2016. - P. 236-239.
10. Negovora, A.V. Improving the efficiency of the liquid preheater / A.V. Negovora, M.M. Razyapov, N.A. Sherstnev // Technologies for the renovation of machinery and equipment: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference within the XI Industrial Salon and specialized exhibitions "Promexpo, Machine Tools and Tools", "Welding. Control. Diagnostics", Ufa, February 26, 2016. - Ufa: Bashkir State Agrarian University, 2016. - P. 184-188.
11. Potapov, E.A. Thermal accumulator for prestarting the engine of the machine-tractor unit / E.A. Potapov, D.A. Vakhrameev, F.R. Arslanov [and others] // Dynamics of mechanical systems: materials of the I International scientific-practical conference dedicated to the memory of Professor A.K. Yuldasheva, Kazan, 05-06 April 2018 / Kazan State Agrarian University; Izhevsk State Agricultural Academy. - Kazan: Without publishing house, 2018. - P. 84-90.
12. Pat. 182409 Russian Federation. Heat accumulator for internal combustion engine / Vakhrameev D.A., Potapov E.A., Korepanov Yu.G.; applicant and patent holder of Izhevsk State Agricultural Academy. - No. 2017138880; application 08.11.2017; publ. 16.08.2018 - 6p.: ill.

Authors:

Potapov Evgenii Aleksandrovich – specialist, e-mail: agroingener.ep@yandex.ru

JSC "IEMZ "Kupol", Izhevsk, Russia

Vakhrameev Dmitrii Aleksandrovich – candidate of technical sciences, associate Professor, e-mail: vdaig@yandex.ru
Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russia

Sinitskii Stanislav Aleksandrovich – candidate of technical sciences, associate Professor, e-mail: stanislavsin@mail.ru

Medvedev Vladimir Mikhailovich – candidate of technical sciences, deputy dean, e-mail: mvm-mail@mail.ru

Kazan state agrarian University, Kazan, Russia

Terentyev Alexey Grigorievich – Doctor of Phys.-Math. Sci., Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, e-mail: agterent@rambler.ru

Chuvash State Agrarian University, Cheboksary