



УДК 621.43.056

А.П. Сырбаков, Н.Н. Бережнов, М.А. Корчуганова, С.П. Матяш

ТЕПЛОВАЯ ПОДГОТОВКА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ключевые слова: предпусковой подогрев, дизельный двигатель, отрицательные температуры, послепусковой прогрев, теплообменник, подогреватель, зимний период, охлаждающая жидкость, циркуляция, нагревательный элемент.

Вопросы, рассмотренные в статье, посвящены решению одной из актуальных проблем современных мобильных машин – повышению эффективности использования тракторных агрегатов путем адаптации их к эксплуатации в условиях низких температур окружающей среды. Адаптация сельскохозяйственных тракторов к условиям низких температур во многом определяется тем, как эффективно удастся подвести дополнительную тепловую энергию к узлам и агрегатам в периоды предпускового и послепускового прогрева. Рассмотрены альтернативные способы интенсификации процессов предпускового и послепускового прогрева моторной установки тракторов в условиях небольших сельскохозяйственных предприятий. Предлагается для предпусковой тепловой подготовки дизельного двигателя Д-240 использовать огневые теплообменные аппараты с автономным греющим модулем в виде съемного элемента, что позволило в автономном режиме (в течение 20-25 мин.) обеспечить достаточную тепловую подготовку моторной установки при среднем темпе нагрева головки двигателя с принудительной циркуляцией – 1,85°С/мин., с термосифонной – 2,5°С/мин. Вторым направлением предложено для автономного предпускового разогрева реализовать внутренние резервы самого двигателя, с использованием штатного пускового ДВС, путем частичной модернизации системы охлаждения. Динамика разогрева охлаждающей жидкости двигателя предложенным способом, в среднем, составила 2,5°С/мин. Для интенсификации послепускового прогрева ДВС предложены 2 способа: изменение режима циркуляции жидкости в системе охлаждения ДВС; нагрев охлаждающей жидкости в системе охлаждения от внешних электрических нагревательных элементов, запитанных от штатной системы трактора. Предложенные способы интенсификации послепускового прогрева частично апробированы и показали положительный эффект, в частности, применение электрических нагревательных элементов, запитанных от бортовой электроси-

стемы трактора позволяет увеличить интенсивность нагрева охлаждающей жидкости на 12,5% и сократить на 20% время прогрева двигателя для условий принятия рабочей нагрузки. Предложенные способы по интенсификации предпускового и послепускового прогрева рассмотрены как возможная альтернатива использования серийным автономным предпусковым устройствам ДВС в условиях сельского хозяйства.

Keywords: pre-heating, diesel engine, low temperatures, post-start warming up, heat exchanger, heater, winter, coolant, circulation, heating element.

This paper discusses one of the topical issues of modern mobile machines – increase of efficiency of using tractor units by adapting them to operate under the conditions of low ambient temperatures. The adaptation of agricultural tractors to low temperatures is largely determined by how effectively to apply more heat to the components and units in the periods of pre-start and post-start heating. The alternative ways of intensification of processes of pre-start and post-start heating of tractor engine in small agricultural enterprises are discussed. It is proposed for pre-start heating preparation of the diesel engine D-240 to use fire heat exchangers with auxiliary heating module in the form of a removable element that allowed offline (for 20-25 min) to provide sufficient thermal preparation of the engine with an average rate of heating of the engine head with forced circulation of 1.85°С min, thermosiphon circulation - 2.5°С min. The second direction proposed for autonomous pre-start heating to implement internal reserves of the engine using a regular starting motor by partial modernization of the cooling system. The dynamics of heating the engine coolant in the proposed method, on average, amounted to 2.5°С min. To intensify the post-start warming up the internal combustion engine (ICE) 2 ways are proposed: changing fluid circulation regime in ICE cooling system; heating the coolant in the cooling system by external electrical heating elements powered from a standard system of a tractor. The proposed ways of intensification of post-start warming up were partially tested and showed a positive effect, in particular the application of electric heating elements powered from the onboard electrical system of the tractor allows increasing the intensity of coolant heating by 12.5%

and reduce the engine warming up time to the working load by 20%. The proposed ways to intensify the pre-start and post-start warm-up are considered as a possible alternative

to the use of the standard autonomous pre-start devices of internal combustion engines for the conditions of agriculture.

Сырбаков Андрей Павлович, к.т.н., доцент, каф. «Ландшафтная архитектура» Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: sirbakovap@yandex.ru.

Бережнов Николай Николаевич, к.т.н., доцент, Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия. Тел.: (3842) 73-51-17. E-mail: n.berezhnov@mail.ru.

Корчуганова Марина Анатольевна, к.т.н., доцент, Новосибирский государственный аграрный университет. Тел.: (383) 267-35-07. E-mail: kma77@list.ru.

Матяш Сергей Петрович, ст. преп., Новосибирский государственный аграрный университет. Тел.: (383) 267-35-04. E-mail: nsauii@ngs.ru.

Syrbakov Andrey Pavlovich, Cand. Tech. Sci., Asoc. Prof., Kuzbass State Agricultural Academy. E-mail: sirbakovap@yandex.ru.

Berezhnov Nikolay Nikolayevich, Cand. Tech. Sci., Asoc. Prof., Kuzbass State Agricultural Academy. Ph.: (3842) 73-51-17. E-mail: n.berezhnov@mail.ru.

Korchuganova Marina Anatolyevna, Cand. Tech. Sci., Asoc. Prof., Novosibirsk State Agricultural University. Ph.: (383) 267-35-07. E-mail: kma77@list.ru.

Matyash Sergey Petrovich, Asst. Prof., Novosibirsk State Agricultural University. Ph.: (383) 267-35-04. E-mail: nsauii@ngs.ru.

Введение

Использование сельскохозяйственных тракторов в зимний период обусловлено непрерывностью технологических процессов в аграрном производстве. По некоторым данным [1], доля тракторного парка в сельском хозяйстве, эксплуатируемого при среднесуточных отрицательных температурах, может составлять от 15 до 40%.

Известно, что эксплуатация техники в условиях отрицательных температур с дизельным двигателем сопряжена рядом сложностей, в первую очередь с пуском и прогревом моторной установки, что обусловлено рядом факторов, в первую очередь сложностью создания необходимых процессов смесеобразования в цилиндре двигателя для воспламенения дизельного топлива, что напрямую зависит от температуры воздуха, подаваемого в цилиндры двигателя, технического состояния и регулировки основных систем и механизмов дизельного двигателя, вязкостно-температурных характеристик эксплуатационных жидкостей (моторного масла, дизельного топлива) [2].

В случае удачного пуска холодного двигателя интенсифицируются процессы, связанные как с износом основных деталей двигателя, так и увеличением доли вредных выбросов с выхлопными газами от неполноты сгорания топлива, что ухудшает и экологические показатели [3].

С целью интенсификации процесса пуска и прогрева моторной установки с дизельным двигателем рекомендуется обеспечить предпусковую тепловую подготовку ДВС для обеспечения уверенного запуска с последующим контролируемым форсированным прогревом двигателя, с целью минимизации эксплуатационных затрат, износа

подвижных элементов, снижения вредных выбросов и увеличения рабочего времени смены [4].

На основе вышесказанного можно сформулировать, что эффективная эксплуатация тракторной техники в условиях отрицательных температур возможна при условии обеспечения предпусковой тепловой подготовки моторной установки с целью эффективного пуска и дальнейшей интенсификации прогрева. Также хотелось отметить, что тепловая подготовка тракторов в условиях сельскохозяйственного предприятия, в нынешних экономических условиях усложнилась ужесточением условий хранения техники в межсезонный период [5].

Цель и задача – повышение технической безопасности сельскохозяйственных тракторов путем адаптации их к эксплуатации в условиях низких температур окружающей среды.

Объекты и методы

Одним из способов достижения поставленной цели является применение автономных предпусковых подогревателей. В условиях мелких хозяйств применение серийных автономных подогревателей накладывает ряд ограничений в виду их повышенной стоимости, необходимости в потребности тока от бортовой сети трактора и издержек по сервисному обслуживанию.

Поэтому в качестве возможной альтернативы использования серийных подогревателей предлагаются различные устройства для интенсификации процессов предпускового и послепускового прогрева моторной установки сельскохозяйственного трактора.

Экспериментальная часть

Одним из направлений для тепловой подготовки двигателя предлагается использовать греющий модуль автономного подогревателя, в виде съемного элемента, в качестве которого выступает бензиновая горелка [1]. Теплообменный модуль предпускового подогревателя представлен в виде кожухотрубного теплообменника (с рабочим объемом $V=1,5$ л), подключенного к малому контуру системы охлаждения двигателя.

При выполнении работ по тепловой подготовке двигателя необходимо предварительно на без-

опасном удалении разжечь бензиновую горелку, затем установить ее с помощью быстросъемных кронштейнов в теплообменный модуль, расположенный на лонжеронах рамы трактора. За счет теплообменных процессов жидкость в теплообменнике нагревается и по шлангам направляется в систему охлаждения двигателя для замещения. Циркуляцию жидкости через теплообменник можно реализовать как в режиме термосифонной циркуляции, так и в режиме принудительной, с использованием дополнительного электрического насоса (рис. 1).

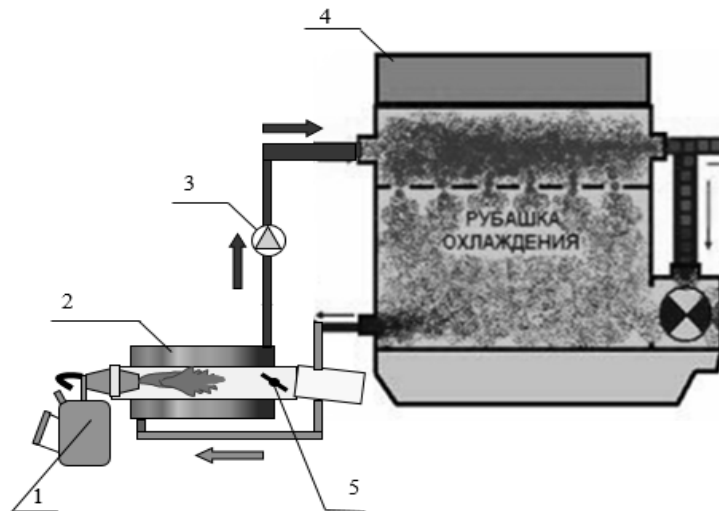
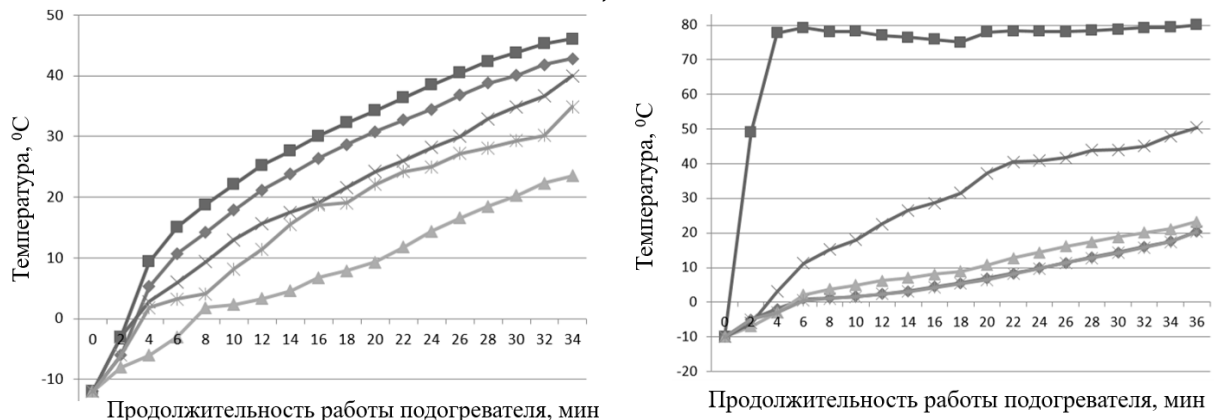


Рис. 1. Схема работы автономного жидкостного подогревателя:
 1 – бензиновая горелка; 2 – кожухотрубный теплообменник; 3 – электрический насос;
 4 – двигатель; 5 – заслонка



- температура охлаждающей жидкости на выходе из теплообменника
- × температура поверхности головки блока двигателя
- температура охлаждающей жидкости на входе в теплообменник
- ▲ температура моторного масла в картере двигателя
- ◆ температура охлаждающей жидкости на входе в теплообменник

Рис. 2. Динамика прогрева моторной установки Д-240:

а – принудительная циркуляция охлаждающей жидкости (скорость циркуляции жидкости $q=10$ л/мин.);
б – термосифонная циркуляция охлаждающей жидкости (скорость циркуляции жидкости $q=0,5$ л/мин.)

Результаты и их обсуждение

Полученные результаты показали возможность реализации данного метода при соблюдении необходимой техники безопасности (рис. 2). При сравнении двух режимов циркуляции жидкости через теплообменник режим термосифонной циркуляции, на наш взгляд, не только не уступает принудительной циркуляции, но и более предпочтительней, так как основной тепловой поток концентрирует в верхней зоне двигателя, что более интенсивно прогревает головку двигателя, тем самым создавая благоприятные условия для воспламенения топливоздушная смеси. Средний темп нагрева головки блока двигателя с принудительной циркуляцией составляет $1,85^{\circ}\text{C}/\text{мин.}$, а с термосифонной – соответственно, $2,5^{\circ}\text{C}/\text{мин.}$, что позволяет с минимальными тепловыми потерями концентрировать тепловые потоки в головке блока двигателя. Реализация предпускового подогрева двигателя по схеме с термосифонной циркуляцией дает возможность также обеспечить работу греющего модуля полностью в автономном режиме, без использования электрической энергии, что положительно влияет на дальнейшие пусковые характеристики моторной установки за счет сбережения емкости аккумуляторной батареи в базовых показателях.

Предлагается еще одно нестандартное решение для предпускового прогрева дизельного двигателя, в котором можно реализовать внутренние резервы моторной установки. Данное техническое решение можно применить только для тех марок сельскохозяйственных тракторов, где в качестве

пускового устройства используется штатный пусковой двигатель с общей системой охлаждения с основным двигателем. Суть данного направления заключается в использовании теплоты от пускового двигателя для нагрева охлаждающей жидкости в режиме ее принудительной циркуляции (рис. 3). Для реализации данной идеи предлагается установить дополнительный генератор с приводом от вала пускового устройства. Реализуемая электрическая энергия от дополнительного генератора используется на привод электрического насоса для принудительного обратимого замещения жидкости в системе охлаждения основного двигателя и пускового. Тем самым тепло, передаваемое от стенок цилиндра пускового двигателя охлаждающей жидкости, за счет принудительной циркуляции, будет передаваться стенкам цилиндра основного двигателя, обеспечивая нагрев основных элементов моторной установки до необходимых температурных параметров, для уверенного пуска дизельного двигателя.

Динамика разогрева охлаждающей жидкости двигателя (рис. 4) предложенным способом в среднем составила $2,5^{\circ}\text{C}/\text{мин.}$, а общее время разогрева моторной установки до температуры, при которой обеспечивается уверенный пуск дизельного двигателя ($T_{ж}=30^{\circ}\text{C}$) [2], – 18 мин., при начальной температуре жидкости минус 22°C . Результаты практических исследований показали возможность реализации данного способа тепловой подготовки как альтернативу существующим методам с использованием автономных предпусковых устройств.

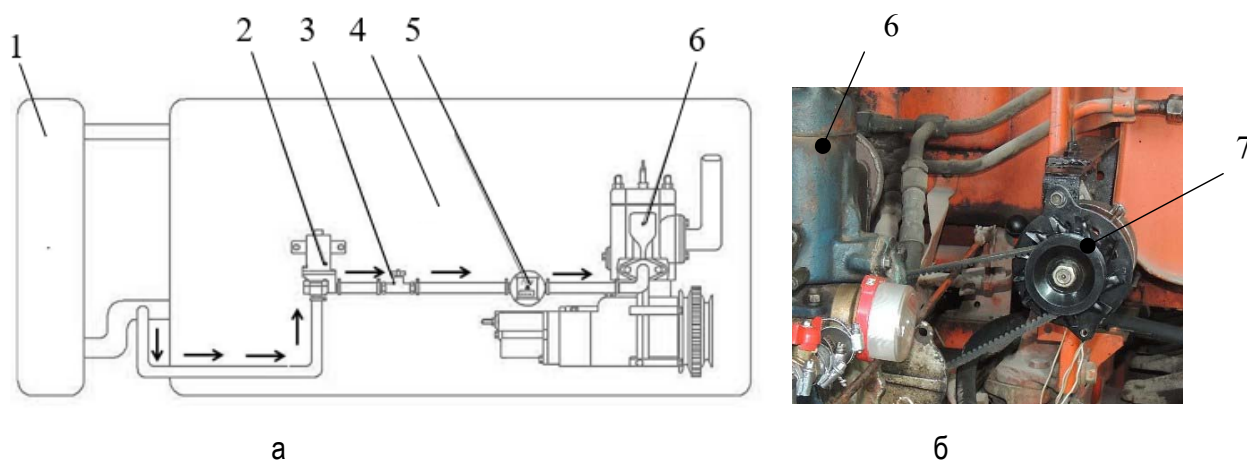


Рис. 3. Автономный предпусковой подогреватель на базе пускового двигателя:
а – схема циркуляции охлаждающей жидкости в режиме «предпусковой прогрев»;
б – установка дополнительного генератора с приводом от вала пускового двигателя;
1 – радиатор; 2 – электрический насос; 3 – заслонка; 4 – двигатель; 6 – пусковой двигатель;
7 – дополнительный генератор

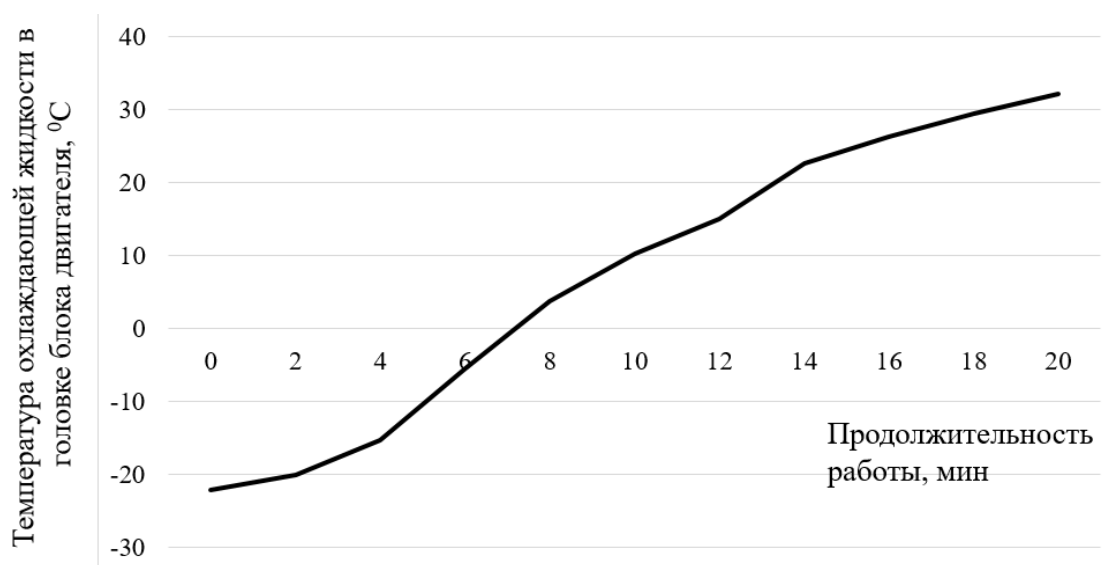


Рис. 4. Зависимость разогрева охлаждающей жидкости двигателя СМД-14 от времени работы пускового двигателя ПД-10

Также хотелось отметить, что вырабатываемую электрическую энергию от дополнительного генератора можно реализовать на тепловую подготовку других систем, таких как смазки и питания за счет встроенных нагревательных устройств, что позволит в комплексе обеспечить необходимую предпусковую подготовку основных систем дизельного двигателя и уверенный пуск моторной установки в условиях отрицательных температур.

В настоящее время недостаточно исследованы вопросы послепускового прогрева тракторных двигателей в условиях отрицательных температур. Прогрев дизельного двигателя на малых и средних оборотах не в полной мере обеспечивает нагрев моторной установки до минимальных рекомендуемых параметров (40-50°C), при котором можно начинать движение трактора без нагрузки. В результате дизельный двигатель трактора, в зависимости от нагрузки, жесткости холодного климата, степени утепления подкапотного пространства, может не выходить на рекомендуемую рабочую температуру (70-90°C) даже в режиме рабочих нагрузок, что может приводить к снижению технико-эксплуатационных параметров и ухудшению экологических показателей отработавших газов.

Решение вопросов сокращения времени тепловой подготовки дизельных двигателей видится в корректировке рабочего процесса двигателя, в частности в частичном совершенствовании системы охлаждения, за счет дополнительного нагрева охлаждающей жидкости в системе охлаждения от внешних электрических нагреватель-

ных элементов, запитанных от штатной системы трактора [6], а также изменения режима циркуляции жидкости по системе (рис. 5).

Режим циркуляции охлаждающей жидкости можно изменить за счет дополнительной установки заслонки в малом круге для ускорения прогрева головки цилиндров в начальный период работы двигателя.

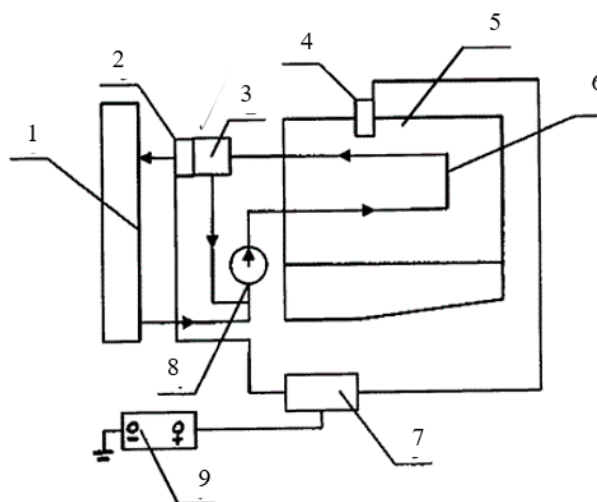


Рис. 5. Устройство регулирования циркуляции жидкости системы охлаждения тракторных двигателей:

- 1 – радиатор; 2 – электронный блок управления заслонками; 3 – устройство регулирования циркуляции; 4 – температурный датчик;
- 5 – головка блока цилиндров;
- 6 – рубашка охлаждения двигателя;
- 7 – электронный блок управления температурой; 8 – водяной насос;
- 9 – аккумуляторная батарея

В режиме послепускового прогрева дизельного двигателя, для интенсификации процесса прогрева, прекращается циркуляция охлаждающей жидкости по малому кругу с помощью заслонки, и при прогреве головки цилиндров до заданной температуры, по показаниям температурных датчиков, установленных в головке блока двигателя, обеспечивается контролируемый процесс управления заслонкой. Заслонка постепенно открывается, увеличивая кратность циркуляции охлаждающей жидкости по малому контуру системы охлаждения в зависимости от температуры охлаждающей жидкости до штатных параметров. Таким образом, данное устройство обеспечивает ускорение прогрева тракторных дизельных двигателей за счет контролируемого процесса по теплообмену, путем дифференцированного процесса циркуляции охлаждающей жидкости.

Дополнительная установка электрических нагревательных элементов (рис. 6) в головку блока цилиндров также позволяет ускорить процессы, связанные с прогревом моторной установки, за счет дополнительного нагрева охлаждающей жидкости электрическими нагревателями и частичной загрузки коленчатого вала двигателя, вызванного сопротивлением генератора в режиме питания нагревателей.

По результатам исследований (рис. 7) применение электрических нагревательных элементов, запитанных от бортовой электросистемы трактора, позволяет увеличить интенсивность нагрева охлаждающей жидкости на 12,5%, с 4,0 до 4,5°C/мин., и сократить на 20% время прогрева [7].

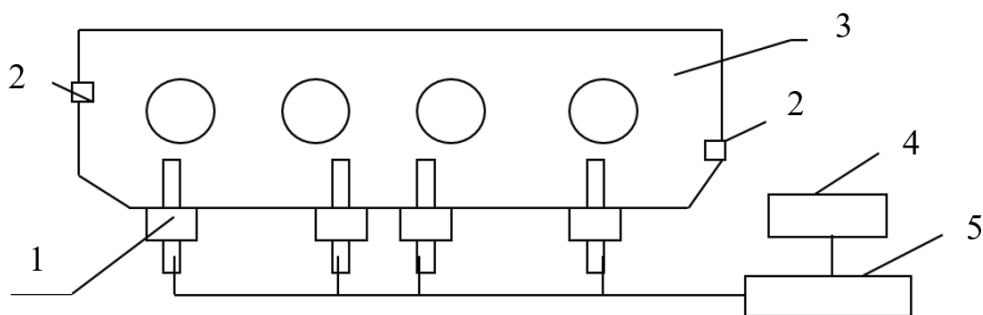


Рис. 6. Установка нагревательных элементов в системе охлаждения двигателя Д-240:
 1 – нагревательный элемент ($P=250 \text{ Вт}$); 2 – датчики температуры; 3 – водяная рубашка двигателя;
 4 – генератор; 5 – панель управления

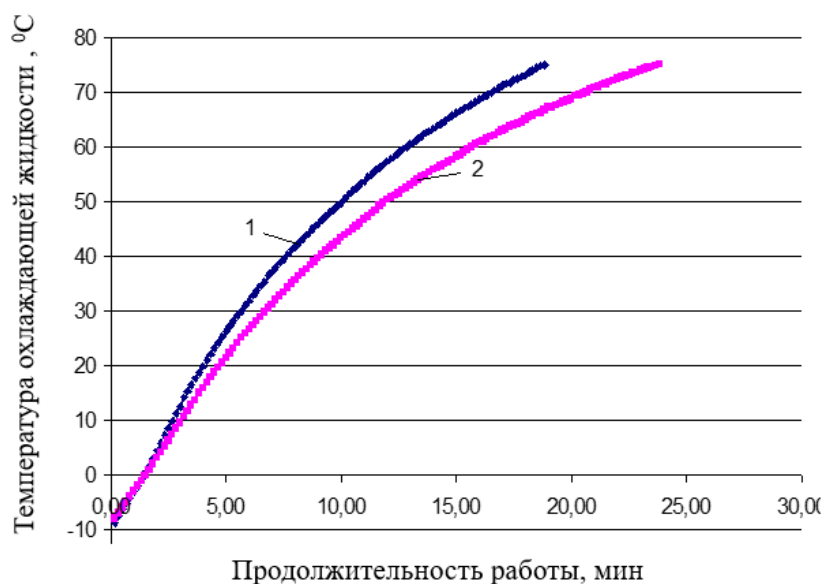


Рис. 7. Динамика нагрева охлаждающей жидкости двигателя Д-240 в режиме «прогрев»:
 1 – с нагревательными элементами; 2 – без нагревательных элементов

Резюмируя все вышеизложенное, можно заключить, что применение рассмотренных устройств для предпусковой тепловой подготовки и для интенсификации прогрева дизельного двигателя дает положительный эффект, позволяя обеспечить эффективность прогрева моторной установки с минимальными эксплуатационными издержками и тем самым повысить эксплуатационные показатели тракторной техники.

Выводы

1. Одним из путей повышения эффективности использования тракторной техники в условиях отрицательных температур является применение устройств для тепловой подготовки дизельного двигателя.

2. Для предпусковой тепловой подготовки тракторных двигателей и интенсификации прогрева ДВС предложены альтернативные технические решения, эффективность которых подтверждена исследованиями.

3. Исследована интенсивность предпускового разогрева двигателя Д-240 автономным предпусковым устройством со съемным греющим модулем. Установлено, что данное устройство позволяет обеспечить необходимую тепловую подготовку моторной установки до рекомендуемых параметров с определенными показателями интенсивности нагрева охлаждающей жидкости. Интенсивность нагрева головки блока цилиндров составила $2,5^{\circ}\text{C}/\text{мин.}$ с термосифонной циркуляцией, и $1,85^{\circ}\text{C}/\text{мин.}$ с принудительной циркуляцией охлаждающей жидкости.

4. Исследован процесс предпускового разогрева моторной установки СМД-14 устройством на базе штатного пускового двигателя ПД-10. Установлено, что реализация внутренних резервов моторной установки позволяет с минимальными техническими издержками обеспечивать достаточные показатели эффективности предпускового прогрева дизельного двигателя. Время прогрева двигателя до положительных температур, обеспечивающих устойчивые пусковые характеристики моторной установки, составляют 20-30 мин., при средней интенсивности нагрева $2,5^{\circ}\text{C}/\text{мин.}$

5. Проведена оценка использования электрических нагревательных элементов, находящихся в системе охлаждения двигателя Д-240. Определено, что применение нагревательных устройств позволяет интенсифицировать процесс прогрева моторной установки. Так, интенсивность нагрева охлаждающей жидкости увеличилась на 12,5%,

что позволило сократить на 20% общее время прогрева.

Библиографический список

1. Крохта, Г. М. Особенности эксплуатации тракторов в условиях отрицательных температур / Г. М. Крохта; Новосиб. гос. аграр. ун-т, Инженер. ин-т. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2017. – 376 с. – Текст: непосредственный

2. Неговора, А. В. Современная концепция тепловой подготовки автотракторной техники в условиях низких температур / А. В. Неговора, М. М. Разяпов, С. З. Инсафуддинов. – Текст: непосредственный // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4. – С. 135-141.

3. Сырбаков, А. П. Эксплуатация автотракторной техники в условиях отрицательных температур / А. П. Сырбаков, М. А. Корчуганова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012 – 205 с.

4. Сырбаков, А. П. Исследование способов предпускового разогрева тракторных двигателей бензиновыми горелками / А. П. Сырбаков, М. А. Корчуганова. – Текст: непосредственный // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – С. 115-118.

5. Патент № 63456 РФ. Устройство регулирования циркуляции жидкости системы охлаждения автотракторных дизельных двигателей: патент на полезную модель № 63456 Российская Федерация; опубл. 27.05.2007: бюл. №15. / Федюнин П. И., Матяш С. П.

6. Høglund P.G., Ydstedt A. Reduced air pollution and fuel consumption with preheated car engines // 4th International Conference on Urban Transport and the Environment for the 21st Century: Lisbon, Portugal, 1998. – Part 4. – P. 369-376.

7. Kartashevich, A.N. Improvement of starting qualities of autotractor diesel engines in winter operation / A.N. Kartashevich, A.V. Gordeenko, V.S. Brantsevich // Traktorio ir automobiliu bei ju agregatu darbo procesu tyrimai. Mokslo darbai – Kaunas, 1997. – P. 60-67.

References

1. Krokhta G.M. Osobennosti ekspluatatsii traktorov v usloviyakh otritsatelnykh temperatur. – Novosibirsk: ITs NGAU «Zolotoy kolos», 2017. – 376 s.

2. Negovora A.V., Razyapov M.M., Insafuddinov S.Z. Sovremennaya kontseptsiya teplovy podgotovki avtotraktornoy tekhniki v usloviyakh nizkikh temperatur // Vestnik Bashkirskogo gosudarstven-

nogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 4. – S. 135-141.

3. Syrbakov A.P., Korchuganova M.A. Eksploatatsiya avtotraktornoy tekhniki v usloviyakh otritsatelnykh temperatur. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2012. – 205 с.

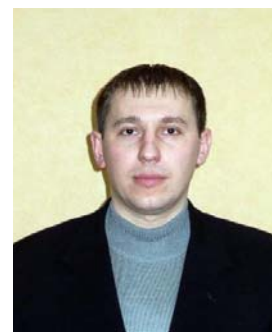
4. Syrbakov A.P., Korchuganova M.A. Issledovanie sposobov predpuskovogo razogreva traktornykh dvigateley benzinovymi gorelkami // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2015. – No. 1. – S. 115-118.

5. Fedyunin P.I., Matyash S.P. Pat. 63456 RF. Ustroystvo regulirovaniya tsirkulyatsii zhidkosti sistemy okhlazhdeniya avtotraktornykh dizelnykh dvigate-

ley: patent na poleznuyu model No. 63456 Rossiyskaya Federatsiya; opubl. 27.05.2007. Byul. No. 15.

6. Hoglund P.G., Ydstedt A. Reduced air pollution and fuel consumption with preheated car engines // 4th International Conference on Urban Transport and the Environment for the 21st Century: Lisbon, Portugal, 1998. – Part 4. – P. 369-376.

7. Kartashevich A.N. Improvement of starting qualities of autotractor diesel engines in winter operation / A.N. Kartashevich, A.V. Gordeenko, V.S. Brantsevich // Traktorio ir automobiliu bei ju agregatu darbo procesu tyrimai. Mokslo darbai – Kaunas, 1997. – P. 60-67.



УДК 621.313.3

К.М. Усанов, В.А. Каргин, А.В. Волгин, А.П. Моисеев
K.M. Usanov, V.A. Kargin, A.V. Volgin, A.P. Moiseyev

ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УДАРНЫХ МАШИНАХ

FEATURES OF ENERGY CONVERSION IN ELECTROMAGNETIC STRIKING MACHINES

Ключевые слова: ударная машина, линейный электромагнитный двигатель, энергия удара, ударная мощность, аккумулялирование магнитной энергии.

Применение линейных электромагнитных двигателей в машинах ударного действия для забивания в грунт металлических стержней позволяет избежать многоступенчатости и обеспечить в каждом рабочем цикле непосредственное преобразование питающего импульса электрической энергии источника в механическую энергию движения массы якоря с линейной траекторией, повысить удельные показатели всего привода. С целью увеличения механической энергии, ударной мощности и КПД, для машин с непрерывными последовательными срабатываниями якоря, представляется необходимым обеспечить рекуперацию и использование энергии холостого хода в последующем энергопреобразовательном цикле. Экспериментально установлено, что в рациональном цикле

обеспечивается существенное увеличение потокосцепления и запаса магнитной энергии в системе к началу рабочего хода за счет соответствующего выбора момента подачи импульса тока в обмотку. Это повышает скорость и уменьшает продолжительность последующих рабочих ходов якоря, благодаря чему возрастают энергия удара и механическая работа машины при неизменной мощности источника питания. Отмеченное преобразование механической и электрической энергии в магнитную в режиме динамического накопителя магнитной энергии происходит без использования специальных средств регулирования и является наиболее эффективным. Предлагаемый способ управления двигателем переносной машины, реализующий предварительное накопление магнитной энергии в период холостого хода якоря с последующим ее использованием в период рабочего хода, обеспечивает одновременное повышение в 1,24 раза энергии удара, в 1,5 раза ударной мощности и