

EDN: XDMGLD

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-23-30



Научная статья

УДК 631.3, 62-6



Технологическая схема использования теплоты отработавших газов самоходной машины

Николай Михайлович Иванов^{1,2},
член-корреспондент РАН, профессор,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: sibime@sfsca.ru;

Алексей Борисович Иванников^{1,2},
кандидат технических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: ivannikovab@sfsca.ru;

Азамат Истлеуович Дусантаев¹,
аспирант,
e-mail: sibime@sfsca.ru;

Геннадий Михайлович Крохта²,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: krumva@mail.ru;

Василий Андреевич Крум²,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: krumva@mail.ru

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Новосибирская область, Российская Федерация;

²Новосибирский государственный аграрный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

Реферат. Эффективность машинно-тракторного парка во многом зависит от условий эксплуатации. Чем жестче условия (в основном климатические), тем больше отказов, что приводит к снижению долговечности и эффективности использования техники. Уменьшить количество отказов и потери мощности в моторно-трансмиссионной установке, а также повысить топливную экономичность возможно за счет использования бросовой теплоты двигателя внутреннего сгорания. Это позволяет обеспечить оптимальный температурный режим в основных узлах машин при отрицательной температуре окружающей среды. (*Цель исследования*) Разработать технологическую схему применения бросовой теплоты двигателя внутреннего сгорания в виде теплоты отработавших газов для поддержания оптимальной температуры в основных узлах машинно-тракторного агрегата. (*Материалы и методы*) Изучили и оценили потенциальную возможность использования теплоты отработавших газов в разрабатываемой схеме. Исследования проводили на экспериментальной установке. При обработке результатов применен эксергетический метод исследования. (*Результаты и обсуждение*) Установлено, что величина мощности теплового потока отработавших газов на различных режимах работы двигателя создает благоприятные условия для его использования в предлагаемой схеме. Разработана и запатентована система поддержания заданного температурного режима в основных узлах и прицепном агрегате самоходной машины. (*Выводы*) Наличие в отработавших газах существенной по величине кинетической и тепловой энергии создает возможность ее вторичного использования. Составлена технологическая схема использования теплоты отработавших газов двигателей внутреннего сгорания в виде системы поддержания заданного температурного режима в основных узлах и прицепном агрегате самоходной машины. Применение разработанной системы позволит максимально повысить коэффициент полезного использования теплоты, выделившейся при сгорании в двигателе топлива.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, прогрев, система, бросовая теплота, отработавшие газы.

■ **Для цитирования:** Иванов Н.М., Иванников А.Б., Дусантаев А.И., Крохта Г.М., Крум В.А. Технологическая схема использования теплоты отработавших газов самоходной машины // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N3. С. 23-30. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-23-30. EDN: XDMGLD.

Scientific article

Technological Scheme for Utilizing Exhaust Gas Heat from a Self-Propelled Machine

Nikolay M. Ivanov^{1,2},
corresponding member of the RAS, professor,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher, e-mail: sibime@sfsca.ru;
Aleksey B. Ivannikov^{1,2},
Ph.D.(Eng), associate professor, leading researcher,
e-mail: ivannikovab@sfsca.ru;

Azamat I. Dusantaev¹,
Ph.D.(Eng) student, e-mail: sibime@sfsca.ru;
Gennadiy M. Krochta²,
Dr.Sc.(Eng), professor, e-mail: krumva@mail.ru;
Vasily A. Krum²,
Ph.D.(Eng), associate professor, e-mail: krumva@mail.ru

¹Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk region, Russian Federation;

²Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russian Federation

Abstract. The paper shows that the efficiency of the machine and tractor fleet is significantly influenced by operating conditions. It is known that the harsher the operating conditions, particularly those related to climate, the higher the frequency of failures, which, in turn, results in the reduced durability and efficiency of the equipment. One way to mitigate failures and power losses in the motor-transmission unit, as well as improve fuel efficiency, is by utilizing the waste heat from the internal combustion engine. This approach ensures an optimal temperature in the main units of the machinery at negative ambient temperatures. (*Research purpose*) The research aims to develop a technological scheme for utilizing waste heat from the internal combustion engine, specifically the heat from exhaust gases, to maintain the optimal temperature in the main units of the machine and tractor unit. (*Materials and methods*) The potential for using exhaust gas heat in the proposed scheme was studied and assessed using an experimental setup. The results were processed using the exergy research method. (*Results and discussion*) It is found that the power of the exhaust gas heat flow at various engine operating modes provides favorable conditions for its utilization in the proposed scheme. Based on the research results, a system for maintaining a set temperature regime in the main units and trailer unit of a self-propelled machine was developed and patented. (*Conclusions*) The presence of significant kinetic and thermal energy in the exhaust gases enables its secondary use. A technological scheme for utilizing the heat of exhaust gases from internal combustion engines has been developed as a system for maintaining a set temperature regime in the main units and trailer unit of a self-propelled machine. The application of the developed system will maximize the utilization coefficient of the heat released during fuel combustion in the engine.

Keywords: internal combustion engine, warming up, system, waste heat, exhaust gases

■ **For citation:** Ivanov N.M., Ivannikov A.B., Dusantaev A.I., Krochta G.M., Krum V.A. Technological scheme for utilizing exhaust gas heat from a self-propelled machine. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N3. 23-30 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-23-30. EDN: XDMGLD.

Эксплуатация машинно-тракторного парка в условиях пониженных температур окружающей среды связана с рядом отрицательных факторов, воздействующих на рабочие процессы дизеля, узлы и агрегаты самоходных машин. Наиболее существенное влияние на технические устройства оказывают низкая температура воздуха, скорость ветра, осадки и др. [1, 2].

Холодный пуск и последующий прогрев моторно-трансмиссионной установки сопровождается неполным сгоранием топлива и большими потерями мощности в коробке передач, раздаточной коробке и ведущих мостах в силу значительного повышения вязкости трансмиссионного масла [3, 4].

Вместе с тем известно, что в полезную работу преобразуется до 45% выделяющейся от сгорания топлива теплоты, а ее остальное количество безвозвратно рассеивается в атмосферу. Основная часть рассеиваемой теплоты (30-40%) приходится на отработавшие газы. Вторым по количеству рассеиваемой теплоты источником (до 28%) является система охлаждения двигателя внутреннего сгорания [5]. Незначительная доля рассеиваемой теплоты приходится на систему смазки и на боковые стенки силового агрегата машины [6].

Рассеивание теплоты и значительные внутренние потери на трение заставляют искать способы полезного использования бросовой теплоты двигателя внутреннего сгорания для нивелирования не-

гативного влияния климатических факторов и погодных явлений [7, 8]. В связи с тем, что максимальные потери мощности происходят в моторно-трансмиссионной установке, целесообразно бросовую теплоту двигателя в первую очередь использовать для обеспечения оптимального теплового режима в узлах и агрегатах трансмиссии самоходной машины [9, 10]. Кроме того, актуальными остаются вопросы обеспечения нормальной эксплуатации самоходных машин с навесным оборудованием, для привода которых используется гидросистема навесного устройства [11, 12].

Использование бросовой теплоты двигателя открывает возможность её подвода в прицепной агрегат для обеспечения оптимального температурного режима различных технологических операций, а также в кабину водителя для дополнительного обогрева в зимний период [13,14].

Наряду с исследованиями по подогреву узлов и агрегатов самоходной машины, существует возможность использования бросовой теплоты в процессах получения холода (эффект Пельтье, абсорбционные холодильные машины и т.д.) [15].

Цель исследования – разработать технологическую схему применения бросовой теплоты двигателя внутреннего сгорания в виде теплоты отработавших газов для поддержания оптимальной температуры в основных узлах машинно-тракторного агрегата.

Для достижения цели необходимо:

- оценить эксергетический потенциал теплового потока отработавших газов на различных режимах работы двигателя внутреннего сгорания;
- обосновать технические и технологические решения системы вторичного использования теплоты отработавших газов для поддержания заданного температурного режима в основных узлах машинно-тракторного агрегата;
- разработать алгоритм работы системы вторичного использования теплоты отработавших газов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Процессы рекуперации и использования теплоты отработавших газов двигателя внутреннего сгорания в основных узлах машинно-тракторного агрегата исследовали на экспериментальной установке (рис. 1).

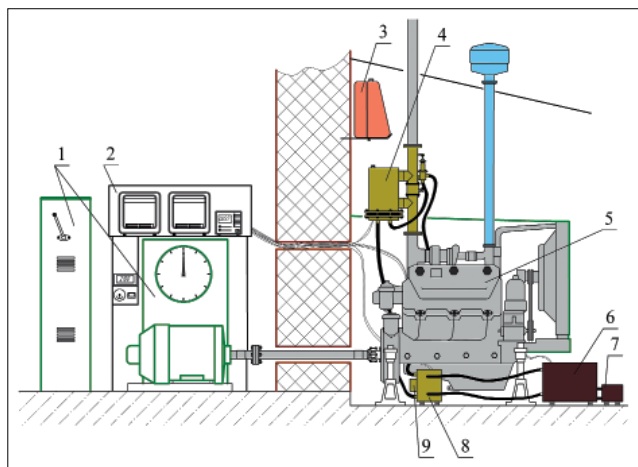


Рис. 1. Экспериментальная установка
Fig. 1. Experimental installation

Установка смонтирована таким образом, что часть приборов и оборудования находилась внутри лаборатории, а часть – снаружи на открытой площадке. Обкаточно-тормозной стенд 1 КИ-2118А соединен с дизельным двигателем 5 марки 6ЧН13,0/11,5 посредством двухшарнирного карданного вала автомобильного типа через технологическое отверстие в стене лаборатории. На двигателе установлены рекуператор теплоты отработавших газов 4, жидкостно-жидкостный теплообменник 8, циркуляционный насос 9, емкость 6 с моторным маслом М-8Г2, насосный узел 7 и трубная обвязка. Топливный бак 3 размещен снаружи помещения, а контрольно-измерительные приборы 2 внутри лаборатории. Это оборудование позволяло имитировать любую систему смазки.

На экспериментальной установке были смонтированы два тепловых контура: утилизационный и теплопотребляющий. Утилизационный контур предназначен для аккумуляции рекуперированной теплоты отработавших газов и ее последующей подачи в теплопотребляющий контур, который пред-

назначен для непосредственного подвода теплоты в симитированную гидравлическую систему.

При работе установки теплоноситель, нагретый в рекуператоре теплоты отработавших газов 4, прокачивался циркуляционным насосом 9 через жидкостно-жидкостный теплообменник 8 нагревая масло симитированной гидравлической системы, включающей емкость с маслом 6 и насосный узел 7. В экспериментальных исследованиях в качестве греющего теплоносителя использовалась низкотемпературная охлаждающая жидкость марки ОЖ-40. За основу экспериментальной установки выбрана запатентованная система прогрева и поддержания оптимальных температур рабочих жидкостей и масел в агрегатах самоходных машин (RU2577916C1, 2016 г.).

Двигатель трактора при выполнении сельскохозяйственных операций имеет три массива нагрузок: малые, средние и близкие к полным [16]. Основная доля времени смены приходится на средние и близкие к полным нагрузки [17, 18]. Для трактора Т-150К с двигателем 6ЧН13,0/11,5 – это диапазон от 60 до 81% от номинальной мощности или от 72,8 до 98,2 кВт, что и было взято за основу при планировании и проведении эксперимента. Опыты проводились в диапазоне температуры окружающей среды от +25 до –25 °С (в рамках статьи использованы результаты экспериментов при –25 °С). Также предусматривалась серия холодных пусков при температуре до –25 °С.

При обработке данных применялся эксергетический метод анализа.

Эксергия теплового потока отработавших газов

$$E_{ог} = 0,00109 \cdot G_{ог} \cdot (t_{ог} - t_{ос}), \text{ МДж/ч}, \quad (1)$$

где 0,00109 – удельная теплоемкость отработавших газов (C_p), МДж/(кг·К); $G_{ог}$ – массовый расход отработавших газов, кг/ч (равен сумме массовых расходов топлива G_T и воздуха G_B); $t_{ос}$ – температура окружающей среды, °С; $t_{ог}$ – температура отработавших газов перед рекуператором.

Потенциальная мощность теплового потока отработавших газов двигателя

$$N_{ог} = E_{ог}/3,6 \cdot 10^3, \text{ кВт}, \quad (2)$$

где $3,6 \cdot 10^3$ – время, с.

Количество теплоты, передаваемой рекуператором теплоносителю утилизационного контура,

$$E_{ук} = C_p \cdot G_{ж} \cdot (t_{ж2} - t_{ж1}), \text{ МДж/ч}, \quad (3)$$

где C_p – удельная теплоемкость теплоносителя (табличное значение, зависящее от температуры), МДж/(кг·К); $t_{ж1}$ и $t_{ж2}$ – температура жидкости утилизационного контура на входе и на выходе рекуператора, °С.

Методология и методика базируются на применении общенаучных методов исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Экспериментальные исследования показали, что эксергия теплового потока отработавших газов, выбрасываемых в атмосферу в начале прогрева двигателя после холодного пуска при температуре окружающей среды -25°C , достигает 161,2 МДж/ч, что соответствует мощности 44,8 кВт. Стабилизация температуры окружающей среды происходит на уровне 160°C (рис. 2).

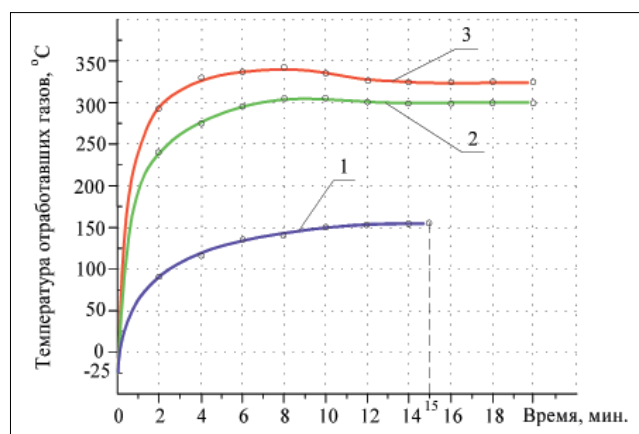


Рис. 2. Динамика изменения температуры отработавших газов при температуре окружающей среды -25°C на режимах работы двигателя: 1 – холостой ход; 2 – загрузка 60% (72,8 кВт); 3 – загрузка 81% (98,2 кВт)
Fig. 2. Dynamics of exhaust gas temperature variation at an ambient temperature of -25°C in the following engine operating modes: 1 – idling; 2 – engine load at 60% (72,8 kW); 3 – engine load at 81% (98,2 kW)

Температура заторможенного потока отработавших газов измерялась перед входом в рекуператор. Величина мощности теплового потока после пуска двигателя и характер ее изменения при прогреве создают условия для вторичного использования теплоты отработавших газов с целью сокращения времени прогрева основных узлов до оптимальной температуры и снижения расхода топлива.

Пропорционально нагрузке двигателя увеличивается количество сгораемого топлива и поступающего в двигатель воздуха, вследствие чего значительно повышаются температура и массовый расход отработавших газов. Например, при загрузке двигателя 60% от номинальной мощности температура газов стабилизируется на уровне 305°C , а эксергия теплового потока отработавших газов достигает 276,2 МДж/ч, что соответствует мощности 76,7 кВт. При росте загрузки до 81% и той же температуре окружающей среды соответственно увеличиваются эксергия теплового потока и потенциальная мощность отработавших газов. Так, эксергия теплового потока газов достигает 321,1 МДж/ч на установившемся режиме, что соответствует мощности теплового потока 89,2 кВт, а температура отработавших газов стабилизируется на уровне 329°C .

Эффективность передачи теплоты в утилизационном контуре определяется коэффициентом полезного действия рекуператора, который зависит в первую очередь от свойств конструкционных материалов и совершенства конструкции. Опытный образец рекуператора изготовлен из стали (Патент RU2523454, 2014 г.).

Обработка экспериментальных данных позволила рассчитать динамику потока эксергии, аккумулируемой в утилизационном контуре при разных режимах двигателя в зимних условиях (рис. 3).

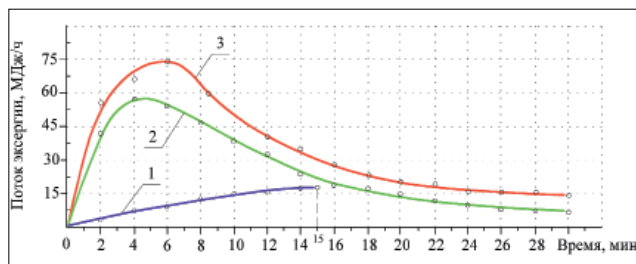


Рис. 3. Динамика потока эксергии, передаваемой в утилизационный контур при температуре окружающей среды -25°C на режимах работы двигателя: 1 – холостой ход; 2 – загрузка 60% (72,8 кВт); 3 – загрузка 81% (98,2 кВт)
Fig. 3. Dynamics of the exergy flow transferred to the utilization circuit at an ambient temperature of -25°C in the following engine operating modes: 1 – idling; 2 – engine load at 60% (72,8 kW); 3 – engine load at 81% (98,2 kW)

При загрузке двигателя 60% поток эксергии, передаваемый рекуператором в утилизационный контур, достигал максимального значения 54,7 МДж/ч. По мере прогрева рекуператора и нагрева теплоносителя утилизационного контура до рабочих параметров поток эксергии стабилизировался на уровне 7,1 МДж/ч. При увеличении загрузки до 81% поток эксергии был максимальный – 72,4 МДж/ч со стабилизацией 13,7 МДж/ч.

При загрузке двигателя 60% поток эксергии, передаваемый рекуператором в утилизационный контур, достигал максимального значения 54,7 МДж/ч. По мере прогрева рекуператора и нагрева теплоносителя утилизационного контура до рабочих параметров поток эксергии стабилизировался на уровне 7,1 МДж/ч. При увеличении загрузки до 81% поток эксергии был максимальный – 72,4 МДж/ч со стабилизацией 13,7 МДж/ч.

На рисунке 2 видно, что температура отработавших газов уже ко второй минуте достигает практически максимальной величины. При этом нарастание потока эксергии, передаваемой в утилизационный контур, относительно температуры окружающей среды происходит медленно. Это объясняется тем, что в первые минуты работы интенсивно поглощается теплота на разогрев непосредственно опытного рекуператора, который имеет достаточно большую массу (60 кг), а по мере его нагрева основной поток теплоты передается в утилизационный контур.

Анализ кривых на рисунке 3 показывает, что при работе двигателя под нагрузкой (кривые 2 и 3) динамика потока эксергии, передаваемой в утилизационный контур, идентичная, а на холостом ходу выглядит иначе (кривая 1).

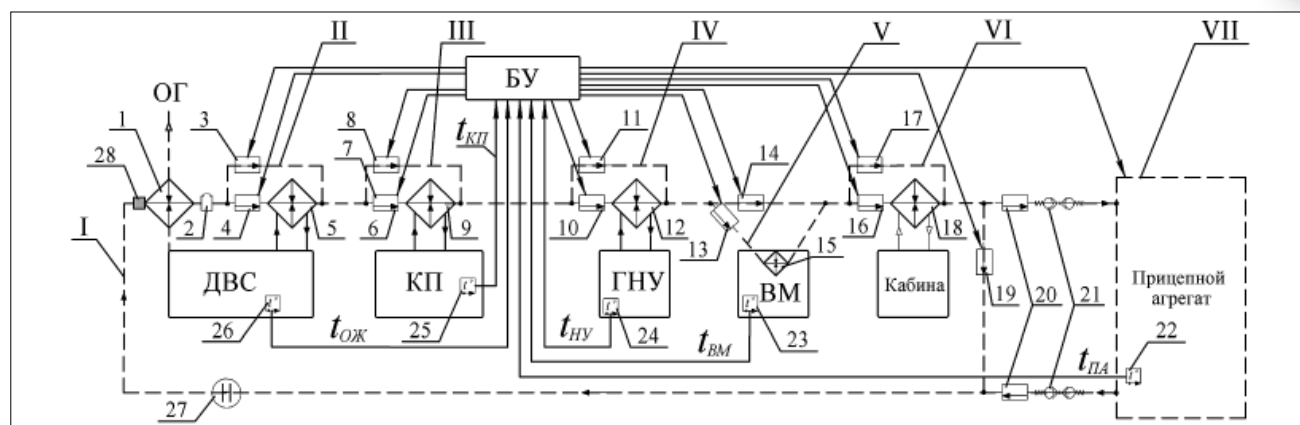


Рис. 4. Система поддержания заданного температурного режима в основных узлах и прицепном агрегате самоходной машины

Fig. 4. System for maintaining a set temperature regime in the main units and trailer unit of the self-propelled machine

Максимальный поток эксергии, передаваемый в утилизационный контур на холостом ходу, составил около 19 МДж/ч при его плавном увеличении. Причина заключается в том, что на режиме послепускового прогрева температура отработавших газов недостаточно высокая при минимальном массовом расходе, и в первые минуты работы рекуператора на его разогрев используется практически вся утилизируемая теплота. По мере выхода рекуператора на рабочий режим и включения терморегулятора в утилизационный контур передается то количество теплоты, которое необходимо для поддержания оптимальной температуры в теплопотребителях.

Таким образом, потенциал эксергии отработавших газов, которая рассеивается в окружающую среду, достаточно велик и может использоваться вторично для интенсификации прогрева основных систем машинно-тракторного агрегата, а также поддержания при необходимости оптимального теплового режима. При помощи рекуператора можно эффективно утилизировать некоторую часть теплоты отработавших газов для дальнейшей передачи теплопотребителям.

Анализ результатов эксперимента, а также подготовка и проведение опытов позволили переосмыслить подходы к разработке схем утилизации бросовой теплоты двигателя внутреннего сгорания, выбрать оптимальный алгоритм управления подобной системой при монтаже на машину или трактор. В результате разработана новая запатентованная система поддержания заданного температурного режима в основных узлах и прицепном агрегате самоходной машины (RU2788019, 2023 г.).

Общий алгоритм работы системы основан на приоритете подвода теплоты к тому или иному теплопотребителю. В зависимости от вида предстоящей работы перед запуском двигателя машины оператор выбирает режим функционирования системы:

автоматический согласно базовому алгоритму работы или ручной выбор теплопотребляющих контуров. В первом случае поддержание заданного температурного режима осуществляется в двигателе внутреннего сгорания (ДВС), коробке передач (КП) и ведущих мостах (ВМ). Во втором случае оператор может включать в работу дополнительно контуры теплопотребления гидросистемы навесного устройства (ГНУ), кабины оператора и прицепного агрегата (ПА). Функциональная схема системы представлена на рисунке 4.

Работа в автоматическом режиме осуществляется следующим образом. После пуска холодного двигателя (температура охлаждающей жидкости менее 60 °С) включаются электромагнитные клапаны 3 и 4 теплопотребляющего контура II. Теплоноситель (греющий) утилизационного контура I начинает циркулировать через жидкостно-жидкостный теплообменник 5. В данном случае максимальное количество бросовой теплоты, утилизируемой рекуператором из отработавших газов, используется для разогрева двигателя внутреннего сгорания. При достижении температуры охлаждающей жидкости двигателя не менее 70 °С клапаны 3 и 4 отключаются, подача теплоносителя утилизационного контура I в теплообменник 5 прекращается. Дальнейший разогрев двигателя до рабочей температуры осуществляется в штатном режиме.

Одновременно с отключением клапанов 3 и 4 включаются электромагнитные клапаны 7 и 8 теплопотребляющего контура коробки передач III. Теплоноситель утилизационного контура I начинает циркулировать через жидкостно-масляный теплообменник 9 и нагревать масло гидравлической системы коробки передач. При достижении температуры масла не менее 70 °С клапаны 7 и 8 отключаются, циркуляция теплоносителя утилизационного контура I через теплообменник 9 прекращается.

Одновременно с отключением клапанов 7 и 8 включаются электромагнитные клапаны 13 и 14 теплопотребляющего контура ведущего моста IV, теплоноситель утилизационного контура I начинает циркулировать через жидкостный теплообменник 15 и нагревать масло в ведущем мосту. При достижении температуры масла в ведущем мосту 50 °С или более клапаны 13 и 14 отключаются, теплоноситель утилизационного контура I через теплообменник 15 прекращает циркулировать.

После разогрева технических жидкостей теплопотребителей до заданных величин система работает в режиме подогрева, т.е. при охлаждении жидкости ниже заданного диапазона включаются соответствующие электромагнитные клапаны, теплоноситель утилизационного контура I начинает циркулировать через теплообменники теплопотребляющих контуров, возобновляется нагрев масла или охлаждающей жидкости до заданного уровня. Температурный диапазон каждого узла устанавливается на основании рекомендаций завода-изготовителя, а при их отсутствии с учетом опубликованных рекомендаций в этой области.

Ручной режим выбора приоритета подвода теплоты теплопотребителям подразумевает возможность включения (выключения) в работу системы одного или нескольких теплопотребляющих контуров. Это реализуется путем вывода на панель управления системой тумблеров для принудительного включения соответствующих потребителей теплоты. При работе самоходной машины с различным навесным оборудованием в условиях пониженной температуры окружающей среды необходимо обеспечить оптимальную температуру масла в гидравлической системе навесного устройства.

В данном случае соответствующим тумблером панели управления системой включается в работу теплопотребляющий контур гидросистемы навесного устройства IV. Его работа аналогична работе других контуров. Включаются электромагнитные клапаны 10 и 11, теплоноситель утилизационного контура I начинает циркулировать через жидкостно-масляный теплообменник 12, нагревая масло гидросистемы. При достижении температуры масла в гидравлической системе 40 °С или более клапаны 10 и 11 отключаются, циркуляция теплоносителя утилизационного контура I через теплообменник 12 прекращается, система продолжает работать в режиме поддержания заданного температурного диапазона.

При эксплуатации самоходных машин в жестких климатических условиях, особенно в северных районах, могут понадобиться дополнительные меры обеспечения комфортных условий в кабине машины. Для этого предусмотрен теплопотребляющий контур кабины самоходной машины VI. Он включается принудительно с панели управления и работает аналогично другим контурам, за исключением того, что его выключает тоже оператор. При активации контура включаются электромагнитные клапаны 16 и 17, теплоноситель утилизационного контура I циркулирует через жидкостно-воздушный теплообменник (конвектор) 18. При выключении теплопотребляющего контура кабины электромагнитные клапаны 16 и 17 отключаются, теплоноситель утилизационного контура I циркулирует, минуя теплообменник 18. Нагрев воздуха кабины самоходной машины прекращается.

При эксплуатации машинно-тракторного агрегата может понадобиться подвод теплоты в буксируемый агрегат. Для решения этой задачи система содержит возможность подключения к теплопотребляющему контуру прицепного агрегата VII с помощью быстроразъемных гидравлических соединений 21. Одновременно перепускной электромагнитный клапан 19 перекрывает поток теплоносителя утилизационного контура I, а запорные электромагнитные клапаны 20 открываются, вследствие чего теплоноситель утилизационного контура I начинает циркулировать через теплопотребляющий контур прицепного агрегата.

Выводы. Анализ литературных данных и полученные результаты экспериментальных исследований указывают на наличие в отработавших газах двигателя внутреннего сгорания существенной по величине кинетической и тепловой энергии.

Разработана технологическая схема использования теплоты отработавших газов в виде системы поддержания заданного температурного режима в основных узлах и прицепном агрегате самоходной машины. Такое решение позволяет ускорить готовность двигателя к принятию нагрузки, повысить экономичность, тяговую мощность, надежность и эффективность функционирования самоходной машины или машинно-тракторного агрегата в условиях пониженной температуры окружающей среды.

Применение разработанной системы позволит максимально повысить коэффициент полезного использования теплоты, выделившейся от сгорания топлива в двигателе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Разяпов М.М. Повышение надежности агрегатов трансмиссии автотракторной техники при эксплуатации в условиях низких температур // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2020. N2(26). С. 77-86. EDN: JLVLMR.
2. Сырбаков А.П., Бережнов Н.Н., Корчуганова М.А., Матяш С.П. Тепловая подготовка дизельных двигателей // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019. N8(178). С. 167-174. EDN: BMFDDB.

3. Krokhta G.M., Khomchenko E.N., Ivannikov A.B. et al. Improving the starting performance of tractor engines and their efficiency when warming up in low temperatures. *International Journal of Mechanical Engineering*. 2021. Vol. 6. N3. 127-135. EDN: DIQLKH.
4. Долгушин А.А., Чернухин Р.В., Кидло Т.И. Статистический анализ отказов тракторов «Кировец» в условиях Новосибирской области // *Технический сервис машин*. 2021. N4(145). С. 103-109. DOI: 10.22314/2618-8287-2021-59-4-103-109.
5. Кукис В.С., ЩербакOVA О.В. Оценка энергии отработавших газов ДВС как возможного источника её утилизации // *Успехи современной науки*. 2017. Т. 1. N5. С. 67-70. EDN: YTASVR.
6. Долгушин А.А., Воронин Д.М., Мамонов О.В. Методология обоснования оптимального теплового режима работы агрегатов автомобилей // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32. N9. С. 89-92. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10921.
7. Крохта Г.М., Хомченко Е.Н., Усатых Н.А., Иванников А.Б. К вопросу вторичного использования эксергии выпускных газов в автотракторных силовых установках // *Тракторы и сельхозмашины*. 2022. N89(3). С. 197-205. DOI: 10.17816/0321-4443-106855.
8. Kalinichenko A., Havrysh V., Hruban V. Heat recovery systems for agricultural vehicles: utilization ways and their efficiency. *Agriculture*. 2018. Vol. 8. N12. 199. DOI: 10.3390/agriculture8120199.
9. Иванов Н.М., Иванников А.Б., Крохта Г.М. Повышение эффективности работы моторно-трансмиссионных установок мобильных машин за счёт использования бросовой теплоты выхлопных газов // *Наука в Центральной России*. 2022. N1(55). С. 92-101. DOI: 10.35887/2305-2538-2022-1-92-101.
10. Чернухин Р.В., Долгушин А.А., Касимов Н.Г. и др. Обоснование расходных характеристик рекуператора для тепловой подготовки агрегатов машин и оборудования // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. 2020. Т. 22. N4. С. 82-93. DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.4-82-93.
11. Спицын И.А., Орехов А.А., Поликанов А.В., Рылякин Е.Г. Оценка эффективности работы техники в условиях отрицательных температур окружающего воздуха // *Нива Поволжья*. 2017. N4(45). С. 169-175. EDN: ZTIESF.
12. Русмиленко А.К., Конев В.В., Мерданов Ш.М. Совершенствование рабочих органов машин для земляных работ, применяемых при строительстве автозимников // *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. 2023. N21. С. 85-91. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-21-85-91.
13. Дорохов А.С., Аксенов А.Г., Сибирев А.В. и др. Исследование сепарирующей системы с использованием теплоты отработавших газов двигателя свеклоуборочного комбайна // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N1. С. 19-26. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-1-19-26.
14. Раков В.А., Сальников А.Ю. Уменьшение времени прогрева двигателя и отопления салона транспортного средства за счет использования теплоты отработавших газов // *Транспорт на альтернативном топливе*. 2014. N5(41). С. 36-43. EDN: SNAXFP.
15. Al-Amir Q.R., Al-Dawody M., Abd A.M. Design of cooling system for an automotive using exhaust gasses of turbo-charged diesel engine. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series C*. 021. DOI: 10.1007/s40032-021-00787-4.
16. Дьяков И.Я., Приходько Л.С., Шилиев В.А. и др. Об использовании сельскохозяйственных тракторов на работах различного вида // *Тракторы и сельхозмашины*. 1979. N7. С. 7-9.
17. Окунев Г.А., Кузнецов Н.А., Луковцев А.В. Тенденции формирования парка тракторов для сельских товаропроизводителей // *Вестник Курганской ГСХА*. 2020. N4(36). С. 74-80. EDN: WXAGLC.
18. Сазонов С.Н., Сазонова Д.Д. Особенности использования техники и формирования парка машин в фермерских хозяйствах // *Наука в Центральной России*. 2016. N3(21). С. 32-40. EDN: TUXNZP.

REFERENCES

1. Razyapov M. Increasing the reliability of transmission units of autotractor equipment when operating under the conditions of low temperatures. *Innovations in agricultural complex: problems and perspectives*. 2020. N2(26). 77-86 (In Russian). EDN: JLVMR.
2. Syrbakov A., Berezhnov N., Korchuganova M., Matyash S. Thermal preparation of diesel engines. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2019. N8(178). 167-174 (In Russian). EDN: BMFDDDB.
3. Krokhta G., Khomchenko E., Ivannikov A. et al. Improving the starting performance of tractor engines and their efficiency when warming up in low temperatures. *International Journal of Mechanical Engineering*. 2021. Vol. 6. N3. 127-135 (In English). EDN: DIQLKH.
4. Dolgushin A., Chernukhin R., Kidlo T. Statistical analysis of «Kirovets» tractor failures in the Novosibirsk region. *Machinery Technical Service*. 2021. N4(145). 103-109 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2021-59-4-103-109.
5. Kukis V., Shcherbakova O. Assessment of the energy of exhaust gases of internal combustion engines as a possible source of its utilization. *Successes of Modern Science*. N5. 67-70 (In Russian). EDN: YTASVR.
6. Dolgushin A., Voronin D., Mamonov O. Methodology of substantiation of the optimum thermal conditions of vehicle units. *Achievements of Science and Technology of Agro-Industrial Complex*. 2018. Vol. 32. N9. 89-92 (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10921.
7. Krokhta G., Khomchenko E., Usatykh N., Ivannikov A.

- On the question of secondary use of exhaust exergy in power units of vehicles and tractors. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2022. N89(3). 197-205 (In Russian). DOI: 10.17816/0321-4443-106855.
8. Kalinichenko A., Havrysh V., Hruban V. Heat recovery systems for agricultural vehicles: Utilization ways and their efficiency. *Agriculture*. 2018. Vol. 8. N12. 199 (In English). DOI: 10.3390/agriculture8120199.
 9. Ivanov N., Ivannikov A., Krochta G. Improving the efficiency of motor-transmission units of mobile machines by using the waste heat of exhaust gases. *Science in the Central Russia*. 2022. N1 (55). 92-101 (In Russian). DOI: 10.35887/2305-2538-2022-1-92-101.
 10. Chernukhin R., Dolgushin A., Kasimov N. et al. Justification of the flow characteristics of the recuperator for the thermal preparation of machinery and equipment units. *Metal Working and Material Science*. 2020. Vol. 22. N4. 82-93 (In Russian). DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.4-82-93.
 11. Spicyn I., Orekhov A., Polikanov A., Rylyakin E. Evaluation of the efficiency of machinery operation under conditions of negative ambient air temperatures. *Niva Povolzh'ye*. 2017. N4(45). 169-175 (In Russian). EDN: ZTIESF.
 12. Rusmilenko A., Konev V., Merdanov Sh.M. Perfection of the working bodies of earthmoving machines used in the construction of winter roads. *Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production*. 2023. N21. 85-91 (In Russian). DOI: 10.26160/2658-3305-2023-21-85-91.
 13. Dorokhov A., Aksenov A., Sibirev A. et al. Study of an exhaust gas heat separation system for the beet harvester. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. Vol. 16. N1. 19-26 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-1-19-26.
 14. Rakov V., Salnikov A. Engine warm up time reducing and saloon heating car through the waste heat. *Alternative Fuel Transport*. 2014. N5(41). 36-43 (In Russian). EDN: SNAXFP.
 15. Al-Amir Q.R., Al-Dawody M., Abd A.M. Design of cooling system for an automotive using exhaust gasses of turbo-charged diesel engine. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series C*. 021 (In English). DOI: 10.1007/s40032-021-00787-4.
 16. Dyakov I.Ya., Prikhodko L.S., Shilyaev V.A. et al. About the use of agricultural tractors in various types of work. *Tractors and Agricultural Machinery*. 1979. N7. 7-9 (In Russian).
 17. Okunev G., Kuznetsov N., Lukovtsev A. Tendencies of forming a tractor fleet for rural producers. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2020. N4(36). 74-80 (In Russian). EDN: WXAGLC.
 18. Sazonov S., Sazonova D. Specifics of using machinery and forming machine fleet in farm enterprises. *Science in the Central Russia*. 2016. N3(21). 32-40 (In Russian). EDN: TUXNZP.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Иванов Н.М. – общее научное руководство, доработка текста и выводов;
Крохта Г.М. – разработка методики эксперимента, постановка цели и задач исследований, обсуждение и анализ результатов, доработка текста и формулирование выводов;
Ивannikov А.Б. – разработка состава экспериментальной установки, анализ существующих технических решений использования бросовой теплоты двигателя внутреннего сгорания, проведение эксперимента, анализ результатов, подготовка текста статьи;
Крум В.А. – обработка результатов экспериментальных исследований, построение графиков;
Дусантаев А.И. – анализ существующих технических решений использования бросовой теплоты двигателя внутреннего сгорания, редактирование и оформление материалов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Ivanov N.M. – scientific supervision, manuscript revision, revision of the manuscript and conclusions;
Krochta G.M. – development of the experimental methodology, setting the goal and objectives of the experimental research, discussion and analysis of the obtained results, manuscript revision and formulation of conclusions;
Ivannikov A.B. – development of the experimental unit design, analysis of existing technical solutions for the utilization of waste heat from the internal combustion engine, conducting experiments, analysis of the results, preparation of the manuscript text;
Krum V.A. – processing the results of experimental studies, plotting graphs;
Dusantaev A.I. – analysis of existing technical solutions for the utilization of waste heat from internal combustion engines, manuscript editing and formatting.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

01.06.2024

05.08.2024