

Рекуператор теплоты отработавших газов двигателя трактора МТЗ-82

(✉)Иванников А.Б., Жолудев В.Л., Дусантаев А.И., Зайналов З.К.

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

(✉)e-mail: ivannikovab@sfscs.ru

Изложены краткие результаты исследования по разработке газожидкостного теплообменного аппарата, или рекуператора теплоты отработавших газов двигателя внутреннего сгорания, на примере дизельного двигателя Д-242 трактора МТЗ-82. Для реализации цели и задач исследования создана экспериментальная установка, где в качестве силового агрегата использован указанный двигатель. Проведен факторный эксперимент по изучению теплового состояния двигателя на различных режимах работы, который выявил некоторые противоречия в тепловом балансе работающего двигателя. В зависимости от режима работы и температуры окружающей среды в течение 15 мин работы двигателя масло в поддоне нагревалось до 62 °С, температура охлаждающей жидкости достигала максимального значения в 86 °С, температура отработавших газов – 330 °С. Формально по температуре охлаждающей жидкости двигатель достигал оптимального эксплуатационного диапазона температур (85–90 °С), однако при более детальном рассмотрении становится понятно, что масло не достигало оптимальной температуры. Это свидетельствует, что в узлах трения температурный фон по-прежнему оставался пониженным, следовательно, сохранялись потери на трение и высокая вероятность задигов. Разработанный рекуператор предназначен для отбора части бросовой теплоты двигателя, рассеиваемой в атмосферу с отработавшими газами, с целью ее дальнейшего использования в узлах и агрегатах машины для поддержания заданного температурного режима, включая и двигатель машины. В перспективе рекуперированную теплоту возможно использовать для выработки холода и электричества с целью обеспечения данными ресурсами необходимых технологических операций, выполняемых машинно-тракторным агрегатом.

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

Exhaust gas heat recuperator for the MTZ-82 tractor engine

(✉)Ivannikov A.B., Zholudev V. L., Dusantaev A.I., Zainalov Z.K.

Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

(✉)e-mail: ivannikovab@sfscs.ru

Brief results of the study on the development of a gas-liquid heat exchange apparatus or exhaust gas heat recuperator for the D-242 diesel engine of the MTZ-82 tractor are presented. To achieve the goals and objectives of the study, an experimental setup was created, utilizing the specified engine as the power unit. A factorial experiment was conducted to study the thermal state of the engine under various operating modes, which revealed certain contradictions in the heat balance of the operating engine. Depending on the operating mode and ambient temperature, within 15 minutes of engine operation, the oil in the sump heated up to 62°C, while the coolant temperature reached a maximum value of 86°C, and the exhaust gas temperature reached 330°C. Formally, based on the coolant temperature, the engine reached the optimal operational temperature range (85–90°C). However, upon closer examination, it becomes clear that the oil had not yet reached its optimal temperature. This indicates that the temperature conditions in the friction units remained low, consequently, friction losses persisted, along with a high risk of scuffing. The developed recuperator is designed to capture a portion of the waste heat from the engine, which is dissipated into the atmosphere with the exhaust gases, for its

subsequent use in the components and assemblies of the machine to maintain the specified temperature regime, including the machine's engine. Looking ahead, the recuperated heat could potentially be utilized for generating cooling and electricity to provide these resources for necessary technological operations performed by the machine-tractor unit.

Keywords: recuperator, internal combustion engine, heating, waste heat, exhaust gases

Для цитирования: Иванников А.Б., Жолудев В.Л., Дусантаев А.И., Зайналов З.К. Рекуператор теплоты отработавших газов двигателя трактора МТЗ-82 // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55. № 9. С. 99–108. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-9-11>

For citation: Ivannikov A.B., Zholudev V. L., Dusantaev A.I., Zainalov Z. K. Exhaust gas heat recuperator for the MTZ-82 tractor engine. *Sibirskii vestnik sel'skhozaystvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2025, vol. 55, no. 9, pp. 99–108. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-9-11>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Авторы выражают благодарность инженерам лаборатории технического сервиса МТП СибИМЭ СФНЦА РАН А.А. Моносзон и О.М. Петрушко за помощь в проведении исследования и участии в подготовке статьи.

Acknowledgements

The authors express gratitude to the engineers of the Laboratory of Technical Service of Machine and Tractor Fleet of the Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture SFSCA RAS Monoszon A.A. and Petrushkov O.M. for assistance in conducting the research and participation in the preparation of the article.

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатация машинно-тракторного парка (МТП) агропромышленного комплекса в современных условиях требует от субъекта хозяйствования новых подходов, позволяющих не только эффективно использовать имеющиеся ресурсы, но и создавать условия работы, при которых на первый план будут выдвигаться ресурсосберегающие технологии. Реализация такой политики в организации хозяйствования может принести значительную экономическую выгоду и повысить производительность труда. Одно из направлений реализации ресурсосберегающих подходов и технологий в вопросах использования МТП может быть обусловлено климатическими особенностями Российской Федерации, особенно Северо-Западного, Уральского, Сибирского и Дальневосточного федеральных округов. К климатическим особенностям в первую очередь необходимо отнести пониженные температуры окружающей среды в течение года. Например, среднегодовая температура в Новосибирской области составляет 0,2 °С¹, а единственный месяц, когда не бывает замо-

розков, июль. Низкие температуры негативно влияют на технические системы, что в свою очередь приводит к снижению надежности и долговечности МТП² [1–3]. Работа в этом направлении в большей мере связана с разработкой технических решений по тепловой подготовке двигателя внутреннего сгорания (ДВС) к запуску [4–7] и с разработкой систем утилизации бросовой теплоты ДВС, которые позволяют использовать утилизируемую теплоту для поддержания оптимального температурного режима в основных узлах и агрегатах МТП [8–10]. Рекуперированную теплоту также можно использовать для обеспечения различных технологических операций в машинно-тракторном агрегате [11]. Вторичное использование бросовой теплоты даст возможность частично решать одну из серьезных проблем – низкий коэффициент полезного использования теплоты, выделившейся от сгорания в ДВС топлива.

Под вторичным использованием бросовой теплоты подразумевается направление теплоты, рассеиваемой в атмосферу с отработавшими газами (ОГ), системой охлаждения и системой смазки ДВС на обеспечение

¹ФГБУ «Западно-Сибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» Официальные данные наблюдений. Официальные прогнозы. URL: <http://www.meteo-nso.ru/pages/46>

²Кох П.И. Климат и надежность машин. М.: Машиностроение, 1981. 175 с.

осуществлено посредством карданной передачи через технологическое отверстие в стене. Для управления работой экспериментальной установки создан пульт управления, включающий КИП и оборудование, органы управления стендом и двигателем. В качестве регистрирующего устройства исследуемых параметров использована ЭВМ.

Измерение температуры осуществляли во впускном коллекторе (температура воздуха), в выпускном коллекторе (температура отработавших газов), головке блока цилиндров (ГБЦ) (температура охлаждающей жидкости), картере двигателя (температура масла). Опыты проводили в дни, когда температура окружающей среды соответствовала плану эксперимента.

- изучить тепловое состояние двигателя Д-242 на различных режимах работы;
- обосновать техническое решение для рекуператора теплоты отработавших газов двигателя Д-242 трактора МТЗ-82 и изготовить опытный образец рекуператора.

При планировании факторного эксперимента и обработки его результатов руководствовались стандартными методиками³. В качестве математической модели использовали полином второй степени.

В качестве отклика выбрана температура окружающей среды на входе в глушитель двигателя. Основным методом при определении существенности определяющих факторов использован метод априорного ранжирования. Информация об определяющих факторах и уровнях их варьирования сведена в таблице.

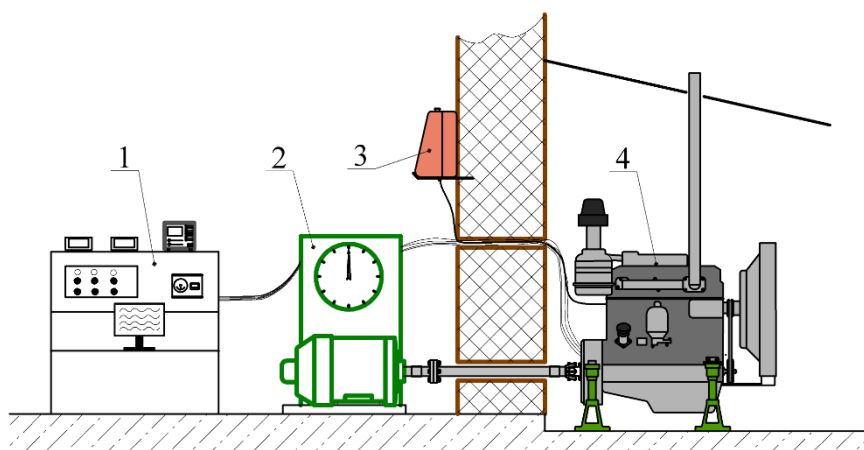


Fig. 1. Experimental installation: 1 – control panel of the installation; 2 – running-in and braking stand; 3 – fuel tank; 4 – diesel engine D-242

³Берикашвили, В.Ш., Оськин С.П. Статистическая обработка данных, планирование эксперимента и случайные процессы: учеб. пособие для вузов; 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2022. 164 с.

Определяющие факторов и уровни их варьирования Determining factors and the levels of their variation

Определяющий фактор	Фактор	Уровень варьирования		
		нижний	нулевой	верхний
Степень загрузки двигателя N , % (кВт)	X_1	50 (22,8)	65 (29,8)	80 (36,4)
Время работы τ , мин	X_2	15	22,5	30
Температура окружающей среды t_{OC} , °C	X_3	–30	–15	0

При обосновании технического решения для рекуператора теплоты отработавших газов ДВС в качестве исходных методик использовали стандартные методы выполнения тепловых расчетов теплообменных аппаратов⁴. Однако стандартные методики для целей исследования подходили не в полной мере, поскольку их в основном применяют для расчета стационарных аппаратов с заранее известными физическими параметрами теплоносителей. Одними из самых важных параметров являются скорость течения теплоносителей и их температура.

Температура и скорость отработавших газов прямо пропорциональны количеству сгораемого топлива в единицу времени и соответственно оборотам коленчатого вала ДВС, что вносит определенные трудности в расчеты. Эта и другие трудности учтены при обосновании технического решения и в методику расчета рекуператора внесен ряд особенностей и допущений:

- рекуператор должен быть размещен на линии выпускного тракта, например в глушителе или вместо него, вследствие чего габаритные размеры рекуператора могут быть аналогичны габаритам глушителя;
- в случае замены штатного глушителя на рекуператор необходимо предусмотреть выполнение им функции глушителя;
- мощность рекуператора целесообразно определять суммарной мощностью теплопотребителей на режиме максимального теплопотребления;
- учитывая, что температура, скорость отработавших газов, массовые расходы топли-

ва и воздуха двигателя постоянно колеблются, целесообразно в расчетах использовать усредненные значения этих параметров, полученные в зависимости от времени года и режимов работы двигателя;

- при разработке рекуператора необходимо предусмотреть механизм, позволяющий в автоматическом режиме воздействовать на процесс теплопередачи путем уменьшения (увеличения) количества отработавших газов, участвующих в теплообмене;

- предусмотреть возможность технического обслуживания рекуператора (очистки от нагара, его сборки и разборки).

В работе использованы методы и методики, базирующиеся на применении общенаучных методов исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов исследования подтверждает наличие в отработавших газах значительной по количеству тепловой и химической энергии. Например, при работе экспериментальной установки со степенью загрузки двигателя 80% (37 кВт) от его номинальной мощности и температуре окружающей среды –30 °C, температура потока отработавших газов к 8-й минуте работы уже составляла более 200 °C. При этом масло в поддоне двигателя прогревалось только до температуры –13 °C, температура охлаждающей жидкости двигателя достигала 8 °C (см. рис. 2).

Максимальное значение температуры отработавших газов достигало 290 °C к 15-й минуте работы двигателя, при этом масло нагрелось до 50 °C, охлаждающая жидкость –

⁴Бажан П.И., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. М.: Машиностроение, 1989. 368 с.

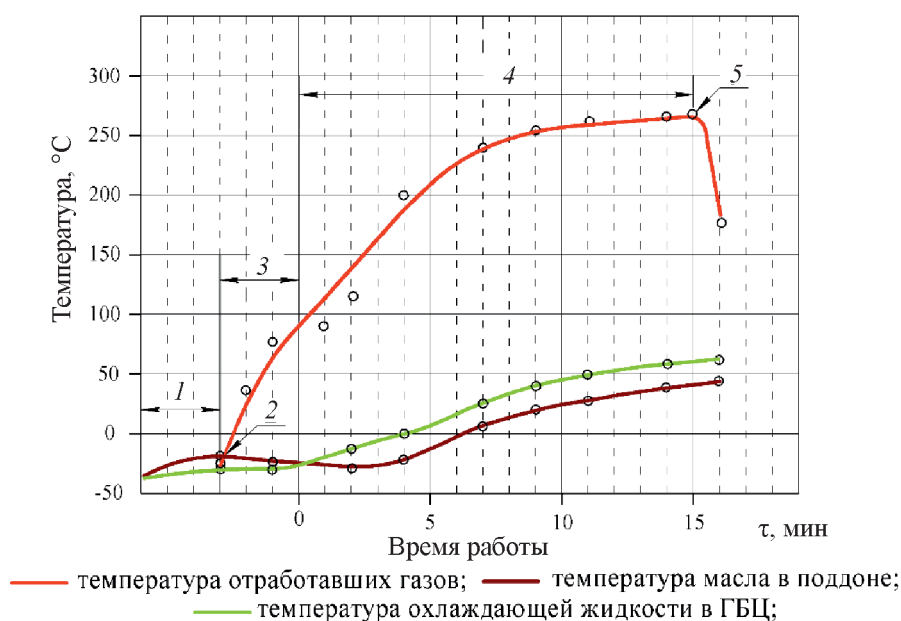


Рис. 2. Зависимость температуры отработавших газов, охлаждающей жидкости и масла от степени загрузки двигателя (80%), температуры окружающей среды ($-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) и времени работы (15 мин):

1 – предпусковой разогрев; 2 – запуск двигателя; 3 – послепусковой прогрев; 4 – работа двигателя под нагрузкой; 5 – остановка двигателя

Fig. 2. Dependence of exhaust gas, coolant and oil temperature on engine load (80%), ambient temperature (minus 30°C) and operation time (15 min.):

1 – pre-start warm-up; 2 – engine start; 3 – post-start warm-up; 4 – engine operation under load; 5 – engine stop

до $72\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это свидетельствует о том, что при одновременном выбросе в атмосферу большого количества теплоты с отработавших газов двигатель не прогрелся до рабочей температуры ($85\text{--}90\text{ }^{\circ}\text{C}$).

При повышении температуры окружающей среды до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ при той же степени загрузки и времени работы картина теплового состояния двигателя заметно меняется (см. рис. 3). Так, максимальное значение температуры отработавших газов зафиксировано на уровне $330\text{ }^{\circ}\text{C}$ к 12-й минуте работы двигателя. К этому времени масло в поддоне двигателя прогревалось до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура охлаждающей жидкости двигателя достигала $76\text{ }^{\circ}\text{C}$. Значение температуры масла к 15-й минуте работы двигателя сильно не изменилось и составило $62\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура охлаждающей жидкости достигла $86\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Формально по температуре охлаждающей жидкости двигатель достиг оптимального эксплуатационного диапазона температур, однако при более детальном анализе понятно, что температура масла не достигла опти-

мальной температуры. Это означает, что в узлах трения температурный фон по-прежнему пониженный, следовательно, сохраняются потери на трение и остается высокая вероятность задиров. При этом нужно учитывать, что в условиях рядовой эксплуатации двигателя машины или трактора редко работает длительное время с высокой степенью загрузки, за исключением выполнения отдельных технологических операций.

Результаты эксперимента свидетельствуют, что при пониженной температуре окружающей среды достичь оптимальной температуры работы двигателя Д-242 не всегда удается. При этом в процессе работы двигателя температура отработавших газов на входе в глушитель достигает значения в $330\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более, что подтверждает целесообразность дальнейших работ в вопросах вторичного использования бросовой теплоты ДВС и позволяет перейти к разработке рекуператора теплоты отработавших газов на примере двигателя Д-242.

Известно, что для систем утилизации и вторичного использования теплоты отрабо-

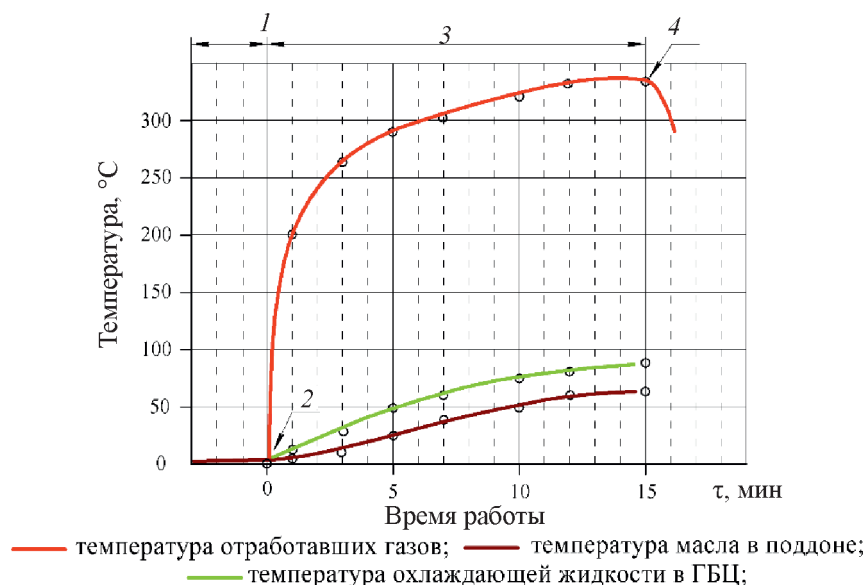


Рис. 3. Зависимость температуры отработавших газов, охлаждающей жидкости и масла от степени загрузки двигателя (80%), температуры окружающей среды (0 °C) и времени работы (15 мин):

1 – предпусковой разогрев; 2 – запуск двигателя; 3 – запуск двигателя под нагрузкой; 4 – остановка двигателя

Fig. 3. Dependence of exhaust gas, coolant and oil temperature on engine load (80%), ambient temperature (0 °C) and operation time (15 min.)

1 – pre-start warm-up; 2 – engine start; 3 – engine operation under load; 4 – engine stop

тавших газов ДВС серийно выпускаемых рекуператоров нет. Это связано в первую очередь с отсутствием готовых решений по оборудованию машин подобными системами даже для регионов с жесткими климатическими условиями. Однако работа в этом направлении исследователями ведется [12]⁵.

Наиболее близким техническим решением, которое использовано в качестве прототипа, является газожидкостный кожухотрубный теплообменный аппарат, разработанный ранее при участии одного из авторов статьи⁶. Описываемый теплообменный аппарат имеет одномодульную конструкцию с размещением отдельных элементов механизма управления заслонкой внутри корпуса.

К недостаткам прототипа следует отнести размещение газовой заслонки внутри теплообменного аппарата, что усложняет конструкцию терморегулятора и механизма привода заслонки, а также приводит к тому, что неза-

висимо от режима работы втулки оси заслонки будут постоянно омываться отработавшими газами и загрязняться сажей и другими продуктами сгорания топлива, что может привести к заклиниванию. Другой недостаток связан с использованием одной трубы для подвода отработавших газов к теплообменному аппарату и последующего их отвода в атмосферу. Такая конструкция позволяет использовать теплообменный аппарат в качестве глушителя только при закрытой газовой заслонке, т.е. при прохождении отработавших газов через межтрубное пространство в процессе теплообмена, а когда газовая заслонка согласно алгоритму работы открывается, центральная труба теплообменного аппарата превращается в прямоточную выхлопную трубу, что может приводить к акустическому загрязнению окружающей среды.

Для обоснования технического решения стало решение создания такой конструкции,

⁵Патент № 52108 U1 Российская Федерация, МПК F01N 5/02. Утилизатор тепла выхлопных газов / Давыденко Д.В., Матиевский Г.Д., Шептунов В.М., Захаров Г.О.; заявитель ООО «Сибэнергопром»; № 2005131820/22; заявл. 13.10.2005; опубл. 10.03.2006.

⁶Патент № 2523454 C1 Российская Федерация, МПК F28D 7/00, F28F 27/00. Газожидкостный кожухотрубный теплообменник с автоматической системой управления процессом теплообмена / Крохта Г.М., Иванников А.Б.; заявитель Новосибирский государственный аграрный университет; № 2013100549/06; заявл. 09.01.2013; опубл. 20.07.2014.

которая способна эффективно выполнять функцию рекуператора теплоты отработавших газов и функцию глушителя выпускной системы при работе двигателя на различных режимах. Исходя из устройства выпускной системы двигателя Д-242 трактора МТЗ-82 и размещения штатного глушителя за основу принята двухмодульная компоновка рекуператора с модулем теплообмена и модулем глушения звука выпускной системы трактора, функциональная схема которого представлена на рис. 4.

В предлагаемом рекуператоре в качестве модуля глушения использованы элементы стандартного глушителя, а модуль теплообмена (рекуперации) размещен также в корпусе стандартного глушителя. Модуль теплообмена представляет многоходовой кожухотрубный теплообменник. Для упрощения изготовления модуля теплообмена в стан-

дартный глушитель может быть интегрирован, например, оребренный змеевик, через который будет циркулировать теплоноситель утилизационного контура.

Одним из основных элементов рекуператора, позволяющим регулировать процесс теплообмена между отработавшими газами и теплоносителем утилизационного контура, является газовая заслонка, которая регулирует объем поступающих горячих отработавших газов в межтрубное пространство модуля теплообмена. Алгоритм работы газовой заслонки зависит от температуры теплоносителя утилизационного контура на выходе из рекуператора и может программироваться исходя из задач системы утилизации, монтируемой на машину.

Рекуператор работает следующим образом (см. рис. 4). В исходном состоянии перед запуском ДВС газовая заслонка нахо-

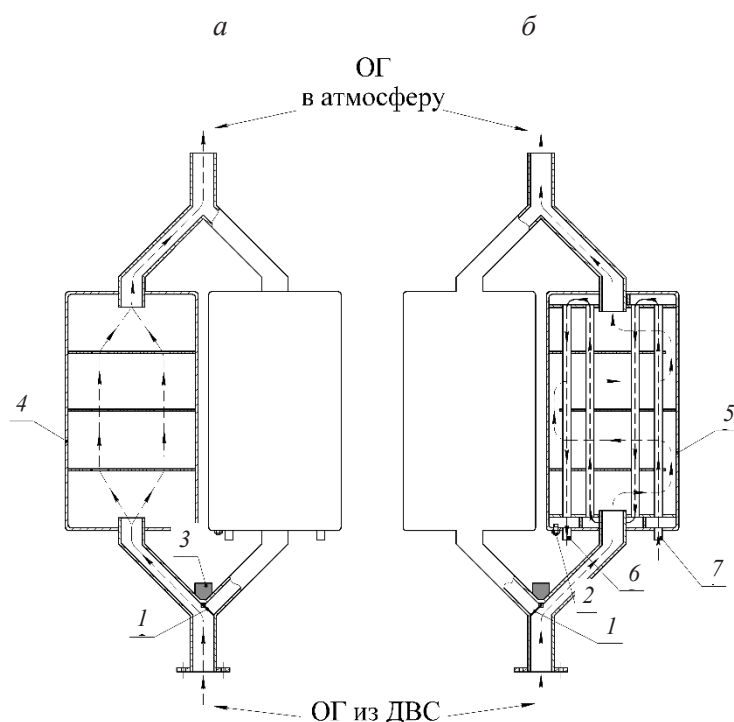


Рис. 4. Функциональная схема работы рекуператора: *а* – режим глушения звука; *б* – режим рекуперации:

1 – газовая заслонка; 2 – температурный датчик теплоносителя утилизационного контура; 3 – механизм привода газовой заслонки с блоком управления; 4 – модуль глушения звука; 5 – модуль теплообмена; 6 – отвод теплоносителя утилизационного контура из рекуператора; 7 – подвод теплоносителя утилизационного контура в рекуператор

Fig. 4. Functional scheme of the recuperator operation: *a* – mute mode; *b* – recuperation mode:

1 – gas flap; 2 – temperature sensor of the heat carrier of the utilization circuit; 3 – gas flap drive mechanism with control unit; 4 – sound attenuation module; 5 – heat exchange module; 6 – utilization circuit heat carrier withdrawal from the recuperator; 7 – utilization circuit heat carrier supply to the recuperator

дится в положении, перекрывающем патрубок подвода отработавших газов к модулю теплообмена. После запуска ДВС сигнал с датчика температуры нагреваемого теплоносителя поступает в блок управления приводом газовой заслонки, где в соответствии с алгоритмом работы формируется команда на дальнейшее действие. Вариант алгоритма работы может быть следующим. Если после пуска ДВС температура нагреваемого теплоносителя на выходе из рекуператора менее 70°C , тогда дается команда на открытие газовой заслонки и отработавшие газы поступают в модуль теплообмена. Начинается процесс теплообмена между отработавшими газами и нагреваемым теплоносителем. Если после пуска ДВС температура нагреваемого теплоносителя более 70°C , тогда команда на открытие газовой заслонки не дается и отработавшие газы поступают в модуль глушения звука выпускной системы ДВС. При охлаждении нагреваемого тепло-

носителя вследствие теплообмена до 70°C блок управления дает команду на механизм привода заслонки для перекрытия патрубка подвода отработавших газов в модуль глушения звука. Вследствие этого отработавшие газы вновь направляются в модуль теплообмена и нагрев теплоносителя утилизационного контура возобновляется. Благодаря такому алгоритму работы температура теплоносителя утилизационного контура на выходе из рекуператора будет поддерживаться на заданном уровне в 70°C автоматически.

По результатам работы была подготовлена заявка и получен патент на изобретение № 2822779 «Рекуператор теплоты отработавших газов ДВС», что подтверждает научную новизну исследования. Одним из итогов выполненного исследования является экспериментальный образец рекуператора, который изготовлен и смонтирован на двигатель экспериментальной установки (см. рис. 5).



Рис. 5. Экспериментальный рекуператор:

a – общий вид; *б* – в защитном кожухе

Fig. 5. Experimental recuperator:

a – general view; *б* – in a protective casing

Испытания экспериментального рекуператора запланированы в 2025 г. в составе стационарной экспериментальной установки и в 2026 г. в составе мобильной установки.

ВЫВОДЫ

1. Исследование теплового состояния двигателя Д-242 на различных режимах показало, что в условиях пониженных температур окружающей среды (от 0 °С и ниже) не всегда возможно достичь оптимальной рабочей температуры двигателя (85–90 °С), при этом температура отработавших газов достигает высоких значений (330 °С и более), что свидетельствует о значительном количестве бросовой теплоты двигателя, рассеиваемой в атмосферу с отработавшими газами.

2. Предложенный рекуператор имеет двухмодульную систему и может эффективно выполнять функции глушителя и теплообменного аппарата, позволяющего вторично использовать значительную часть теплоты, рассеиваемую с отработавшими газами ДВС.

3. Вторичное использование теплоты отработавших газов ДВС позволит повысить коэффициент полезного использования теплоты, выделившейся от сгорания в двигателе топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгушин А.А., Чернухин Р.В., Кидло Т.И. Статистический анализ отказов тракторов «Кировец» в условиях Новосибирской области // Технический сервис машин. 2021. № 4 (145). С. 103–109. DOI: 10.22314/2618-8287-2021-59-4-103-109.
2. Разяпов М.М. Повышение надежности агрегатов трансмиссии автотракторной техники при эксплуатации в условиях низких температур // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2020. № 2 (26). С. 77–86.
3. Крохта Г.М., Хомченко Е.Н., Усатых Н.А. Особенности прогрева двигателя внутреннего сгорания после холодного пуска // Двигателестроение. 2021. № 3 (285). С. 28–34.
4. Сырбаков А.П., Бережнов Н.Н., Корчуганова М.А., Матяш С.П. Тепловая подготовка дизельных двигателей // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 8 (178). С. 167–174.

5. Агеева Е.В., Агеева Е.В., Щербаков А.В. Повышение эффективности запуска ДВС автомобилей при низких температурах // Мир транспорта и технологических машин. 2020. № 4 (71). С. 19–28. DOI: 10.33979/2073-7432-2020-71-4-19-28.
6. Жуков В.А., Пересецкий И.Л. Тепловые насосы в системах предпусковой подготовки двигателей внутреннего сгорания // Двигателестроение. 2024. № 1 (295). С. 13–21.
7. Вахрамеев Д.А., Потапов Е.А., Мартюшев А.А. Расчет теплового аккумулятора для предпусковой подготовки двигателя // Сельский механизатор. 2020. № 11. С. 42–43.
8. 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. № 89 (3). С. 197–205. DOI: 13.17816/0321-4443-106855.
9. Крохта Г.М., Крум В.А., Усатых Н.А., Хомченко Е.Н. Особенности работы моторных масел в объединенной системе смазки «двигатель – коробка передач» // Тракторы и сельхозмашины. 2021. Т. 88. № 1. С. 57–63. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-1-57-63.
10. 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. № 3. С. 23–30. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-23-30.
11. Дорохов А.С., Аксенов А.Г., Сибирев А.В. Исследование сепарирующей системы с использованием теплоты отработавших газов двигателя свеклоуборочного комбайна // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. № 1. С. 19–26. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-1-19-26.
12. Чернухин Р.В., Долгушин А.А., Касимов Н.Г. Обоснование расходных характеристик рекуператора для тепловой подготовки агрегатов машин и оборудования // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2020. Т. 22. № 4. С. 82–93. DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.4-82-93.

REFERENCES

1. Dolgushin A.A., Chernukhin R.V., Kidlo T.I. Statistical analysis of «Kirovets» tractor failures in the Novosibirsk region. *Tekhnicheskii servis*

- mashin = Machinery Technical Service*, 2021, no. 4 (145), pp. 103–109 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2021-59-4-103-109.
2. Razyapov M.M. Increasing the reliability of transmission units of autotractor equipment when operating under the conditions of low temperatures. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy = Innovations in agricultural complex: problems and perspectives*, 2020, no. 2 (26), pp. 77–86 (In Russian).
 3. Krokhta G.M., Khomchenko E.N., Usatykh N.A. Behavior of a reciprocating engine during warm-up after its cold start. *Dvigatelistroenie = Engines construction*, 2021, no. 3 (285), pp. 28–34. (In Russian).
 4. Syrbakov A.P., Berezhnov N.N., Korchuganova M.A., Matyash S.P. Thermal preparation of diesel engines. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2019, no. 8 (178), pp. 167–174. (In Russian).
 5. Ageyeva E.V., Scherbakov A.V. Improving the efficiency of starting the internal combustion engine of cars at low temperatures. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin = World of Transportation and Technological Machines*, 2020, no. 4 (71), pp. 19–28. (In Russian). DOI: 10.33979/2073-7432-2020-71-4-19-28.
 6. Zhukov V.A., Peresetsky I.L. Heat pumps in the systems of pre-start preparation of internal combustion engines. *Dvigatelistroenie = Engines construction*, 2024, no. 1 (295), pp. 13–21. (In Russian).
 7. Vakhrameev D.A., Potapov E.A., Martyushev A.A. Calculation of thermal accumulator for engine pre-start preparation. *Sel'skii mekhanizator = Selskiy Mechanizator*, 2020, no. 11, pp. 42–43. (In Russian).
 8. Krokhta G.M., Khomchenko E.N., Usatykh N.A., Ivannikov A.B. On the question of secondary use of exhaust exergy in power units of vehicles and tractors. *Traktory i sel'khozma-shiny = Tractors and Agricultural Machinery*, 2022, no. 89 (3), pp. 197–205. (In Russian). DOI: 10.17816/0321-4443-106855.
 9. Krokhta G.M., Krum V.A., Usatykh N.A., Khomchenko E.N. Features of the operation of engine oils in a combined lubrication system “Engine-gearbox”. *Traktory i sel'khozma-shiny = Tractors and Agricultural Machinery*, 2021, vol. 88, no. 1, pp. 57–63. (In Russian). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-1-57-63.
 10. Ivanov N.M., Ivannikov A.B., Dusantaev A.I., Krokhta G.M., Krum V.A. Technological scheme for utilizing exhaust gas heat from a self-propelled machine. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*, 2024, vol. 18, no. 3, pp. 23–30. (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-23-30.
 11. Dorokhov A.S., Aksenov A.G., Sibirev A.V. Study of an exhaust gas heat separation system for the beet harvester. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*, 2022, vol. 16, no. 1, pp. 19–26. (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-1-19-26.
 12. Chernukhin R.V., Dolgushin A.A., Kasimov N.G. Justification of the flow characteristics of the recuperator for the thermal preparation of machinery and equipment units. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2020, vol. 22, no. 4, pp. 82–93. (In Russian). DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.4-82-93.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Ивannиков Алексей Борисович**, ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент; SPIN-код 2305-9701; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, ул. Центральная, 7; e-mail: ivannikovab@sfsca.ru

Жолудев Виктор Леонидович, младший научный сотрудник

Дусантаев Азамат Истлеуович, аспирант; SPIN-код 4675-9930

Зайналов Зафар Камардинович, аспирант

AUTHOR INFORMATION

✉ **Alexei B. Ivannikov**, Lead Researcher, Candidate of Science in Engineering, Associate Professor; SPIN-code 2305-9701; **address:** 7, Tsentralnaya St., Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: ivannikovab@sfsca.ru

Victor L. Zholudev, Junior Researcher

Azamat I. Dusantaev, Post-graduate Student; SPIN-code 4675-9930

Zafar K., Zainalov, Post-graduate Student

Дата поступления статьи / Received by the editors 09.04.2025
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 28.05.2025
Дата публикации / Published 15.10.2025