

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-625989>

Оригинальное исследование



Обоснование применимости теплового аккумулятора фазового перехода в тепловой подготовке двигателей автотранспортных средств

А.В. Колунин¹, В.Н. Каминский¹, Д.В. Апелинский¹, Е.С. Лазарев², М.С. Корытов³¹ Московский политехнический университет, Москва, Российская Федерация;² Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), Омск, Российская Федерация;³ Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Омск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В последние годы наблюдается тенденция подъёма активности к освоению заполярных территорий. Характерной особенностью Севера являются отрицательные температуры. Отрицательные температуры оказывают негативное воздействие на состояние поршневых двигателей наземного транспорта. В цилиндрах двигателя воспламенению предшествует процесс перехода жидкого топлива в газообразное состояние. Отрицательные температуры негативно влияют на процесс смены фазовых состояний препятствуют гомогенизации рабочего тела и успешному пуску двигателя. В целях обеспечения такого пуска предусмотрена тепловая подготовка. Существуют типовые методы тепловой подготовки, требующие расхода энергоносителей и как, правило значительных трудозатрат. Достижения современной науки предлагают новые технологии в решении вопросов тепловой подготовки на основе аккумулирования, хранения и реализации тепловой энергии, вырабатываемой двигателем в процессе применения.

Цель работы — обоснование применимости теплового аккумулятора фазового перехода в тепловой подготовке двигателей автотранспортных средств, эксплуатируемых в условиях отрицательных температур холодного климата.

Материалы и методы. Экспериментальным методом определялись численные значения времени зарядки теплового аккумулятора в зависимости от температуры теплоаккумулирующего материала (ТАМ) при различных начальных температурах теплоносителя и времени разрядки теплового аккумулятора в зависимости от температуры теплоаккумулирующего материала при различных объёмных расходах теплоносителя. В качестве теплоаккумулирующего материала применялся полиэтилен высокой плотности.

Результаты. В результате описанного эксперимента построены графические зависимости времени зарядки теплового аккумулятора от температуры теплоаккумулирующего материала при различных начальных температурах теплоносителя и времени разрядки теплового аккумулятора от температуры теплоносителя при его различных объёмных расходах.

Заключение. Установлено, что тепловой аккумулятор фазового перехода с теплоаккумулирующим материалом (полиэтиленом) высокой плотности применим для повышения надёжности пуска поршневых двигателей автотранспортных средств в условиях отрицательных температур холодного климата.

Ключевые слова: тепловой аккумулятор фазового перехода, полиэтилен высокой плотности, расход теплоносителя, отрицательные температуры, тепловая подготовка двигателя, успешный пуск двигателя, теплоаккумулирующий материал, теплообменные процессы.

Как цитировать:

Колунин А.В., Каминский В.Н., Апелинский Д.В., Лазарев Е.С., Корытов М.С. Обоснование применимости теплового аккумулятора фазового перехода в тепловой подготовке двигателей автотранспортных средств // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 1. С. 55–64.

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-625989>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-625989>

Original Study Article

Justification of usability of the heat accumulator of phase transition in vehicles' engines pre-start warming-up procedure

Alexander V. Kolunin¹, Valery N. Kaminsky¹, Dmitry V. Apelinsky¹,
Evgeny S. Lazarev², Mikhail S. Korytov³

¹ Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation;

² Omsk State Transport University, Omsk, Russian Federation;

³ Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The trend of activity increase in exploration of transpolar areas has been observed for recent years. Negative temperatures, the key feature of the North, have a negative impact on state of piston engines of on-ground transport. In engine's cylinders, the process of transition of liquid fuel in gaseous state goes before the mixture ignition. Negative temperatures affect the phase transition process and impede the working body homogenization. Therefore, engine pre-start warming-up procedure goes before successful engine start. Existing typical methods of pre-start warming-up demand fuel consumption and, generally, significant staff resources. Achievements of modern science offer new technologies for solving the issues of warming-up procedures based on accumulating, storage and deployment of heat energy produces by an engine during its operation.

AIM: Justification of usability of the heat accumulator of phase transition in pre-start warming-up procedure for vehicles' engines operating in conditions of negative temperatures of cold climate.

METHODS: Numerical values of heat accumulator charging period depending on temperature of heat-accumulating material at various initial temperatures of coolant as well as values of the discharging period depending on temperature of heat-accumulating material at various coolant rates were defined experimentally. High-density polyethylene was used as a heat-accumulating material.

RESULTS: As a result of the described experiment, curves of heat accumulator charging period depending on heat-accumulating material temperature at various initial temperatures of coolant and curves of heat accumulator discharging period depending on coolant temperature at various coolant rates were built.

CONCLUSIONS: It is found that the heat accumulator of phase transition with high-density polyethylene as a heat-accumulating material can be used for improving the reliability of vehicles' piston engine start in conditions of negative temperatures of cold climate.

Keywords: heat accumulator of phase transition; high-density polyethylene; coolant rate; negative temperatures; pre-start engine warming-up procedure; successful engine start; heat-accumulating material; heat-transfer processes.

To cite this article:

Kolunin AV, Kaminsky VN, Apelinsky DV, Lazarev ES, Korytov MS. Justification of usability of the heat accumulator of phase transition in vehicles' engines pre-start warming-up procedure. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(1):55–64. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-625989>

Received: 08.10.2023

Accepted: 20.01.2024

Published online: 15.03.2024

ВВЕДЕНИЕ

Российская Федерация расположена в средних и высоких широтах континента. Погодные условия на большей части страны можно отнести к разряду суровых, смена времён года имеет контрастно выраженный характер, зимы продолжительные и морозные. К зоне холодного климата, где средняя температура зимних месяцев опускается ниже минус 20°C, а число холодных дней достигает 270, относится более 50% площадей, в том числе районы Сибири и Крайнего Севера, Дальнего Востока.

Северный морской путь — кратчайшая коммуникация между Европейской частью России и Дальним Востоком, Северо-Западный проход — морской путь между Атлантическим и Тихим океанами и воздушный мост между Северной Америкой и Юго-Восточной Азией проложены через заполярные территории Российской Федерации. Несметные, не тронутые запасы полезных ископаемых принадлежат российскому народу. Выгодное территориальное положение заключается не только в природных богатствах, но и в стратегическом преимуществе, как для экономики, так и для оборонного сектора. Защита и обеспечение национальных интересов России предусмотренные указом Президента № 645 от 26 октября 2020 г. «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» могут осуществляться в том числе на основе применения передовых технологий и техники, приспособленной к суровым условиям заполярных регионов. Автомобильный транспорт имеет важное значение в вопросе перспективного развития северных территорий. По данным аналитического агентства «Автостат» на середину 2023 года в России насчитывалось 3,7 млн грузовых автомобилей. Более четверти (26%) этого парка занимает автогигант КамАЗ, всего в стране зарегистрировано 963 тыс. таких грузовиков. На втором месте в рейтинге расположились грузовики производства ГАЗ с результатом 600 тыс. машин. Третью позицию занимают машины марки ЗИЛ с показателем 402 тыс. единиц. Первую пятерку дополнили автомобили «МАЗ» и «Урал» — 265 тыс. и 170 тыс. единиц соответственно. Бренды отечественного автопрома занимают более 65% российского парка грузовиков. Численности грузовых автомобилей отечественного и зарубежного производства по некоторым регионам России сведены в таблицу 1.

Характерной особенностью этих регионов являются отрицательные температуры. Для успешного пуска двигателя в таких условиях требуется тепловая подготовка. В цилиндрах двигателя воспламенению смеси предшествует переход жидкого топлива в газообразное состояние. Отрицательные температуры негативно влияют на процесс смены фазовых состояний, препятствуют гомогенизации топливо-воздушной смеси. Вероятность успешного пуска снижается и по другим причинам,

Таблица 1. Численность парка грузовых автомобилей по некоторым регионам России

Table 1. Trucks fleet in some Russian regions

№ п/п	Наименование региона	Численность автомобилей
1	Архангельская область	23457
2	Свердловская область	68725
3	Иркутская область	70315
4	Красноярский край	67443
5	Мурманская область	9817
6	Омская область	52428
7	Приморский край	41432
8	Республика Бурятия	60217
9	Республика Карелия	138014
10	Республика Коми	27277
11	Тюменская область	97049

связанным с вязкостью моторного масла и ёмкостью аккумуляторных батарей [1, 2].

На протяжении длительного времени учёные решают проблемную задачу низкотемпературного пуска [3–5]. Ушли в прошлое те времена, когда для успешного пуска разводились костры под двигателями и разжигались паяльные лампы. Современное общество вступило в новый виток развития. В настоящее время применение передовых технологий в решении задач тепловой подготовки двигателей в условиях отрицательных температур может обеспечить успешный пуск, в короткий период, с минимальными затратами энергии и минимальной трудоёмкостью работ.

Тепловую подготовку двигателя можно осуществлять за счёт использования тепла, вырабатываемого самим двигателем в процессе применения транспортного средства. При реализации действительного цикла, лишь 25% тепла, вводимого с топливом в камеру сгорания, реализуется в эффективную работу. Тепловой потенциал расходуется (теряется) в результате неполного сгорания топлива, приведения в работу собственных систем и механизмов, теряется с выхлопными газами, рассеивается в атмосферу через систему охлаждения. Применение передовых технологий, основанных на современных достижениях науки и техники может обеспечить рациональное использование тепла, не реализуемого в эффективную работу двигателя.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Повысить надёжность пуска, снизить ущерб ресурсу при низкотемпературном пуске без дополнительных затрат

энергоносителей можно используя принцип аккумулирования собственной тепловой энергии применительно к системам поршневого двигателя. Одним из кардинальных путей решения вопроса является использование устройства, способного накапливать, хранить, реализовывать тепловую энергию. Такие устройства получили название «тепловые аккумуляторы» [6–9]. Из известных типов тепловых аккумуляторов, в рамках тепловой подготовки, наиболее приемлемым является тепловой аккумулятор фазового перехода, работающего по принципу «плавление — кристаллизация», с тепловым эффектом — выделением или поглощением теплоты фазового перехода. Работа теплового аккумулятора основана на реализации теплообменных процессов между различными средами. Учение о теплопередаче является частью общего учения о теплоте, фундамент которого заложил Ломоносов на основе корпускулярной теории строения вещества, выдвинутой в середине XVIII века. Теплообменные процессы — это процессы, связанные с переносом теплоты от более нагретых тел к менее нагретым. Как известно, при смене агрегатного состояния (плавлении — твердении, испарении — конденсации) происходит значительное поглощение или выделение энергии. Поэтому энтальпия веществ в таких устройствах повышается не столько по причине повышения температуры, сколько за счёт смены агрегатного состояния. Главным накопителем (хранителем) является теплоаккумулирующий материал, который заключён в герметично запаянные капсулы и находится в тепловом взаимодействии с теплоносителем. В качестве теплоносителя, может рассматриваться охлаждающая жидкость если тепловой аккумулятор централизованно включён в систему охлаждения. Теплообменное взаимодействие теплоаккумулирующего материала с теплоносителем на примере системы охлаждения

обеспечивается работой циркуляционного насоса, чем объясняется низкая трудоёмкость тепловой подготовки. Различные конструкции тепловых аккумуляторов запатентованы и описаны в научных трудах. В качестве примера на рис. 1 представлена схема, простейшего по конструкции теплового аккумулятора фазового перехода цилиндрической формы в продольном разрезе.

Конструктивно тепловой аккумулятор состоит из теплоизолированного цилиндрического корпуса, входного и выходного патрубков, соединённых с системой охлаждения. Внутри корпуса находится теплообменник, состоящий из коаксиально расположенных цилиндрических капсул. Герметично запаянные капсулы заполнены теплоаккумулирующим материалом [9]. В качестве теплоаккумулирующего материала может применяться полиэтилен высокой плотности, парафин, гидроксид октогидрат бария. Теплоизоляционный материал обеспечивает продолжительную по времени готовность теплового аккумулятора при хранении техники. Тепловые аккумуляторы могут отличаться конструкцией и количеством теплоаккумулирующего материала [10].

В качестве примера в табл. 2 представлены характеристики теплового аккумулятора, в конструкцию которого включено 18 кг теплоаккумулирующего материала.

При всём многообразии работ в области тепловых аккумуляторов отсутствует предметная и объективная оценка их приспособленности к двигателям автотранспортных средств, неизвестна продолжительность времени зарядки/разрядки теплового аккумулятора в различных условиях. Нет всеобъемлющей практики и опыта применения. Для определения возможности (рациональности) применения теплового аккумулятора был проведён эксперимент.

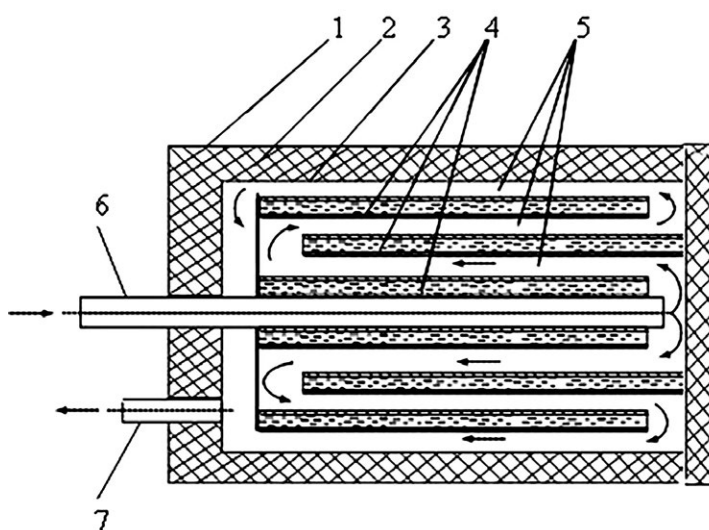


Рис. 1. Тепловой аккумулятор фазового перехода в продольном разрезе: 1 — наружный корпус; 2 — тепловая изоляция; 3 — внутренний корпус; 4 — металлические цилиндрические капсулы с теплоаккумулирующим материалом; 5 — щелевые зазоры теплоносителя; 6 — входной патрубок; 7 — выходной патрубок.

Fig. 1. The heat accumulator of phase transition in longitudinal section: 1 — an outer housing; 2 — heat isolation; 3 — an inner housing; 4 — metal cylindrical capsules with a heat-accumulating material; 5 — coolant path gaps; 6 — an inlet; 7 — an outlet.

Таблица 2. Характеристики теплового аккумулятора
Table 2. Specification of the heat accumulator

Наименование	Характеристика
Теплоаккумулирующий материал	Полиэтилен высокой плотности
Масса теплоаккумулирующего материала, кг	18
Масса, кг	31,45
Габаритные размеры, мм	174×270×460
Теплоизоляция	Пенопласт и двухслойный вспененный полимер, покрытый алюминиевой фольгой
Материал корпуса	Нержавеющая сталь
Материал теплообменника	Латунь
Тепловая емкость, Дж/кгК	46,5
Время хранения теплового заряда, час	39

ЭКСПЕРИМЕНТ

В рамках разработки новых технических решений, направленных на совершенствование средств тепловой подготовки проведен эксперимент. Для эксперимента подготовили специальную установку. Методика эксперимента предусматривала испытания в режиме зарядки (приёма тепловой энергии) и в режиме разрядки (отдачи тепловой энергии). В качестве теплоносителя использовалась смесь газов (атмосферный воздух). Теплоаккумулирующим материалом фазового перехода являлся полиэтилен высокой плотности. Свойства последнего сведены в табл. 3.

Целью эксперимента являлось определение зависимостей времени зарядки теплового аккумулятора от различных температур теплоносителя, а также зависимостей времени разрядки от объемного расхода теплоносителя в контуре теплового аккумулятора. Таким образом, объёмный расход теплоносителя и его начальная температура должны определять активность теплообменных процессов в двух различных режимах и продолжительность зарядки/разрядки [11].

В первом случае системой, аналогичной системе выпуска в режиме зарядки, когда определялась зависимость времени зарядки теплового аккумулятора

от температуры теплоносителя, во втором — в режиме разрядки, когда определялась зависимость времени разрядки теплового аккумулятора от объемного расхода теплоносителя.

Параметры эксперимента делились на фиксированные и варьированные. В таблицу 4 сведены параметры эксперимента в различных режимах функционирования установки схема которой представлена на рис. 2.

Степень достоверности обеспечивалась достаточным количеством произведённых замеров, допустимой погрешностью приборов, которые сведены в табл. 5.

В соответствии с классификацией, настоящий эксперимент можно отнести к разряду лабораторных [10]. Эксперимент осуществлялся в условиях специализированной лаборатории с температурой воздуха 20°С, атмосферным давлением 768 мм рт. ст., влажностью воздуха 82%.

Методика эксперимента предусматривала выполнение 7 циклов в режимах зарядки и разрядки осуществляемых последовательно. Многократность циклов способствует повышению достоверности информации в рамках достижения цели эксперимента [11]. Зарядка теплового аккумулятора производилась до температуры фазового перехода теплоаккумулирующего материала 125°С с различными температурами теплоносителя при его

Таблица 3. Свойства полиэтилена высокой плотности
Table 3. Properties of high-density polyethylene

Параметр	Характеристика
Плотность, кг/м³	0,956
Температура фазового перехода, К	398–408
Удельная теплота фазового перехода, кДж/кг	230
Удельная теплоемкость, кДж/кг·К	2,5
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	0,25

Таблица 4. Параметры эксперимента в режиме зарядки/разрядки теплового аккумулятора

Table 4. Experiment parameters in charging/discharging modes of the heat accumulator

Режим зарядки				
Параметр	Температура теплоаккумулирующего материала	Время зарядки	Начальная температура теплоносителя	Объёмный расход теплоносителя
Значение	Аргумент 20–125	Искомая функция	110, 120, 130, 140, 150, 160, 170	const 0.22
Размерность	t, °C	τ, с	t, °C	м³/с
Режим разрядки				
Значение	Аргумент 20–125	Искомая функция	const минус 25	0,1; 0,12; 0,14; 0,16; 0,18; 0,2; 0,22
Размерность	t, °C	τ, с	t, °C	м³/с

Таблица 5. Измерительные приборы

Table 5. Measuring devices

Наименование прибора	Характеристики
Термопары ТПП	диапазон измерений от 0 до +600 °C погрешность ±1°C материал изготовления – платина
Датчик Zentec HS1-01	диапазон измерений от -40 до +300 °C погрешность ±0,5°C
Многоканальный измеритель температуры МИТ–12	количество каналов – 12 погрешность ±1°C
Расходомер теплоносителя G4 UGI Meters LTD	предельно допустимый расход 380 дм³/мин погрешность ±0,5 %
Таймер Kaiser	Лабораторный электронного типа

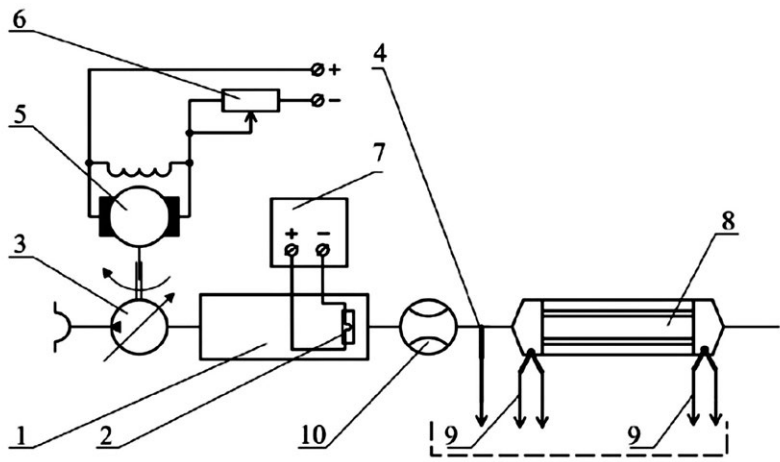


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 — регулятор начальной температуры теплоносителя; 2 — нагревательно-охлажда-
тельный элемент; 3 — воздушный нагнетатель; 4 — термопара; 5 — электрический двигатель; 6 — переменное сопротивление;
7 — автоматическая система управления нагревательно-охлажда-
тельным элементом; 8 — тепловой аккумулятор; 9 — термопары;
10 — расходомер газовый G4 фирмы UGI Meters LTD.

Fig. 2. Diagram of the experimental facility: 1 — an initial coolant temperature adjuster; 2 — a heating-cooling element; 3 —
a supercharger; 4 — a thermal couple; 5 — an electric engine; 6 — a variable resistance element; 7 — an automatic control system
of the heating-cooling element; 8 — a heat accumulator; 9 — thermal couples; 10 — the UGI Meters G4 gas flowmeter.

постоянном расходе. Разрядка теплового аккумулятора происходила до температуры теплоаккумулирующего материала 20°С с разной активностью циркуляции теплоносителя, при его постоянной начальной температуре после чего осуществлялась очередная зарядка.

В соответствии с планом эксперимента, с помощью системы управления мощностью нагревательного элемента устанавливалась фиксированная температура теплоносителя, после чего теплоноситель подавался нагнетателем 3, в тепловой аккумулятор 8. Отсчёт времени вёлся с начала зарядки теплового аккумулятора, то есть от температуры 20°С, и фиксировался в зависимости от изменения температуры через каждые 10°С до заданной температуры теплоаккумулирующего материала (125°С). Изменение температуры теплоаккумулирующего материала может влиять на продолжительность зарядного цикла [10]. Каждой начальной температуре теплоносителя соответствовала своя серия замеров. Таким образом, было выполнено 7 серий замеров. Численные значения времени зарядки

теплового аккумулятора в зависимости от температуры теплоносителя сведены в табл. 6.

На основе полученных значений, построены графические зависимости времени зарядки теплового аккумулятора от температуры теплоаккумулирующего материала при различных начальных температурах теплоносителя. Зависимости представлены на рис. 3.

В условиях разрядки, методика эксперимента предусматривала фиксированное начальное значение теплоносителя и варьируемые значения объёмного расхода теплоносителя. Температура теплоаккумулирующего материала может влиять на продолжительность разрядки теплового аккумулятора [10]. Каждому значению объёмного расхода теплоносителя соответствовала своя серия замеров. Таким образом было выполнено 7 серий замеров. Численные значения времени разрядки теплового аккумулятора в зависимости от расхода теплоносителя сведены в табл. 7.

На основе численных значений построены графические зависимости времени разрядки теплового аккумулятора

Таблица 6. Время зарядки теплового аккумулятора в зависимости от температуры теплоаккумулирующего материала при различных начальных температурах теплоносителя

Table 6. Heat accumulator charging period depending on the heat-accumulating material temperature at various coolant initial temperatures

Температура ТАМ, °С	Время зарядки, с												
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	125	
Температура теплоносителя, °С	110	0	102	125	358	552	753	983	1262	1544			
	120	0	91	201	325	491	662	880	1141	1452	1795		
	130	0	89	178	295	431	569	778	1028	1361	1709	2051	
	140	0	85	155	262	371	493	672	908	1227	1601	1998	2434
	150	0	79	133	231	295	421	578	802	1150	1495	1921	2145
	160	0	60	120	176	221	315	448	683	1003	1402	1804	2032
	170	0	60	102	131	167	250	350	550	850	1250	1650	1896

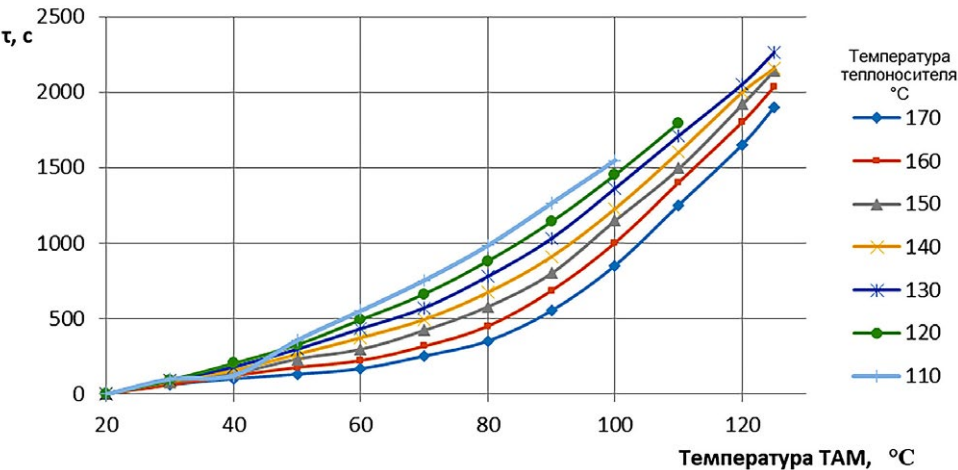


Рис. 3. Зависимости времени зарядки теплового аккумулятора от температуры теплоаккумулирующего материала при различных начальных температурах теплоносителя.

Fig. 3. Curves of heat accumulator charging period depending on the heat-accumulating material temperature at various coolant initial temperatures.

от температуры теплоносителя при различных объёмных расходах теплоносителя представленные на рис. 4.

Результаты описанного эксперимента позволили сформулировать следующие выводы:

1. Установленные зависимости продолжительности зарядки теплового аккумулятора в условиях различных температур теплоаккумулирующего материала свидетельствуют о влиянии начальных температур теплоносителя на продолжительность зарядного цикла. При этом установлено, что повышение температуры теплоносителя, сокращает продолжительность времени зарядки. Диапазон продолжительности в условиях эксперимента составил от 1896 до 2434 секунд.
2. Установленные зависимости продолжительности процесса разрядки теплового аккумулятора в условиях различной активности движения теплоносителя свидетельствует о влиянии температуры последнего

на продолжительность разрядного цикла. Диапазон продолжительности в условиях эксперимента составил от 366 до 674 секунд.

3. Время, затрачиваемое на реализацию зарядно-разрядных циклов, а также низкая трудоёмкость работ могут технологично вписываться в мероприятия по тепловой подготовке холодного двигателя. Установлено, что тепловой аккумулятор фазового перехода с теплоаккумулирующим материалом (полиэтиленом) высокой плотности может быть использован для повышения надёжности пуска поршневых двигателей автотранспортных средств в условиях отрицательных температур холодного климата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанное устройство применимо для совершенствования теплообменных процессов в рамках тепловой

Таблица 7. Время разрядки теплового аккумулятора в зависимости от температуры теплоаккумулирующего материала при различных объёмных расходах теплоносителя

Температура ТАМ, °С		125	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20
		Время разрядки, с											
Расход теплоносителя, м³/с	0,1	0	10	22	62	104	153	214	275	345	436	538	674
	0,12	0	9	21	56	95	140	191	246	315	391	487	617
	0,14	0	8	20	50	86	127	168	216	278	346	438	567
	0,16	0	7	19	45	77	111	145	186	237	301	389	505
	0,18	0	6	19	40	68	95	122	155	198	255	349	456
	0,2	0	5	17	28	48	68	92	125	168	222	301	414
	0,22	0	4	10	18	28	43	66	97	140	194	257	366
	0,22	0	4	10	18	28	43	66	97	140	194	257	366

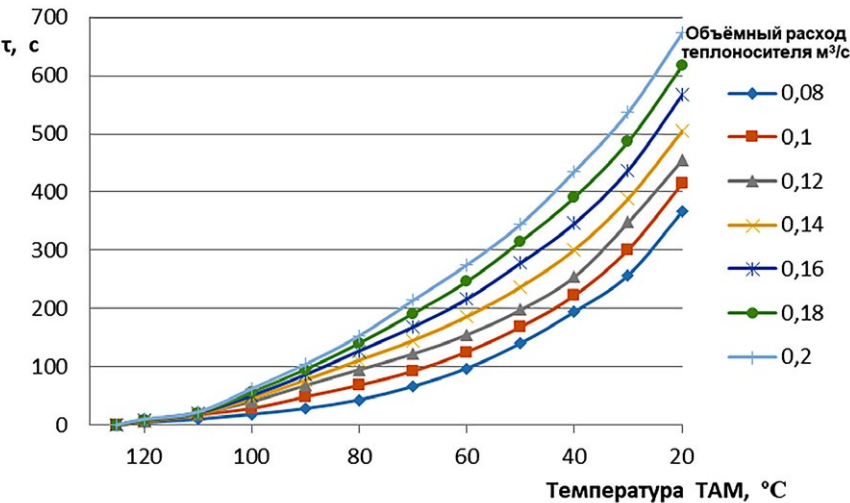


Рис. 4. Зависимости времени разрядки теплового аккумулятора от температуры теплоносителя при различных объёмных расходах теплоносителя.

Fig. 4. Curves of heat accumulator discharging period depending on heat-accumulating material temperature at various coolant rates.

подготовки поршневых двигателей автотранспортных средств в условиях отрицательных температур. Новое техническое решение отличается высокой технологичностью, низкая трудоёмкость, энергоэкономичность. Описанное устройство может применяться для повышения температуры масла смазочной системы, охлаждающей жидкости системы охлаждения и смеси газов атмосферного воздуха в системе питания воздухом. Обязательным условием такого применения является высокая теплоизоляционная эффективность, обеспечивающая (сохраняющая) приобретённую энергию в течение продолжительного времени во избежание саморазрядки по причине теплообменных процессов с окружающей средой.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.В. Колунин — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; В.Н. Каминский — экспертная оценка, утверждение финальной версии; Е.С. Лазарев — редактирование текста рукописи; Д.В. Апелинский — редактирование текста рукописи, создание изображений; М.С. Корытов — создание изображений и таблиц. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции,

проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. A.V. Kolunin — search for publications on the topic of the article, writing the text of the manuscript; V.N. Kaminsky — expert opinion, approval of the final version; E.S. Lazarev — editing the manuscript text; D.V. Apelinsky — editing the manuscript text, creating images; M.S. Korytov — creating images and tables. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing of interests. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колунин А. В. Влияние низких температур окружающей среды на периодичность технического обслуживания силовых установок дорожных и строительных машин: дисс. ... канд. тех. наук. Омск, 2006. EDN: NOLQPP
2. Колунин А.В., Матери И.В., Деревсков Н.Ю. Обзор средств обеспечения пуска дизельных двигателей в условиях отрицательных температур // Стратегическая стабильность. 2021. № 4 (97). С. 34–38. EDN: KHYBCW
3. Селёдкин А.А., Малозёмов А.А. Оценка пусковых характеристик дизелей типа 4ч13/14 и чн13/14 в условиях низких температур окружающего воздуха. В кн.: Материалы Международной научно-технической конференции «Проблемы эксплуатации и обслуживания транспортно-технологических машин». Тюмень. 08 апреля 2009. Тюмень, 2009. С. 305–310.
4. Селёдкин А.А., Малозёмов А.А., Герцев В.В. Эффективность мероприятий по улучшению пусковых характеристик дизелей размерностью 13/14 // Научные проблемы транспорта Сибири и дальнего востока. 2009. № 2. С. 220–223. EDN: LPWZHJ
5. Романов Д.В., Кукис В.С., Малозёмов А.А. Улучшение пусковых качеств дизелей размерностью 13/14 // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2011. № 1. С. 211–214. EDN: LPWZHJ
6. Колунин А.В., Алтухов Я.В., Терзи Д.В. и др. Тепловой аккумулятор как средство повышения пусковой надёжности поршневых двигателей в условиях отрицательных температур. В кн.: Сборник материалов 9 международной научно-технической конференции «Техника и техно-логия нефтехимическо-

го и нефтегазового производства» 2019. Омск: ОмГТУ, 2019. С. 179–180.

7. Патент РФ 2052734 / 20.01.1996. Бюл. №2. Алексеев Г.Л., Борисов С.Ю., Алексеев Г.Л. и др. Аккумулятор теплоты. Дата обращения: 08.10.2023. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_38026453_11655862.pdf EDN: VMTDIY

8. Патент RU 2755235 / 14.09.2021. Бюл. № 26. Шабалин Д.В., Терзи Д.В., Алтухов Я.В. и др. Способ и устройство предпусковой подготовки двигателя внутреннего сгорания. Дата обращения: 08.10.2023. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_46606177_39024178.PDF EDN: DZJMCC

9. Терзи Д.В. Индукционная поддержка работоспособности теплового аккумулятора двигателя в условиях отрицательных температур // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 4(75). С. 145–150. EDN: BTDDKT doi: 10.23968/1999-5571-2019-16-4-145-150

10. Терзи Д.В., Алтухов Я.В. Использование принципа аккумуляции энергии для надежного пуска двигателя в условиях отрицательных температур окружающей среды. В кн.: Материалы II Международной научно-практической конференции «Динамика развития системы военного образования». Часть 2. Омск: ОГТУ, 2020. С. 133–141. EDN: ZYNESH

11. Терзи Д.В., Алтухов Я.В., Матери И.В. Тепловой аккумулятор фазового перехода как средство улучшения пусковых характеристик двигателей в условиях отрицательных температур // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2020. № 5–6 (143–144). С. 92–98. EDN: MJNGCI

REFERENCES

1. Kolunin AV. *Vliyaniye nizkikh temperatur okruzhayushchey sredy na periodichnost tekhnicheskogo obsluzhivaniya silovykh ustanovok dorozhnykh i stroitelnykh mashin* [dissertation] Omsk; 2006. EDN: NOLQPP
2. Kolunin AV, Materi IV, Derevskov NYu. Obzor sredstv obespecheniya puska dizelnykh dvigateley v usloviyakh otritsatelnykh temperature. *Strategicheskaya stabilnost*. 2021;4(97):34–38. EDN: KHYBCW
3. Seledkin AA, Malozemov AA. Otsenka puskovykh kharakteristik dizeley tipa 4ch13/14 i chn13/14 v usloviyakh nizkikh temperatur okruzhayushchego vozdukh. In: *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Problemy ekspluatatsii i obsluzhivaniya transportno-tekhnologicheskikh mashin»*. Tyumen. 08 aprelya 2009. Tyumen; 2009:305–310.
4. Seledkin AA, Malozemov AA, Gertsev VV. Effektivnost meropriyatiy po uluchsheniyu puskovykh kharakteristik dizeley razmernostyu 13/14. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i dalnego vostoka*. 2009;2:220–223. EDN: LPWZHJ
5. Romanov DV, Kukis VS, Malozemov AA. Uluchshenie puskovykh kachestv dizeley razmernostyu 13/14. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dalnego Vostoka*. 2011;1:211–214. EDN: LPWZHJ
6. Kolunin AV, Altukhov YaV, Terzi DV, et al. Teplovoy akkumulyator kak sredstvo povysheniya puskovoy nadezhnosti porshnevnykh dvigateley v usloviyakh otritsatelnykh temperatur. In: *Sbornik materialov 9 mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Tekhnika i tekhnologiya neftekhimicheskogo i neftegazovogo proizvodstva»* 2019. Omsk: OmGTU; 2019:179–180.
7. Patent RUS 2052734 / 20.01.1996. Byul. №2. Alekseev GL, Borisov SYu, Alekseev GL, et al. Akkumulyator teploty. [cited: 08.10.2023] Available from: https://elibrary.ru/download/elibrary_38026453_11655862.pdf EDN: VMTDIY
8. Patent RUS 2755235 / 14.09.2021. Byul. № 26. Shabalin DV, Terzi DV, Altukhov YaV, et al. Sposob i ustroystvo predpuskovoy podgotovki dvigatelya vnutrennego sgoraniya. [cited: 08.10.2023] Available from: https://elibrary.ru/download/elibrary_46606177_39024178.PDF EDN: DZJMMC
9. Terzi DV. Induktsionnaya podderzhka rabotosposobnosti teplovogo akkumulyatora dvigatelya v usloviyakh otritsatelnykh temperature. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2019;4(75):145–150. EDN: BTDDKT doi: 10.23968/1999-5571-2019-16-4-145-150
10. Terzi DV, Altukhov YaV. Ispolzovanie printsipa akkumulirovaniya energii dlya nadezhnogo puska dvigatelya v usloviyakh otritsatelnykh temperatur okruzhayushchey sredy. In: *Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Dinamika razvitiya sistemy voennogo obrazovaniya»*. Omsk: OG TU; 2020:133–141. EDN: ZYN SHK
11. Terzi DV, Altukhov YaV, Materi IV. Teplovoy akkumulyator fazovogo perekhoda kak sredstvo uluchsheniya puskovykh kharakteristik dvigateley v usloviyakh otritsatelnykh temperature. *Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskies sredstva protivodeystviya terrorizmu*. 2020;5–6(143–144):92–98. EDN: MJNGCI

ОБ АВТОРАХ

* Колунин Александр Витальевич,

доцент, канд. техн. наук,
доцент кафедры «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики»;
адрес: Российская Федерация, 107023, Москва,
ул. Большая Семёновская, д. 38
ORCID: 0000-0001-7151-8489;
eLibrary SPIN: 7483-9619;
e-mail: kolunin2003@mail.ru

Каминский Валерий Наумович, д-р техн. наук,
профессор кафедры «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики»;
ORCID: 0000-0002-5430-4304;
eLibrary SPIN: 8509-5210;
e-mail: kamr@mail.ru

Апелинский Дмитрий Викторович,

доцент, канд. техн. наук,
доцент кафедры «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики»;
ORCID: 0000-0003-2841-6895;
eLibrary SPIN: 2311-0480;
e-mail: apelinskiy_mami@mail.ru

Лазарев Евгений Сергеевич,

старший преподаватель кафедры «Теплоэнергетика»;
ORCID: 0000-0002-0226-3678;
eLibrary SPIN: 7069-0551;
e-mail: Incoe@yandex.ru

AUTHORS' INFO

* Alexander V. Kolunin,

Associate Professor, Cand. Sci. (Engineering),
Associate Professor of the Power Plants for Transport and Small Energy Department;
address: 38 Bolshaya Semenovskaya street, 107023 Moscow, Russian Federation;
ORCID: 0000-0001-7151-8489;
eLibrary SPIN: 7483-9619;
e-mail: kolunin2003@mail.ru

Valery N. Kaminsky, Dr. Sci. (Engineering),

Professor of the Power Plants for Transport and Small Energy Department;
ORCID: 0000-0002-5430-4304;
eLibrary SPIN: 8509-5210;
e-mail: kamr@mail.ru

Dmitry V. Apelinsky,

Associate Professor, Cand. Sci. (Engineering),
Associate Professor of the Power Plants for Transport and Small Energy Department;
ORCID: 0000-0003-2841-6895;
eLibrary SPIN: 2311-0480;
e-mail: apelinskiy_mami@mail.ru

Evgeny S. Lazarev,

Senior Lecturer of the Heat Power and Thermal Engineering Department;
ORCID: 0000-0002-0226-3678;
eLibrary SPIN: 7069-0551;
e-mail: Incoe@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author