

УДК 621.436

ПРЕДПУСКОВАЯ ПОДГОТОВКА СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

Эйден Никита Александрович

магистрант

Абросимов Александр Геннадьевич

кандидат технических наук, доцент

AlexAbr84@bk.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. Рассмотрены возможные методы и средства разогрева двигателей внутреннего сгорания транспортных машин, позволяющие осуществить гарантированный его запуск при отрицательных температурах окружающего воздуха без затрат энергии внешних источников. Предложено решения данной проблемы путем применения теплового аккумулятора фазового перехода.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, предпусковая тепловая подготовка, тепловой аккумулирующий материал, тепловой аккумулятор фазового перехода.

В последнее время отмечается повышение интереса к проблеме предпускового разогрева двигателей внутреннего сгорания (ДВС) транспортных машин в условиях низких температур окружающей среды. Это связано, прежде всего, с эксплуатацией большого парка сельскохозяйственной, строительной и автомобильной техники в северных регионах России. Климатические условия нашей страны очень разнообразны, более 50% ее территории лежит севернее изотермы января -20°C [1-5].

Процесс запуска двигателя и подготовки машины к работе в целом продолжается в течение 1 – 3 часов, может и более. Исходя из этого, данная проблема является не только технической, но и социальной, т.к. двигатели многих машин не останавливают на ночное (нерабочее) время.

Проблема предпусковой подготовки ДВС мобильных машин в условиях отрицательных температур широко известна и достаточно глубоко изучена. Ею занимались и занимаются многие отечественные и зарубежные ученые.

Несмотря на это в настоящее время все технические средства облегчения запуска ДВС далеки от совершенства и обладают рядом существенных недостатков.

Решение проблемы пуска дизеля при низкой температуре окружающего воздуха ведется по двум направлениям:

- достижением необходимой пусковой частоты вращения коленчатого вала;
- облегчением воспламенения горючей смеси.

Эти направления реализуются различными способами и средствами. Так, необходимая пусковая частота вращения коленчатого вала двигателя может достигаться за счет снижения сопротивления прокручиванию и увеличения мощности пусковой системы. Сопротивление прокручиванию, в свою очередь, может снижаться как за счет применения декомпрессионных устройств, так и за счет снижения вязкости моторного масла или применения присадок к маслам, снижающих коэффициент трения.

Снижение вязкости моторного масла может достигаться путем

разбавления его дизельным топливом или бензином, которые испаряются в процессе работы двигателя. Однако такой способ не является эффективным.

Облегчение воспламенения горючей смеси возможно за счет использования различных средств и способов, ее подготавливающих, либо за счет внесения конструктивных мер. Для подготовки горючей смеси широкое применение находят устройства для подогрева воздушного заряда, присадки к топливу, облегчающие его воспламенение, легковоспламеняющиеся жидкости. Кроме того, возможно облегчение воспламенения за счет улучшения качества распыливания и смесеобразования, оптимизации качественного состава смеси. Для подогрева воздуха на впуске у современных дизелей используют свечи накаливания и электрофакельные подогреватели. Свечи накаливания, как правило, применяют для дизелей с небольшим рабочим объемом и при температурах окружающего воздуха до -15°C .

Температурный предел пуска значительно расширяется при применении пусковых жидкостей. Наибольшее распространение получили жидкости на основе этилового эфира с добавлением масла с противоизносными и противокоррозионными присадками.

Применение пусковых жидкостей позволяет осуществлять пуск холодного двигателя при температуре окружающей среды до -48°C , вместе с тем они не нашли широкого применения в нашей стране прежде всего из-за дефицита жидкостей, а также при необходимости соблюдения мер безопасности при их хранении и применении.

Кроме разработки традиционных мероприятий, для улучшения условий пуска дизелей, совершенствования их пусковых устройств, существует возможность осуществления ряда конструктивных мер, предназначенных для облегчения пуска дизелей при низких температурах.

Улучшение пусковых качеств двигателей путем внесения конструктивных изменений является возможным и перспективным направлением, но вместе с тем существующие решения требуют доработки, и их внедрение возможно лишь на стадии проектирования двигателя.

Предпусковая тепловая подготовка двигателя решает задачу его пуска комплексно, так как обеспечивает не только облегчение воспламенения рабочей смеси, но и достижение пусковой частоты вращения коленчатого вала. Достигается это поддержанием определенного температурного режима элементов двигателя и рабочих сред, при котором обеспечиваются наименьшие отрицательные воздействия низкой температуры окружающей среды как на пусковые качества двигателя, так и на другие эксплуатационные факторы.

Тепловая подготовка может осуществляться двумя основными способами в зависимости от времени ее проведения: межсменный подогрев, предпусковой разогрев.

При межсменном подогреве температурный режим двигателя поддерживается постоянным в период всего времени хранения машины [2].

Энергия, затрачиваемая для этих целей, идет на компенсацию теплотерь в окружающую среду. Достоинством данного способа является более равномерный прогрев, меньшая теплонапряженность деталей, отсутствие дополнительных трудозатрат и времени на подготовку машины к выходу на линию. При разогреве происходит нагрев деталей двигателя и рабочих сред в течение некоторого короткого промежутка времени непосредственно перед пуском [3].

Анализ показал, что для надежного пуска бензинового двигателя и стабильности его работы необходимо качественное искрообразование и соответствующий состав горючей смеси, которые зависят от следующих факторов: плотности бензина, вязкости бензина, величины поверхностного натяжения бензина, давления насыщенных паров бензина, напряжения и емкости аккумуляторной батареи [6-8].

Проведенные теоретические исследования существующих автономных систем предпусковой тепловой подготовки [7-10] позволяют сделать соответствующие выводы:

Наиболее перспективным направлением в разработке таких систем являются устройства, использующие в качестве источника энергии тепловые

аккумуляторы, утилизирующие вторичные энергоресурсы (теплоту отработавших газов, охлаждающей жидкости ДВС).

Среди тепловых аккумуляторов наиболее перспективными для использования на мобильных машинах являются те, в которых накопление энергии происходит за счет плавления веществ (использование теплоты фазового перехода). Такие аккумуляторы получили название тепловых аккумуляторов фазового перехода (ТАФП). Кроме того, на их основе возможна разработка простых и надежных систем предпусковой тепловой подготовки, не требующих внесения существенных изменений в конструкцию машины.

Существующие системы на основе ТАФП, наряду с рядом достоинств, обладают и существенными недостатками, требующими доработок и новых решений, для обоснования которых необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований.

Совершенствование системы предпусковой тепловой подготовки с ТАФП необходимо вести по двум направлениям:

- а) совершенствование конструкции ТАФП;
- б) совершенствование систем приема и отдачи тепловой энергии.

Среди известных систем предпусковой тепловой подготовки ДВС с ТАФП существуют системы с низкотемпературным тепловым аккумулятором фазового перехода и с высокотемпературным тепловым аккумулятором фазового перехода.

Под тепловым аккумулярованием понимают физические или химические процессы, посредством которых происходит накопление теплоты в тепловом аккумуляторе. В общем случае аккумулялирующая среда может быть твердой, жидкой, газообразной или двухфазной (жидкость и газ). Отсюда вытекает, что теоретически возможны следующие типы ТА: с твердым наполнителем, газовые и фазовые. Если первые два типа аккумуляторов накапливают теплоту только благодаря повышению температурного уровня аккумулялирующей среды, то в фазовых аккумуляторах используется так называемая скрытая теплота фазового перехода. Другими словами, для фазовых ТА энергоемкость

теплового аккумулирования посредством использования теплоты фазового перехода определяется изменением не температуры, а агрегатного состояния аккумулирующей среды при постоянной температуре.

При аккумулировании на основе теплоты фазового перехода обычно используется аккумулирование скрытой теплоты плавления, т.е. ТАФП работает за счет периодически повторяющихся процессов плавления и кристаллизации аккумулирующей среды.

Для более четкого понимания вышеизложенного рассмотрим ТАФП фазового перехода твердое тело-жидкость. Пусть для простоты изложения масса аккумулирующей среды равна единице, например, $m_{ак} = 1$ кг. Если начальная температура твердого тела равна T_1 , температура его плавления равна $T_{пл}$, а температура образовавшейся в результате фазового превращения жидкости – T_2 , причем $T_1 < T_{пл}$ и $T_2 > T_{пл}$, то увеличение удельной энтальпии системы твердое тело-жидкость составит:

$$\Delta h = C_{Pтв}(T_{пл} - T_1) + \Delta h_{пл} + C_{Pж}(T_2 - T_{пл}), \quad (1)$$

где: $C_{Pтв}$, $C_{Pж}$ – удельные теплоемкости соответственно твердой и жидкой фаз при постоянном давлении; $\Delta h_{пл}$ – удельная энтальпия плавления.

Анализируя уравнение (1), можно сделать вывод, что первый член уравнения обозначает изменение внутренней энергии твердой фазы, второй – энтальпию плавления, а третий – изменение внутренней энергии жидкой фазы. Таким образом, из уравнения (1) следует, что ТАФП фазового перехода, кроме удельной энтальпии плавления $\Delta h_{пл}$, аккумулирует также и теплоту нагрева (внутреннюю энергию) твердой фазы и жидкости. Благодаря этому увеличивается тепловая емкость аккумулятора. Но обычно удельная энтальпия плавления $\Delta h_{пл}$ больше первого и третьего слагаемых в уравнении (1), поэтому считают, что аккумулирование тепловой энергии происходит в основном за счет фазового превращения.

Согласно молекулярнокинетическим представлениям, плавление осуществляется следующим образом. При подведении к кристаллическому телу теплоты увеличивается энергия колебаний (амплитуда колебаний) его атомов,

что приводит к повышению температуры тела и способствует образованию в кристалле различных дефектов, например, вакансий – незаполненных узлов кристаллической решетки; нарушений периодичности решетки внедрившимися между ее узлами атомами и др. Постепенный рост числа дефектов и их объединение характеризует стадию предплавления. С достижением $T_{пл}$ в кристалле создается критическая концентрация дефектов, начинается плавление – кристаллическая решетка распадается на легкоподвижные субмикроскопические области. Подводимая при плавлении теплота идет не на нагрев тела, а на разрыв межатомных связей и разрушение дальнего порядка в кристаллах. В самих же субмикроскопических областях ближний порядок в расположении атомов при плавлении существенно не меняется. Этим объясняются меньшие значения теплот плавления по сравнению с теплотами парообразования [6].

Однако не всякие фазовые превращения можно использовать в ТАФП. Существуют фазовые переходы первого и второго рода. Описание этих фазовых переходов осуществляется с помощью основных термодинамических функций, одной из которых является энергия Гиббса, называемая также в литературе изобарно-изотермическим потенциалом или термодинамическим потенциалом. В термодинамике показывается, что свободная энергия Гиббса, определяемая выражением

$$G = H - TS = U - TS + PV, \quad (2)$$

где H – энтальпия системы, T – абсолютная температура, S – энтропия системы, U – внутренняя энергия системы, P – давление, V – объем, занимаемый системой, является функцией состояния системы и определяется двумя параметрами – T и P , т.е.

$$G = G(T, P). \quad (3)$$

Если рассматривать удельную свободную энергию Гиббса (удельный термодинамический потенциал) $g = g(T, P)$, то к фазовым превращениям первого рода относятся такие превращения, при которых первые производные функции

$g=g(T,P)$, меняются скачкообразно. Фазовые превращения, при которых первые производные функции $g=g(T,P)$, остаются непрерывными, а вторые производные меняются скачкообразно, относятся к фазовым превращениям второго рода. Так как

$$s = - \left(\frac{dg}{dT} \right)_p, \quad v = - \left(\frac{dg}{dP} \right)_T \quad (4)$$

то фазовые превращения первого рода характеризуются скачкообразными изменениями либо удельной энтропии s , либо удельного объема v , либо обеих этих величин вместе. Скачкообразное изменение удельной энтропии означает, что фазовое превращение сопровождается выделением или поглощением теплоты. Все фазовые превращения типа плавления, кристаллизации, испарения, конденсации, сублимации, а также превращения одних кристаллических модификаций в другие сопровождаются выделением или поглощением теплоты, а поэтому относятся к превращениям первого рода.

Из формулы (4) следует, что при фазовых превращениях второго рода величины s и v остаются непрерывными. Это означает, что при фазовых превращениях второго рода отсутствует тепловой эффект (тепловая энергия не выделяется и не поглощается) и не изменяется удельный объем аккумулирующей среды. При этих фазовых превращениях скачкообразно меняются другие физические величины: удельная теплоемкость при постоянном давлении C_p , коэффициент теплового расширения $\alpha = \frac{1}{V_0} \left(\frac{dV}{dT} \right)_p$, изотермический коэффициент - $\gamma = \frac{1}{V_0} \left(\frac{dV}{dP} \right)_T$

К фазовым переходам второго рода относятся, например, превращения в ферромагнитных телах в точке Кюри, превращение гелия – 1 в гелий – 2 и другие явления [7].

С учетом рассмотренных выше физических основ аккумулирования теплоты посредством фазовых переходов, к применяемым в ТАФП теплоаккумулирующим материалам должны быть предъявлены следующие требования [8]:

Высокие энтальпия плавления и плотность.

Удобная из эксплуатационных условий температура плавления.

Высокая удельная теплоемкость в твердой и жидкой фазах (если используется и изменение внутренней энергии).

Отсутствие тенденции к расслоению, температурная стабильность.

Отсутствие возможности значительного переохлаждения при кристаллизации.

Незначительное изменение объема при плавлении, т.е. отношение плотности жидкой фазы к плотности твердой фазы должно быть близко к единице.

Слабая химическая активность (это позволяет использовать недорогой материал для изготовления металлоконструкций ТАФП).

Безопасность, т.е. отсутствие ядовитых паров и опасных реакций с теплообменной средой.

Стабильность физикохимических свойств в диапазоне рабочих температур.

Низкая стоимость.

Таким образом, представленный выше материал позволяет сделать следующие выводы:

Из всех известных типов ТА для целей предпускового разогрева ДВС наиболее оптимальным является ТА фазового перехода.

При создании ТАФП, предназначенного для разогрева двигателей, использовать можно только фазовые переходы первого рода, так как они протекают с поглощением или выделением теплоты. Для этой цели лучше всего применим фазовый переход плавление-кристаллизация.

При выборе теплоаккумулирующих материалов (ТАМов) следует руководствоваться сформулированными требованиями.

К основным теплофизическим характеристикам, наиболее влияющим на процессы теплового аккумулирования, можно отнести следующее:

$T_{пл}$ – температура плавления;

$\Delta h_{пл}$ – удельная (молярная) энтальпия плавления;

$\rho_{тв}$, $\rho_{ж}$ – плотность ТАМ в твердой и жидкой фазах;

$C_{тв}$, $C_{ж}$ – удельные (или молярные) теплоемкости ТАМ в твердой и жидкой фазах;

$\lambda_{тв}$, $\lambda_{ж}$ – коэффициенты теплопроводности ТАМ в твердой и жидкой фазах.

В основу расчета системы предпусковой подготовки ДВС положены математические модели процессов зарядки теплового аккумулятора фазового перехода, хранения теплоты в межсменный период и его разрядки. Они позволяют рассчитывать основные теплофизические характеристики процессов и дают возможность всесторонне изучить процессы, проходящие в ТАФП.

Целью создания детерминированной математической модели процесса зарядки ТАФП является получение зависимостей, позволяющих рассчитывать основные теплофизические характеристики этого процесса. Кроме того, с помощью разработанных математических зависимостей появляется возможность всесторонне изучать процесс зарядки ТАФП.

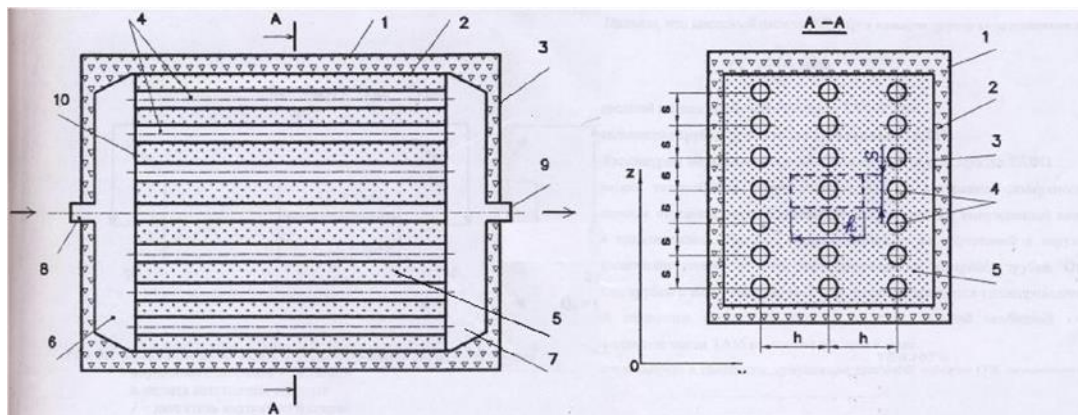


Рисунок 1 – Принципиальная схема теплового аккумулятора фазового перехода: 1 – наружный корпус; 2 – внутренний корпус; 3 – слой тепловой изоляции; 4 – трубы теплообменника; 5 – теплоаккумулирующий материал; 6, 7 – левый и правый бачки (резервуары); 8, 9 – входной и выходной патрубки; 10, 11 – левая и правая трубные доски.

На рис. 1 представлена принципиальная схема ТАФП, который входит в схему функционирования системы ДВС – тепловой аккумулятор фазового перехода рис. 2.

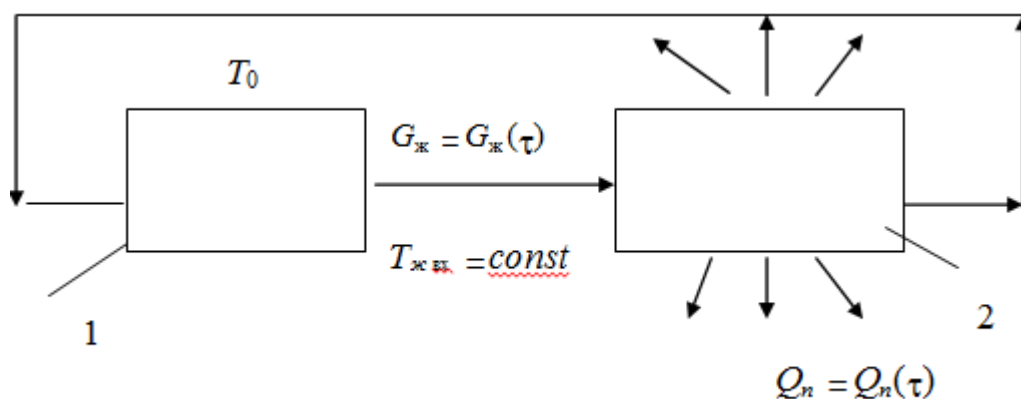


Рисунок 2 – Принципиальная схема функционирования системы двигатель внутреннего сгорания – тепловой аккумулятор фазового перехода в период накопления теплоты: 1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – тепловой аккумулятор фазового перехода

Во время работы ДВС 1 при температуре окружающей среды T_0 поток охлаждающей жидкости (ОЖ) с переменным во времени массовым расходом $G_{ж} = G_{ж}(\tau)$ и постоянной температурой входа $T_{ж\ вх} = const$ поступает в ТАФП 2, отдает часть своей теплоты и с параметрами $G_{ж} = G_{ж}(\tau)$ и $T_{ж\ вх} = T_{ж\ вых}(\tau)$ вновь поступает в ДВС 1, где $T_{ж\ вых}(\tau)$ - температура ОЖ на выходе из ТАФП, часть энергии рассеивается в окружающей среде $Q_n = Q_n(\tau)$.

Накопление в ТАФП теплоты происходит за счет плавления фазопереходного ТАМа 5 (рис.1), когда по трубному теплообменнику 4 проходит поток ОЖ. Слой тепловой изоляции 3 препятствует интенсивному теплообмену ТАМа с окружающей средой.

Требуется получить математические зависимости, позволяющие определить время полной зарядки ТАФП τ_3 , температуру ТАМа T_T и температуру ОЖ на выходе из ТАФП $T_{ж\ вых}$ в каждый момент времени \square в зависимости от $G_{ж}$, $T_{ж\ вх}$, T_0 и начальной температуры ТАМа $T_T\ нач$.

Целью создания детерминированной математической модели процесса зарядки ТАФП является получение зависимостей, позволяющих рассчитывать основные теплофизические характеристики этого процесса.

Целью создания детерминированной математической модели процесса хранения теплоты в ТАФП является получение зависимостей, позволяющих

изучать его функционирование в течение этого процесса.

Основной математической зависимостью для рассматриваемого процесса является зависимость, позволяющая рассчитывать среднюю по всему теплоаккумулирующему объему температуру ТАМа T_T в каждый момент времени τ .

Целью создания детерминированной математической модели процесса разрядки ТАФП является получение зависимостей, позволяющих изучать функционирование системы ТАФП – ДВС в течение этого процесса.

Обобщение результатов по рассматриваемой проблеме позволяет сделать следующие выводы:

ДВС мобильных машин представляют важнейшую основу энергетического обеспечения страны, что особенно актуально в современных условиях. Использование системы предпускового разогрева двигателя позволяет осуществить гарантированный запуск при отрицательных температурах окружающего воздуха без затрат энергии внешних источников. Система предпусковой подготовки ДВС мобильных машин на основе теплового аккумулятора фазового перехода (ТАФП) является принципиально новым и весьма перспективным решением.

Конструкция системы предпускового разогрева двигателя позволяет эксплуатировать ее в трех режимах:

- режим зарядки ТАФП;
- режим хранения теплоты;
- режим разрядки ТАФП (режима разогрева двигателя).

Список литературы:

1. The technique of automated applying of polymer coatings used for repair of tractor parts / D. Psarev, V. Khatuntsev, M. Mishin, S. Astapov, A. Rozhnov // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019. 2019. С. 012011.

2. Хрусталеv, Д.А. Перспективы применения двигателя с внешним подводом теплоты / Д.А. Хрусталеv, А.В. Алехин // Наука и Образование. – 2019. – Т. 2. – № 4. – С. 255.
3. Фирсов, П.В. Современные системы управления механизмами газораспределения двигателя внутреннего сгорания / П.В. Фирсов, Н.А. Эйдзен, А.В. Алехин // Наука и Образование. – 2019. – Т. 2. – № 4. – С. 121.
4. Каданцев С.Н. Пути снижения экономических показателей автомобильного транспорта / С.Н. Каданцев, А.Г. Абросимов // Наука и Образование. – 2020. – Т. 3. – № 2. С. 11.
5. Лубянкин А.Н. Альтернативные виды топлива для повышения экологичности автомобильного двигателя / А.Н. Лубянкин, А.В. Алехин // В сборнике: Приоритетные направления развития садоводства (I Потаповские чтения). Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 85-й годовщине со дня рождения профессора, доктора сельскохозяйственных наук, лауреата Государственной премии Потапова Виктора Александровича. отв. ред. Григорьева Л.В. – 2019. – С. 63-65.
6. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика. Учебное пособие для вузов. 2-е изд., исправленное. М.: Наука, 1979. 552 с.
7. Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии: Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 272 с..
8. Суранов Г.И. Предпусковая подготовка двигателя зимой //Автомобильный транспорт. № 3. 1987. с. 28-31
9. Крамаренко Г.В., Николаев В.А., Шаталов А.И. Безгаражное хранение автомобилей при низких температурах. М.: Транспорт, 1984. 136 с.
10. Исследование состава и свойств обкаточного масла, получаемого на основе отработанного моторного масла / В.В. Остриков, В.И. Вигдорович, С.Н. Сазонов, Д.Н. Афоничев, К.А. Манаенков // Химия и технология топлив и масел. - 2017. - № 5 (603). - С. 11-16.

UDC 621.436

PRE-START PREPARATION OF POWER UNITS

Eidzen Nikita Aleksandrovich

master's student

Abrosimov Alexander Gennadievich

Candidate of technical sciences, Associate Professor

AlexAbr84@bk.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Annotation. Possible methods and means of heating internal combustion engines of transport vehicles are considered, which make it possible to carry out guaranteed start-up at negative ambient temperatures without the consumption of energy from external sources. A solution to this problem is proposed by using a phase transition heat accumulator.

Key words: internal combustion engine, prestarting thermal preparation, thermal storage material, phase transition thermal accumulator.