

ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ ПРЕДПУСКОВОЙ ПОДГОТОВКИ ДВС ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

*П.В. Дружинин, д.т.н., проф.; Е.Ю.Юрчик, соискатель; И.А. Косенков, соискатель
Военный инженерно-технический институт*

В статье рассмотрены возможные методы и средства разогрева двигателей внутреннего сгорания (ДВС) транспортных машин, позволяющие осуществить гарантированный запуск при отрицательных температурах окружающего воздуха без затрат энергии внешних источников. Одним из путей решения данной проблемы является совершенствование системы предпусковой подготовки ДВС транспортных машин на основе теплового аккумулятора фазового перехода (ТАФП). Применение ТАФП дает возможность улучшить эксплуатационные характеристики ДВС, прогнозировать большую работоспособность и долговечность двигателя как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации.

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 .

Процесс запуска холодного двигателя и подготовки машины к работе в зимних условиях может продолжаться в течение 1–3 ч и более. Исходя из этого, данная проблема является не только технической, но и экологической, так как зимой двигатели многих машин не останавливаются в ночное (нерабочее) время.

Проблема предпусковой подготовки ДВС транспортных машин в условиях отрицательных температур широко известна и достаточно глубоко изучена. 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 трем направлениям:

- достижение необходимой пусковой частоты вращения коленчатого вала;
- улучшение воспламенения горючей смеси;

— использование системы предпусковой подготовки.

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 быть снижено как за счет применения декомпрессионных устройств, так и за счет снижения вязкости моторного масла или применения присадок к маслам, снижающим коэффициент трения.

В условиях эксплуатации для снижения вязкости моторного масла часто используют разбавление его дизельным топливом или бензином, которые впоследствии испаряются в процессе прогрева двигателя. Однако такой способ является неэффективным и небезопасным с точки зрения вероятности возникновения задиров движущихся деталей.

Улучшение воспламенения горючей смеси возможно как за счет использования различных средств и способов ее подготовки, так и за счет внесения конструктивных изменений систем воздухооборота и топливоподачи. Для подготовки горючей смеси широкое применение находят устройства для подогрева воздушного заряда, присадки к топливу, облегчающие его воспламенение, легковоспламеняющиеся жидкости. Кроме того, возможно улучшение воспламенения за счет повышения качества распыливания и смесеобразования, оптимизации состава смеси.

Для подогрева воздуха на впуске во впускном коллекторе современных дизелей устанавливают 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 надежного пуска значительно расширяется при применении пусковых жидкостей. Наибольшее распространение получили жидкости на основе этилового эфира с добавлением масла с противоизносными и антикоррозионными присадками.

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

Улучшение пусковых качеств двигателей за счет внесения изменений в конструкцию систем воздухообеспечения и топливоподачи является возможным и перспективным направлением, но вместе с тем существующие решения требуют доработки, и их внедрение иногда возможно только на стадии проектирования двигателя.

Предпусковой подогрев двигателя решает задачу его пуска в условиях низких температур комплексно, так как обеспечивает не только надежное воспламенение рабочей смеси, но и достижение пусковой частоты вращения коленчатого вала. Достигается это поддержанием определенного температурного режима смазочного масла и охлаждающей жидкости, а также элементов конструкции двигателя, при котором обеспечиваются наименьшие отрицательные воздействия низкой температуры окружающей среды как на пусковые качества двигателя, так и на другие эксплуатационные факторы.

Тепловая подготовка в зависимости от времени ее проведения может осуществляться двумя основными способами: межменным подогревом и предпусковым разогревом.

При межменном подогреве температурный режим двигателя поддерживается постоянным в период всего времени хранения машины. 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.

В процессе предпускового подогрева происходит нагрев до оптимальной температуры ($30\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$) деталей двигателя, охлаждающей жидкости и смазочного масла в течение некоторого короткого промежутка времени непосредственно перед пуском.

Опыт показывает, что для надежного пуска из холодного состояния, например, бензинового двигателя необходимо качественное искрообразование и оптимальный состав горючей смеси, качество которой определяют следующие зависящие от температуры факторы: плотность, вязкость, величина поверхностного натяжения и давление насыщенных паров бензина, напряжение и емкости аккумуляторной батареи.

Проведенный анализ существующих способов и автономных систем предпусковой тепловой подготовки двигателей позволяет сделать следующие выводы.

➤ Наиболее перспективным направлением в разработке систем предпускового подогрева являются устройства, использующие в качестве источника энергии тепловые аккумуляторы, утилизирующие теплоту отработавших газов и охлаждающих жидкостей ДВС.

➤ Среди тепловых аккумуляторов наиболее перспективными для использования на транспортных 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 развернутых теоретических и экспериментальных исследований.

➤ Совершенствование системы предпусковой тепловой подготовки на базе ТАФП целесообразно проводить по следующим направлениям:

- совершенствование конструкции ТАФП;
- совершенствование систем приема и отдачи тепловой энергии;
- совершенствование свойств теплоаккумулирующих материалов (ТАМ).

Среди известных систем предпусковой тепловой подготовки ДВС с ТАФП существуют системы с низко- и высокотемпературными тепловыми аккумуляторами 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 следует, что теоретически возможны следующие типы тепловых аккумуляторов: 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 тепловых аккумуляторов их энергоемкость определяется изменением не температуры, а агрегатного состоя-

ния аккумулирующей среды при постоянной температуре.

При аккумулировании теплоты на основе 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 процесса рассмотрим ТАФП фазового перехода из твердого состояния в жидкость. Предположим для простоты анализа, что масса аккумулирующей среды равна единице, например, $m_{\text{ак}} = 1$ кг. Если начальная температура твердого тела равна T_1 , температура его плавления равна $T_{\text{пл}}$, а температура образовавшейся в результате фазового превращения жидкости — T_2 (причем $T_1 < T_{\text{пл}}$ и $T_2 > T_{\text{пл}}$), то увеличение удельной энтальпии системы твердое тело—жидкость составит:

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

где $C_{\text{рт}}$, $C_{\text{рж}}$ — удельные теплоемкости соответственно твердой и жидкой фаз при постоянном давлении; $\Delta h_{\text{пл}}$ — удельная энтальпия плавления.

Первый член уравнения (1) 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 $\Delta h_{\text{пл}}$, аккумулирует также и теплоту нагрева (внутреннюю энергию) твердой фазы и жидкости. Благодаря этому увеличивается тепловая емкость аккумулятора. Но обычно удельная энтальпия плавления $\Delta h_{\text{пл}}$ значительно больше первого и третьего слагаемых в уравнении (1), поэтому считают, что аккумулирование тепловой энергии происходит в основном за счет фазового превращения.

Согласно молекулярно-кинетическим 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 $T_{\text{пл}}$ 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 теплоты плавления по сравнению с теплотой парообразования [1].

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. Из термодинамики известно, что свободная энергия Гиббса является функцией состояния системы и определяется двумя параметрами — T и P и описывается уравнением

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

где H — энтальпия системы; T — абсолютная температура; S — энтропия системы; U — внутренняя энергия системы; P — давление; V — объем, занимаемый системой, 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. 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 $\alpha = 1/V_0(dV/dT)_p$, изотермический коэффициент — $\gamma = 1/V_0(dV/dP)_T$.

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

Таким образом, рассмотренные выше основы теории фазового перехода позволяют сделать следующие выводы:

➤ из всех известных типов тепловых аккумуляторов для целей предпускового разогрева ДВС наиболее оптимальным является тепловой аккумулятор 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.

С учетом рассмотренных физических основ процесса аккумулирования теплоты посредством фазовых переходов, применяемые в ТАФП теплоаккумулирующие материалы (ТАМ) должны удовлетворять следующим требованиям [3]:

- 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 физико-химических свойств в диапазоне рабочих температур;

— низкая стоимость.

На рисунке представлена принципиальная схема ТАФП, который встраивается в систему предпускового подогрева ДВС.

Работа системы предпускового подогрева ДВС с использованием ТАФП осуществляется следующим образом. Во время работы ДВС при температуре окружающей среды T_0 поток охлаждающей жидкости с переменным во времени массовым расходом $G_{ж} = G_{ж}(\tau)$ и постоянной температурой входа $T_{ж. вх} = \text{const}$ поступает в ТАФП, где отдает часть своей теплоты и с параметрами $G_{ж} = G_{ж}(\tau)$ и $T_{ж. вх} = T_{ж. вых}(\tau)$ вновь возвращается в ДВС. Часть энергии рассеивается в окружающей среде $Q_n = Q_n(\tau)$.

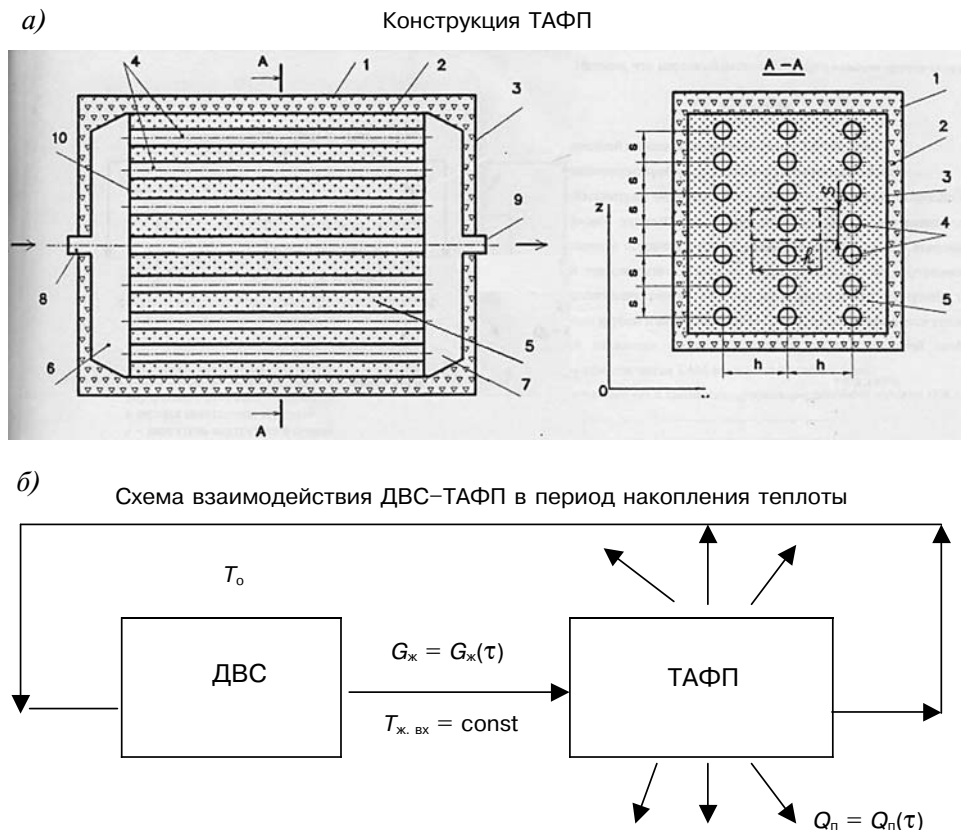


Рис. Принципиальная схема теплового аккумулятора фазового перехода:

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

Накопление в ТАФП теплоты происходит за счет плавления ТАМ 5 (см. рисунок), когда по трубному теплообменнику 4 проходит поток охлаждающей жидкости. Слой тепловой изоляции 3 препятствует интенсивному теплообмену ТАМ с окружающей средой.

К основным теплофизическим характеристикам, наиболее влияющим на процессы теплового аккумулярования, 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 межсменном периоде и его разрядки. Они позволяют рассчитывать основные теплофизические характеристики процессов и дают возможность всесторонне изучить процессы, проходящие в ТАФП.

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

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

Использование математических моделей, описывающих процессы в ТАФП, позволяют определить время полной зарядки ТАФП τ_3 , температуру ТАМ T_t и температуру охлаждающей жидкости на выходе из ТАФП $T_{ж. вых}$ в каждый момент времени τ в зависимости от $G_{ж}$, $T_{ж. вх}$, T_0 и начальной температуры ТАМ $T_{т. нач}$, а также рассчитать основные геометрические размеры ТАФП с различными теплоаккумулирующими материалами для ДВС различной мощности.

Основным преимуществом системы предпускового подогрева двигателя на базе ТАФП является то, что гарантированный запуск может быть осуществлен при отрицательных температурах окружающего воздуха без затрат энергии внешних источников.

Таким образом, рассмотренная в статье система предпусковой подготовки ДВС транспортных машин на основе теплового аккумулятора фазового перехода — принципиально новое и весьма перспективное решение.

Литература

1. Данилин В.Н. Физическая химия тепловых аккумуляторов: учебное пособие. — Краснодар : изд-во КПИ, 1981. — 91с.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика: учебное пособие для вузов. — 2-е изд., исправленное. — М. : Наука, 1979. — 552 с.
3. Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумулярование энергии: пер. с англ. — М. : Мир, 1987. — 272 с.
4. Суранов Г.И. Предпусковая подготовка двигателя зимой // Автомобильный транспорт. — 1987. — № 3. — С. 28–31.
5. Крамаренко Г.В., Николаев В.А., Шаталов А.И. Безгаражное хранение автомобилей при низких температурах. — М. : Транспорт, 1984. — 136 с.

ПРЕДЛАГАЕМ РАЗМЕЩЕНИЕ РЕКЛАМЫ **Ориентировочные тарифы на 1 полугодие 2010 г.**

Первая страница обложки	Полноцветная	34 000 руб.
Вторая и третья страницы обложки	Полноцветная	30 000 руб.
Четвертая страница обложки	Полноцветная	32 000 руб.
Внутри журнала из расчета одна страница формата А4	Полноцветная	30 000 руб.
	Черно-белая	26 000 руб.