

УДК: 621.43

**ПРЕДПУСКОВАЯ ПОДГОТОВКА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ  
С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛООВОГО АККУМУЛЯТОРА ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА  
С ИНДУКЦИОННЫМ УСТРОЙСТВОМ ЭЛЕКТРОПОДОГРЕВА**

**PRESTARTING OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE USING  
A PHASE TRANSITION HEAT ACCUMULATOR  
WITH AN INDUCTION ELECTRIC HEATING DEVICE**

*Д.В. Терзи, д-р техн. наук Д.В. Шабалин, канд. техн. наук Я.В. Алтухов*

*D.V. Terzi, DPhil D.V. Shabalin, PhD Ya.V. Altuhov*

*Филиал ВА МТОим. А.В. Хрулева МО РФ в г. Омске*

В данной статье рассматривается способ предпусковой подготовки двигателя внутреннего сгорания с помощью теплового аккумулятора фазового перехода с индукционным устройством электроподогрева, реализующий возможность накапливать тепловую энергию при работающем и выключенном двигателе, и отдавать ее теплоносителю системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания, с целью поддержания его требуемой температуры, необходимой для надежного пуска двигателя в условиях отрицательных температур окружающей среды. Данный способ реализуется при помощи циркуляции подготовленной порции теплоносителя из теплового аккумулятора фазового перехода с индукционным устройством электроподогрева по системе охлаждения двигателя внутреннего сгорания.

**Ключевые слова:** тепловой аккумулятор фазового перехода, индукционное устройство электроподогрева, надежный пуск, предпусковая подготовка.

This article discusses a method for pre-starting preparation of an internal combustion engine using a phase transition heat accumulator with an induction electric heating device, which implements the ability to accumulate heat energy when the engine is running and turned off and give it to the coolant of the internal combustion engine cooling system, in order to maintain its required temperature necessary for reliable engine start-up in conditions of negative ambient temperatures. This method is implemented by circulating a prepared portion of the heat carrier from the phase transition heat accumulator with an induction electric heating device through the cooling system of the internal combustion engine.

**Keywords:** phase transition thermal accumulator, induction electric heating device, reliable start-up, pre-start preparation.

Большая часть территории Российской Федерации (Арктика, Карельский полуостров, Урал, Сибирь и Дальний Восток) расположена в холодных климатических зонах. Около половины данных регионов имеют температуру наиболее холодных суток ниже минус 40 °С [1].

Отрицательные температуры окружающей среды и связанное с этим охлаждение агрега-

тов и эксплуатационных материалов затрудняют пуск двигателя внутреннего сгорания (ДВС), уменьшают стабильность работы отдельных систем двигателя на всех режимах. Трудности пуска ДВС возникают из-за сложности создания пусковой частоты вращения коленчатого вала двигателя, ухудшения условий смесеобразования и воспламенения смеси. Важно отметить,

что при температуре минус 25–30 °С и ниже, время, необходимое на подготовку ДВС к принятию нагрузки образцов вооружения и военной техники (ВВТ) часто достигает 25–30 мин. При этом на пусковых режимах повышается интенсивность изнашивания основных сопряжений, что снижает долговечность ДВС. Серийные образцы ВВТ не в полной мере соответствуют надежности их работы в холодное время года. Пуск таких ДВС в условиях преобладающего безгаражного хранения превращается в комплекс проблемных вопросов. Одним из проблемных вопросов является обеспечение надёжного пуска ДВС [2].

Надёжный пуск двигателя непосредственно связан с экологической составляющей эксплуатации. Необходимость защиты окружающей среды от воздействия вредных выбросов является приоритетной задачей для всего человечества. В рамках решения проблемы низкой надёжности пуска существует практика круглосуточной работы двигателей. Проблема предпусковой подготовки и облегчения пуска ДВС в условиях отрицательных температур окружающей среды широко известна. В настоящее время ведутся поиски новых путей повышения надёжности пуска двигателей техники, эксплуатируемой в условиях отрицательных температур окружающей среды.

Несмотря на длительный период исследований, нет единого подхода к решению настоящего проблемного вопроса. Имеется комплекс технических средств предпусковой подготовки и облегчения пуска двигателей, каждое из которых обладает своими достоинствами и недостатками. Далеко не все предприятия, эксплуатирующие технику в условиях отрицательных температур окружающей среды, обеспечены технологическим оборудованием для осуществления предпусковой подготовки и облегчения пуска двигателя.

Одним из кардинальных путей решения данной проблемы, на наш взгляд, является использование в качестве источника энергии устройства, способного накапливать и хранить тепловую энергию, выделяемую двигателем. Такие устройства получили название «тепловые аккумуляторы». Из известных типов тепловых аккумуляторов, в целях предпусковой подготовки двигателей, наиболее приемлемым является тепловой аккумулятор фазового перехода (ТАФП) первого рода «плавление — кристаллизация», с тепло-

вым эффектом — выделением или поглощением тепловой энергии фазового перехода [3, 4].

При анализе научных исследований в данной области вызывает интерес патент № 2187049 на «Тепловой аккумулятор фазового перехода» [5]. Конструктивно тепловой аккумулятор состоит из теплоизолированного цилиндрического корпуса, съёмной крышки, входного и выходного отверстий. В эти отверстия запрессованы впускная и выпускная трубы. Внутри корпуса находится теплообменник, состоящий из коаксиально расположенных цилиндрических капсул. Капсулы заполнены теплоаккумулирующим материалом (ТАМ). Теплообменник монтируется на съёмной крышке при помощи болтового соединения и крепится к корпусу [5].

Недостатком данного ТАФП является отсутствие возможности поддержания в течение длительного промежутка времени требуемой температуры теплоносителя при неработающем (выключенном) ДВС в условиях отрицательных температур окружающей среды.

С учётом указанного недостатка в 2014 году был зарегистрирован патент № 2506503 на «Тепловой аккумулятор фазового перехода с саморегулируемым устройством электроподогрева», состоящий из наружного и внутреннего корпусов с тепловой изоляцией между ними, цилиндрических капсул с ТАМ, входного и выходного патрубков, крышки из диэлектрического материала, съёмной крышки, саморегулирующихся нагревательных элементов на позисторной керамике и корпуса нагревательного элемента [6].

Недостатком данного ТАФП с саморегулируемым устройством электроподогрева являются значительные затраты энергии на работу нагревательных элементов на позисторной керамике и низкая эффективность предложенной конструкции подогрева с использованием саморегулирующихся нагревательных элементов, не позволяющих обеспечить быстрый и равномерный нагрев цилиндрических капсул с ТАМ.

Принимая во внимание перечисленные недостатки, авторами статьи в 2019 году был зарегистрирован патент № 189233 на «Тепловой аккумулятор фазового перехода с индукционным устройством электроподогрева», содержащий: наружный корпус и отделенный от него тепловой изоляцией внутренний корпус из диэлектрического материала, металлические цилиндриче-

ские капсулы с ТАМ, входной и выходной патрубков, крышку из диэлектрического материала, ввод электропитания, обмотку индукционного устройства электроподогрева [7].

Недостатком данного теплового аккумулятора фазового перехода (ТАФП) с индукционным устройством электроподогрева является необходимость использования ТАФП с большими массогабаритными характеристиками, так как для тепловой подготовки ДВС с целью его надежного пуска необходимо большое количество тепловой энергии; значительные потери тепловой энергии индукционного устройства электроподогрева в окружающую среду, ввиду исполнения наружного корпуса из диэлектрического материала, который по своим физическим свойствам очень слабо поглощает электромагнитное излучение; малая площадь теплообмена теплоносителя с металлическими цилиндрическими капсулами с ТАМ и наоборот, что ведет к увеличению времени зарядки и разрядки ТАФП.

Сокращение массогабаритных характеристик ТАФП, способного увеличить скорость нагрева теплоносителя в объеме внутреннего корпуса теплового аккумулятора, повышение эффективного и равномерного нагрева ТАМ с минимальными затратами электроэнергии и возможностью применения бортовых источников питания являются приоритетными задачами в рамках развития современных ТАФП [8].

Решение данных задач, на наш взгляд, может быть достигнуто за счет циркуляции подогретой порции теплоносителя из ТАФП в рубашку системы охлаждения (СО) ДВС, установки индукционного устройства электроподогрева в металлическом внутреннем корпусе ТАФП, увеличения площади теплообмена теплоносителя с индукционным устройством электроподогрева, металлическими полыми трубками с ТАМ и металлическим внутренним корпусом ТАФП.

Предложенный способ предпусковой подготовки двигателя внутреннего сгорания с помощью ТАФП с индукционным устройством электроподогрева (рис. 1) позволит значительно уменьшить массогабаритные характеристики ТАФП, увеличить скорость нагрева теплоносителя в ТАФП, и время поддержания требуемой температуры теплоносителя в объеме внутреннего корпуса ТАФП, при неработающем (выключенном) ДВС.

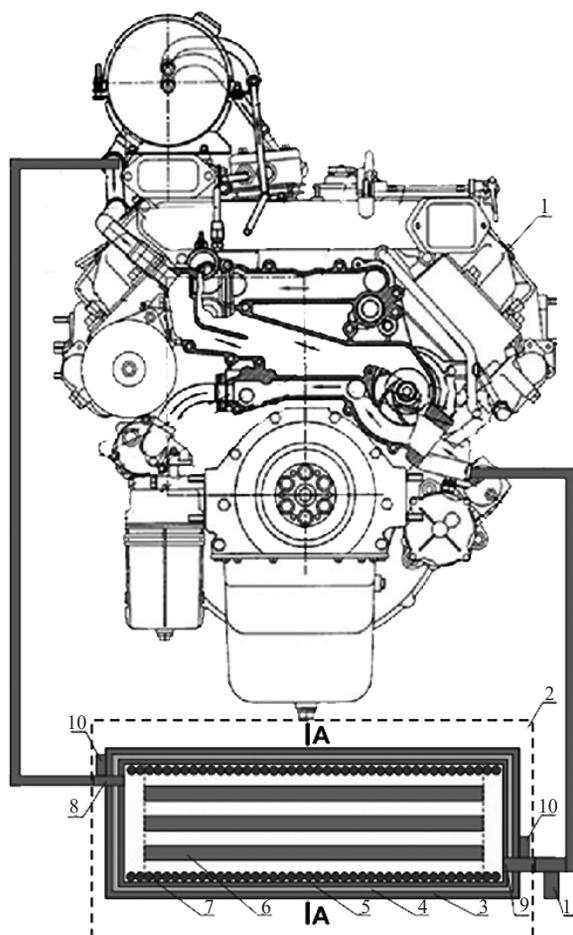


Рис. 1. Схема предпусковой подготовки двигателя внутреннего сгорания с помощью теплового аккумулятора фазового перехода с индукционным устройством электроподогрева

Способ предпусковой подготовки двигателя внутреннего сгорания с помощью ТАФП с индукционным устройством электроподогрева поясняется рис. 1, на котором представлена его принципиальная схема. Он состоит из ДВС 1, ТАФП 2, состоящего из металлического наружного корпуса 3, отделенного от него тепловой изоляцией из стекловолкна 4, металлического внутреннего корпуса 5, внутри которого размещены металлические полые трубки с ТАМ 6 и обмотка индукционного устройства электроподогрева 7, входной патрубков 8, выходной патрубков 9, два клапана с температурным датчиком 10, и электрического жидкостного насоса 11.

На рис. 2 изображен ТАФП 2 в разрезе, с обозначением его основных элементов: металлического наружного корпуса 3, отделенного от него тепловой изоляцией из стекловолкна 4, ме-

таллического внутреннего корпуса 5, внутри которого размещены металлические полые трубки с ТАМ 6 и обмотка индукционного устройства электроподогрева 7.

На рис. 3 изображена металлическая полая трубка с ТАМ 6 в разрезе, с обозначением её основных элементов: внешняя стенка металлической полый трубки 1, ТАМ 2, внутренняя стенка металлической полый трубки 3.

Предложенный способ предпусковой подготовки ДВС функционирует в трех режимах: режим накопления тепловой энергии (зарядка), режим хранения накопленной тепловой энергии и режим предпусковой тепловой подготовки ДВС (разрядка).

Режим «зарядка» (рис. 1). Накопление ТАФП 2 тепловой энергии осуществляется при работе ДВС 1, за счёт теплообмена теплоносителя СО ДВС 1 с металлическими полыми трубками с ТАМ 6. Теплоноситель подводится через входной патрубок 8, проходит через металлические

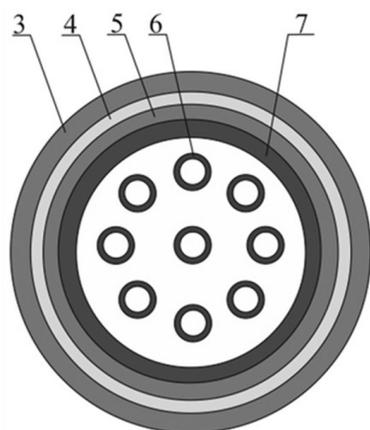


Рис. 2. Тепловой аккумулятор фазового перехода с индукционным устройством электроподогрева в разрезе

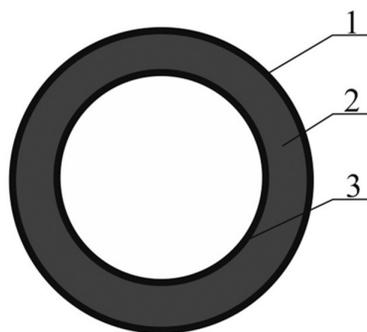


Рис. 3. Металлическая полый трубка с теплоаккумулирующим материалом в разрезе

полые трубки с ТАМ 6 и щелевые зазоры между ними, нагревает их и отводится через выходной патрубков 9. При этом ТАМ 2 (рис. 3) нагревается в твёрдой фазе до температуры плавления, плавится, а затем нагревается в жидкой фазе до температуры, при которой наступает тепловое равновесие между ним и теплоносителем.

Режим «хранение» (рис. 1). Сохранность накопленной тепловой энергии (сведения к минимуму его утечки) осуществляется за счет наличия между наружным корпусом 3 и внутренним корпусом 5 тепловой изоляции 4 из стекловолокна. Во время понижения температуры теплоносителя (остывания) в ТАФП 2 до наступления температурного равновесия между теплоносителем и ТАМ 2, по сигналу электронного блока управления (ЭБУ) (на рисунке не показан), происходит кратковременная подача тока (от аккумуляторных батарей или внешнего источника электрической энергии) на обмотку индукционного устройства электроподогрева 7, образующее переменное электромагнитное поле, бесконтактно передающее тепловую энергию металлическим полым трубкам с ТАМ 6, а также металлическому внутреннему корпусу 5 ТАФП 2, что, в свою очередь, увеличивает время поддержания (хранения), требуемой температуры теплоносителя в объеме внутреннего корпуса ТАФП 2 при неработающем (выключенном) ДВС 1.

Режим «разрядка» (рис. 1). Предпусковая подготовка ДВС 1 осуществляется за счет подачи в рубашку СО ДВС 1 подогретой порции теплоносителя из ТАФП 2. Циркуляция теплоносителя обеспечивается с помощью электрического жидкостного насоса 11, который закачивает в рубашку СО ДВС 1 подогретую порцию теплоносителя, вытесняя охлажденный теплоноситель в ТАФП 2. Попадая в ТАФП 2, охлажденная порция теплоносителя подогревается, контактируя с металлическими полыми трубками с ТАМ 6, обмоткой индукционного устройства электроподогрева 7 и металлическим внутренним корпусом 5. Вследствие чего, ТАМ 2 (рис. 3) претерпевает обратимый фазовый переход из жидкого состояния в твердое и выделяет скрытую тепловую энергию. При достижении ТАМ 2 температуры 50 °С, по сигналу ЭБУ, происходит кратковременная подача тока на обмотку индукционного устройства электроподогрева 7, в результате воздействия переменного

электромагнитного поля происходит подогрев металлических полых трубок с ТАМ 6 и металлического внутреннего корпуса 5 ТАФП 2. Вследствие чего, происходит подогрев очередной порции теплоносителя в ТАФП 2. Данный цикл повторяется до тех пор, пока в ТАФП 2 не начнет поступать теплоноситель из СО ДВС 1, температура которого не ниже 10 °С.

Изложенный в статье способ предпусковой подготовки ДВС позволяет накапливать тепловую энергию при работающем ДВС во время хранения теплоносителя в ТАФП, а также во время предпусковой подготовки ДВС (при выключенном ДВС) и отдавать ее теплоносителю СО ДВС с целью поддержания его требуемой температуры, необходимой для надежного пуска в условиях отрицательных температур окружающей среды.

Внедрение данного способа предпусковой подготовки ДВС в практику эксплуатации ВВТ улучшит пусковые качества двигателя, сократит время, необходимое на подготовку ДВС к принятию нагрузки при безгаражном хранении образцов ВВТ в холодных климатических зонах, а также повысит показатели боевой готовности.

### Литературы

1. Семёнов Н.В. Эксплуатация автомобилей в условиях отрицательных температур. — М.: Транспорт. 2013. 190 с.
2. Крамаренко Г.В., Николаев В.А., Шаталов А.И. Безгаражное хранение автомобилей при низких температурах. — М.: Транспорт. 2004. 136 с.
3. Шульгин В.В. Теория и практика применения в автотранспортных средствах тепловых аккумуляторов фазового перехода. — СПб. 2005. 361 с.
4. Косенков И.А. Совершенствование системы предпусковой тепловой подготовки тракторных дизелей путем использования аккумулированной энергии. — СПб. 2011. 166 с.
5. Патент РФ № 2000132463/06, 10.08.2002. Шульгин В.В., Гулин С.Д., Никифоров Г.И., Кинев Ю.Г., Крапивко О.В., Золотарев Г.М. Тепловой аккумулятор фазового перехода // Патент России № 2187049. 2000. Бюл. № 22.
6. Патент РФ № 2012145181/06, 10.02.2014. Бублий С.А., Бублий И.А., Савчук С.В., Котровская И.О., Котровский А.В., Котровский А.А.,

Фролов А.Л. Тепловой аккумулятор фазового перехода с саморегулируемым устройством электроподогрева // Патент России № 2506503. 2012. Бюл. № 4.

7. Патент РФ № 2018141661, 16.05.2019. Шабалин Д.В., Терзи Д.В., Алтухов Я.В., Касай С.А., Агафонов Д.С. Тепловой аккумулятор фазового перехода с индукционным устройством электроподогрева // Патент России № 189233. 2018. Бюл. № 14.

8. Терзи Д.В. Индукционная поддержка работоспособности теплового аккумулятора двигателя в условиях отрицательных температур // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 4. С. 145–150.

### References

1. Semyonov N.V. Operation of cars in freezing temperatures. — Moscow. Transport. 2013. 190 p.
2. Kramarenko G.V., Nikolaev V.A., Shatalov A.I. Storage of vehicles at low temperatures without any damage. — Moscow. Transport. 2004. 136 p.
3. Shul'gin V.V. Theory and practice of application of phase transition thermal accumulators in motor vehicles. — Sankt-Peterburg. 2005. 361 p.
4. Kosenkov I.A. Improvement of the pre-start thermal preparation system for tractor diesel engines by using accumulated energy. — Sankt-Peterburg. 2011. 166 p.
5. Patent RF № 2000132463/06, 10.08.2002. Shul'gin V.V., Gulin S.D., Nikiforov G.I., Kinev Yu.G., Krapivko O.V., Zolotarev G.M. Phase change heat accumulator // Patent of Russia № 2187049. 2000. Byul. № 22.
6. Patent RF № 2012145181/06, 10.02.2014. Bublik S.A., Bublik I.A., Savchuk S.V., Kotrovskaya I.O., Kotrovskij A.V., Kotrovskij A.A., Frolov A.L. Phase change heat accumulator with self-regulating electric heating device // Patent of Russia № 2506503. 2012. Byul. № 4.
7. Patent RF № 2018141661, 16.05.2019. Shabalin D.V., Terzi D.V., Altuhov Ya.V., Kasaj S.A., Agafonov D.S. Phase change heat accumulator with induction electric heating device // Patent of Russia № 189233. 2018. Byul. № 14.
8. Terzi D.V. Induction support for the performance of the heat accumulator of the engine in conditions of negative temperatures // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2019. № 4. P. 145–150.