

ТЕПЛОВОЙ АККУМУЛЯТОР ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

Фень Кирилл Николаевич

МБОУ Школа № 163 г.о. Самара, moy163@yandex/ru

Аннотация: Проект предполагает разработку ТА фазового перехода для дизеля транспортного средства.

Ключевые слова: тепловой аккумулятор (ТА); охлаждающая жидкость (ОЖ); дизельный двигатель (ДД); теплоаккумулирующий материал (ТАМ); аккумуляторы теплового фазового перехода (АТФП).

K.Fen (Russia). PHASE TRANSITION HEAT ACCUMULATOR.

Annotation: The project involves the development of a phase transition TA for a diesel vehicle.

Keywords: thermal accumulator (TA); cooling liquid (COOLANT); diesel engine (DD); heat accumulating material (TAM); thermal phase transition accumulators (ATFP).

Освоение Арктической зоны в условиях удаленности от основных промышленных центров страны создает необходимость в строительстве большой сети железных и автомобильных дорог, как для поддержания высокого уровня добычи полезных ископаемых, так и для снабжения арктических регионов.

Наиболее дешевым, всесезонным и надежным является железнодорожный транспорт. Решение всего спектра транспортных проблем может быть осуществлено путем развития в Арктическом регионе железнодорожной инфраструктуры.

Наиболее востребованным железнодорожным транспортом в Арктической зоне считаются тепловозы, работающие на ДД.

При эксплуатации ДД при низких температурах окружающей среды возникает ряд проблем.

В своей работе мы попытались предложить одно из решений возникающих проблем.

Цель работы: изучение вопросов связанных с эксплуатацией транспортных дизелей при низких температурах окружающей среды и разработка теплового аккумулятора фазового перехода, его расчетное исследование, с целью оценки эффективности.

Как правило, большие ДД, такие как двигатели тепловозов, не выключаются при холодных погодных условиях из-за трудности перезапуска. ДД не имеют электрической искры для производства сгорания, а должны использовать тепло, генерируемое сжатием воздуха, чтобы воспламенить топливо в цилиндрах двигателя.

Если температура значительно ниже, то запуск двигателей обычным способом практически невозможен, а повреждение стартеров и внутренних механических компонентов двигателя может быть вызвано принудительным запуском.

Обычно в железнодорожном дизельном оборудовании в качестве ОЖ для двигателя используется вода без антифриза (могут быть и другие добавки, но характеристики замораживания по-прежнему те же, что и у обычной воды), так что температура ОЖ не должна опускаться ниже 0 С.

Дизельное топливо при низких температурах проявляет плохие вязкие качества, что, то же затрудняет запуск двигателя.

Кроме того, моторное масло, обеспечивающее смазку двигателя, наиболее эффективно работает в определенных температурных значениях, обычно соответствующих нормальной рабочей температуре двигателя. В холодном состоянии моторное смазочное масло может препятствовать запуску двигателя, возрастает сопротивление проворачиванию коленчатого вала. При низких температурах значительно ухудшается состояния аккумуляторных батарей, снижается их емкость и возрастает внутреннее сопротивление, что вызывает уменьшение крутящего момента стартера и быструю разрядку батарей.

Таким образом, в холодную погоду, обычной практикой является работа дизельного оборудования на холостых оборотах или низких скоростях.

Это имеет ряд очевидных недостатков: большой расход топлива; длительные периоды работы на низких скоростях может привести к внутренним повреждениям стенок цилиндров; увеличение образования атмосферных загрязняющих веществ; фактор шума, непрерывная работа большого дизельного двигателя на холостом ходу создает много шума.

Методы предпусковой подготовки ДД тепловозов:

1. Метод («stop-start»), метод автоматической остановки и запуска ДД в зависимости от его температуры.

Метод предназначен для самостоятельного включения и выключения тепловоза и для обеспечения необходимой температуры ДД, напряжения в аккумуляторных батареях и давления в тормозной системе.

Проблемы: расход ресурса ДД, разрядка аккумуляторных батарей, небольшое снижение расхода топлива.

2. Метод прогрева ДД от внешней тепловой гидравлической установки.

Устройство состоит из бака с горячей водой, шланга и гидравлического насоса.

Проблема: устройство является стационарным, обладает слабой надежностью.

3. Метод подогрева ДД от внешнего источника электроэнергии.

Устойчивая работа обеспечивается дополнительным источником питания с напряжением 380 В.

Метод контролирует автоматическое обеспечение температуры ОЖ от 20 до 80 0С, на морозе до 50 0С, электрический обогрев кабины управления, зарядку аккумуляторной батареи и регулярную прокачку масла.

При работе на холостом ходу можно сократить затраты топлива при прогреве ДД около 100 кг.

Проблемы: дополнительный источник питания с напряжением 380В и мощностью 100 кВА., что невозможно обеспечить в пути следования.

4. Метод электрического подогрева ДД от вспомогательной дизель генераторной установки.

Устройство обогрева, располагается под капотом в задней части тепловоза и не предполагает дополнительного электропитания для нахождения аккумуляторной батареи в рабочем состоянии, обеспечивает допустимую температуру масла, воды и температуру в кабине машиниста около 10С.

Устройство самостоятельно включает и выключает основной ДД и систему обогрева, напряжения аккумулятора и давления в тормозной системе для сокращения часов работы ДД.

Проблемы: малый КПД из-за неоднократного преобразования энергии, цена; недостаточный ресурс электрических нагревателей; негде размещать, особенно на маневренных тепловозах; увеличение дополнительных средств на обслуживание дополнительного ДВС.

5. Метод подогрева ДД с помощью тепловых генераторов.

Для нагрева использует котлы — теплообменники (энергия сгорания топлива непосредственно преобразуется в тепло). Выхлопные газы могут отапливать секции охлаждения.

Проблемы: три тепловых генератора (водяной, масляный и воздушный для обогрева кабины машиниста), дополнительные аккумуляторные батареи, выхлопные газы, обогревающие секции охлаждения при продолжительной работе загрязняют секции, что приводит к ухудшению их работы, так же возможно попадание выхлопных газов воздушного теплового генератора в кабину машиниста, три дополнительных топливных привода малого сечения, от топливного бака может привести к их замерзанию.

Перспективным направлением развития технологии аккумуляции тепловой энергии рассматривается аккумулялирование за счет явления фазового перехода материала.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ АТФП

Аккумуляторы, которые используют тепловые эффекты обратных реакций фазовых переходов, характеризуются более высокой плотностью энергии тела при небольшом объеме ТАМ и имеют практически постоянную температуру разрядки.

Для ТАМ применяются материалы имеющие возможность фазового перехода из твердого в жидкое состояние. Отбор ТАМ происходит по характеристикам: температура плавления, теплота фазового перехода, теплопроводность, устойчивость к цикличности работы, технологичность, коррозионная активность, доступность, нетоксичность.

Критериями, определяющими экономичность АТФП: температура плавления и теплота фазового перехода.

Главной задачей является разработка конструкции теплоаккумулирующего аппарата.

Разработанны виды АТФП: ТА, реализующие пассивный способ теплообмена и ТА, реализующие активный способ теплообмена.

ТА, реализующие пассивный способ теплообмена: капсульный и кожухотрубный.

Преимущество: простые, не имеют подвижных частей, более надежны.

Недостаток: ухудшение процесса теплообмена с теплоносителем системы теплоснабжения вследствие увеличения слоя кристаллизующегося ТАМ.

ТА, реализующие активный способ теплообмена.

Проблемы: сложность конструкции и технологического процесса, требуют постоянный контроль и обслуживание.

При анализе сделан вывод: расходы на аккумуляторы, использующие активный способ теплообмена, практически сопоставимы (70-90% от себестоимости пассивного АТФП) по себестоимости с аккумуляторами пассивного теплообмена, могут быть дороже аналогичного ТА пассивного теплообмена почти в 2 раза.

РАЗРАБОТКА АТФП

Для предпусковой подготовки дизеля тепловоза предлагаем использовать три ТА схожей конструкции: для масла, надувочного воздуха. Каждый ТА подключается к системе, смежной с ним, например, ТА для масла подключен к масляной системе и т. д. (рис. 4.1).

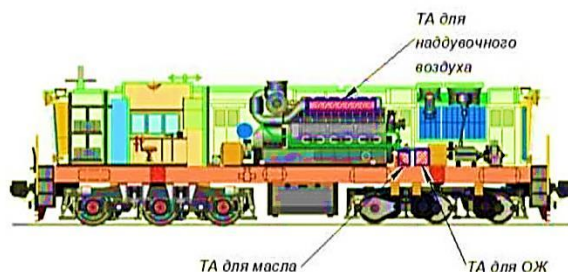


Рис. 4.1. Схема расположения ТА на тепловозе ЧМЭЗ

Конструкцию и принцип действия теплового аккумулятора рассмотрим на примере ТА для масла.

Конструкцию и принцип действия ТА рассмотрим на примере ТА для масла.

Принцип работы ТА представлен на рис. 4.2. Тепловая зарядка аккумулятора осуществляется за счет проходящих через него по змеевику отработавших газов с температурой до 300 °С. Емкость для масла проточная. Это упрощает конструкцию устройства (отсутствует поршень).

Процесс 1-2 – происходит накопление тепловой энергии ТАМ (ТАМ с помощью отработавших газов переходит из твердого состояния в жидкое), 2-3 – поддерживается температура ТАМ, 3-4 – происходит остановка ДВС в период простоя, 4-5 – переход ТАМ, в твердое состояние с выделением тепла (тепло передается маслу), 5-6 – поддержание температуры ТА

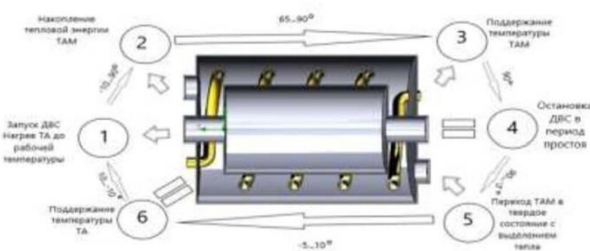


Рис. 4.2. Схема работы теплового аккумулятора фазового перехода (масло)

В процессе работы ДВС очищенное масло проходит через полость ТА и поступает к трущимся деталям. После остановки ДД часть масла остается внутри ТА. Управление осуществляется с помощью электромагнитных

клапанов. Оптимальный объем емкости для масла 10 % от объема всего масла, находящегося в ДД.

При холодном простое тепловоза часть масла хранится внутри ТА, что позволяет поддерживать ее рабочую температуру. В момент нового запуска тепловоза в ДД поступает горячее масло из ТА и смазывает трущиеся детали.

Так же работает ТА для поддержания рабочей температуры ОЖ.

Наддувочный воздух, проходя по разработанному ТА, подогревается и поступает в цилиндры ДД, однако, как видно из тепловой диаграммы (рис. 4.5), нецелесообразна для использования именно данная конструкция. Воздух нагревается только в непосредственной близости корпуса, а не по всему объему масла, это можно решить, применив свечи накаливания для прогрева масла до рабочих температур по всему объему масла. Подогретый заряд воздуха поступает в ДД только при запуске. После того, как ДД запустился воздух идет по стандартной схеме системы воздухообеспечения тепловоза. Управление подачей свежего заряда воздуха через ТА осуществляется с помощью электромагнитных клапанов.

Конструкция оригинального ТА проста, легко проектируема и эксплуатируема, а так же легка при обслуживании и ремонте.

ТА фазового перехода для поддержания рабочей температуры масла состоит из: 1 – корпус, обшитый теплоизоляционным материалом; 2 – полость между корпусом и емкостью, заполненная теплоаккумулирующим материалом (смесь парафина и битума); 3 – змеевик для отработавших газов; 4 – емкость для масла; 5 – выходной электромагнитный клапан для отработавших газов; 6 – выходной электромагнитный клапан для масла; 7 – крышка; 8 – блок управления электромагнитными клапанами; 9 – входной электромагнитный клапан для отработавших газов; 10 – входной электромагнитный клапан для масла.

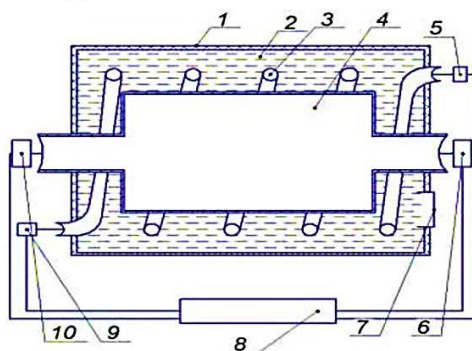


Рис. 4.3. Принципиальная схема теплового аккумулятора для масла

ТА накапливает тепло от отработавших газов и нагревается до рабочей температуры 60 °С.

На I этапе простоя тепловоза происходит снижение температуры ДД до температуры окружающей среды. ТА сохраняет накопленное тепло.

II этап работы ТА сохраняет накопленное тепло в отдельной теплоизолированной емкости, наполненной ТАМ. Температура ТА постепенно снижается, но его конструкция рассчитана так, что запасенного тепла достаточно на период простоя до 8 часов, чтобы сохранить температуру, достаточную для предпускового подогрева и запуска ДД.

На III этапе работы ТА происходит передача тепла от ТА к нагреваемым частям ДД. Температура ДВС от нагрева от ТА увеличивается до 50-60 °С, что позволяет облегчить его запуск.

Зависимость изменения температуры предложенной конструкции ТА и дизельного ДД от времени простоя представлено на рис. 4.4.

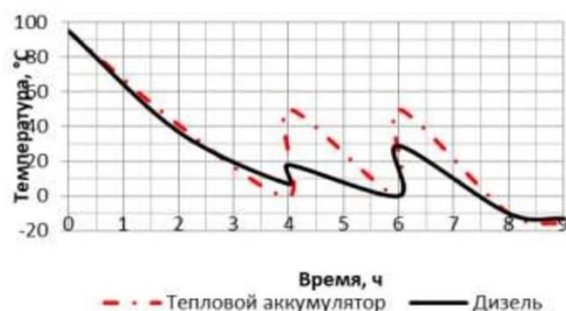


Рис. 4.4. Зависимость изменения температуры ТА и дизельного двигателя во время простоя тепловоза

ТА поддерживает температуру ДД в период простоя, не давая ей опуститься ниже -10 °С. Время зарядки ТА равняется 4 часам, что обеспечивает полную зарядку в течение 8–10 часовой рабочей смены. Во время простоя происходит постепенное остывание ДД и ТА до момента остывания ТАМ, когда начинается фазовый переход – самопроизвольное изменение агрегатного состояния, переход вещества из жидкого состояния в твердое, сопровождающееся выделением тепла и нагревом ТА.

Для обоснования метода использовалась классическая теория теплопередачи. В результате проведенного анализа веществ, способных

изменить характеристики используемой смеси веществ парафина и битума, удалось подобрать новый состав, который полностью соответствовал требованиям ТАМ.

Предлагаемый состав ТАМ отличается от ранее запатентованных разработок максимальной температурой кристаллизации (60 °С), увеличилась температура начала реакции самокристаллизации (60 °С), и уменьшилось время, необходимое для перехода из твердого состояния в жидкое. Все эти изменения ТАМ позволяют повысить эффективность ТА в целом.

Для оценки эффективности разработанного устройства в программе SolidWorks были созданы три трехмерные модели ТА тепловоза (для масла, ОЖ, надувочного воздуха) и проведен ряд вычислительных экспериментов. Расчетные исследования процессов зарядки и разрядки предлагаемого ТА выполнены в модуле FlowSimulation. В качестве исходных данных задавалось следующее:

Таблица №1

№ п/п	Параметр	показатель
1	Температура окружающей среды	-20 °С
2	Граничные условия для отработавших газов:	
2.1	Температура на входе	300 °С
2.2	Полное давление на входе	150000 Па
2.3	Массовый расход на выходе	1,2 кг/с
3	Граничные условия для масла	
3.1	Температура на входе	80 °С
3.2	Полное давление на входе	294199,5 Па
3.3	Объемный расход на выходе	0,0067 м ³ /с
4	Граничные условия для воздуха	
4.1	Температура на входе	-20 °С
4.2	Полное давление на входе	200000 Па
4.3	Объемный расход на выходе	1,22 кг/с

С построенными трехмерными моделями ТА были проведены четыре вычислительных эксперимента:

1. Моделирование процесса зарядки ТА.
 2. Моделирование процесса нагрева наддувочного воздуха.
 3. Поддержание рабочей температуры масла при холодном простое дизеля.
 4. Поддержание рабочей температуры ОЖ при холодном простое дизеля.
- Результаты представлены на рисунках 4.5; 4.6, 4.7.



Рис. 4.5.
Процесс зарядки
теплового аккумулятора

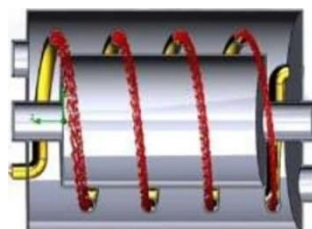


Рис. 4.6.
Процесс нагрева
наддувочного воздуха

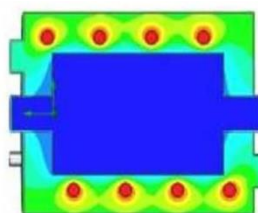


Рис. 4.7.
Процесс поддержания рабочей
температуры масла и охлаждающей
жидкости при холодном простое дизеля

Зарядка ТА происходит за счет проходящих через него отработавших газов дизеля с высокой температурой (300 °С), ТАМ достигает температуры плавления и переходит из твердого состояния в жидкое. Отработавшие газы отдают свое тепло маслу, проходящему через внутреннюю полость ТА, при конструировании важно подобрать оптимальное количество витков для змеевика отработавших газов, чтобы не было чрезмерного перегрева масла. Перегрев масла способствует его разжижению и, как следствие, некачественному смазыванию трущихся деталей ДД.

В результате выполнения ряда вычислительных экспериментов количество витков змеевика отработавших газов для конструкции ТА, рассчитанного на ДД тепловоза равно 4 виткам.

Тепловая диаграмма траектории воздуха, проходящего через ТА, представлена на рис. 4.8.

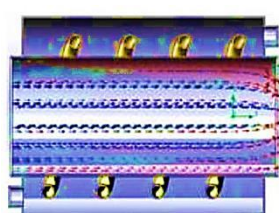


Рис. 4.8. Процесс нагрева наддувочного воздуха

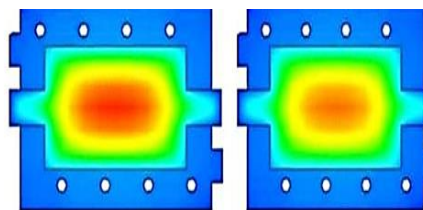
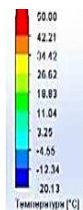
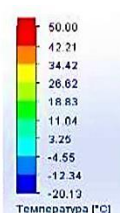


Рис. 4.9. Поддержание рабочей температуры масла и охлаждающей жидкости при простое дизеля (масло – слева; охлаждающая жидкость - справа)

Была разработана оригинальная система подогрева наддувочного воздуха, разработанная конструкция не эффективна для подогрева наддувочного воздуха, однако, это можно решить с помощью свечей накаливания, что позволит прогреть воздух по всему рабочему объему.

Выполнен расчет процесса поддержания рабочей температуры масла при холодном простое ДД тепловоза в зимнее время (температура окружающей среды -20 °С). Из тепловой диаграммы (рис. 4.9) ОЖ и масло

охлаждается слоями. Спустя 8 часов простоя ДД средняя температура масла составила 60°C, ОЖ – 50 °С, температура ТАМ- 40–50 °С.

ТАМ перешло обратно в твердое фазовое состояние, а масло и ОЖ находятся при температуре, достаточной для горячей прокачки дизеля, при новом запуске ДД тепловоза.

При реальной эксплуатации ТА при прохождении воздуха низкой температуры будут образовываться локальные области кристаллизации ТАМ вблизи воздуховода. Этот недостаток не существен, так как воздух проходит через ТА короткий промежуток времени.

Разработанный АТФП не требует подключения внешних энергетических устройств для зарядки, разрядки и хранения масла с высокой температурой, поддерживает необходимую температуру для легкого запуска ДД и готовность к работе, при полной нагрузке, в любой момент времени, сокращает расход топлива и смазочных материалов, время прогрева ДД, уменьшает износ ДД и увеличивает межремонтные интервал, что очень важно при работе ДД при низких температурах окружающей среды.

В дальнейшем мы предполагаем создание лабораторного образца теплового аккумулятора нашей конструкции и проведение натуральных экспериментов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Серова Н. А., Серова В. А. Основные тенденции развития транспортной инфраструктуры российской Арктики //Арктика и Север. – 2019. – №. 36.
2. Подсветова Т. В. Транспортная составляющая экономики Арктики //Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2014. – Т. 17. – №. 3.
3. Клепча К. С. Методы подготовки к пуску и принятию рабочих нагрузок дизельных двигателей в условиях Арктики //Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии АВ Хрулева. – 2016. – №. 2. – С. 104-108.

4. Абраров И. А. Влияние предпусковой тепловой подготовки на экономичность работы дизелей //Технологии реновации машин и оборудования. – 2016. – С. 3-7.
5. Тышкевич Л. Н., Журавский Б. В. Повышение эффективности эксплуатации транспортных машин в условиях низких отрицательных температур //Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2016. – №. 3 (49).
6. Павлов Д. В. Анализ систем облегчения пуска дизелей с воздушным охлаждением в условиях низких температур //Современные материалы, техника и технологии. – 2018. – №. 6 (21).
7. Хауэлл С., Петридис Т. Ф., Хиппли Р. Д. Способ управления пуском и остановкой двигателя транспортного средства и система управления двигателем. – 2018.
8. Тейс Р. Д. и др. Систем двигателя и способ его эксплуатации. – 2017.