

УДК 539.3:678-462

*АДРОВ Д.С., к.т.н.
Донецкий институт железнодорожного транспорта*

ТЕПЛОВОЙ АККУМУЛЯТОР КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПУСКА СТАЦИОНАРНОГО ДВИГАТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

На основании проведенных исследований показана возможность и целесообразность использования теплового аккумулятора фазового перехода для повышения эффективности пуска стационарного двигателя в условиях низких температур.

***Ключевые слова:** тепловой аккумулятор, утилизация энергии, предпусковой подогрев, холодный пуск*

Постановка проблемы

В настоящее время, несмотря на предельно низкие цены на нефть, наблюдается стабильный рост цен на конечные энергоносители, такие как бензин, дизельное топливо и газ. Все это в полной мере можно отнести к эксплуатации транспортных средств и стационарных энергетических установок, где рост цен на топливо существенно повышает долю эксплуатационных затрат в себестоимости и цене конечного продукта. Попытки снизить затратную часть за счет перевода рабочего процесса на альтернативные виды топлива не обеспечивают должного эффекта из-за ограниченности потенциальных возможностей производства синтетических топлив, их относительно низкого энергосодержания и нежелательных побочных явлений при их сгорании в энергетических установках. Поэтому поиск путей снижения расхода топлива транспортными средствами и энергетическими установками в настоящее время весьма актуален.

Как показывает практика, наиболее реальный путь снижения себестоимости эксплуатации лежит в снижении удельных затрат топлива за счет совершенствования технологии смесеобразования и процессов сгорания топлива, снижении доли потерь в энергетическом балансе работы энергетической установки.

Характерным явлением эксплуатации транспортных средств и стационарных энергетических установок является частая смена режимов работы: простоя, прогрева, приема и сброса нагрузки. Такая смена режимов предполагает значительные потери энергии при классическом варианте прогрева перед приемом нагрузки. В настоящее время ведутся работы по оснащению транспортных средств и энергетических установок предпусковыми подогревателями и оптимизации процесса. Совершенствование процесса прогрева двигателя и внедрение системы предпускового прогрева с использованием теплового аккумулятора позволяет существенно сократить расход топлива и снизить себестоимость перевозок или эксплуатации стационарной энергетической установки.

Цель работы

Исследовать возможность снижения эксплуатационных расходов стационарной энергетической установки путем организации предварительного прогрева двигателя перед пуском и приемом нагрузки при помощи теплового аккумулятора.

Исследовательская часть

Дизельные двигатели железнодорожного, речного, морского транспорта, приводные двигатели стационарных энергетических установок согласно организации их работы в большом ко-

личестве ежесуточно выводятся в 6-12-ти часовой горячей отстой. Организация работы этого вида транспорта связана с периодическим выводом их в режим горячей отстой. При отрицательных температурах воздуха поддержание положительной температуры воды в системе охлаждения дизеля достигается его работой на холостом ходу. Тратится огромное количество дорогостоящего дизельного топлива, которое еще и становится все более дефицитным.

Пуск двигателя – необходимое условие работы любой энергетической установки. Организация пуска всегда требует дополнительного оборудования, усложнение и удорожание двигателя – дополнительного технического обслуживания его, а проведение пуска всегда сопровождается сокращением моторесурса, перерасходом топлива, повышенными выбросами токсичных компонентов. Особенно сложным, затрудненным, сопровождаемым не только снижением моторесурса, но и опасностью аварии, является «холодный» пуск, то есть пуск непрогретого двигателя в условиях низких температур окружающего воздуха.

Пусковые качества дизельных двигателей оцениваются предельной температурой надежного пуска и временем, необходимым для подготовки дизеля к принятию нагрузки. При пониженных температурах двигателя и окружающего воздуха пуск затрудняется, надежность пуска существенно снижается, а время подготовки к принятию нагрузки возрастает.

Эти характеристики зависят от конструктивных и эксплуатационных показателей дизеля: степени сжатия, параметров топливоподачи при пуске, момента сопротивления вращению вала дизеля, мощности электропусковой системы, марок применяемых топлив и масел и т. д. Предельная температура надежного пуска зависит от пусковых оборотов – частоты прокрутки коленчатого вала. Эта частота у «холодного» дизеля снижается, так как растет сопротивление прокручиванию вала, снижается емкость аккумуляторных батарей. Снижаются давление и температура воздуха в цилиндре в конце сжатия (P_c , T_c). В этих условиях возникают проблемы с самовоспламенением горючей смеси.

Наиболее эффективным способом повышения экономических показателей систем тепловой подготовки является усовершенствование способа подвода теплового потока к двигателю в комплексе с утилизацией тепловой энергии отработавших газов (ОГ).

Повысить надежность, безопасность, снизить ущерб моторесурсу при холодном пуске и приеме нагрузки непрогретым двигателем можно, используя принцип аккумулирования энергии ОГ двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и последующим подводом ее в систему охлаждения и смазки двигателя перед пуском и в процессе прогрева ДВС.

Наиболее целесообразным для достижения указанной цели является применение теплового аккумулятора (ТА) фазового перехода (плавления-затвердевания теплоаккумулирующих материалов). Такой способ обеспечивает высокую плотность запасаемой энергии при небольших перепадах температур [1].

Для подтверждения высказанных выше положений на кафедре подвижного состава железных дорог Донецкого института железнодорожного транспорта были проведены соответствующие экспериментальные исследования. Прежде всего, была разработана система регулирования температуры охлаждающей жидкости дизельной энергетической установки с утилизацией теплоты тепловым аккумулятором [2], усовершенствована схема системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания, был разработан тепловой аккумулятор (ТА), техническая характеристика которого приведена в табл. 1.

Таблица 1

Техническая характеристика ТА системы регулирования температуры охлаждающей жидкости дизельной энергетической установки с утилизацией теплоты [1]

Наименование	Характеристика
Теплоаккумулирующий материал	полиэтилен высокой плотности (табл. 2)
Масса теплоаккумулирующего материала, кг	19
Масса теплового аккумулятора с ТАМ, кг	33,25
Габаритные размеры ТА, мм	164x280x480
Теплоизоляция	Пенопласт и двухслойный вспененный полимер, покрытый алюминиевой фольгой
Материал корпуса ТА	Нержавеющая сталь
Материал теплообменника ТА	Латунь
Тепловая емкость ТА, кВт	47,5
Время хранения теплового заряда, час	38

Таблица 2

Свойства ТАМ [1]

Параметр	Характеристика
Плотность, кг/м ³	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

При изучении влияния эффективности предпускового прогрева и ускоренного прогрева от теплового аккумулятора после пуска ДВС объектом исследования служила стационарная энергетическая установка с тепловым аккумулятором, укомплектованная системой утилизации тепловой энергии ОГ и доработанной системой охлаждения, позволяющей модулировать подачу охлаждающей жидкости в зависимости от заложенных алгоритмов работы системы.

Для изучения влияния скорости потока охлаждающей жидкости на эффективность работы теплового аккумулятора и систему предпускового прогрева от ТА в целом исследовалось несколько режимов работы системы. Исследования были проведены на специально разработанной экспериментальной установке, имитирующей систему выпуска ОГ.

В одном случае системой, аналогичной системе выпуска ОГ с ТА в режиме зарядки, в другом – тем же ТА в режиме отдачи теплоты, то есть разрядки. В ходе эксперимента оценивались в одном случае – зависимость времени зарядки ТА от температуры теплоносителя, а во втором – времени разрядки ТА от скорости теплоносителя.

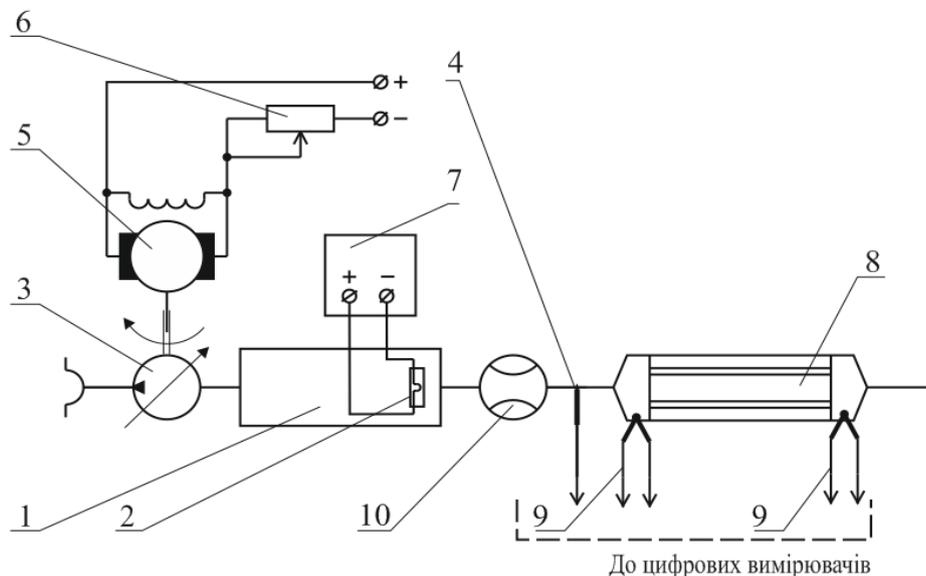
Цель испытаний – получение экспериментальных данных по времени зарядки теплового аккумулятора в зависимости от теплоносителя с разными температурами и времени разрядки в зависимости от скорости циркуляции теплоносителя в контуре ТА отбора теплоты.

В условиях специализированной лаборатории были проведены испытания теплового аккумулятора системы утилизации и накопления тепла ОГ и системы охлаждения в режиме зарядки с целью определения времени зарядки при разной температуре зарядного теплоносителя.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1, а общий вид – на рис. 2. Испытания заключались в том, что выполнялась зарядка разработанного теплового аккумулятора до температуры фазового перехода теплоаккумулирующего материала (ТАМ) 125°С. Зарядка аккумулятора производилась семь раз с различными температурами теплоносителя, тепловой аккумулятор заряжался до температуры ТАМ 125°С.

После каждой зарядки выполнялась разрядка теплового аккумулятора до температуры ТАМ в 20°C с разной скоростью циркуляции теплоносителя, после чего выполнялась новая зарядка, но уже с другой температурой теплоносителя.

Температуру ТАМ фиксировали с помощью трех хромель-алюмелевых термопар с диапазоном измерения температур -200...1200 °С. Измерения температуры ТАМ проводились в трех точках на входе, середине и выходе из ТА.



- 1 – тепловой генератор; 2 – нагревательный элемент; 3 – воздушный нагнетатель;
4 – термопара; 5 – двигатель постоянного тока; 6 – переменное сопротивление;
7 – система регулирования нагревающим элементом; 8 – тепловой аккумулятор;
9 – термопары; 10 – газовый расходомер G6

Рис. 1. Схема экспериментальной установки



Рис.2. Общий вид экспериментальной установки для испытаний ТА

При установке термопар в ТА выполнялось требование идентичности их размещения относительно ТАМ.

Результаты измерения времени зарядки в зависимости от температуры теплоносителя приведены в табл. 3 и 4, а также на рис. 3 и 4.

Параметр, изменение которого исследовалось, – время зарядки и разрядки теплового аккумулятора 8. Изменение температуры теплоносителя происходило за счет регулирования нагревом элемента 2 теплогенератора 1. Изменение скорости потока происходило путем регулирова-

ния сопротивлением 6 двигателя постоянного тока 5 нагнетателя 3. Проводились испытания для 7 точек, которые охватывают с равным интервалом эксплуатационные режимы зарядки теплового аккумулятора и испытания для 8 точек разрядки ТА, которые охватывают режимы работы циркуляционного насоса доработанной системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания. Температура воздуха после расходомера 6, в воздушном патрубке, измерялась с помощью термомпары типа ТХК № 13765 с диапазоном измерения $-200...600^{\circ}\text{C}$ и регистрировались с помощью осциллографа.

Таблица 3

Зависимость времени зарядки ТА от температуры теплоносителя

Время зарядки, с	Температура ТАМ, $^{\circ}\text{C}$												
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	125	
Температура теплоносителя, $^{\circ}\text{C}$	110	0	336	650	985	1150	1389	1715	2145	2456	2815	3156	3698
	120	0	276	536	796	1006	1303	1530	1790	2015	2315	2645	3087
	130	0	231	465	685	904	1085	1245	1454	1708	1950	2258	2798
	140	0	215	454	645	854	998	1280	1520	1680	1883	2204	2435
	150	0	185	365	528	756	954	1064	1258	1502	1696	1940	2138
	160	0	184	339	504	701	904	1085	1204	1379	1604	1849	2034
	170	0	171	304	506	608	806	1022	1184	1307	1548	1715	1895

Таблица 4

Зависимость времени разрядки ТА от скорости теплоносителя

Время разрядки, с	Температура ТАМ, $^{\circ}\text{C}$												
	125	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
Скорость теплоносителя, м/с	0,08	0	36	65	99	123	168	234	336	443	518	596	723
	0,1	0	29	61	93	115	145	173	225	335	426	547	671
	0,12	0	25	56	75	104	135	156	198	285	385	495	615
	0,14	0	21	43	69	85	129	139	181	245	332	421	564
	0,16	0	19	39	61	81	109	125	173	215	291	368	522
	0,18	0	17	35	48	75	101	116	156	198	256	345	455
	0,2	0	16	31	45	60	86	102	143	168	223	301	415
	0,22	0	14	26	42	55	75	96	124	142	192	259	368

Расход воздуха фиксировался с помощью роторного счетчика G6 фирмы UGI Meters LTD, London №001750. Время прогрева фиксировалось секундомером телефона Nokia 7370 №357612005829909.

Испытания проводились следующим образом: с помощью системы управления элементом нагрева теплогенератора устанавливалась фиксированная температура теплоносителя, после чего теплоноситель принудительно, с помощью нагнетателя 3, подавался к ТА 8. Отсчет времени велся с начала зарядки ТА, то есть от температуры 20°C , и фиксировался каждые 10°C до заданной температуры ТАМ 125°C .

Разрядка ТА происходила следующим образом: после зарядки ТА к контуру отбора теплоты подключался нагнетатель 3, фиксировалась скорость, с которой он подает теплоноситель, и выполнялась фиксация времени разрядки каждые 10°C падения температуры ТАМ.

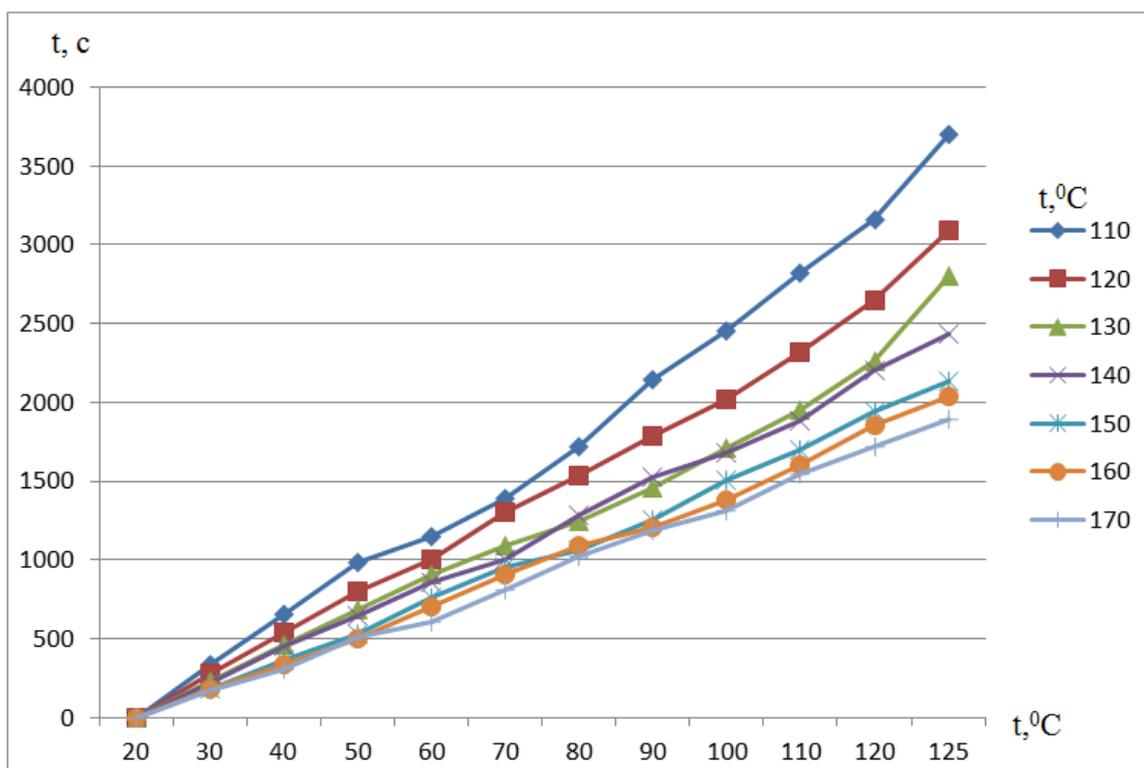


Рис.3. Зависимость времени зарядки ТА от температуры теплоносителя

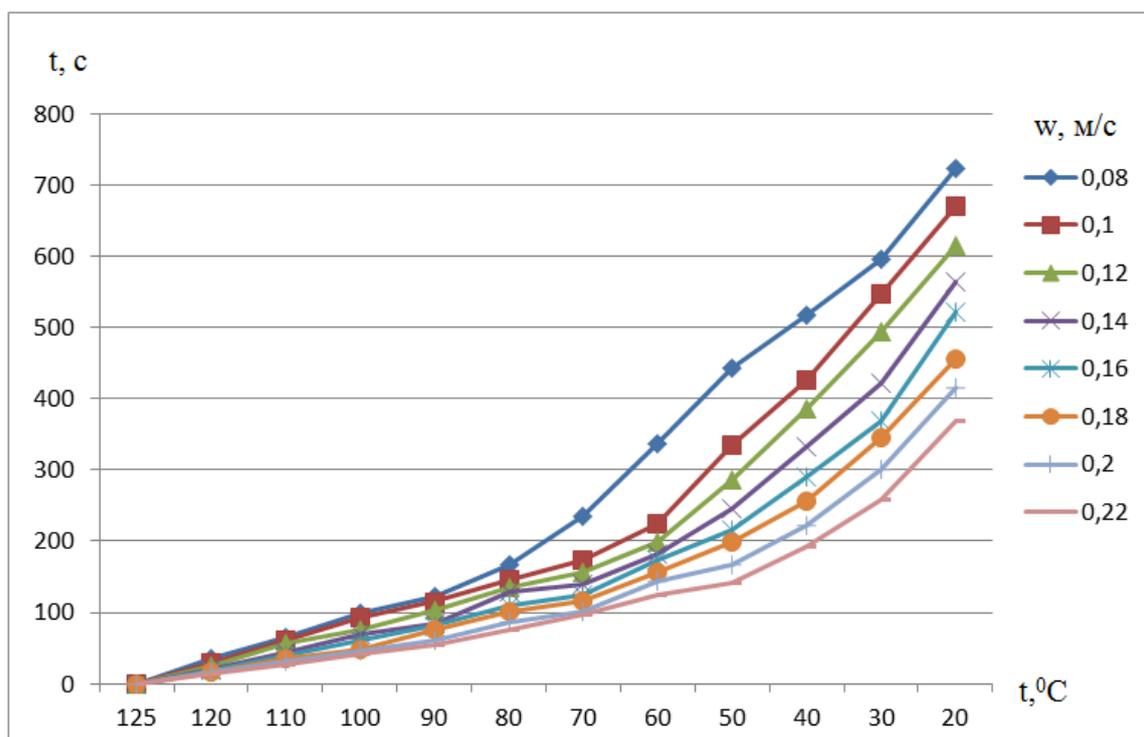


Рис.4. Зависимость времени зарядки ТА от скорости теплоносителя

Выводы

1. Разработанный тепловой аккумулятор фазового перехода с теплоаккумулирующим материалом – полиэтиленом высокой плотности – показал свою работоспособность при испытаниях на специальном стенде как при зарядке, так и при разрядке.

2. ТА данной конструкции возможно устанавливать в систему охлаждения стационарного двигателя внутреннего сгорания для повышения пусковой температуры его в холодных климатических условиях и повышения эффективности его пуска.

3. Приведенные материалы достаточно убедительно свидетельствуют о целесообразности использования в системе охлаждения ДВС для повышения температуры последнего перед пуском.

Список литературы

1. Левенберг. В.Д. Аккумуляирование тепла. – М.: Наука, 1991. – 83 с.

2. Система регулирования температуры охлаждающей жидкости газопоршневого электроагрегата с утилизацией теплоты с тепловым аккумулятором. Положительное решение на декларационный патент на полезную модель, решение № 14025/3В/11 заявка № u2011 01845, дата подачи 17.02.2011, МКП F01P 3/22 (2006.01), Национальный транспортный университет, RU / Грицук И.В., Краснокутская З.И., Адров Д.С., Вербовский В.С., Черняк Ю.В., Прилепский Ю.В., Гушин А.М., Дорошко В.И.

Адров Д.С. Тепловий акумулятор як засіб підвищення ефективності запуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур

Анотація. На підставі проведених досліджень показано можливість і доцільність використання теплового акумулятора фазового переходу для підвищення ефективності запуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур.

Ключові слова: тепловий акумулятор, утилізація енергії, передпусковий підігрів, холодний пуск

Adrov D.S. The heat accumulator as a means of improving the efficiency of the stationary engine start in low temperatures

Abstract. On the basis of the conducted researches the opportunity and expediency of use of the heat accumulator phase transition to increase the efficiency of the stationary engine start in low temperatures.

Keywords: thermal storage, energy recovery, pre-heating, cold start

Стаття надійшла до редакції 12.04.2015 р.