

УДК 629.3.018

*ПРИЛЕПСКИЙ Ю.В., к. т. н., доцент,
Донецкий институт железнодорожного транспорта*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТЕНДОВОЙ ГОРЯЧЕЙ ОБКАТКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В работе показана возможность существенного повышения эффективности стендовой обкатки двигателей внутреннего сгорания за счет использования выделяемой при испытании электрической и тепловой энергии.

Ключевые слова: *система рекуперации, энергия электрическая, энергия тепловая, накопитель энергии, преобразователь энергии*

Постановка проблемы

В настоящее время в связи с неблагоприятной экономической ситуацией все большее внимание уделяется ремонтам автотранспортных средств как на станциях технического обслуживания, так и на авторемонтных предприятиях. К преимуществам последних можно отнести возможность реализации узловых и агрегатных ремонтов с привлечением специализированного оборудования и диагностических стендов. Это ускоряет ремонты, повышает их качество, снижает себестоимость, повышает конкурентоспособность предприятия. Все это в полной мере относится к ремонтам важнейшего агрегата автотранспортного средства – двигателя внутреннего сгорания.

Приработку и испытание двигателей внутреннего сгорания на ремонтных предприятиях производят на обкаточно-тормозных стендах, включающих устройство для вращения двигателя в период холодной обкатки и для поглощения мощности двигателя во время горячей обкатки и испытания. Кроме того, стенды оснащаются дополнительным оборудованием, обеспечивающим двигатель топливом, охлаждающей жидкостью и смазкой. Как правило, в качестве нагрузки, стенд комплектуется электрической машиной, которая при холодной обкатке работает в режиме двигателя. Во время горячей обкатки электрическая машина работает в режиме генератора, отдавая ток на нагрузку. В условиях ремонтного производства стендовую обкатку двигателей подразделяют на три стадии: холодная, горячая без нагрузки и горячая под нагрузкой.

Если холодная обкатка двигателя внутреннего сгорания осуществляется с потреблением энергии (питание электрической машины, работающей в режиме двигателя, постоянный подогрев охлаждающей жидкости и моторного масла), то при проведении горячей обкатки без нагрузки и особенно под нагрузкой электрическая и тепловая энергия интенсивно выделяются. С учетом того, что горячая обкатка без нагрузки и под нагрузкой двигателя внутреннего сгорания осуществляется часами, в зависимости от типа и мощности двигателя выделения энергии могут достигать нескольких десятков мегаджоулей. Как правило, основная часть энергии теряется в окружающее пространство: тепловая энергия уходит с отработавшими газами, а электрическая преобразуется в тепловую на активной нагрузке электрического тормоза и также теряется в окружающем пространстве.

Цель работы

Изучить возможность повышения эффективности стендовой обкатки двигателей внутреннего сгорания за счет рационального использования выделяемой при испытании электрической и тепловой энергии

Исследовательская часть

При анализе энергетических потерь при проведении стендовой горячей обкатки двигателей внутреннего сгорания выявлено три основных их источника: тепловые потери с отработавшими газами, тепловые потери в системе охлаждения и электрические потери на активной нагрузке для создания тормозного момента на валу двигателя внутреннего сгорания при горячей обкатке под нагрузкой. Поскольку по типу энергии, характеристикам теплоносителя и температурам эти источники потерь существенно отличаются друг от друга, в работе предложены три независимые друг от друга схемы рекуперации энергии.

Для повторного использования тепловой энергии из системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания предлагается схема, представленная на рис. 1.

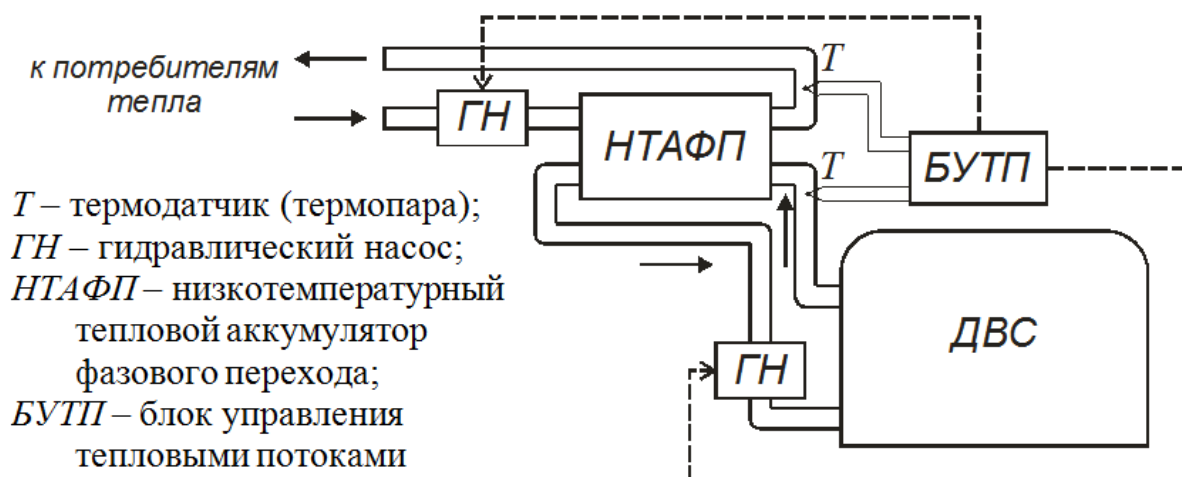


Рис.1. Схема рекуперации тепловой энергии из системы охлаждения при горячей обкатке ДВС

Как следует из представленной схемы, система охлаждения ДВС замкнута на низкотемпературный тепловой аккумулятор фазового перехода (НТАФП) с теплоаккумулирующим веществом, обладающим высокой теплоемкостью и теплосодержанием фазового перехода из твердого агрегатного состояния в жидкое и обратно и относительно низкой температурой плавления (до 100 °С). Наилучшим образом этим условиям отвечает парафин с температурой плавления 50 – 54 °С и удельной теплоемкостью 2,19 кДж/(кг·град). Теплоносителем, формирующим тепловой поток от ДВС к тепловому аккумулятору, является штатная охлаждающая жидкость. Тепловой режим ДВС при горячей обкатке устанавливается и поддерживается скоростью потока теплоносителя, задаваемой гидравлическим насосом (ГН). Управляющие сигналы для гидравлического насоса формируются блоком управления тепловыми потоками (БУТП) в зависимости от показания термодатчика (Т) на выходе теплового потока из ДВС.

Накапливаемая в аккумуляторе тепловая энергия отбирается теплоносителем из внешнего контура и передается потребителям. В качестве потребителей тепловой энергии может выступать аналогичный стенд, на котором осуществляется холодная обкатка двигателя внутреннего сгорания, или тепло передается на внутрицеховые или внутризаводские нужды. При отсутствии на данный момент времени технологического теплоотбора, тепловая энергия может храниться в тепловом аккумуляторе какое-то время с последующей реализацией. Длительность хранения тепла в тепловом аккумуляторе определяется качеством теплоизоляции. При стабильной программе испытаний накопленное тепло может быть реализовано на этом же стенде при холодной обкатке следующего по графику двигателя внутреннего сгорания. В последнем случае появляется возможность отказаться от формирования внешнего контура теплообмена и ограничиться локальным теплообменным контуром. При наличии на предприятии нескольких обкаточных

стендов и устойчивой их загруженности представляется целесообразным объединение их контуров системы охлаждения в едином тепловом аккумуляторе.

Существенная часть энергетических потерь при работе двигателя внутреннего сгорания приходится на потери тепла с отработавшими газами. В зависимости от режима работы двигателя внутреннего сгорания температура отработавших газов в выпускном коллекторе может достигать 600-700 °С. Цель заключается в том, чтобы тепловую энергию отработавших газов через теплообменник накапливать в аккумуляторе фазового перехода [1] и использовать для технологических или бытовых нужд предприятия. В целом, схема рекуперации тепловой энергии отработавших газов при проведении стендовых испытаний приведена на рис. 2.

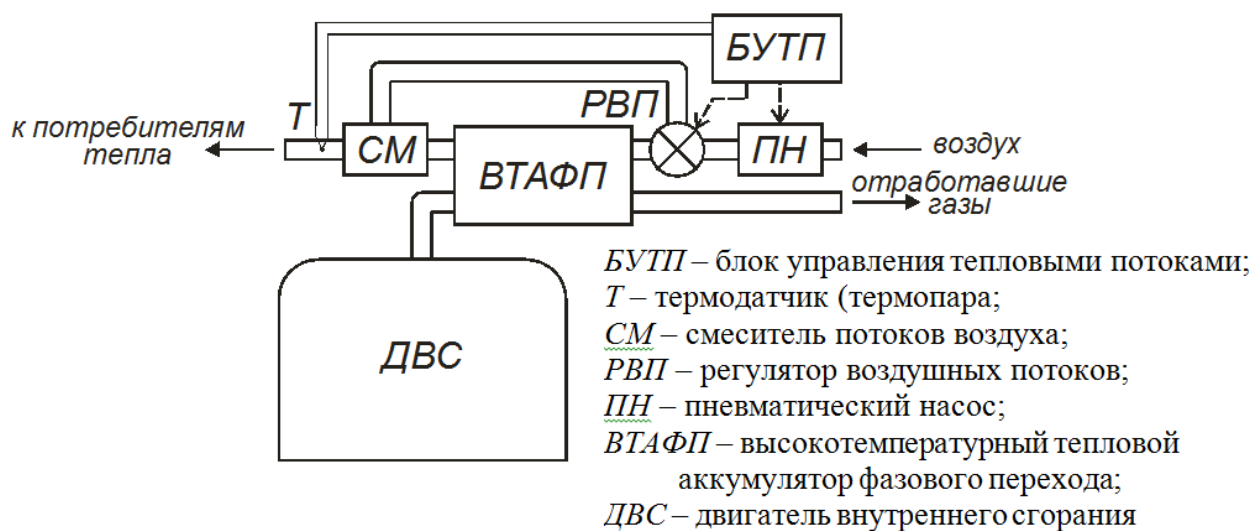


Рис.2. Схема рекуперации тепловой энергии отработавших газов при горячей обкатке ДВС

Отработавшие газы из двигателя внутреннего сгорания поступают в высокотемпературный тепловой аккумулятор фазового перехода (ВТАФП), объединенный с теплообменником, где происходит отбор тепла отработавших газов. Основу теплового аккумулятора представляет вещество, которое изменяет агрегатное состояние (плавление) в диапазоне температур 100-550 °С. Этот температурный диапазон приблизительно отвечает условиям работы теплового аккумулятора.

Использование накопленного тепла осуществляется с помощью потока теплоносителя, в качестве которого выступает воздух, нагнетаемый пневматическим насосом (ПН). С помощью регулятора воздушных потоков (РВП) поток теплоносителя распределяется в два воздухопровода, один из которых направляет воздух через теплообменник теплового аккумулятора, а второй поток воздуха направляется мимо теплообменника. Потоки холодного и нагретого воздуха перемешиваются в смесителе (СМ) и по теплоизолированному воздухопроводу направляются потребителям тепловой энергии. Температуру воздуха на выходе смесителя измеряют с помощью хромель-алюмелевой термопары (Т), сигнал от которой поступает в блок управления тепловыми потоками (БУТП), который, в свою очередь, вырабатывает сигнал управления для регулятора воздушного потока (РВП) и воздушного насоса (ВН).

При организации представленной схемы рекуперации важным фактором представляется правильный выбор теплоаккумулирующего вещества, которое должно соответствовать определенным условиям:

– максимальная температура, с которой будет работать теплоаккумулирующий материал – это температура отработавших газов (550 °С);

– минимальная температура, при которой придется работать теплоаккумулирующему материалу, будет равна минимальной температуре в зимний период; для зимнего периода возможную минимальную температуру в производственном помещении (при отсутствии отопления) принимали равной -10°C ;

– в показанном интервале температур теплоаккумулирующий материал должен иметь точку фазово-агрегатного перехода (точку плавления);

– при изменении температуры теплоаккумулирующий материал должен быть химически стабильным, т.е. не изменять свой химический состав;

– при нагреве теплоаккумулирующий материал не должен переходить в газообразное состояние за счет кипения или возгонки;

– в процессе работы теплоаккумулирующий материал не должен вступать в химическую реакцию с материалом теплового аккумулятора;

– с точки зрения экономичности, теплоаккумулирующий материал должен иметь относительно малую стоимость.

Из доступных материалов наиболее полно поставленным условиям отвечают гидрохинон и едкий натр, основные характеристики которых представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики выбранных теплоаккумулирующих материалов

Параметры	Теплоаккумулирующие вещества	
	Гидрохинон	Едкий натр
Диапазон рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$	- 10... + 270	- 10 ... + 1200
Химическая формула	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$	NaOH
Молярная масса, г/моль	110	39,997
Плотность, кг/м^3	1,3	1,59
Температура плавления, $^{\circ}\text{C}$	172	323
Температура кипения, $^{\circ}\text{C}$	287	1403

При анализе представленных данных окончательный выбор остановили на едком натре.

В работе изучали изменение энергетических показателей и состояние выбранного теплоаккумулирующего материала в процессе изменения его температуры. Исследования проводили на физической модели теплового аккумулятора. В качестве физической модели использовали специально изготовленную трубчатую капсулу. В качестве заготовки для изготовления емкости капсулы использовали бесшовную трубу (ГОСТ 9941-81) из нержавеющей жаропрочной стали аустенитного класса марки 12X18H10T (ГОСТ5632-72). Внешний диаметр трубы составлял 20 мм, толщина стенки – 2,0 мм. Такую толщину выбирали по следующим причинам: возможности формирования резьбового соединения на внешней поверхности и возможности удержания внутреннего давления при расплавлении теплоаккумулирующего вещества. Эскиз заготовки для капсулы после нарезания резьбы приведен на рис. 3. После нарезания резьбы для обеспечения герметизации внутреннего объема донный торец сплющивали и накладывали сварной шов (см. рис. 4). Для герметизации головной части капсулы изготавливали крышку с отверстием для запрессовки оболочки термопары (см. рис. 5).

Собирали капсулу следующим образом. Сначала емкость капсулы заполняли теплоаккумулирующим материалом (на весь объем емкости). Потом материал высыпали и взвешивали; отбирали от развеса 10 % по массе; остаток засыпали в капсулу. Такая методика позволяет зарезервировать после герметизации прослойку воздуха для снижения давления при нагреве. После этого резьбы смазывали герметизирующим материалом (раствор жидкого стекла и талька в соотношении 1:1 по массе) и формировали резьбовые соединения с натяжением. Для дополнитель-

ной герметизации между оболочкой термопары и крышкой капсулы закладывали герметизирующую медную шайбу. В собранном виде капсула с термопарой представлена на рис. 6.

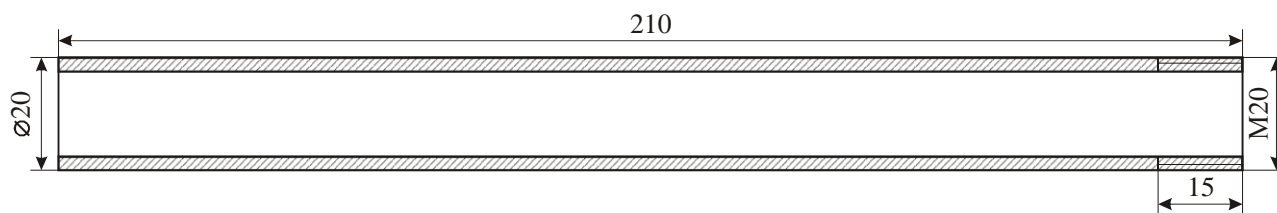


Рис. 3. Эскиз заготовки для капсулы после нарезания резьбы

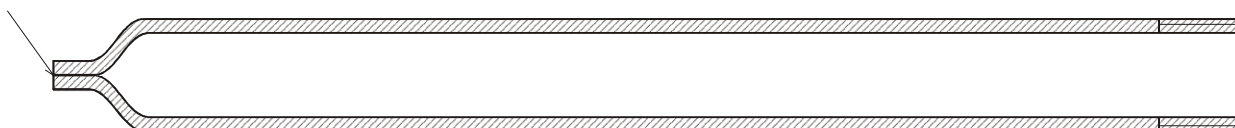


Рис. 4. Эскиз заготовки для капсулы после герметизации донной части

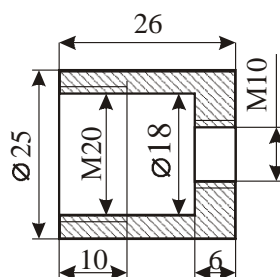


Рис. 5. Эскиз крышки капсулы с отверстием для запрессовки оболочки термопары

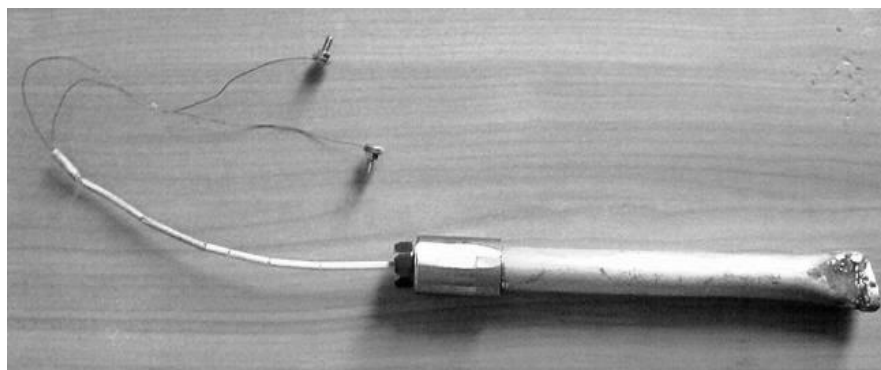


Рис. 6. Внешний вид капсулы с термопарой

После формирования капсула помещалась в рабочем пространстве муфельной нагревательной печи типа СНО. Нагрев осуществляли до температур, превышающих температуру плавления теплоаккумулирующего материала. После достижения капсулой необходимой температуры капсулу с термопарой вынимали из печи и охлаждали в условиях спокойного воздуха на специальной керамической подставке. Температура воздуха на начало охлаждения капсулы на воздухе оставалась постоянной и составляла 19°C.

При проведении эксперимента для замеров температуры использовали хромель-алюмелевые термопары. Температуру определяли по термо-ЭДС термопары. Значения термо-ЭДС переводили в показатели температуры согласно стандартных таблиц и графической зависимости термо-ЭДС от температуры. Замеры термо-ЭДС осуществляли через определенные фиксированные промежутки времени.

Главной целью проведения экспериментов являлось получение данных о количестве тепловой энергии, которую получает и отдает теплоаккумулирующий материал при нагреве и охлаждении. Непосредственно измерить количественные показатели тепловой энергии в условиях проведения запланированных экспериментов не представилось возможным, эти параметры находили расчетным путем на основе графиков нагрева и охлаждения капсулы с теплоаккумулирующим материалом. Для расчетов накопленной капсулой энергии была использована зависимость:

$$Q = N_T \cdot \tau, \quad (1)$$

где N_T – мощность теплового потока, Вт;
 τ – время действия теплового потока, с.

В свою очередь, мощность теплового потока можно рассчитать по формуле:

$$N_T = q \cdot S, \quad (2)$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м²;
 S – площадь теплопередачи между поверхностью капсулы и внешним воздушным пространством, м².

Плотность теплового потока в конкретный момент времени определяли по формуле:

$$q = \alpha \cdot (t_K - t_B), \quad (3)$$

где α – коэффициент теплоотдачи от поверхности капсулы окружающему воздуху (из справочника: $\alpha = 62,4$ Вт/(м² К);
 t_K – температура капсулы, град;
 t_B – температура окружающего воздуха, град.

Поскольку в процессе охлаждения температура капсулы постоянно изменяется нелинейно, решено расчеты вести для условно дискретного процесса, заменяя монотонную кривую на ступенчатую зависимость (см. рис. 7).

Для выявления тепловых эффектов от теплоаккумулирующего вещества перед заправкой капсулы проводили опыт с собранной, но не заряженной капсулой. Это позволило определить тепловые показатели пустой и снаряженной капсулы и по разности выйти на искомые показатели.

Для эксперимента с пустой капсулой была попытка создать изотермические условия в рабочем пространстве печи. Для этого термическую печь сначала прогревали до температуры 500°С, делали изотермическую выдержку и размещали в печи капсулу с термопарой. Постоянная температура поддерживалась за счет штатного регулятора релейного типа.

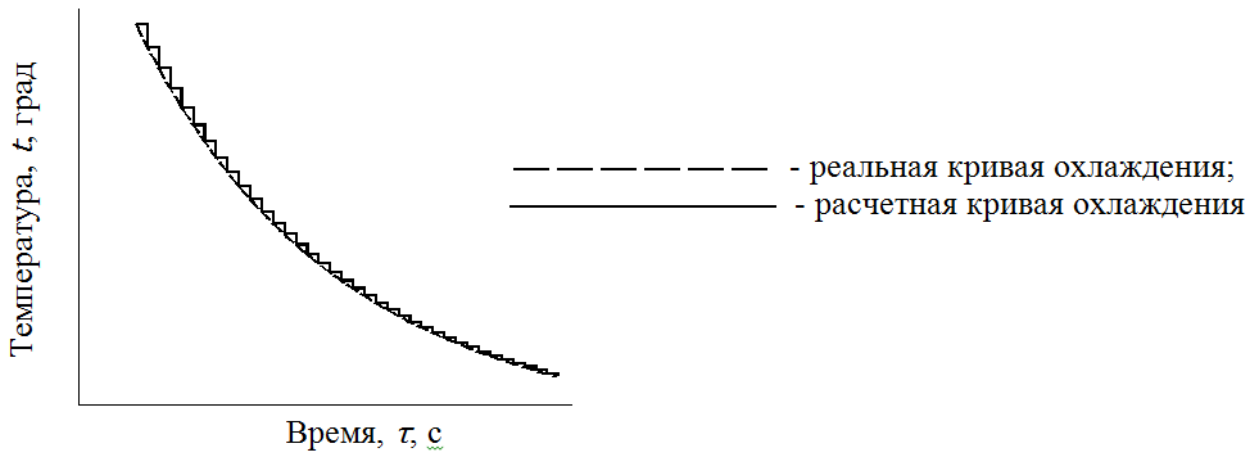


Рис. 7. Схема замены реальной кривой охлаждения на расчетную

На рис. 8 приведен график изменения температуры рабочего пространства печи и температуры капсулы без теплоаккумулирующего материала.

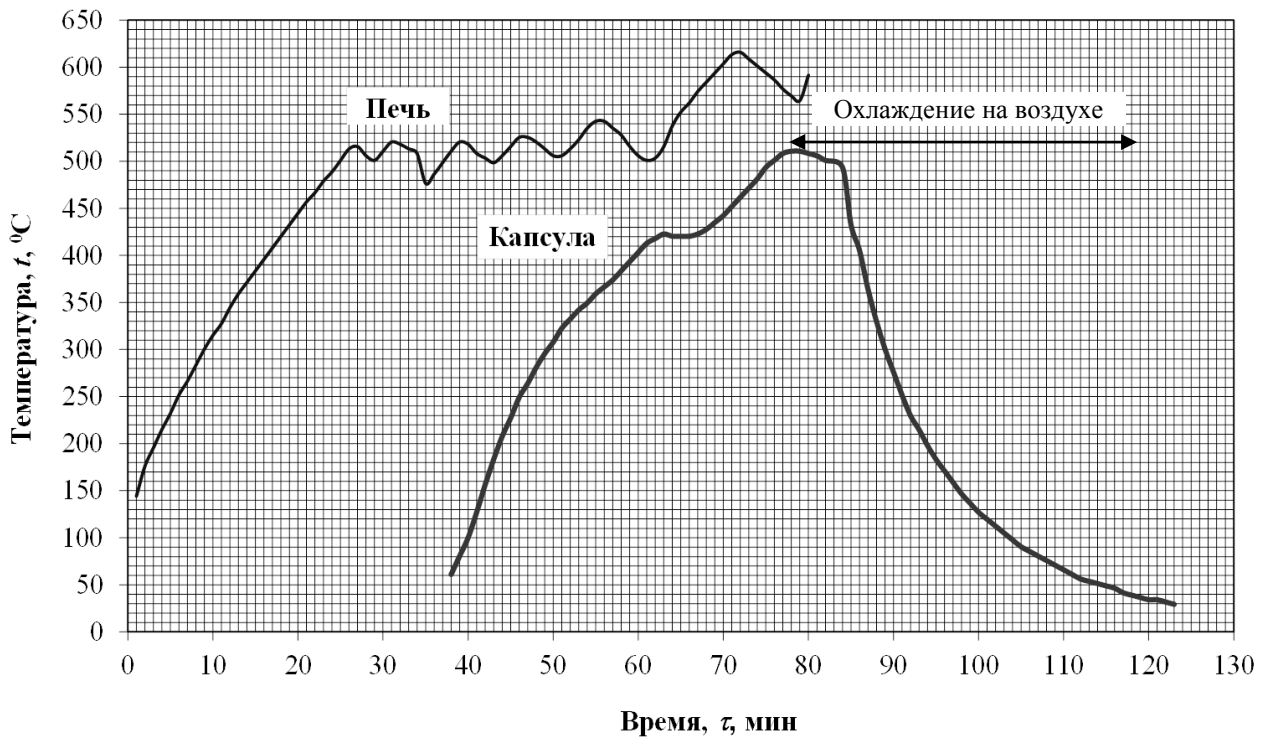


Рис. 8. Изменение температуры рабочего пространства печи и капсулы без теплоаккумулирующего материала

Как следует из приведенного графика, релейный регулятор не обеспечивает достаточную стабильность температуры в рабочем пространстве печи, что вызвало колебания температуры внутри капсулы. Поэтому для расчетов использовали участок графика, соответствующий охлаждению капсулы на воздухе, температура которого была практически постоянна.

Площадь поверхности капсулы рассчитывали исходя из размеров по формуле:

$$S_K = S_{TP} + S_{KP1} + S_{KP2} + S_{KP3} + S_{ГБ}, \quad (4)$$

где S_{TP} – площадь поверхности трубчатой части тела капсулы, m^2 ;

S_{KP1} – площадь торцевой поверхности крышки, направленной к трубчатой части тела ка-

псулы, м^2 ;

S_{KP2} – площадь боковой поверхности крышки, м^2 ;

S_{KP3} – площадь торцевой поверхности крышки, направленной от трубчатой части тела капсулы, м^2 ;

$S_{ГБ}$ – площадь боковой поверхности головки болта, м^2 ;

Площадь поверхности трубчатой части тела капсулы определяли по формуле:

$$S_{TP} = \pi \cdot d \cdot l = \pi \cdot 0,02 \cdot 0,2 = 0,01257 \text{ м}^2, \quad (5)$$

где d – диаметр трубчатой части тела капсулы, м;

l – длина трубчатой части тела капсулы от торца крышки к торцу трубы, м.

Площадь торцевой поверхности крышки, направленной к трубчатой части тела капсулы, определяли по формуле:

$$S_{KP1} = S_{KP3} - S_{ITP} = \frac{\pi \cdot d_{KP}^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} = 1,767 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, \quad (6)$$

где d_{KP} – диаметр крышки, м.

Площадь боковой поверхности крышки определяли:

$$S_{KP2} = \pi \cdot d_{KP} \cdot l_{KP} = \pi \cdot 0,025 \cdot 0,026 = 0,00204 \text{ м}^2. \quad (7)$$

Площадь торцевой поверхности крышки, направленной от трубчатой части тела капсулы, определяли:

$$S_{KP3} = \frac{\pi \cdot d_{KP}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4} = 4,909 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2. \quad (8)$$

Площадь боковой поверхности головки болта находили как сумму поверхности 6 граней головки болта:

$$S_{ГБ} = 6 \cdot a \cdot b = 6 \cdot 0,006 \cdot 0,01 = 0,00036 \text{ м}^2. \quad (9)$$

Подставляя полученные результаты в формулу (4), находим:

$$S_K = 0,01257 + 0,0001767 + 0,00204 + 0,0004909 + 0,00036 = 0,0156376 \approx 0,0156 \text{ м}^2.$$

Дальнейшие расчеты проводили по формулам (1) ... (3). Результаты расчетов тепловых параметров охлаждения капсулы без теплоаккумулирующего материала предоставлены в таблице 2.

Таким образом, энергия, отданная капсулой без теплоаккумулирующего материала при ее охлаждении от температуры 508°C к температуре приблизительно 30°C , равняется $412541,4$ Дж.

Результаты расчета тепловых параметров охлаждения капсулы без теплоаккумулирующего материала

Температура капсулы, t_k , °C	Промежутки времени действия теплового потока, τ_i , мин.	Промежутки времени действия теплового потока, τ_i , с.	Плотность теплового потока, q , Вт/м ² ;	Мощность теплового потока, N_T , Вт	Энергия, отданная капсулой на данном этапе, Q_i , Дж	Энергия, отданная капсулой с начала охлаждения, Q , Дж
1	2	3	4	5	6	7
508,37	1	60	30536,7	476,37	28582,2	28582,2
505,93	1	60	30384,4	474	28440	57022,2
501,04	1	60	30079,3	469,24	28154,4	85176,6
493,7	2	120	29621,3	462,09	55450,8	140627,4
432,6	1	60	25808,6	402,61	24156,6	164784
405,72	1	60	24131,3	376,45	22587	187371
364,17	1	60	21538,6	336	20160	207531
329,95	1	60	19403,3	302,69	18161,4	225692,4
300,62	1	60	17573,1	274,14	16448,4	242140,8
276,18	1	60	16048	250,35	15021	257161,8
251,74	1	60	14523	226,56	13593,6	270755,4
229,74	1	60	13150,2	205,14	12308,4	283063,8
215,08	1	60	12235,4	190,87	11452,2	294516
197,97	1	60	11167,7	174,22	10453,2	304969,2
183,31	1	60	10252,9	159,95	9597	314566,2
171,09	1	60	9490,4	148,05	8883	323449,2
158,87	1	60	8727,9	136,16	8169,6	331618,8
146,65	1	60	7965,4	124,26	7455,6	339074,4
136,87	1	60	7355,1	114,74	6884,4	345958,8
127,09	1	60	6744,8	105,22	6313,2	352272
119,76	1	60	6287,4	98,08	5884,8	358156,8
112,43	1	60	5830	90,95	5457	363613,8
105,1	1	60	5372,6	83,81	5028,6	368642,4
97,76	1	60	4914,6	76,67	4600,2	373242,6
90,43	1	60	4457,2	69,53	4171,8	377414,4
85,54	1	60	4152,1	64,77	3886,2	381300,6
80,65	1	60	3847	60,01	3600,6	384901,2
75,77	1	60	3542,4	55,26	3315,6	388216,8
70,88	1	60	3237,3	50,5	3030	391246,8
65,99	1	60	2932,2	45,74	2744,4	393991,2
61,1	1	60	2627	40,98	2458,8	396450
56,21	1	60	2321,9	36,22	2173,2	398623,2
53,77	1	60	2169,6	33,85	2031	400654,2
51,33	1	60	2017,4	31,47	1888,2	402542,4
48,88	1	60	1864,5	29,09	1745,4	404287,8
46,44	1	60	1712,3	26,71	1602,6	405890,4
41,55	1	60	1407,1	21,95	1317	407207,4
39,11	1	60	1254,9	19,58	1174,8	408382,2
36,66	1	60	1102	17,19	1031,4	409413,6
34,22	1	60	949,7	14,82	889,2	410302,8
34,22	1	60	949,7	14,82	889,2	411192
31,77	1	60	796,8	12,43	745,8	411937,8
29,33	1	60	644,6	10,06	603,6	412541,4

При проведении эксперимента с NaOH капсулу с этим веществом нагревали вместе с печью. Масса кладки едкого натра в капсуле составила 16 г. Температура окружающего воздуха на начало охлаждения капсулы составила $t_{в} = 19^{\circ}\text{C}$.

Результаты замеров температуры в рабочем пространстве печи и внутри капсулы приведены на рис. 9.

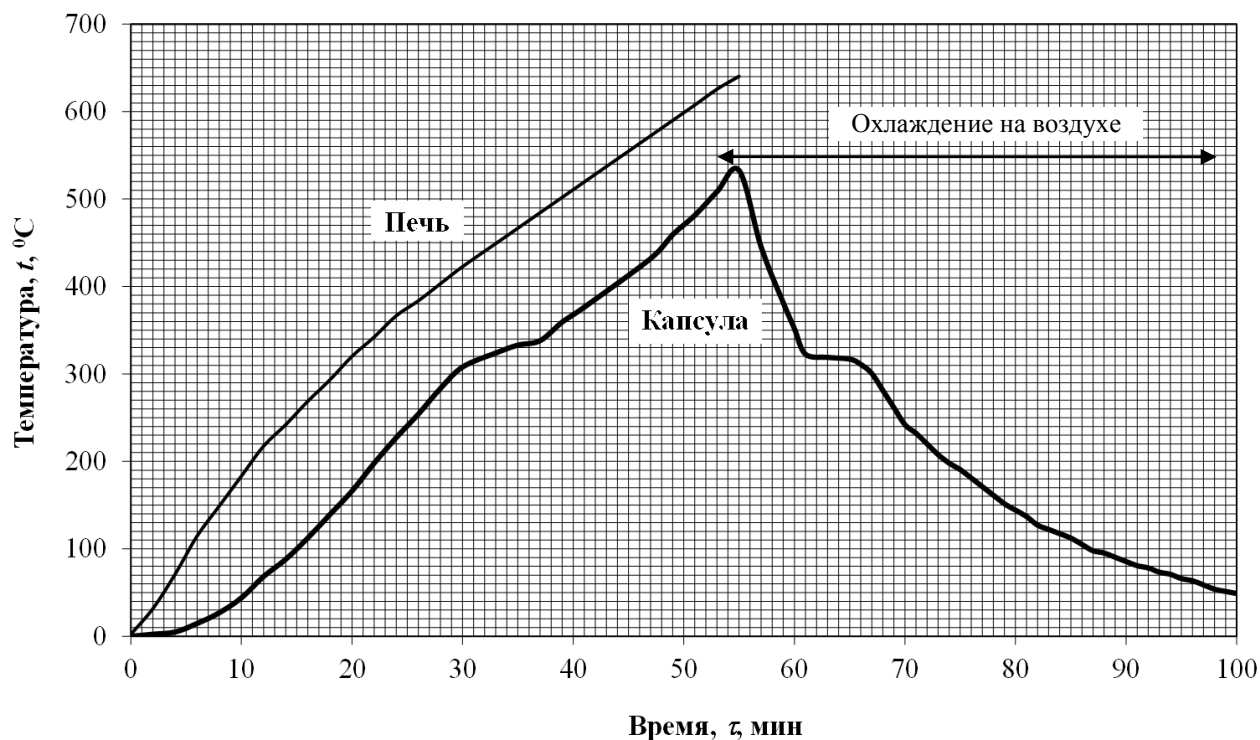


Рис. 9. Изменение температуры рабочего пространства печи и капсулы с NaOH

Как следует из приведенного графика, в районе температур плавления NaOH кривая формирует площадки фазового перехода как при нагреве, так и при охлаждении, которые связаны с плавлением и кристаллизацией соответственно. Причем при нагреве заметен температурный гистерезис площадки в сторону увеличения, а при охлаждении – в сторону снижения температур, что полностью соответствует известным закономерностям.

Согласно представленной ранее методике, определили, что в процессе охлаждения капсула с едким натром отдала в окружающее пространство 508912,8 Дж тепловой энергии.

Энергетический эффект едкого натра выявляли как разницу энергетических показателей снаряженной и пустой капсулы:

$$Q_{EH} = Q_{Kc} - Q_{Kn} = 508912,8 - 412541,4 = 96371,4 \text{ Дж}, \quad (10)$$

где Q_{Kc} – энергия снаряженной капсулы, Дж;

Q_{Kn} – энергия пустой капсулы, Дж.

Массовую удельную энергию в показанном интервале температур определяли:

$$Q_{EH}^{уд} = \frac{Q_{EH}}{m_{EH}} = \frac{96371,4}{0,016} = 6023212,5 \text{ Дж/кг} \quad (11)$$

где m_{EH} – масса едкого натра, кг.

Масса теплоаккумулирующего материала, необходимая и достаточная для обеспечения эффективной работы системы рекуперации тепловой энергии, зависит от ряда факторов: мощности обкатываемых двигателей, их эффективного коэффициента полезного действия, количества параллельно работающих стенов, интенсивности отбора тепловой энергии для нужд потребителей и так далее. В общем случае массу теплоаккумулирующего материала можно определить по формуле:

$$M_{ТАМ} = \frac{Q_{НЭ}}{Q_{ТАМ}^{уд} \cdot \eta_{ТР}}, \quad (12)$$

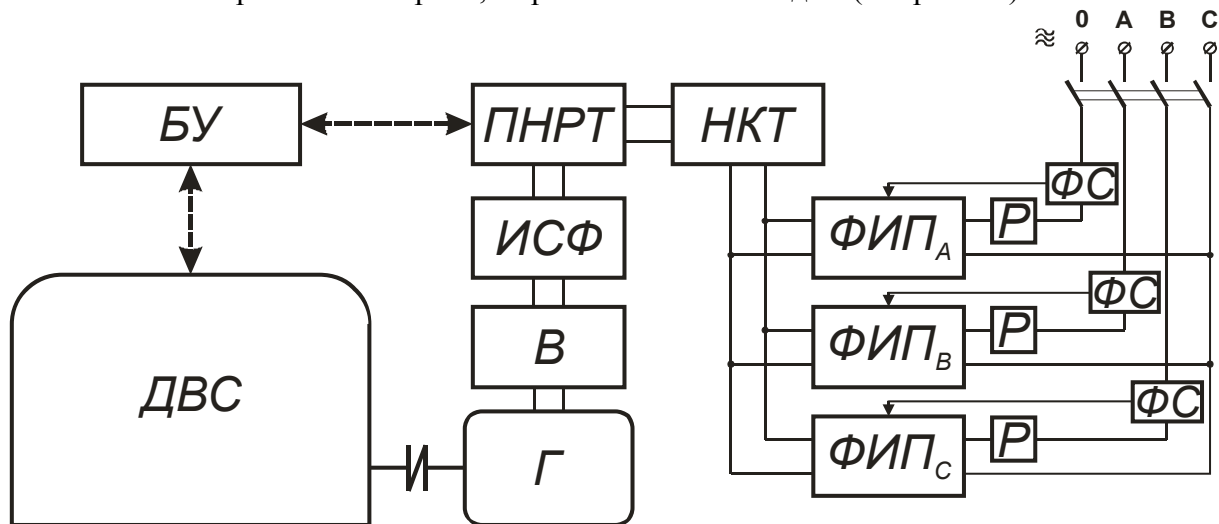
где $Q_{НЭ}$ – накапливаемая в тепловом аккумуляторе энергия, Дж;

$Q_{ТАМ}^{уд}$ – удельная массовая энергия теплоаккумулирующего материала, Дж/кг;

$\eta_{ТР}$ – коэффициент полезного действия тепловой рекуперации.

Следует особо отметить, что конструкция теплового аккумулятора фазового перехода должна предусматривать расположение трубчатого теплообменника, по которому проходят отработавшие газы, в верхней части рабочего пространства. В противном случае объемные эффекты при плавлении теплоаккумулирующего вещества способны разрушить оболочку и внутренние конструкции теплового аккумулятора. С той же целью необходимо предусмотреть наличие незаполненного теплоаккумулирующим материалом рабочего пространства теплового аккумулятора.

Помимо рекуперации тепловой энергии при стендовых испытаниях, в работе изучалась возможность рекуперации электрической энергии при горячей обкатке двигателя внутреннего сгорания под нагрузкой. С учетом возможных резких колебаний в режимах испытания двигателя внутреннего сгорания под нагрузкой, режима работы потребителей электрической энергии и даже при отсутствии мощных внутривозовских потребителей предлагается следующая схема использования электрической энергии, вырабатываемой стендом (см. рис. 10).



БУ – блок управления; ДВС – двигатель внутреннего сгорания; ПНРТ – преобразователь напряжения / регулятор тока; ИСФ – индуктивный сглаживающий фильтр; В – выпрямитель; Г – генератор; НКТ – накопитель конденсаторного типа; ФИП – пофазовый инверторный преобразователь; P – реактор индуктивный; ФС – фазовый синхронизатор

Рис. 10. Блок-схема рекуперации электрической энергии при горячей обкатке ДВС под нагрузкой

Как следует из приведенной блок-схемы, асинхронная электрическая машина стенда, работающая в режиме генератора (Г) при горячей обкатке ДВС под нагрузкой вырабатывает переменный электрический ток, который через выпрямитель (В) и сглаживающий фильтр индуктивного типа (ИСФ) подается на преобразователь напряжения и регулятор тока (ПНРТ). Преобразователь напряжения представляет из себя мостовой инвертор, работающий на повышенной частоте (50 – 60 кГц); величина тока определяется скважностью импульсов преобразователя [2] и формирует тормозной момент на валу генератора (Г), то есть нагрузку двигателя внутреннего сгорания. С ПНРТ ток поступает на накопитель конденсаторного типа (НКТ), выполняющий двоякую функцию: сглаживание пульсаций выпрямленного тока и снижение скачков электрических параметров, связанных с резким изменением режима работы двигателя внутреннего сгорания или скачкообразными изменениями нагрузки во внешней сети. То есть, накопитель фактически снижает динамику переходных процессов. В качестве накопителя электрической энергии предлагается использовать конденсаторы сверхбольшой емкости [3] с низким внутренним сопротивлением, которое практически не зависит от степени заряженности. Это позволяет работать со значительными зарядными и разрядными токами. Кроме того, эти конденсаторы имеют гарантированный срок эксплуатации до 15 лет и более.

Электрическая энергия, накапливаемая в НКТ, передается на пофазные инверторные преобразователи (ФИП), каждый из которых формирует переменное напряжение с промышленной частотой 50 Гц. Частотно-фазовую синхронизацию с внешней сетью обеспечивают фазовые синхронизаторы (ФС). Реакторы индуктивного типа (Р) обеспечивают синусоидальную форму напряжения.

Такая схема двойного преобразования напряжения вызвана следующими причинами. Во-первых, одна из фаз асинхронной электрической машины (Г) работает в режиме обмотки возбуждения, что вызывает искажения формы напряжения и делает невозможным прямую передачу электрической энергии во внешнюю цепь. Во-вторых, переменная частота вращения коленчатого вала ДВС не дает возможность обеспечить частоту тока генератора на уровне 50 Гц. В-третьих, наличие промежуточного накопителя позволяет устранить взаимное влияние динамических процессов в работе ДВС и во внешней цепи.

Наличие в электросети предприятия реверсного счетчика потребленной электрической энергии даст возможность передавать электрическую энергию во внешнюю сеть. Это возможно в случае, когда мощность включенных внутризаводских потребителей меньше мощности, генерируемой стендом или несколькими стендами, на которых осуществляется горячая обкатка двигателей внутреннего сгорания под нагрузкой.

Выводы

1. Предложена схема комплексной рекуперации тепловой и электрической энергии при стендовой горячей обкатке двигателей внутреннего сгорания без нагрузки и под нагрузкой, что позволяет снизить затраты на проведение испытаний и повысить их эффективность. Причем при обкатке ДВС без нагрузки осуществляется рекуперация только тепловой энергии, а под нагрузкой – тепловой и электрической энергии.

2. Отбор тепловой энергии рационально осуществлять по двум отдельным контурам: от системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания и от системы выпуска отработавших газов. Это обусловлено существенным различием рабочих температур и разными теплоаккумулирующими материалами.

3. Схема, предложенная для рекуперации электрической энергии, позволяет использовать ее на внутризаводские нужды или передавать ее во внешнюю электрическую сеть при наличии на предприятии реверсного счетчика электрической энергии.

Список литературы

1. Александров В.Д. Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних засобів: параметри робочих процесів / В.Д. Александров, Ю.Ф. Гутаревич, І.В. Грицук, Ю.В. Прилепський і інш. – Донецьк: Вид-во «Ноулідж», 2014. – 230 с.[іл. 85, табл. 21]. ISBN 978-966-8707-45-2.
2. Прилепський Ю.В. Исследование возможности параллельной работы преобразовательных блоков системы рекуперации электрической энергии на транспортных средствах // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2014. – №4. – С. 72-78.
3. Варакин А.И., Варакин И.Н., Менухов В.В. Применение электрохимических конденсаторов в составе гибридных силовых установок маневровых и магистральных тепловозов // НТТ. – 2007. – №2.

Прилепський Ю.В. Підвищення ефективності стендової гарячої обкатки двигунів внутрішнього згоряння

Анотація. В роботі показано можливість суттєвого підвищення ефективності стендової обкатки двигунів внутрішнього згоряння за рахунок використання електричної і теплової енергії, що виділяється.

Ключові слова: система рекуперації, енергія електрична, енергія тепла, накопичувач енергії, перетворювач енергії.

Prylepskyi Yu.V. Improving the efficiency of the hot bench running internal combustion engines

Abstract. The paper shows the possibility of a significant increase of efficiency bench running internal combustion engines through the use of allocated during testing of electric and heat energy.

Keywords: recovery system, electrical energy, thermal energy, energy storage, energy converter.

Стаття надійшла до редакції 27.02.2015 р.