

УДК 621.44.3:678-462

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

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ ПОТОКАМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕПЛООВОГО АККУМУЛЯТОРА ДЛЯ ПРЕДПУСКОВОГО ПРОГРЕВА ДВС

Разработана схема управления тепловыми потоками при накоплении тепла в тепловом аккумуляторе фазового перехода от работающего ДВС и последующей отдачей тепла при предпусковом нагреве ДВС, предложены электронные схемы управления исполнительными устройствами

Ключевые слова: накопитель тепла, поток тепловой, переход фазовый, схема электронная, усилитель масштабный, компаратор

Постановка проблемы

Внедрение системы рекуперации тепловой энергии с использованием теплового аккумулятора решает проблемы предпускового прогрева ДВС и позволяет экономить горючее. Кроме наличия теплового аккумулятора, важную роль в эффективной работе рекуперации тепла занимает оптимальное управление тепловыми потоками за счет оснащения системой автоматического контроля и управления.

Цель работы

Целью данной работы явилась разработка системы автоматического управления тепловыми потоками при использовании рекуперации тепловой энергии для предпускового прогрева двигателя внутреннего сгорания

Основная часть

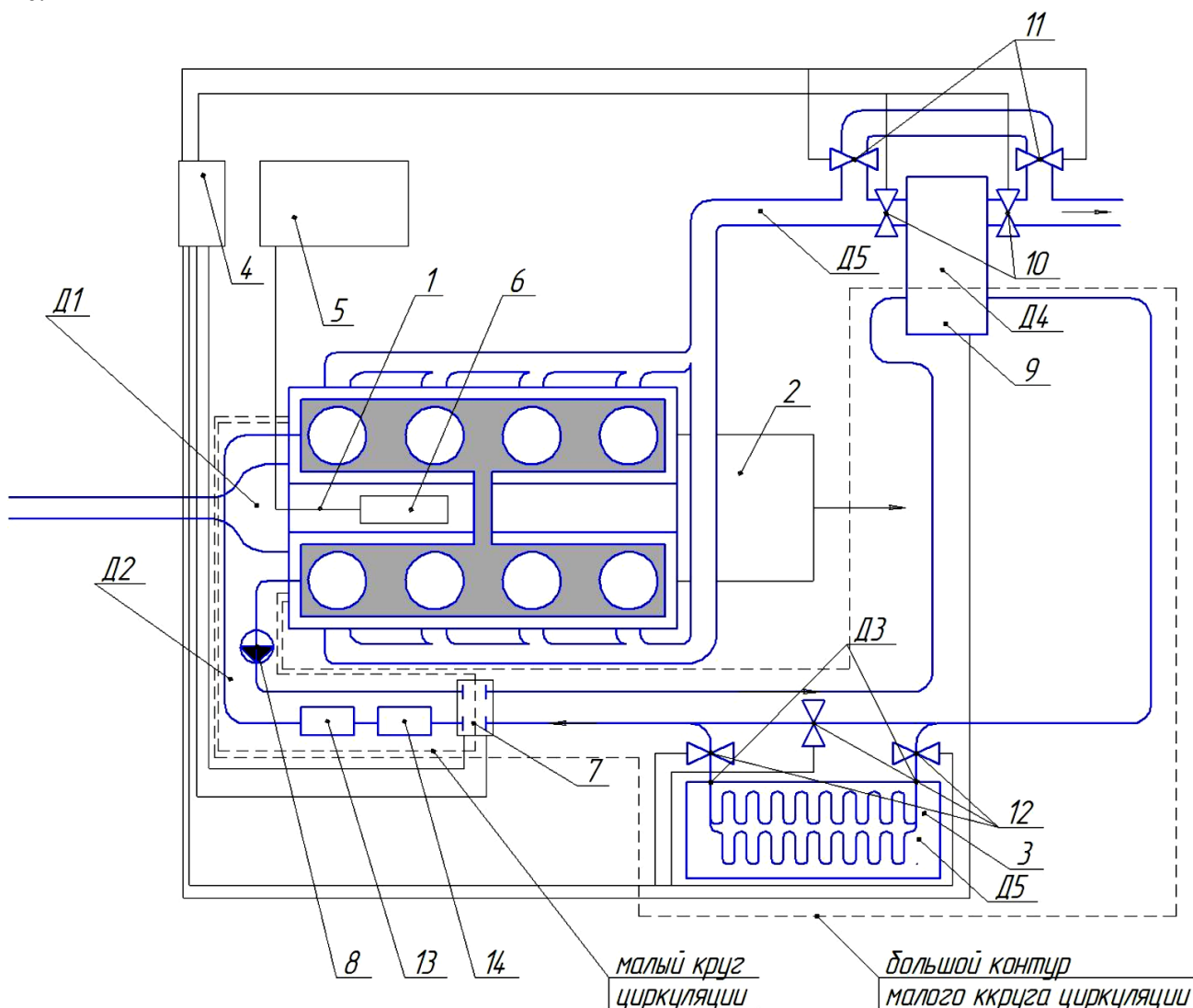
В рамках данной работы разработана система автоматического распределения тепловых потоков для схемы тепловой рекуперации, которая изображена на рисунке 1.

Схема работает следующим образом. При работе двигателя на режиме прогрева при теплых климатических условиях клапан 7 блоком управления системы охлаждения 4 устанавливается в положение, при котором циркуляционный насос 8 осуществляет движение охлаждающей жидкости по малому кругу. После того как датчики температуры охлаждающей жидкости Д2 зафиксируют температуру, соответствующую прогретому двигателю, блок управления системы охлаждения 4 подает сигнал на клапан 7, который переключается в положение циркуляции охлаждающей жидкости через теплообменник 3.

Дальнейшая работа системы регулирования теплоты двигателя происходит на основе данных датчиков температуры Д2, Д3. Согласно показателям температур этих датчиков высчитывается оптимальная работа насоса 8 по принципу «работа-остановка» (релейный тип регулирования).

Клапаны 11 в системе выпуска отработавших газов являются нормально открытыми, а клапаны 10 – нормально закрытыми. В этом состоянии они остаются, если температура отработавших газов ниже температуры теплоносителя (в случае ранее прогретого теплоносителя и низких температур отработавших газов сразу после пуска ДВС). При температуре отработавших газов (датчик Д5) выше температуры материала теплоносителя (датчик Д4) клапаны 10 системой автоматики открываются, а клапаны 11 закрываются. При возрастании температуры тепло-

носителя до предельно допустимого уровня клапаны 10 и 11 возвращаются в исходное состояние.



1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – генератор электрического тока;
3 – теплообменник; 4 – блок управления системой охлаждения; 5 – блок управления двигателем;
6 – регулятор ДВС; 7 – трехступенчатый клапан; 8 – насос;
9 – тепловой аккумулятор; 10 – клапаны выпускной системы; 11 – клапаны байпаса;
12 – клапаны отключения теплообменника

Рис.1. Схема применения рекуперации тепла для предпускового прогрева ДВС

Таким образом, основным показателем работы приведенной системы рекуперации тепла является температура тепловых потоков и теплоносителей, а исполнительные механизмы работают в релейном режиме. Кроме того, работа исполнительных механизмов зависит от одного датчика (при сравнении текущего значения температуры с заранее установленной) или от двух датчиков (при их дифференциальном сравнении). Эти особенности работы учитывали при выборе датчиков и разработке блоков автоматики.

Качественная работа автоматических систем, прежде всего их точность, в значительной мере зависит от правильного выбора датчиков. При выборе датчиков температуры учитывали, в первую очередь, температурный диапазон их работы, главные преимущества и недостатки (см. таблицу 1).

Основные характеристики датчиков температуры

Тип (материал)	Температурный диапазон, °С	Преимущества	Недостатки
Термодатчики сопротивления			
Платина	-196 до +600	Высокая точность, линейность, высокое удельное сопротивление, высокая стойкость к газовой коррозии	Высокая стоимость, инерционность, чувствительность к загрязнению
Никель	-60 до +180	Высокий ТКС*), стойкость к газовой коррозии	Инерционность, чувствительность к загрязнению
Медь	-50 до +150	Высокая линейность, низкая стоимость	Высокая инерционность, низкий ТКС, низкое удельное сопротивление
РТС и NTC термисторы	-60 до +300	Высокий ТКС, значительное сопротивление, низкая инерционность, малый размер, низкая стоимость, стабильность	Нелинейность характеристики, взаимозаменяемость в узком диапазоне температур
Термопары			
Платина-платинородиевая	0 до +1300	Высокая стойкость к газовой коррозии, линейность характеристики	Высокая чувствительность к загрязнению, высокая стоимость
Хромель-алюмелевая	-200 до +1200	Высокая линейность характеристики, стойкость к газовой коррозии, простота изготовления	Чувствительность к сернистой атмосфере, температурный гистерезис
Хромель-копелевая	-200 до +600	Высокая чувствительность, стабильность	Высокое влияние деформации на показатели

*) ТКС температурный коэффициент сопротивления

Температура, измеряемая датчиками, находится в диапазоне от -20°C (температура в зимний период) до $+600^{\circ}\text{C}$ (температура отработавших газов). Исходя из диапазона измерения и характеристик температурных датчиков, была выбрана хромель-алюмелевая термопара, которая полностью отвечает условиям эксплуатации и отличается высоким уровнем линейности характеристики (рис. 2). Для предотвращения загрязнения и изоляции термопары от электропроводного материала теплонакопителя термопары, которые расположены на пути отработавших газов, и термопары, которые измеряют температуру теплонакопителя, покрыты защитными металлическими оболочками с достаточной теплопроводностью.

В рамках данной работы были разработаны локальные автоматические блоки управления приводными механизмами, которые функционируют независимо друг от друга. При разработке этих систем выходили из следующих требований: оперативно и точно измерять температуру теплоносителей и нагреваемых элементов; непрерывно обрабатывать данные датчиков и формировать сигналы для исполнительных механизмов по перераспределению тепловых потоков; быть простыми в обслуживании, иметь малую стоимость; отвечать требованиям максимальной унификации составных частей и деталей.

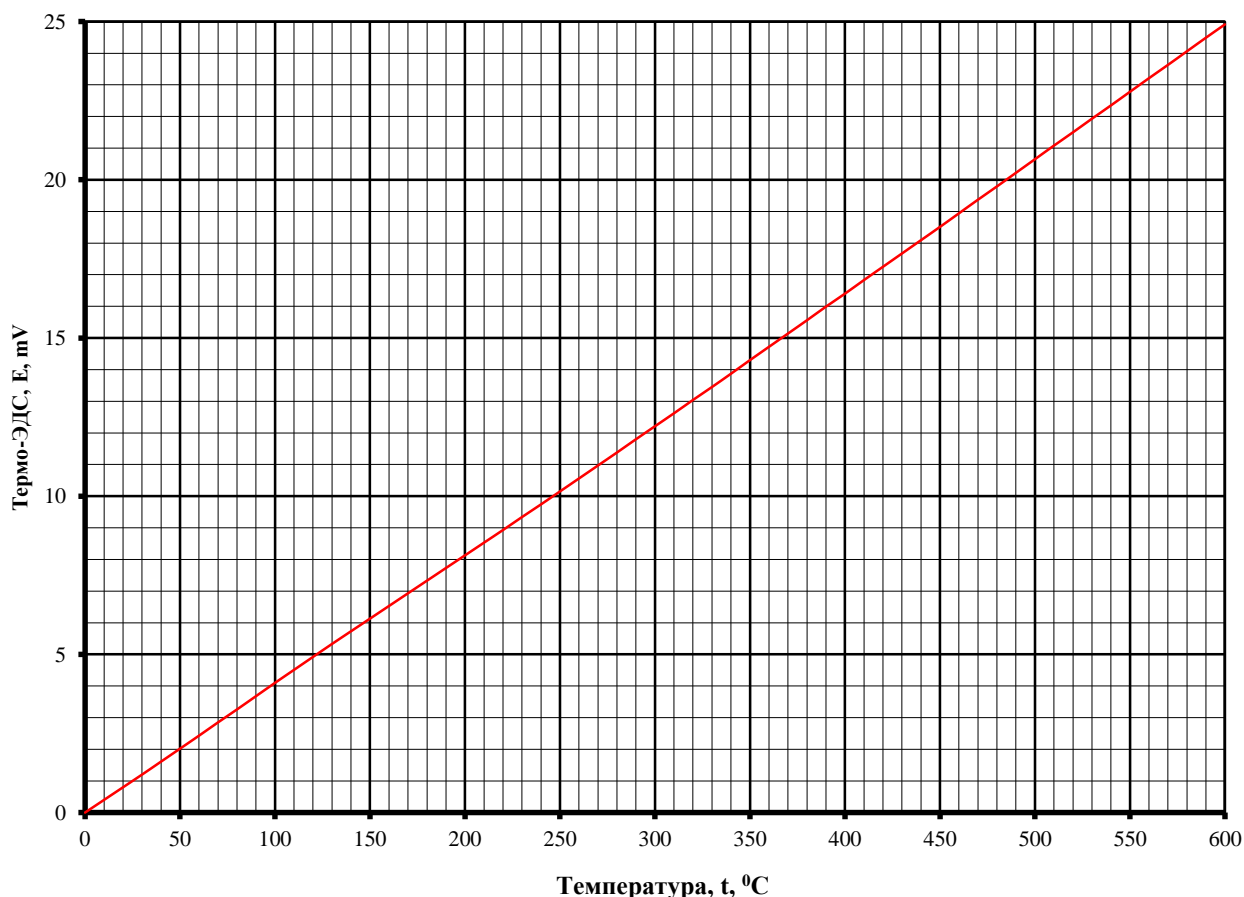


Рис.2. Зависимость термо-ЭДС хромель-алюмелевой термопары от температуры

Для обеспечения непрерывности работы автоматических систем решено сделать их на аналоговом принципе действия. Анализ работы системы рекуперации тепла показал, что для автоматических систем достаточным будет оснащение их четырьмя типами блоков: масштабным усилителем электродвижущей силы термопары, блоком сравнения сигнала термопары с установленным уровнем этого сигнала, дифференциальным блоком сравнения сигналов от двух термопар и усилителем мощности для управления исполнительными механизмами. Для упрощения процессов изготовления этих блоков, их настройки и возможного ремонта элементную базу также выбирали, придерживаясь принципа унификации.

Поскольку электродвижущая сила хромель-алюмелевой термопары составляет менее 0,05 В в диапазоне измеряемых температур, для всех термопар предложен масштабный усилитель, принципиальная схема которого приведена на рисунке 3. Основу масштабного усилителя составляет операционный усилитель AV1 с высоким входным сопротивлением за счет полевых транзисторов на прямом (3) и инверсионном (2) входах. Для уменьшения наводок, провода от термопары ТХА имеют электростатический экран.

Дополнительное устранение пульсаций, которые могут возникать по разнообразным причинам, осуществляется отрицательной обратной емкостной связью С2. Установка потенциала «0» операционного усилителя осуществляется резистором R5, а установка начала шкалы термопары – резистором R3. За начало шкалы термопары в нашем случае выбирали потенциал, который соответствует температуре -20°C . Коэффициент усиления напряжения операционного усилителя AV1 (масштабный коэффициент), равный 100, устанавливали резисторами R6 (грубая настройка) и R7 (точная настройка). Для всех термопар, которые устанавливаются в системе рекуперации тепла, масштабные усилители одинаковы, с идентичной настройкой, которая

дает возможность изготавливать и настраивать их заранее на отдельном стенде с последующей заменой их в случае ремонта или проверки при блочной компоновке общей электронной схемы.

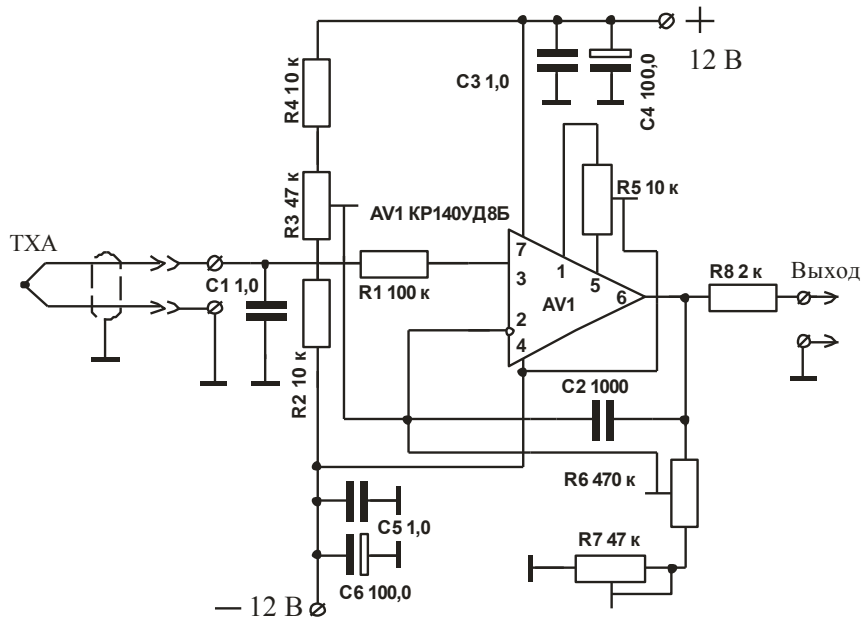


Рис.3. Принципиальная схема масштабного усилителя электродвижущей силы термопары

Питание масштабного усилителя и блоков сравнения осуществляется от стабилизированного двухполярного источника +12 В и -12 В. Для устранения возможных пульсаций напряжения в сети питания при коммутационных процессах установлены емкостные фильтры C3, C4 и C5, C6.

Блоки сравнения сигналов от термопар с заранее установленным уровнем должен формировать сигналы для исполнительных механизмов, которые управляют тепловыми потоками. Поскольку исполнительные механизмы работают в ключевом режиме, на выходе блока сравнения также формируются сигналы «включено» или «выключено». Принципиальная схема сравнительного устройства сигнала термопары с установленным уровнем приведена на рисунке 4.

Как следует из приведенной схемы, сравнительное устройство представляет собой компаратор. Так, при потенциале на входе схемы б) ниже установленного уровня, на выходе схемы формируется положительный потенциал приблизительно 5 В. Если потенциал на входе станет больше установленного уровня, на выходе 6 операционного усилителя сформируется отрицательный потенциал, а на выходе сравнительного устройства он будет близок к нулевому значению. Необходимый сравнительный уровень устанавливается резистором R3.

Для схемы на рисунке 5 сравниваются напряжения сигналов от двух масштабных усилителей (двух термопар). Если сигнал на входе 1 будет более высоким по напряжению, чем сигнал на входе 2, на выходе сравнительного устройства сформируется положительный сигнал. При превышении уровня сигнала на входе 2 над сигналом входа 1 на выходе формируется потенциал, близкий к нулевому значению.

Мощности сигналов, которые поступают на выход сравнительных блоков, как правило, недостаточно для управления исполнительными механизмами. В качестве усилителя мощности предложена схема, приведенная на рисунке 6. Питание схемы осуществляется от общей (бортовой) системы электрического питания с соответствующим напряжением. Максимальный долгосрочный ток на выходе может составлять 10 А, что достаточно для управления исполнительными устройствами системы рекуперации тепла (электрический двигатель привода компрессо-

ра, перепускные клапаны потоков теплоносителя, и т.п.). Диод VD1 предотвращает пробой сети коллектор – эмиттер транзистора VT1 при наведении обратного тока на индуктивной нагрузке.

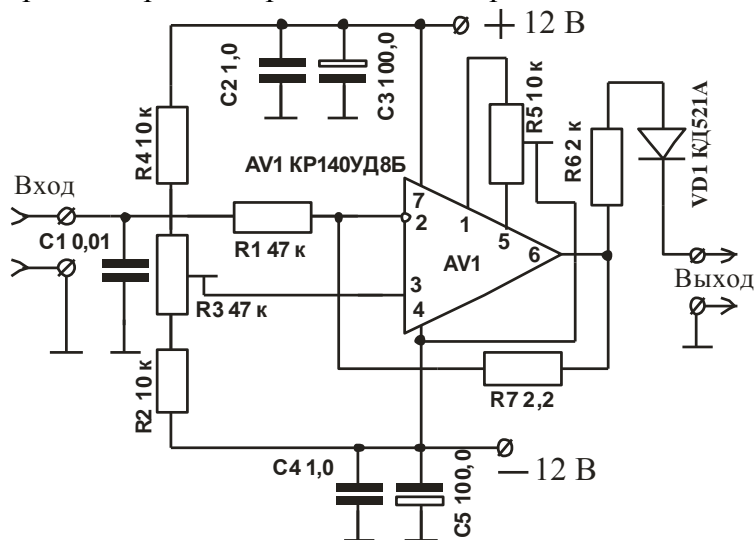


Рис.4. Принципиальная схема блока сравнения сигнала терморпары с установленным уровнем

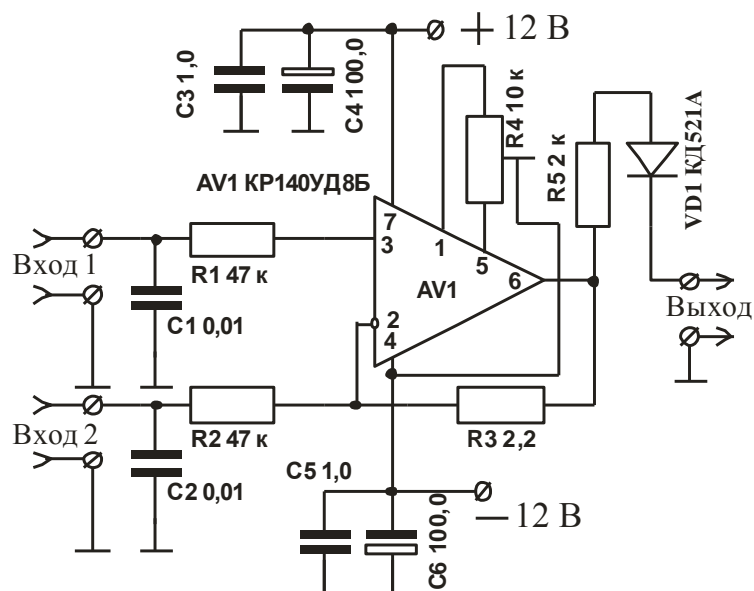


Рис.5. Принципиальная схема дифференциального блока сравнения сигналов от двух терморпар

Выводы

Разработаны электронные схемы для автоматической системы управления тепловыми потоками в теплообменниках рекуперативного типа для предпускового прогрева двигателей внутреннего сгорания.

Схемы обеспечивают непрерывность контроля и регулирования, поскольку они построены на аналоговом принципе действия.

Применение однотипных блоков и элементной базы позволяет значительно упростить изготовление, обслуживание и ремонт системы автоматики.

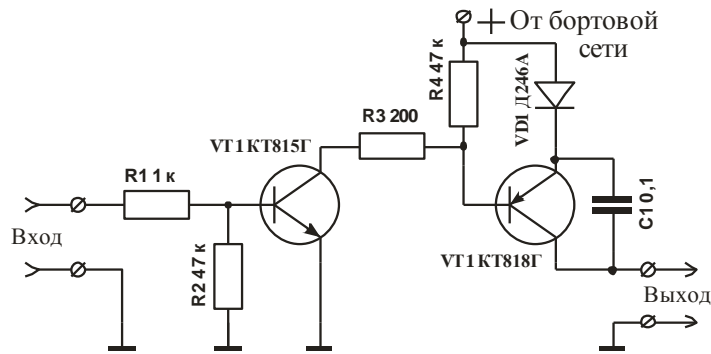


Рис.5. Принципиальная схема усилителя мощности сигнала управления

В настоящее время блоки находятся на стадии изготовления, после чего будут опробованы на опытной системе рекуперации тепла на базе дизель-генераторной установки лаборатории кафедры «Подвижной состав...» ДонИЖТ.

Ожидаемая погрешность регулирования составляет $\pm 1,5$ °С, что является полностью достаточным для оборудования системы рекуперации тепла.

Список литературы

1. Адров Д.С. Тепловый аккумулятор як засіб підвищення ефективності пуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур / Д.С. Адров, І.В. Грицук, Ю.В. Прилепський, В.І. Дорошко // Збірник наук. праць ДонІЗТ, вип. 27. – Донецьк, 2011. – С. 117 – 126.

2. Термопреобразователи сопротивления и терморпары – характеристики, схемы, рекомендации. – Режим доступа: http://news.schem.net/articles/circuit_542.php. – Название с экрана.

Прилепський Ю. В. Розробка схеми автоматичного керування тепловими потоками при використанні теплового аккумулятора для передпускового прогріву ДВЗ

Анотація. Розроблено схему керування тепловими потоками при накопиченні тепла в тепловому аккумуляторі фазового переходу від працюючого ДВЗ і наступною віддачею тепла при передпусковому прогріві ДВЗ, запропоновано електронні схеми керування виконавчими пристроями

Ключові слова: накопичувач тепла, потік тепловий, перехід фазовий, схема електронна, підсилювач масштабний, компаратор

Prylepskyi Yu.V. Development of automatic thermal flow control scheme by using heat storage for preheating combustion engine warm-up

Abstract. A heat flow control circuit when the heat accumulation in the heat accumulator of the phase transition from operating the internal combustion engine and the subsequent impact of heat during Preheat ICE offered electronic circuits actuators control

Keywords: heat accumulator, heat flux, the transition phase, the electronic circuit, a large-scale amplifier, comparator

Стаття надійшла до редакції 24.09.2015 р.