

УДК 621.44.3:678-462

**Ю.В. Прилепський (канд. техн. наук, доц.), І.В. Грицук¹ (канд. техн. наук, доц.),
І.Ф. Рибалко² (канд. техн. наук, доц.)**

1) Донецький інститут залізничного транспорту, м. Донецьк
кафедра рухомого складу залізниць

2) Українська інженерно-педагогічна академія, ННППІ, м. Артемівськ
кафедра електроніки та комп'ютерних технологій систем управління
E-mail: prylepsskyu@rambler.ru, gritsuk_iv@ukr.net, r_rybalko@rambler.ru

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОАКОПИЧЕННЯМ ТА ПЕРЕДПУСКОВИМ ПРОГРІВОМ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

Наведено результати розробки електронних схем для автоматичної системи керування тепловими потоками в теплообмінниках рекуперативного типу для передпускового прогріву двигунів внутрішнього згорання будівельних машин. Дослідження проводились з використанням схем і блоків безперервного керування, розроблених авторами. Опробування розроблених елементів автоматизації в рамках стендових випробувань з термостатами показало високу точність спрацьовування при змінах температури.

Ключові слова: електронні схеми, блоки системи керування, теплові потоки, тепловий акумулятор, відпрацьовані гази.

Актуальність проблеми. Двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ), що використовуються на транспортних засобах і будівельних машинах та експлуатуються в умовах низьких температур, зазвичай мають проблему «холодного пуску». Режим «холодного пуску» супроводжується суттєвим навантаженням на пусковий механізм, деталі ДВЗ та струмовим навантаженням на акумуляторні батареї, що значно скорочує моторесурс двигуна та строк експлуатації акумуляторів. Окрім цього, прогрів ДВЗ до робочих температур потребує значних витрат пального. Ці проблеми стають особливо актуальними зі зростанням маси та потужності ДВЗ.

Аналіз публікацій. Впровадження системи рекуперації теплової енергії з використанням теплового акумулятору [1, 2] вирішує проблеми передпускового прогріву ДВЗ та дозволяє економити пальне. Окрім наявності теплового акумулятору, важливу роль в ефективній роботі рекуперації тепла займає оптимальне керування тепловими потоками за рахунок оснащення системою автоматичного контролю та управління.

Метою роботи є розробка схеми автоматичного розподілу теплових потоків для системи рекуперації при вирішенні проблеми підвищення ефективності теплової підготовки стаціонарних і мобільних машин шляхом автоматизації керування потоками в теплових накопичувачах ДВЗ будівельних машин.

Основний матеріал. В рамках даної роботи розроблена схема автоматичного розподілу теплових потоків для системи теплової рекуперації, що зображена на рис. 1.

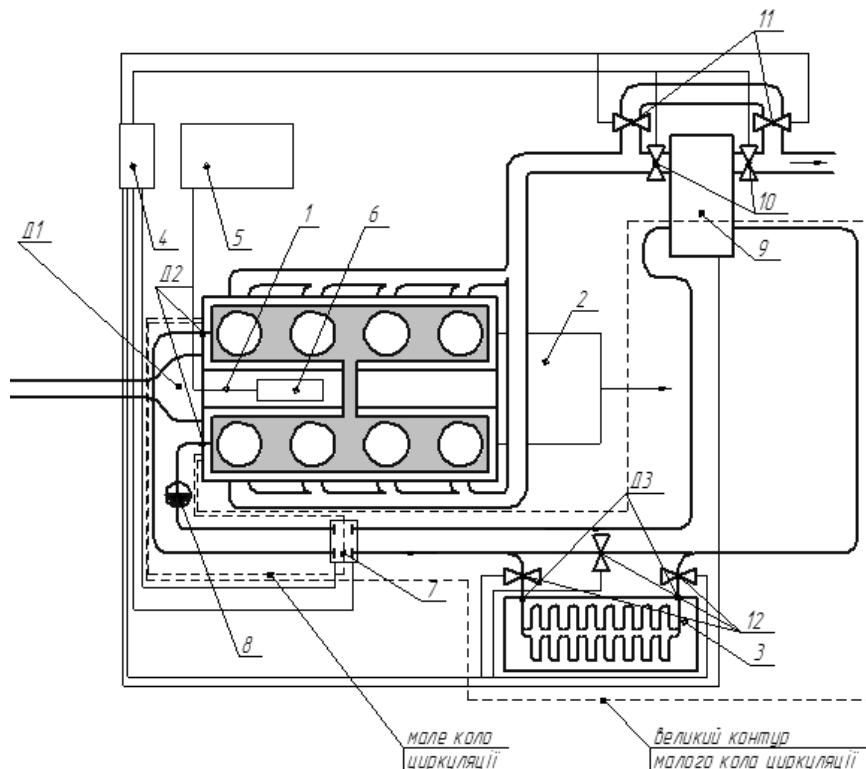
Система працює наступним чином. При роботі двигуна на режимі прогріву при теплих кліматичних умовах триступеневий клапан 7 встановлюється блоком керування системи охолодження 4 у положення в якому циркуляційний насос 8 здійснює рух охолоджувальної рідини по малому колу, після того як датчики температури охолоджувальної рідини Д2 зафіксують температуру відповідну прогрітому двигуну блок керування системою охолодження 4 подає сигнал на триступеневий клапан 7, який перемикається у положення циркуляції охолоджувальної рідини через теплообмінник 3.

Подальша робота системи регулювання теплоти двигуна відбувається на основі даних датчиків температури Д2, Д3. Відповідно до показників температур цих датчиків вираховується оптимальна частота обертання насоса 8.

У залежності від навантаження на генератор 2 та температури паливо повітряної суміші, яка вимірюється датчиком Д1, блок керування 4 вираховує необхідну кількість палива для роботи двигуна з постійною частотою та подає керуючий сигнал на шаговий електромотор, який встановлює важіль керування у відповідне положення. Відповідно до показників датчиків температури Д2, Д3 вираховується частота обертання насоса 8, яка буде забезпечувати оптимальний прогрів теплоносія.

При показниках датчиків температури Д2 та Д3, що відповідають температурі більш ніж оптимальній для цього двигуна включається тепловий акумулятор 9 та акумулює надлишки теплоти від системи охолодження двигуна; коли тепловий акумулятор 9 зробив запас теплоти, який відповідає його потужності, блок керування системою охолодження 4 формує сигнал, який закриває клапани 10, та відкриває клапани байпасу 11.

При низькій температурі навколишнього середовища та зарядженому тепловому акумулятору 9 прогрів двигуна 1 здійснюється наступним чином: клапани 12 відключають від циркуляції теплообмінник 3, а триступеневий клапан 7 встановлюється у положення великого контуру малого кола циркуляції, чим дозволяє прогріти охолоджуючу рідину від теплового акумулятора 9 в момент пуску двигуна. При цьому елементи схеми, що входять в мале коло циркуляції працюють аналогічно описаному раніше.



- 1 — двигун внутрішнього згорання; 2 — генератор електричного струму; 3 — теплообмінник;
 4 — блок керування системою охолодження; 5 — блок керування двигуном; 6 — регулятор ДВЗ;
 7 — триступеневий клапан; 8 — насос; 9 — тепловий акумулятор; 10 — клапани випускної системи; 11 — клапани байпасу; 12 — клапани відключення теплообмінника

Рисунок 1 — Схема застосування рекуперації тепла для передпускового прогріву ДВЗ

Таким чином, використання запропонованої системи дозволяє шляхом електронного керування двигуна та системою регулювання температури двигуна підвищити ефективність використання палива та досягти більшої зручності в утилізації теплоти від когенераційної установки. А тепловий акумулятор дозволяє більш гнучко утилізувати тепло та скоротити час прогріву двигуна.

Таким чином, головними показниками роботи наведеної системи рекуперації тепла є температура теплових потоків та теплоносіїв. Якісна робота автоматичних систем, насамперед їх точність значною мірою залежить від датчиків. При виборі датчиків температури враховували, в першу чергу, температурний діапазон їх роботи, головні переваги та недоліки (див. табл. 1) [3].

Температура, що вимірюється, знаходиться в діапазоні від -20°C (температура в зимовий період) до $+600^{\circ}\text{C}$ (температура відпрацьованих газів). Виходячи з діапазону вимірювання та характеристик температурних датчиків, була вибрана хромель — алюмелева термопара, що відповідає умовам експлуатації. Для запобігання забруднення та ізоляції термопари від електропровідного матеріалу теплонакопичувача, термопари, що розташовані на шляху газів, що відпрацьовали, та термопари, що вимірюють температуру теплонакопичувача, вкриті захисними металевими оболонками з достатньою теплопровідністю.

Таблиця 1. Головні характеристики датчиків температури

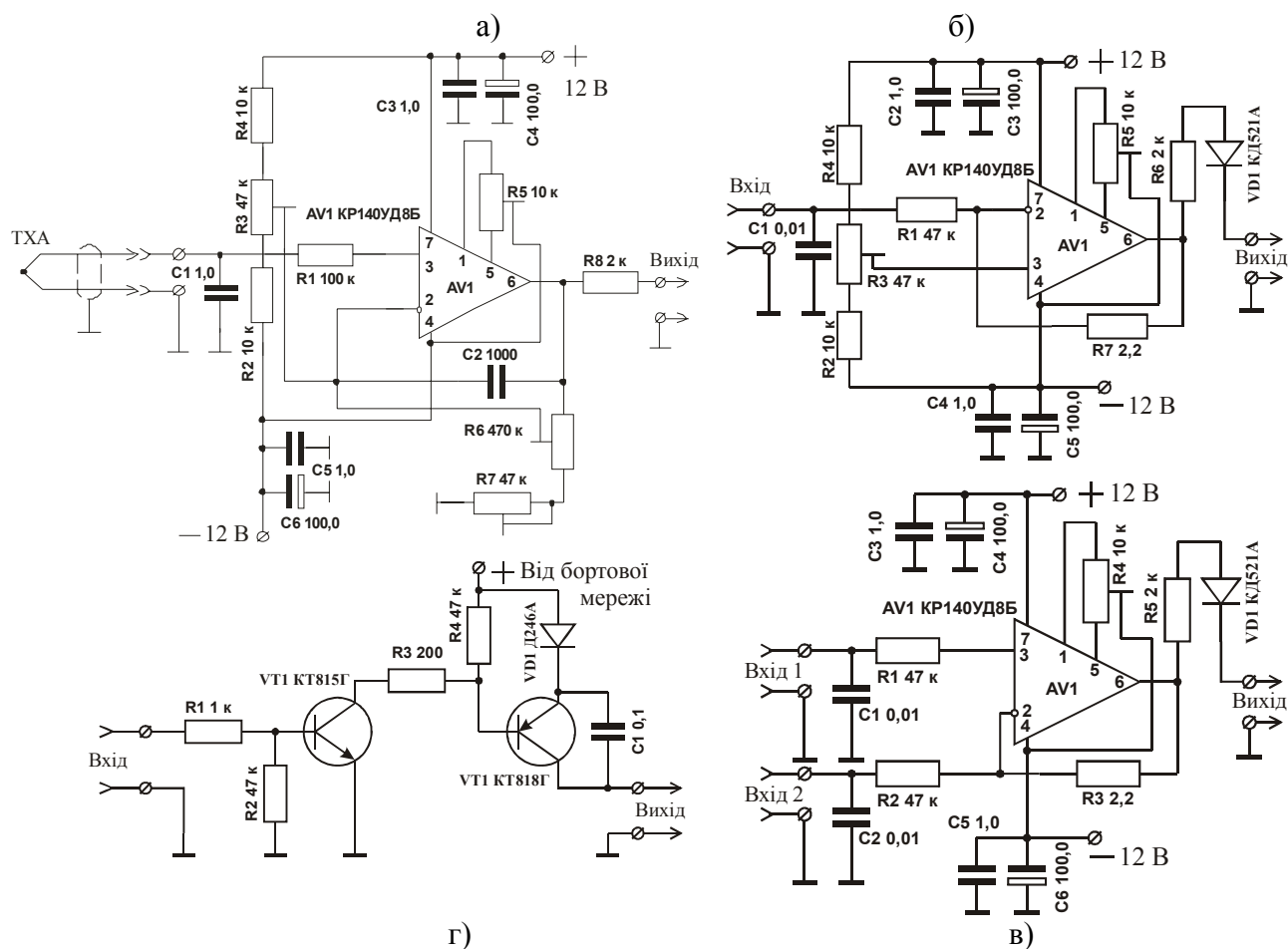
Тип (матеріал)	Температурний діапазон, $^{\circ}\text{C}$	Переваги	Недоліки
Термодатчики опору			
Платина	-196 до $+600$	Висока точність, лінійність, високий питомий опір, висока стійкість до газової корозії	Висока вартість, інерційність, чутність до забруднення
Нікель	-60 до $+180$	Високий ТКО ^{*)} , стійкість до газової корозії	Інерційність, чутність до забруднення
Мідь	-50 до $+150$	Висока лінійність, низька вартість	Висока інерційність, низький ТКО, низький питомий опір
РТС та NTC термістори	-60 до $+300$	Високий ТКО, значний опір, низька інерційність, малий розмір, низька вартість, стабільність	Нелінійність характеристики, взаємозамінюваність у вузькому діапазоні температур
Термопари			
Платино-платинородиєва	0 до $+1300$	Висока стійкість до газової корозії, лінійність характеристики	Висока чутність до забруднення, висока вартість
Хромель-алюмелева	-200 до $+1200$	Висока лінійність характеристики, стійкість до газової корозії, простота виготовлення	Чутність до сіркової атмосфери, температурний гістерезис
Хромель-копелева	-200 до $+600$	Висока чутність, стабільність	Високий вплив деформації на показники

*) ТКО температурний коефіцієнт опору

Для визначення ефективності роботи системи теплової рекуперації для дослідного зразка були розроблені локальні автоматичні системи керування приводними механізмами, що функціонують незалежно один від одного. При розробці цих систем виходили з наступних вимог: оперативно й точно вимірювати температуру теплоносіїв і елементів, що нагрі-

ваються; безперервно обробляти дані датчиків і формувати сигнали для виконавчих механізмів з перерозподілу теплових потоків; бути простими в обслуговуванні, мати малу вартість; відповідати вимогам максимальної уніфікації складових частин та деталей.

Для забезпечення безперервності роботи автоматичних систем, вирішено зробити їх на аналоговому принципі дії. Аналіз роботи системи рекуперації тепла показав, що для автоматичних систем достатнім буде оснащення їх чотирма типами блоків: масштабним підсилювачем електрорухомої сили термопар, блоком порівняння сигналу термопар з встановленим рівнем цього сигналу, диференційним блоком порівняння сигналів від двох термопар та підсилювачем потужності для керування виконавчими механізмами. Для спрощення процесів виготовлення цих блоків, їх налаштування та можливого ремонту, елементну базу також вибирали дотримуючись принципу уніфікації. Принципова схема розроблених блоків наведена на рис. 2.



а) — масштабний підсилювач електрорухомої сили термопар; б) — блок порівняння сигналу термопар з встановленим рівнем; в) — диференційний блок порівняння сигналів від двох термопар; г) — підсилювач потужності сигналу керування

Рисунок 2 — Принципові схеми електронних блоків керування системою рекуперації тепла

Оскільки електрорухома сила хромель-алюмелевої термопар становить менш, ніж 0,05В в діапазоні температур, що вимірюються, для всіх термопар запропоновано масштабний підсилювач, принципова схема якого наведена на рис. 2, а. Основу масштабного підсилювача становить операційний підсилювач AV1 з високим входним опором за рахунок

польових транзисторів на прямому (3) та інвертованому (2) входах. Для зменшення наводок дроти від термопари ТХА мають електростатичний екран.

Додаткове усунення пульсацій, що можуть виникати з різноманітних причин, здійснюється від'ємним зворотним ємнісним зв'язком С2. Встановлення потенціалу «0» операційного підсилювача здійснюється резистором R5, а встановлення початку шкали термопари — резистором R3. За початок шкали термопари в нашому випадку вибирали потенціал, що дорівнює температурі -20°C . Коефіцієнт підсилення напруги операційного підсилювача AV1 (масштабний коефіцієнт), що дорівнює 100, встановлювали резисторами R6 (грубе настроювання) та R7 (точне настроювання). Для усіх термопар, що встановлюються в системі рекуперації тепла, масштабні підсилювачі однакові з ідентичним настроюванням, що дає змогу виготовляти та настроювати їх заздалегідь на окремому стенді з наступною заміною їх в разі ремонту або перевірки при блочному компонуванні загальної електронної схеми.

Живлення масштабного підсилювача та блоків порівняння здійснюється від стабілізованого двополярного джерела $+12\text{ В}$ та -12 В . Для усунення можливих пульсацій напруги в мережі живлення при комутаційних процесах встановлені ємнісні фільтри С3, С4 та С5, С6.

Блоки порівняння сигналів від термопар з встановленим рівнем або між собою повинні формувати сигнали для виконавчих механізмів, що керують тепловими потоками. Оскільки більшість виконавчих механізмів працюють в ключовому режимі, на виході блоку порівняння також формуються сигнали «ввімкнено» або «вимкнено». Принципові схеми порівняльних засобів наведені на рис. 2, б та 2, в.

Як виходить з наведених схем, порівняльні засоби являють собою компаратори. Так, при потенціалі на вході схеми б) нижчому встановленого рівня, на виході схеми формується позитивний потенціал приблизно 5 В . Якщо потенціал на вході стане більшим за встановлений рівень, на виході б операційного підсилювача сформується від'ємний потенціал, а на виході порівняльного устрою він буде близький до нульового значення. Необхідний порівняльний рівень встановлюється резистором R3.

Для схеми на рис. 2, в порівнюються напруги сигналів від двох масштабних підсилювачів (двох термопар). Якщо сигнал на вході 1 буде вищий по напрузі за сигнал на вході 2, на виході порівняльного устрою сформується позитивний сигнал. При перевищенні рівня сигналу на вході 2 над сигналом входу 1, на виході формується потенціал, близький до нульового значення.

Потужності сигналів, що виходять з порівняльних блоків, зазвичай, недостатньо для керування виконавчими механізмами. В якості підсилювача потужності запропонована схема, що наведена на рис. 2, г. Живлення схеми здійснюється від загальної (бортової) системи електричного живлення з відповідною напругою. Максимальний довготривалий струм на виході може становити 10 А , що достатньо для керування виконавчими устроями системи рекуперації тепла (електричний двигун приводу компресора, перепускні клапани потоків теплоносія, тощо). Діод VD1 запобігає пробією мережі колектор – емітер транзистору VT1 при наведенні зворотного струму на індуктивному навантаженні.

Опробування електронних блоків на стенді з термостатами показало, що максимальне відхилення спрацьовування автоматичних систем становить $+1,5^{\circ}\text{C}$, що є повністю достатнім для обладнання системи рекуперації тепла.

Висновки

Розроблені електронні схеми для автоматичної системи керування тепловими потоками в теплообмінниках рекуперативного типу для передпускового прогріву двигунів внутрішнього згорання.

Схеми забезпечують безперервність контролю та регулювання, оскільки вона побудована на аналоговому принципі дії.

Застосування однотипних блоків та елементної бази дозволяє значно спростити виготовлення, обслуговування та ремонт системи автоматики.

Опробування розроблених блоків в рамках стендових випробувань з термостатами показало високу точність спрацювання при змінах температури.

Список використаної літератури

1. Система регулювання температури охолоджуючої рідини газопоршневого електроагрегату з утилізацією теплоти з тепловим акумулятором: патент на корисну модель № 62417. МКП F01P 3/22 (2006.01) / Грицук І.В., Краснокутська З.І., Адров Д.С., Вербовський В.С., Черняк Ю.В., Прилепський Ю.В., Гушчін А.М., Дорошко В.І. ; опубл.25.08.2011, Бюл. №16 – 5с.
2. Тепловий акумулятор як засіб підвищення ефективності пуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур / Д.С. Адров, І.В.Грицук, Ю.В. Прилепський и др. // Збірник наук. праць ДонІЗТ. – 2011. – Вип. 27. – С. 117 – 126.
3. Термопреобразователи сопротивления и термопары – характеристики, схемы, рекомендации. – Режим доступу: http://news.schem.net/articles/circuit_542.php. — Назва з екрану.

Надійшла до редакції:
23.12.2011 р.

Рецензент:
канд.техн.наук, доц. Маренич К.М.

Y.V. Prilepskiy, I.V. Gritsuk, I.F. Rybalko. The system of automatic control of heat accumulation and prestarting warming-up of combustion engine is developed. The results of the development schemes for the automatic control system for heat flow in the heat exchanger type for regenerative preheating internal combustion engine of construction machinery are presented. The probes were conducted using diagrams and blocks of continuous control, developed by the authors. Testing the developed elements of automation in the test bench with thermostats has demonstrated high precision actuation temperature changes.

Keywords: *electronic schemes, blocks of automatic system control, heat flow, thermal accumulator, the fulfilled gases.*

Ю.В. Прилепский, И.В. Грицук, И.Ф. Рыбалко. Разработка системы автоматического управления теплонакоплением и предпусковым прогревом двигателя внутреннего сгорания. Приведены результаты разработки схем для автоматической системы управления тепловыми потоками в теплообменниках рекуперативного типа для предпускового прогрева двигателей внутреннего сгорания строительных машин. Исследования проводились с использованием схем и блоков непрерывного управления, разработанных авторами. Апробирование разработанных элементов автоматизации в рамках стендовых испытаний с термостатами показало высокую точность срабатывания при изменениях температуры.

Ключевые слова: *электронные схемы, блоки системы управления, тепловые потоки, тепловой аккумулятор, отработанные газы.*

© Прилепський Ю.В., Грицук І.В, Рибалко І.Ф., 2012