

Nikolaj Lukov, Marek Babel

Analiza techniczno-ekonomiczna efektywności zastosowania w manewrowych lokomotywach S200 samoczynnego układu o regulacji ciągłej utrzymującego optymalną temperaturę wody w układzie chłodzenia silnika spalinowego

Analiza prac związanych z racjonalizacją układów chłodzenia i samoczynnych układów regulacji temperatur (SURT) nośników ciepła (wody, oleju, powietrza doładowania i innych) silników spalinowych wskazuje na możliwość zmniejszenia zużycia paliwa i oleju oraz zwiększenia trwałości i niezawodności silnika, a także urządzeń układu chłodzenia. Uzyskuje się to przez utrzymywanie stałej temperatury nośników ciepła we wszystkich stanach i warunkach pracy silnika spalinowego. W artykule przedstawiono konstrukcję SURT nośników ciepła o działaniu ciągłym do zastosowania w układzie chłodzenia silnika spalinowego lokomotywy S200 oraz wyniki analizy efektywności wdrożenia takiego układu na lokomotywie.

Wstęp

Na biegu jałowym i małych obciążeniach silnika spalinowego temperatury nośników ciepła powinny być wyższe o 10–30 °C od wartości osiąganych w nominalnych warunkach jego pracy [6, 7].

Dla przykładu, podwyższenie temperatury:

- oleju silnika spalinowego 11B45 o 11 °C, podczas jego pracy na biegu jałowym zmniejsza zużycie paliwa o 9,5g/KM·h;
- powietrza doładowania z 10 °C do optymalnych wartości (35–40 °C) silników spalinowych 3A-6D49 (8V26/26) i 1A-5D49 (12V26/26) zmniejsza zużycie paliwa na biegu jałowym o 9%;
- powietrza doładowania silników spalinowych PD1M (D50) z 25 do 55 °C zmniejsza zużycie paliwa o 12%;
- wody i oleju o 15–20 °C podczas pracy silnika spalinowego 3A-6D49 (8V26/26) przy małych obciążeniach zmniejsza zużycie paliwa o 15g/KM·h;
- oleju z 55 do 70 °C dla silników D49 powoduje zmniejszenie zużycia paliwa o 16% [4–7].

Przytoczone przykłady pokazują, że utrzymywanie optymalnej temperatury w układzie chłodzenia silnika spalinowego powoduje zmniejszenie zużycia paliwa, przy czym największe korzyści mogą być uzyskane podczas pracy na biegu jałowym i małych obciążeniach, tj. w warunkach, w których silniki spalinowe lokomotyw manewrowych podczas ich eksploatacji pracują najczęściej.

Większy wpływ na zużycie paliwa ma jednak temperatura oleju smarowego i tak np. zmniejszenie temperatury wody w układzie chłodzenia silnika spalinowego podczas pracy na biegu jałowym o 10 °C powoduje zwiększenie zużycia paliwa o 5%, to przy tej samej różnicy temperatur oleju uzyskamy zwiększenie zużycia paliwa o 10% [6].

Samoczynny układy regulacji temperatur nośników ciepła w układzie chłodzenia silnika spalinowego lokomotywy S200

W manewrowych lokomotywach spalinowych S200 do regulacji temperatury wody i oleju stosowane są SURT o regulacji skoko-

wej [9]. Amplituda temperatury i jej oscylacja wynosi 10–16 °C, a okres oscylacji – 4–10 minut. W SURT o regulacji skokowej wykorzystywane są dwupołożeniowe samoczynne regulatory temperatury, które posiadają znacznie prostszą konstrukcję, niż regulatory o regulacji ciągłej. Skokowa regulacja pracy wentylatorów układu chłodzenia negatywnie wpływa na niezawodność SURT w eksploatacji, a zwłaszcza silnika spalinowego i chłodnic, powodując oscylacyjny charakter zmiany naprężeń termicznych ich elementów. W napędach wentylatorów układu chłodzenia obserwowane są cykliczne zwiększone obciążenia występujące podczas ich włączania. Przy tego rodzaju regulacji moc silnika spalinowego wykorzystywana na cele trakcyjne jest pomniejszona o moc pobieraną przez urządzenia układu chłodzenia. Ponadto załączanie i wyłączanie wentylatorów układu chłodzenia jest dodatkowym źródłem zakłóceń dla samoczynnego układu regulacji prędkości obrotowej silnika spalinowego.

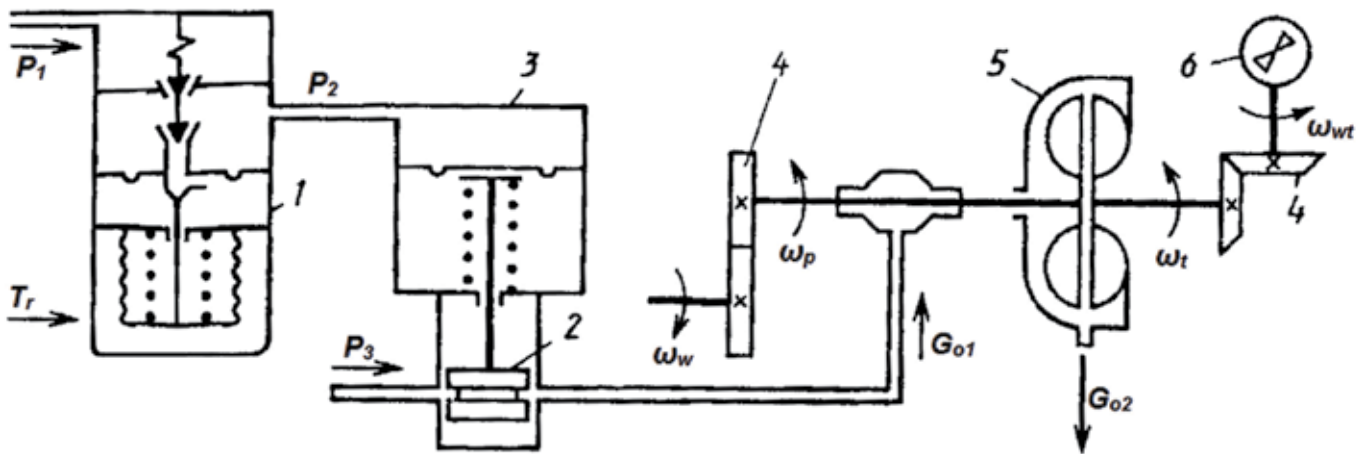
Samoczynny układ regulacji temperatury wody silnika spalinowego o działaniu skokowym lokomotywy spalinowej S200 (CME3) przedstawiono w pracy [9]. W skład układu regulacji wchodzi termoregulator pneumatyczny o regulacji skokowej współpracujący ze sprzęgłem hydraulicznym o zmiennym napełnieniu. Do wcześniej wymienionych wad skokowej regulacji pracy wentylatora układu chłodzenia, należy dodać zwiększenie zużycia energii na napęd wentylatora układu chłodzenia (2 do 6 razy). W celu zapewnienia stabilnej pracy SURT o regulacji skokowej i wyeliminowania nadmiernego schłodzenia cieczy chłodzącej, na chłodnicach montowane są pokrowce zasłaniające sekcje chłodzące. Prowadzi to do zwiększenia zapotrzebowania energii na napęd wentylatora.

Wyniki badań doświadczalnych ciągłych SURT potwierdziły ich wysoką efektywność w porównaniu z układami regulacji skokowej, w tym eliminację wymienionych niedoskonałości.

Główną zaletą ciągłego SURT w porównaniu z regulacją skokową jest zapewnienie stabilnych i optymalnych, pod kątem zużycia paliwa i oleju, warunków pracy silnika spalinowego, co wpływa również na zwiększenie jego trwałości. Schemat ideowy napędu wentylatora przy zastosowaniu ciągłego SURT przedstawiono na rys.1 [6]. Składa się on z pneumatycznego ciągłego termoregulatora sterującego sprzęgłem hydraulicznym o zmiennym napełnieniu.

W lokomotywach serii S200 do napędu wentylatora stosowane są sprzęgła hydrauliczne o zmiennym napełnieniu [9]. Ułatwia to znakomicie zastosowanie ciągłego układu regulacji. W tym celu należy istniejący termoregulator pneumatyczny z regulacją skokową zastąpić regulatorem o działaniu ciągłym. Składa się on z następujących elementów pokazanych na rysunku 1:

- ♦ Termoregulator pneumatyczny 1, który jest dostępny i stosowany w innych eksploatowanych lokomotywach spalinowych [6].



Rys. 1. Schemat ideowy ciągłego pneumatycznego SURT ze sprzęgłem hydraulicznym napędu wentylatora: 1- termoregulator; 2- zawór; 3- siłownik (przetwornik) pneumatyczny; 4- przekładnia; 5- sprzęgło hydrauliczne; 6- wentylator; P_1 , P_2 - odpowiednio, ciśnienie powietrza na wejściu do i wyjściu z termoregulatora pneumatycznego; T_r - regulowana temperatura; P_3 - ciśnienie oleju na wejściu do rozdzielacza sprzęgła hydraulicznego; G_{o1} , G_{o2} - odpowiednio, natężenie przepływu oleju do i ze sprzęgła hydraulicznego; ω_w , ω_p , ω_t , ω_{wt} - odpowiednio, prędkość obrotowa wału przekładni, pompy, turbiny i wentylatora

- Przetwornik ciśnienia powietrza na wyjściu termoregulatora 3, który przetwarza ciśnienie P_2 w przesunięcie zaworu 2. Do tego celu mogą zostać wykorzystane przetworniki dostępne i powszechnie stosowane w innych eksploatowanych lokomotywach spalinowych [3, 8].

Analiza ekonomiczna efektywności zastosowania samoczynnego układu regulacji temperatur nośników ciepła o działaniu ciągłym na lokomotywie spalinowej S200

Uwzględniając powyższe uwarunkowania, można stwierdzić, że utrzymywanie temperatur nośników ciepła na optymalnych poziomach pozwala osiągnąć efekt ekonomiczny, złożony z trzech składników:

1. Efekt ekonomiczny - od zwiększenia niezawodności elementów samoczynnego układu regulacji temperatury silnika spalinowego, chłodzińców, napędów wentylatorów układu chłodzenia, termoregulatorów (organów sterujących) i innych. Do wykonania analizy tego efektu ekonomicznego niezbędne są dane statystyczne z eksploatacji, dotyczące uszkodzeń ww. elementów. Takimi danymi autorzy nie dysponowali, dlatego też analiza tego składnika nie została przeprowadzona.
2. Efekt ekonomiczny - spowodowany zmniejszeniem zużycia energii E_p , odbieranej z silnika spalinowego na napęd wentylatorów układu chłodzenia przy zastosowaniu ciągłych SURT, w porównaniu ze zużyciem energii E_s przy skokowych SURT wody. Efekt ten określony został na podstawie zmniejszenia zużycia paliwa przez silnik spalinowy. Wykorzystanie lokomotyw spalinowych w ciągu roku można ocenić stosunkiem procentowym czasu pracy pojazdu trakcyjnego: $t_2 = t_3/t_k$ 100%; $t_1 = t_4/t_k$ 100%, gdzie $t_3 = t_4 + t_p$ - całkowity czas pracy lokomotyw w eksploatacji; t_4 - czas pracy lokomotywy bez uwzględnienia postoju w stanie ciepłym; t_p - czas postoju

lokomotywy w stanie ciepłym; t_k - czas kalendarzowy. Wartość t_k przyjmujemy równą 8 760 h/rok. Całkowity czas pracy lokomotywy w eksploatacji $t_2 = 98\%$, tj. otrzymamy $t_3 = 8 621$ h. Rozkład czasu t_2 , w zależności od pozycji nastawnika jazdy maszynisty NJ, przedstawiono w tabeli 1.

Zależności mocy silnika spalinowego i prądnicy głównej od prędkości obrotowej wału agregatu prądotwórczego oraz jednostkowego i godzinowego zużycia paliwa od mocy silnika spalinowego określono na podstawie charakterystyk technicznych lokomotyw spalinowych S200. Obliczenia wykonano wg metodyki, przedstawionej w pracy [6]. Do obliczeń przyjęto parametry chłodzińców rurkowych o optymalnym uźbrowaniu, zamieszczone w pracy [6]. Obliczenia wykonano dla warunków pracy lokomotywy spalinowej S200 przy temperaturze otoczenia $t_o = 7^\circ\text{C}$. Wyniki obliczeń stosunków zapotrzebowania energii na chłodzenie ψ_{chl} i na napęd wentylatora układu chłodzenia ψ_{wt} , przy porównaniu płynnego i skokowego SURT wody silnika spalinowego, zestawiono w tabeli 2.

Największy efekt ekonomiczny zastosowania w lokomotywie S200 SURT wody silnika spalinowego o działaniu ciągłym w miejsce SURT wody o działaniu skokowym sprowadza się do tego, że stabilne utrzymywanie temperatur nośników ciepła (wody, oleju i powietrza doładowania) na optymalnych poziomach, w sposób znaczący poprawia proces roboczy silnika lokomotywy spalinowej i prowadzi do zmniejszenia zużycia paliwa i oleju.

Wyniki obliczeń zmniejszenia zużycia paliwa przez silnik spalinowy lokomotywy S200 przy podwyższeniu temperatury wody z 70 do 80 °C przedstawiono w tabeli 3.

Z danych tabeli 3 wynika, że podwyższenie temperatury wody i zastosowanie SURT o działaniu ciągłym prowadzi do zmniejszenia zużycia paliwa w ciągu roku o około 15 000 kg.

Reasumując, zastosowanie w lokomotywie spalinowej S200 SURT wody o działaniu ciągłym w miejsce SURT o działaniu skokowym, pozwala uzyskać efekt ekonomiczny w postaci zmniejszenia zużycia paliwa przez silnik spalinowy o około 15 ton/rok (przy uwzględnieniu tylko zmniejszenia zapotrzebowania mocy na napęd wentylatora układu chłodzenia i zużycia paliwa przez silnik spalinowy przy zwiększeniu temperatury wody). Należy w tym miejscu zaznaczyć, że zmniejszenie zużycia paliwa spo-

Tab. 1. Rozkład czasu pracy lokomotywy S200 w eksploatacji

NJ	0	1	2	3	4	5	6	7	8
t_2 [h]	50	12	15	9	6	5	1	1	1
t_3 [h]	4 310	1 035	1 293	776	518	431	86	86	86

Tab. 2. Wyniki obliczeń zapotrzebowania energii na chłodzenie i na napęd wentylatora

NJ	n_m obr/min	E_p kWh	U_w kg/m ² s	k	ψ_{chl}	η_{mw}	ψ_{wt}	E_s kWh	B_{hp} kg/h	B_{hs} kg/h	t_3 h	$\sum B_p$ kg	$\sum B_s$ kg
0	100	0,05	0,6	0,27	0,04	0,19	0,17	0,29	0,017	0,10	4 310	73,3	416
1	120	0,07	0,7	0,33	0,06	0,23	0,24	0,29	0,022	0,10	1 035	22,6	98,5
2	180	0,18	1,1	0,37	0,08	0,27	0,27	0,67	0,05	0,20	1 293	64,6	252
3	280	0,49	1,68	0,54	0,21	0,35	0,54	0,91	0,12	0,24	776	95,6	187
4	390	1,02	2,34	0,62	0,30	0,42	0,64	1,59	0,30	0,38	518	155	195
5	490	1,78	2,94	0,66	0,35	0,46	0,68	2,58	0,39	0,59	431	170	259
6	580	2,72	3,48	0,68	0,38	0,48	0,70	3,88	0,58	0,85	86	50,2	73,5
7	680	4,40	4,10	0,69	0,40	0,50	0,71	6,23	0,95	1,37	86	81,5	118
8	760	6,23	4,55	0,70	0,41	0,51	0,72	8,68	1,38	1,95	86	118	168
Razem: $B_{rok} \approx 831$												1 767	

gdzie: U_w – wydatek wentylatora; k – współczynnik wymiany ciepła chłodnicy; η_{mw} – sprawność napędu wentylatora.
Zmniejszenie zużycia paliwa w ciągu roku – $\Delta B_{rok} = 935$ kg.

Tab. 3. Wyniki obliczeń zmniejszenia zużycia paliwa

NJ	P_{e1} kW	g_{e1} g/kWh	g_{e2} g/kWh	B_{h1} kg	B_{h2} kg	t_3 h	$\sum B_{h1}$ kg	$\sum B_{h2}$ kg	$\Delta \sum B_{hi}$ kg
0	25	357	340	8,95	8,50	4 310	38 600	36 600	2 000
1	99	328	312	32,5	31,0	1 035	33 600	32 000	1 600
2	215	290	276	62,5	59,4	1 293	80 700	76 700	4 000
3	332	262	251	87,0	83,2	776	67 500	65 400	2 100
4	497	236	227	117	113	518	60 800	58 600	2 200
5	596	228	220	136	131	431	58 600	56 500	2 100
6	737	220	214	162	158	86	13 950	13 600	350
7	878	220	215	193	189	86	16 600	16 250	350
8	994	225	222	224	221	86	19 300	19 000	300
Razem: $B_{rok} = 389 650 - 374 650 = 15 000$									

- Homitsh A. Z., *Topilnaja effektivnost i vspomogatelnye rezhimy teplovoznih dizelej*, Transport, Moskva 1987.
- Lukov N. M., *Avtomaticheskoe regulirovanie temperatury dvigatelej*, Mashinostrojenie, Moskva, 1995.
- Lukov N. M., *Avtomatizacija teplovozov, gazoturbovozov i dizel-pojezdov*, Mashinostrojenie, Moskva, 1988.
- Melikdzhanov G. S., *Teplovoz TEM7*, Transport, Moskva, 1989.
- Notik Z. H., *Teplovozy CME3, CME3T, CME3E*, Transport, Moskva, 1996.

wodowane podwyższeniem temperatury wody jest praktycznie 15 razy większe, niż w wyniku zmniejszenia zapotrzebowania mocy na napęd wentylatora układu chłodzenia.

Jeżeli uwzględnić dodatkowo przy obliczeniach składnik efektu ekonomicznego od zwiększenia trwałości silnika spalinowego i urządzeń chłodzących w eksploatacji, przy zastosowaniu SURT o działaniu ciągłym, to całkowity efekt ekonomiczny będzie znacznie większy od obliczonego, z powodu zmniejszenia kosztów eksploatacji, przeglądów i napraw lokomotywy. Prace modernizacyjne lokomotywy spalinowej S200 z tym związane, wykonywane z wykorzystaniem istniejących elementów układu regulacji, mogą być zrealizowane w warunkach warsztatowych lokomotywni. Okres zwrotu nakładów poniesionych na modernizację wynosi około 1–1,5 roku.

Bibliografia:

- Babeł M., Szachniewicz B., *Modernizacja spalinowej lokomotywy manewrowej serii SM31*, „Technika Transportu Szynowego” 2012, nr 9.
- Babeł M., *Zwiększenie efektywności pracy lokomotyw spalinowych SM31 w eksploatacji*, „Technika Transportu Szynowego” 2012, nr 1–2.
- Filonov S. P., *Teplovozy 2TE10M i 3TE10M*, Transport, Moskva, 1986.
- Gronowicz J., *Energochłonność transportu kolejowego. Trakcja spalinowa*, Warszawa, WKiŁ, 1990.

Autorzy:

prof. dr hab. inż. **Nikolaj Lukov** – Moskiewski Państwowy Uniwersytet Komunikacji (Московский Государственный Университет Путей Сообщения)
dr hab. inż. **Marek Babeł** – Instytut Pojazdów Szynowych Politechniki Krakowskiej

Technical and economic efficiency analysis of application of a continuous-control automatic system maintaining optimal water temperature in the diesel engine cooling system of the S200 shunting locomotives

The analysis of the works connected with rationalization of cooling systems and automatic temperature control systems (ATCS) for heat carriers (water, oil, charging air and others) of the diesel engines indicates the possibility of reducing fuel and oil consumption and increasing the durability and reliability of the engine and cooling system equipment. This is achieved by maintaining a constant temperature of the heat carriers in all the operating stages and conditions of the diesel engine. This article describes a design of the continuous-action ATCS of the heat carriers for use in the diesel engine cooling system of a S200 locomotive and presents the results of an analysis of the efficiency of implementing such a system in the locomotive.