mgr inż. Michał Maluśkiewicz
Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor"

Zastosowanie binarnych sygnałów elektrycznych w układach sterowania hamulcami autobusów szynowych

W artykule zaprezentowano szczególne wymagania stawiane układom hamulcowym autobusów szynowych i propozycje układów hamulcowych spełniających te wymagania. Zaproponowano też układy, które umożliwiają sterowanie hamulcami autobusu i ich wzajemną współpracą za pośrednictwem binarnych sygnałów elektrycznych.

1. Wprowadzenie

Zakupem autobusów szynowych (lekkich pojazdów szynowych z napędem spalinowym przeznaczonych do przewozu pasażerów) zainteresowane są przede wszystkim samorządy poszczególnych województw lub porozumienia samorządów kilku województw, zawarte w celu wspólnego zakupu i eksploatacji takich pojazdów. Z tego względu w warunkach dostawy autobusów szynowych dla różnych odbiorców występuje znaczne zróżnicowanie wymagań dotyczących w szczególności:

- liczby przewożonych pasażerów i układu autobusu (autobusy jednoczłonowe i dwuczłonowe),
- przystosowania autobusu do sterowania wielokrotnego,
- największej prędkości jazdy autobusu,
- największych wartości przyspieszenia osiąganego podczas rozruchu i opóźnienia realizowanego w trakcie hamowania,
- rodzaju urządzeń pociągowo-zderznych (sprzęg śrubowy i zderzaki albo sprzęg samoczynny),
- wyposażenia autobusu w przedział WC, system umożliwiający nadawanie komunikatów przez maszynistę i urządzenia ułatwiające wsiadanie i wysiadanie osobom niepełnosprawnym.

Zróżnicowanie to w niewielkim stopniu dotyczy wymagań dla autobusowych układów hamulcowych. W każdym przypadku podstawowym hamulcem autobusu powinien być pneumatyczny hamulec zespolony, zgodny z wymaganiami karty UIC 540 [1] (hamulec PN), przy czym z reguły wymagane jest wyposażenie autobusu w urządzenia umożliwiające elektropneumatyczne mostkowanie hamulca bezpieczeństwa. Znaczne, sięgające niekiedy 45‰, pochylenie toru, na którym wymagane jest utrzymanie autobusu przez jego hamulec postojowy sprawia, że niezbędne jest wyposażenie autobusu w postojowy hamulec sprężynowy. Ponadto wymaga się, aby urządzeniami wykonawczymi obu wyżej wymienionych hamulców były mechanizmy hamulca tarczowego. Ze zróżnicowania wymagań dotyczących skuteczności hamowania oraz możliwości sterowania wielokrotnego wynika jednak potrzeba stosowania w autobusach odmiennych układów sterowania hamulcem pneumatycznym.

Z ogólnych wymagań zawartych w warunkach dostawy autobusów szynowych wynikają następujące uwarunkowania dla układów sterowania ich hamulcami:

1. Długość przewodu głównego w zespole dwóch albo nawet trzech autobusów szynowych sterowanych wielokrotnie, jest znacznie mniejsza od długości tych przewodów występujących w pociągach. Do sterowania hamulcem pneumatycznym w autobusie nie powinny więc być stosowane lokomotywowe zawory maszynisty.
2. Zastosowanie w autobusie podłogi obniżonej do około 600mm od główki szyny uniemożliwia zabudowę na ostoi autobusu zaworu rozrządczego i współpracujących z nim zbiorników na sprężone powietrze oraz aparatów realizujących rozrząd sprężonego powietrza dla pneumatycznych układów pomocniczych. Zabudowa tych urządzeń we wnętrzu autobusu jest więc koniecznością. Taka zabudowa aparatów pneumatycznych sprzyja też niezawodnej pracy autobusu w warunkach niskich temperatur i obfitych opadów śniegu, wymaganej zwłaszcza od autobusów przeznaczonych dla województw wschodnich i południowych.
3. Dla uzyskania dobrej dostępności do urządzeń układu sterowania hamulcem, łatwego wykrywania ich niesprawności i małej pracochłonności wymiany urządzeń uszkodzonych na sprawne, korzystne jest zgrupowanie tych urządzeń w jednym miejscu. Rozwiązanie takie jest najczęściej możliwe, gdyż karta UIC [5] dopuszcza sterowanie za pomocą jednego zaworu rozrządczego hamulcem pneumatycznym zespołu trwale sprzęgniętych pojazdów o łącznej długości do 31m. Przepis ten umożliwia zabudowę w autobusie dwuczłonowym, a niekiedy również w autobusie trójczłonowym jednego zestawu urządzeń sterujących hamulcem pneumatycznym. Taki sposób sterowania hamulcem pneumatycznym nie pogorszy poziomu bezpieczeństwa jazdy autobusu wieloczłonowego, gdyż w autobusie rolę hamulca awaryjnego spełnia hamulec sprężynowy, który uruchamia się samoczynnie w przypadku zerwania połączeń pneumatycznych pomiędzy członami autobusu.

Uwarunkowania te wskazują, że optymalnym rozwiązaniem dla autobusu szynowego jest układ sterowania hamulcami, którego aparaty pneumatyczne i elektropneumatyczne zabudowane są - wraz z aparatami wykonującymi rozrząd powietrza dla układów pomocniczych - na tablicy pneumatycznej, zainstalowanej we wnętrzu autobusu (na przykład w odpowiedniej szafie kabiny maszynisty). W układzie takim sterowanie aparatami tablicowymi odbywa się za pośrednictwem sygnałów elektrycznych generowanych przez urządzenia nastawcze rozmieszczone na stanowiskach maszynisty. W większości przypadków wystarczy wyposażenie autobusu w jedną

tablicę pneumatyczną; dwie tablice pneumatyczne niezbędne są tylko w autobusach o znacznej długości, z reguły w autobusach trójczłonowych.

Analiza warunków dostawy ogłaszanych ostatnio przez różne podmioty zainteresowane zakupem autobusów szynowych dała podstawę do opracowania w IPS „TABOR" tablic pneumatycznych i elektrycznych manipulatorów hamulca stanowiących podstawowe zespoły dwóch, przedstawionych w tym artykule, odmian układów sterowania hamulcami autobusu szynowego. Rozwiązania te, ujednolicone konstrukcyjnie i przystosowane do modyfikacji zgodnych z życzeniami zamawiających, umożliwiają skompletowanie odpowiedniego układu sterowania hamulcami dla dowolnego autobusu szynowego przeznaczonego do przewozów regionalnych.

2. Odmiany układu sterowania hamulcami

Potrzeba zastosowania różnych układów sterowania hamulcami w autobusach szynowych przeznaczonych do przewozów regionalnych wynika – jak stwierdzono we wprowadzeniu – ze zróżnicowania wymagań stawianych takim autobusom w zakresie skuteczności hamowania oraz możliwości sterowania wielokrotnego.

Zapisy dotyczące skuteczności hamulca zawarte w warunkach dostawy wymagają, aby droga hamowania autobusu z największej prędkości jazdy nie była dłuższa niż 600m, przy czym największe prędkości jazdy autobusu spotykane w tych opracowaniach wynoszą 120km/h, co najmniej 100km/h albo 100km/h. Ponadto niekiedy wymaga się, aby opóźnienie hamowania autobusu wynosiło około $1m/s^2$, a wymaganie takie dotyczy również autobusów, których największa prędkość jazdy nie przekracza 100km/h.

Układ hamulcowy, który realizuje opóźnienie hamowania równe $1m/s^2$, zapewnia drogę hamowania krótszą niż 600m autobusowi hamowanemu z prędkości 120km/h. Skuteczność hamulca takiego autobusu, określona w sposób podany w karcie UIC 544-1 [6], jest większa od 120% ciężaru hamującego. Natomiast autobus, który uzyskuje drogę hamowania nieco krótszą od 600m z prędkości 100km/h ma mniej niż 80% ciężaru hamującego, a jego układ hamulcowy realizuje opóźnienie równe około $0,7m/s^2$. Wynika stąd, że istnieje zapotrzebowanie na autobusy o dwóch, różnych skutecznościach hamowania, a dla uzyskania takich skuteczności celowe jest zastosowanie odmiennych układów sterowania hamulcami.

Autobus z hamulcami tarczowymi o skuteczności wynoszącej 105% ciężaru hamującego lub większej powinien być wyposażony – zgodnie z zaleceniem karty UIC 541-05 [3] – w układ przeciwpoślizgowy sterowany mikroprocesorowo. Aby tak wyposażony autobus mógł kontynuować jazdę w razie awarii układu przeciwpoślizgowego albo możliwe było holowanie autobusu z działającym hamulcem i wyłączonym układem elektrycznym, należy przewidzieć możliwość takiego ograniczenia siły hamowania, aby skuteczność hamulca autobusu była wtedy mniejsza niż 105% ciężaru hamującego. Układ sterowania hamulcem takiego autobusu powinien zatem umożliwiać osiąganie dwu różnych skuteczności hamowania: normalnej, gdy układ przeciwpoślizgowy jest sprawny albo obniżonej, gdy układ przeciwpoślizgowy nie działa.

Charakterystyczna dla autobusów szynowych, znaczna różnica pomiędzy masą w stanie ładownym a masą w stanie próżnym sprawia, że niezbędne jest wyposażenie takich pojazdów w urządzenia do samoczynnej regulacji siły hamowania w funkcji obciążenia autobusu przewożonymi pasażerami. Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest płynna regulacja siły hamowania, dzięki której aktualna masa autobusu w niewielkim stopniu wpływa na długości dróg hamowania uzyskiwane tak podczas hamowania nagłego jak i podczas hamowań służbowych dowolnego stopnia. Płynną regulację siły hamowania umożliwia przekładnik ciśnienia odpowiedniej konstrukcji, sterowany sygnałem pneumatycznym, którego ciśnienie odpowiada aktualnej masie autobusu; źródłem tego sygnału może być usprężynowanie pneumatyczne albo zawór ważący. Takie rozwiązanie trzeba traktować jako obligatoryjne dla autobusów, które ze względu na skuteczność hamowania równą co najmniej 105% ciężaru hamującego należy wyposażyć w układy przeciwpoślizgowe. Tylko w ten sposób można uzyskać drugi, obniżony poziom skuteczności hamowania, stały dla całego zakresu obciążenia autobusu i na tej podstawie określić dopuszczalną prędkość jazdy autobusu, którego układ przeciwpoślizgowy nie działa.

Autobusu z hamulcami tarczowymi, który z prędkości 100km/h uzyskuje drogę hamowania nie krótszą niż 460m, nie trzeba wyposażać w urządzenia przeciwpoślizgowe, a w razie zainstalowania w nim urządzeń do płynnej, samoczynnej regulacji siły hamowania w funkcji obciążenia wystarcza jeden poziom skuteczności hamowania. W takim autobusie można też z reguły zastosować nie płynną, lecz dwustopniową, samoczynną regulację siły hamowania. Stosunek masy autobusu w stanie ładownym do jego masy w stanie próżnym jest bowiem najczęściej taki, że skuteczność hamulca, wynosząca wtedy około 80% ciężaru hamującego w stanie ładownym, nie osiąga w punkcie przestawczym ani w stanie próżnym wartości 105% podanej w karcie UIC 541-05 [3]. Długość drogi hamowania tak wyposażonego autobusu zależy w pewnym stopniu od jego aktualnej masy zmieniając się z tego powodu tylko o kilkadziesiąt metrów. Takie rozwiązanie przeznaczone jest dla autobusów, które nie posiadają usprężynowania pneumatycznego, a wózki w nich zastosowane uniemożliwiają zabudowę zaworów ważących. Przewidziany w tym rozwiązaniu przez IPS, przełącznik „próżny – ładowny" generuje sygnał elektryczny, gdy ugięcie usprężynowania autobusu jest większe od wartości granicznej, odpowiadającej jego masie przestawczej.

Urządzenia sterujące hamulcem zespolonym zabudowane w autobusie szynowym przystosowanym do sterowania wielokrotnego powinny realizować wartości i gradienty ciśnienia wymagane przez kartę UIC 541-03 [2] zarówno w przewodzie głównym pojedynczego autobusu jak i w przewodzie głównym zespołu złożonego z dwu albo trzech autobusów. W szczególności dla uzyskania określonego w tej karcie, szybkiego spadku ciśnienia, niezbędnego dla wywołania hamowania nagłego, konieczne jest zainstalowanie w takich autobusach zaworów upustowych o odpowiedniej zdolności przepustowej. Dotyczy to także zaworów inicjujących hamowanie na sygnał z układu SHP lub czuwaka albo radiostopu. Ponadto w autobusie przystosowanym do sterowania wielokrotnego celowe jest zastosowanie hamulca elektropneumatycznego typu bezpośredniego (hamulca EP-B), Hamulec taki, wymagany w warunkach dostawy autobusów, zapewnia równoczesne zmiany ciśnienia we wszystkich cylindrach hamulcowych zespołu autobusów sterowanego wielokrotnie.

Korzystanie z hamulca EP-B staje się w niektórych autobusach szynowych konieczne, gdyż powoduje możliwie najmniejsze zużycie sprężonego powietrza. Tak dzieje się w autobusie szynowym, wyposażanym w sprężarkę o niewielkiej wydajności (zabudowaną bezpośrednio na silniku).

W krótkim (jednoczłonowym) autobusie szynowym, nie mającym możliwości sterowania wielokrotnego, urządzenia sterujące hamulcem zespolonym napełniają i opróżniają przewód główny o stałej, niewielkiej objętości. Gradient ciśnienia wystarczający do wywołania hamowania nagłego można więc w takim autobusie uzyskać za pomocą tego samego przekładnika ciśnienia, który utrzymuje hamulec w stanie gotowości lub wywołuje hamowania służbowe. Tenże przekładnik, uruchamiany w inny sposób, może też pośredniczyć we wdrażaniu hamowania na sygnał z urządzeń SHP, czuwaka lub radiostopu.

Wyposażenie autobusu jednoczłonowego, jeżdżącego zawsze pojedynczo, w hamulec EP-B nie poprawia parametrów pracy układu hamulcowego takiego pojazdu. Korzystanie z hamulca EP-B w autobusie, którego przewód główny ma niewielką pojemność, nie zmniejsza też w sposób istotny zużycia sprężonego powietrza. W takim autobusie nie ma więc potrzeby stosowania hamulca elektropneumatycznego.

Uwzględniając te uwarunkowania opracowano dwie, przedstawione poniżej, odmiany układu sterowania hamulcami przeznaczone dla autobusów szynowych z hamulcami tarczowymi.. Pierwsza z nich, nazwana standardową, przeznaczona jest w szczególności dla autobusów jednoczłonowych i wieloczłonowych, które:

- przystosowane są do sterowania wielokrotnego,
- ze względu na znaczną skuteczność hamowania wymagają zastosowania urządzeń przeciwpoślizgowych,
- wyposażone są w usprężynowanie pneumatyczne lub w zawory ważące,

Druga odmiana, nazwana uproszczoną, może znaleźć zastosowanie tylko w autobusach jednoczłonowych, w których:

- sterowanie wielokrotne nie jest możliwe i autobus nie będzie holował wagonów,
- ze względu na mniejszą skuteczność hamowania urządzenia przeciwpoślizgowe nie są stosowane,
- brak możliwości wygenerowania sygnału analogowego o aktualnej masie autobusu,

3. Standardowy układ sterowania hamulcami

3.1. Struktura układu

Standardowy układ sterowania hamulcami autobusu ma strukturę charakterystyczną dla układów, w których sterowanie hamulcami odbywa się za pośrednictwem sygnałów elektrycznych; na stanowiskach maszynisty znajdują się tylko urządzenia nastawcze i kontrolne, zaś aparaty pneumatyczne i elektropneumatyczne wchodzące w jego skład zgrupowane są na tablicy pneumatycznej.

W układzie tym przewidziano następujące urządzenia nastawcze:

- nastawnik układu hamulcowego,
- elektryczny manipulator hamulców PN i EP-B, o działaniu proporcjonalnym,
- przycisk mostkowania hamulca bezpieczeństwa,
- przełącznik hamulca postojowego.

Na każdym ze stanowisk maszynisty autobusu wyposażonego w układ standardowy trzeba ponadto zabudować zawór hamulca bezpieczeństwa, który w razie potrzeby umożliwi maszyniście zainicjowanie hamowania nagłego bez pośrednictwa sygnałów elektrycznych, w sposób wymagany w karcie UIC 541-03[2], to jest przez bezpośrednie, mechaniczne otwarcie dużego przekroju łączącego przewód główny z atmosferą.

Urządzeniami kontrolnymi, niezbędnymi w tym układzie sterowania, są – oprócz manometrów i urządzeń sprawdzających czujność maszynisty – wskaźnik stanu hamulca postojowego i sygnalizatory (świetlny i dźwiękowy), które uruchamiane są w razie użycia hamulca bezpieczeństwa przez pasażera autobusu.

Aparaty pośredniczące w sterowaniu hamulcami, zgrupowane na tablicy pneumatycznej, tworzą następujące układy tablicowe:

- układ stopniujący ,
- układ sterowania ciśnieniem w przewodzie głównym ,
- układ hamulca bezpieczeństwa autobusu ,
- układ sterowania hamulcami EP-B i PN autobusu ,
- układ sterowania hamulcem postojowym ,

Układy te, zaopatrywane w sprężone powietrze przez przewód zasilający, utrzymują w przewodzie głównym, w cylindrach hamulcowych i w siłownikach hamulca postojowego ciśnienia, których wartości i gradienty odpowiadają sygnałom elektrycznym generowanym przez urządzenia nastawcze, zabudowane na aktywnym stanowisku maszynisty.

3.2. Działanie układu w pojedynczym autobusie

W układzie standardowym sterowanie hamulcami EP-B i PN autobusu z aktywnego stanowiska maszynisty odbywa się (według programów podanych w tabelach 1 i 2) za pomocą jednego manipulatora, wspólnego dla tych hamulców. Takie sterowanie wymaga dwóch nastawień układu hamulcowego autobusu, to jest nastawienia „EP" i „PN". Wybór jednego z tych nastawień albo nastawienia „PS", w którym wykonuje się próbę szczelności układu hamulca PN, umożliwia nastawnik układu hamulcowego. Ustawienie pokrętła tego nastawnika w ostatnim z możliwych położeń, to jest w położeniu „TW" (wykorzystywanym w trakcji wielokrotnej), powoduje wyłączenie urządzeń nastawczych hamulca, zabudowanych na danym stanowisku maszynisty. Autobus, w którym pokrętła obu nastawników pozostają w położeniu „TW" jest przygotowany do roli autobusu sterowanego w trakcji wielokrotnej.

Elektryczne sygnały binarne z manipulatora powodują wzbudzanie zaworów elektropneumatycznych zespołu stopniującego w kombinacjach właściwych dla każdego z siedmiu stopni hamowania (zgodnie z programami podanymi w tabelach 1 i 2). Na skutek tego zespół stopniujący generuje analogowy sygnał pneumatyczny, którego ciśnienie zmienia się w sposób stopniowy od ciśnienia atmosferycznego (gdy żaden z zaworów zespołu nie jest wzbudzony) aż do ciśnienia największego, osiąganego po wzbudzeniu wszystkich zaworów tego zespołu.

W nastawieniu „EP" sygnał ten dociera do komory sterującej przekładnika ciśnienia, napełniającego cylindry hamulcowe. W trakcie hamowań uruchamianym w ten sposób hamulcem EP-B przekładnik ten utrzymuje w cylindrach hamulcowych ciśnienie odpowiednie dla stopnia

hamowania wybranego manipulatorem i aktualnej masy autobusu. Wartość ciśnienia cylindrowego zależy również od tego, czy układ hamulcowy realizuje normalną skuteczność hamowania, czy też skuteczność obniżoną, ze względu na niesprawność urządzeń przeciwpoślizgowych. Równocześnie w nastawieniu EP układu hamulcowego, przekładnik przewodu głównego (PG), sterowany tylko sygnałem o stałym ciśnieniu z reduktora utrzymuje w przewodzie głównym autobusu ciśnienie nominalne. Hamulec PN pozostaje wtedy w każdej chwili w stanie gotowości, pełniąc rolę hamulca awaryjnego; w razie potrzeby można nim wykonać hamowanie nagłe.

Tabela 1. Program sterowania hamulcem EP-B za pomocą układu standardowego

Program sterowania hamulcem elektropneumatycznym (EP-B)							
Funkcja hamulca		Stan zaworów elektropneumatycznych					
		H0	H1	H2	H3	E/P1	E/P2
Hamulec wyluzowany		0	0	0	0	1	1
Hamowanie stopniowe	I stopień	1	1	0	0	1	1
	II stopień	1	0	1	0	1	1
	III stopień	1	1	1	0	1	1
	IV stopień	1	0	0	1	1	1
	V stopień	1	1	0	1	1	1
	VI stopień	1	0	1	1	1	1
	VII stopień	1	1	1	1	1	1
1-zawór elektropneumatyczny wzbudzony; 0- zawór elektropneumatyczny nie jest wzbudzony							

Tabela 2. Program sterowania hamulcem PN za pomocą układu standardowego.

Funkcja hamulca		Stan zaworów elektropneumatycznych											
		H0	H1	H2	H3	E/P1	E/P2	HN1	HN2	HN3	SHP	RS	0HZ
Stan gotowości		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Hamowanie służbowe	I stopień	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
	II stopień	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0
	III stopień	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0
	IV stopień	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0
	V stopień	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0
	VI stopień	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0
	VII stopień	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0
Hamowanie nagłe	inicjowane manipulatorem	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0
	inicjowane przez SHP lub czuwak	dowolny				0	0	0*).	0*).	0*).	0	1	0
	inicjowane przez radiostop	dowolny				0	0	0*).	0*).	0*).	1	0	0
Odcięcie układu sterowania hamulcem od przewodu głównego		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1-zawór elektropneumatyczny wzbudzony; 0- zawór elektropneumatyczny nie jest wzbudzony													
*1.Zasilanie zaworów „HN1", „HN2" i „HN3" przerywa wyłącznik ciśnieniowy sterowany ciśnieniem w przewodzie głównym.													

Hamowanie nagłe wszczynane jest na skutek przerwania wzbudzenia zaworów elektropneumatycznych „HN1", „HN2" i „HN3" (tabela 2). Przerwanie wzbudzenia zaworu „HN3" sprawia, że przekładnik ciśnienia odcina dopływ powietrza z przewodu zasilającego do przewodu głównego i łączy przewód główny z atmosferą przez wydrążenie w swoim trzonie. Pozbawione dopływu prądu zawory „HN1" i „HN2" powodują otwarcie zaworów upustowych wchodzących w skład zespołów hamowania; każdy z otwartych wtedy zaworów upustowych o średnicy nominalnej 25mm łączy przewód główny z atmosferą. W wyniku współdziałania przekładnika i zaworów upustowych, ciśnienie panujące w przewodzie głównym bardzo szybko spada do wartości ciśnienia atmosferycznego. W taki sposób wdrażane jest hamowanie nagłe wywołane manipulatorem zabudowanym na aktywnym stanowisku maszynisty oraz samoczynne hamowanie nagłe wywołane awaryjnym zanikiem napięcia w obwodach elektrycznych układu sterowania hamulcem. Spadek ciśnienia w przewodzie głównym niezbędny do wywołania hamowania nagłego może ponadto następować w wyniku:

- otwarcia zaworu hamulca bezpieczeństwa zabudowanego na stanowisku maszynisty,
- otwarcia odpowiedniego zaworu upustowego na skutek przerwania wzbudzenia zaworów „SHP" albo „RS" przez układy nadzorujące ruch pociągów (SHP, czuwak, radiostop),
- otwarcia sterowanego pneumatycznie zaworu hamowania nagłego za sprawą zaworu hamulca bezpieczeństwa użytego przez pasażera,
- awaryjnej utraty szczelności przez przewód główny.

Wdrożenie hamowania nagłego, inicjowanego przez pasażera jednym z zaworów hamulca bezpieczeństwa następuje po zaakceptowaniu tego hamowania przez maszynistę. Dlatego sygnał elektryczny o otwarciu tego zaworu uruchamia sygnalizatory dźwiękowy i świetlny, zabudowane na stanowisku maszynisty. Maszynista reagując na ten sygnał, może zaakceptować hamowanie ustawiając dźwignię manipulatora w pozycji hamowania nagłego, albo nie dopuścić do jego wdrożenia, naciskając na przycisk mostkowania hamulca bezpieczeństwa; każda z tych reakcji powoduje zamilknięcie sygnalizatora dźwiękowego. Wzbudzenie zaworu elektropneumatycznego „0HB" za pośrednictwem przycisku mostkowania sprawia, że pomimo otwarcia zaworu hamulca bezpieczeństwa użytego przez pasażera zawór hamowania nagłego pozostaje zamknięty. Umożliwia to kontynuowanie jazdy autobusu, jeżeli - według oceny maszynisty - okoliczności tego wymagają. Sygnalizator świetlny gaśnie dopiero po zamknięciu wszystkich zaworów hamulca bezpieczeństwa.

W nastawieniu „PN" sygnał pneumatyczny z zespołu stopniującego dociera do przekładnika ciśnienia, który napełnia przewód główny. Dopóki dźwignia manipulatora pozostaje w położeniu jazdy, dopóty przekładnik ten, sterowany sygnałem o stałym ciśnieniu z reduktora, utrzymuje w przewodzie głównym ciśnienie nominalne; hamulec PN pozostaje wtedy w stanie gotowości. Po zainicjowaniu manipulatorem dowolnego stopnia hamowania służbowego przekładnik przewodu głównego sterowany jest dwoma sygnałami, to jest:

- sygnałem o stałym ciśnieniu z reduktora ,
- sygnałem o ciśnieniu właściwym dla zainicjowanego stopnia hamowania, generowanym przez zespół stopniujący ,

Przekładnik obniża wtedy ciśnienie w przewodzie głównym proporcjonalnie do różnicy ciśnień tych sygnałów sterujących. Sterowany tym ciśnieniem zawór rozrządczy napełnia sprężonym powietrzem komorę sterującą przekładnika ciśnienia , uruchamiając w ten sposób hamulec PN. Wartości ciśnienia uzyskiwane wtedy w komorze na poszczególnych stopniach hamowania są bardzo podobne do występujących tam w nastawieniu „EP". Za sprawą przekładnika ciśnienia , działającego tak samo jak w nastawieniu „EP", również podczas hamowania pneumatycznego ciśnienie cylindrowe odpowiada żądanemu stopniowi hamowania, aktualnej masie autobusu i normalnej albo obniżonej skuteczności hamowania związanej ze stanem układu przeciwpoślizgowego.

Uruchomienie hamulca postojowego autobusu następuje na skutek przerwania wzbudzenia serwozaworu elektropneumatycznego „ZHP", co powoduje opróżnienie ze sprężonego powietrza siłowników sprężynowych tego hamulca. Aby zapobiec sumowaniu się sił hamowania hamulca postojowego i hamulców EP albo PN w razie jednoczesnego uruchomienia tych hamulców, przewidziano podwójny zawór zwrotny. W takim przypadku powietrze napływające do cylindrów hamulcowych dociera przez ten zawór również do siłowników hamulca sprężynowego, co nie dopuszcza do sumowania się sił obu hamulców.

Wyłączniki elektropneumatyczne „WSHP" i „WRS" zastosowane w układzie, umożliwiają wyłączenie urządzeń samoczynnego hamowania i czuwaka oraz radiostopu i sygnalizują takie wyłączenie na drodze elektrycznej. Ponadto przewidziano następujące sygnały elektryczne. które powinny uniemożliwić lub natychmiast wyłączyć napęd autobusu:

- sygnał o spadku ciśnienia w przewodzie głównym do wartości wywołującej hamowanie nagłe,
- sygnał świadczący o hamowaniu hamulcami EP-B lub PN,
- sygnał świadczący o uruchomieniu hamulca postojowego.

Napęd pojedynczego autobusu nie powinien też być możliwy w następujących przypadkach:

- po odcięciu układu sterowania ciśnieniem w przewodzie głównym od tego przewodu na skutek wzbudzenia zaworu „0HZ" lub zamknięcia zaworu „WHZ",
- po wyłączeniu układu sterowania hamulcami EP-B i PN autobusu za pomocą wyłącznika „WHA".

Przedstawiony układ w pełni umożliwia sterowanie wielokrotne zarówno w zakresie hamulca EP-B jak i hamulca zespolonego PN.

4. Uproszczony układ sterowania hamulcami

Uproszczony układ sterowania hamulcami ma taką samą strukturę jak układ standardowy, przedstawiony w punkcie 3 tego artykułu. W układzie uproszczonym nie przewidziano możliwości sterowania hamulcem EP-B, dlatego na tablicy pneumatycznej nie ma urządzeń do sterowania tym hamulcem, a nastawnik uproszczonego układu hamulcowego ma tylko trzy nastawienia, to jest:

- nastawienie „1", w którym stanowisko maszynisty jest aktywne,
- nastawienie „0", w którym stanowisko maszynisty nie jest aktywne,
- nastawienie „PS", w którym wykonuje się próbę szczelności układu hamulcowego.

Na skutek zastosowania w układzie uproszczonym manipulatora o działaniu impulsowym, na tablicy pneumatycznej nie występuje układ stopniujący, a tablicowy układ sterowania ciśnieniem w przewodzie głównym składa się z wyznacznika ciśnienia nominalnego, przekładnika napełniającego przewód główny oraz zaworów elektropneumatycznych i wyłączników ciśnieniowych. Tablicowy układ sterowania hamulcem PN autobusu stanowią: zawór rozrządczy, przekładnik ciśnienia napełniający cylindry hamulcowe, zawory odcinający i zwrotny oraz zawór elektropneumatyczny odluźniacza.

Przekładnik ciśnienia, który w uproszczonym układzie sterowania napełnia sprężonym powietrzem przewód główny, sterowany jest dwoma sygnałami pneumatycznymi. Ciśnienie jednego z tych sygnałów, docierającego do przekładnika za pośrednictwem zaworu „HN1", ma w stanie gotowości hamulca i podczas hamowania służbowego wartość stałą, określaną przez wyznacznik ciśnienia nominalnego. Ciśnienie drugiego sygnału, równe panującemu w komorze sterującej, może się wtedy zmieniać na skutek wzbudzania zaworów „H" albo „L" sygnałami generowanymi przez manipulator hamulca, zgodnie z programem podanym w tabeli 3.

Tabela 3. Program sterowania hamulcem PN za pomocą układu uproszczonego.

Funkcja hamulca		Pozycja dźwigni manipulatora	Stan zaworów elektropneumatycznych						
			H	L	HN1	HN2	SHP	RS	0HZ
Stan gotowości		Pozycja neutralna	0	1*1.	1	1	1	1	0
Hamowanie służbowe	zwiększanie siły hamowania	pozycja hamowania	1	0	1	1	1	1	0
	faza ustalona	pozycja neutralna	0	0	1	1	1	1	0
	zmniejszanie siły hamowania	pozycja luzowania	0	1	1	1	1	1	0
Hamowanie nagłe	wywołane manipulatorem	pozycja hamowania nagłego	1	0	0	0	1	1	0
	inicjowane przez SHP lub czuwak	dowolna	dowolny		0*2.	0*2.	0	1	0
	inicjowane przez radiostop	dowolna	dowolny		0*2.	0*2.	1	0	0
Odcięcie układu sterow. hamulcem od przewodu głównego		dowolna	0	0	0	0	0	0	1

1-zawór elektropneumatyczny wzbudzony;
0- zawór elektropneumatyczny. nie jest wzbudzony

*1.Zasilanie zaworu „L" powoduje wyłącznik ciśnieniowy różnicowy,
*2.Zasilanie zaworów „HN1" i „HN2" przerywa wyłącznik ciśnieniowy sterowany ciśnieniem w przewodzie głównym.

W stanie gotowości hamulca ciśnienie obu sygnałów sterujących przekładnikiem określane jest przez wyznacznik ciśnienia nominalnego. Wzbudzony wtedy zawór „L", który łączy ten wyznacznik z komorą sterującą , umożliwia utrzymanie nominalnego ciśnienia w przewodzie głównym również w przypadku występowania drobnych nieszczelności w tej komorze.

W razie zainicjowania hamowania służbowego manipulatorem, ciśnienie w komorze spada dążąc do wartości ciśnienia atmosferycznego za sprawą wzbudzonego wtedy zaworu „H". Brak nadciśnienia w tej komorze sprawia, że ciśnienie utrzymywane przez przekładnik w przewodzie głównym ma wartość wywołującą hamowanie pełne. Pozostawienie dźwigni manipulatora w położeniu hamowania nie powoduje dalszego spadku ciśnienia panującego w przewodzie głównym; niezamierzone wdrożenie hamowania nagłego nie jest więc możliwe. Wcześniejsze przerwanie wzbudzenia zaworu „H" (na skutek wycofania dźwigni manipulatora do położenia neutralnego) sprawia, że ciśnienie w komorze, odciętej przez zamknięte zawory „H" i „L", ma wartość w przybliżeniu stałą, a układ hamulcowy realizuje wtedy ustaloną fazę hamowania służbowego. Warunkiem koniecznym utrzymania stabilnej wartości ciśnienia w przewodzie głównym podczas tej fazy hamowania jest odpowiednia szczelność komory, gdyż ewentualne ubytki powietrza z tej komory nie są wtedy uzupełniane. Na skutek przestawienia dźwigni manipulatora do położenia luzowania, ciśnienie w komorze wzrasta (za sprawą wzbudzonego zaworu „L"), dążąc do wartości nominalnej określanej przez wyznacznik. Wartość ciśnienia utrzymywanego w przewodzie głównym w ustalonej fazie hamowania zależy więc od czasu pozostawania dźwigni manipulatora w położeniach hamowania albo luzowania; na tym polega istota impulsowego sterowania hamowaniem służbowym.

W uproszczonym układzie sterowania stan gotowości hamulca i ustalona faza hamowania służbowego realizowane są – zgodnie z wymaganiami karty UIC 541-03 [2] – w tej samej, neutralnej pozycji dźwigni sterującej manipulatora (tabela 3). Umożliwia to wyłącznik ciśnieniowy różnicowy, który w tym nastawieniu manipulatora wzbudza zawór „L", jeżeli ciśnienie panujące w komorze nie różni się istotnie od określanego przez wyznacznik; tak dzieje się w stanie gotowości hamulca. Ten sam wyłącznik przyczynia się do uruchomienia hamulca wtedy, kiedy rozpoczynając hamowanie służbowe ustawiono dźwignię manipulatora w pozycji hamowania na czas zbyt krótki dla uzyskania wystarczającego spadku ciśnienia w przewodzie głównym. W takich przypadkach wyłącznik ten podtrzymuje wzbudzenie zaworu „H" do chwili, w której różnica ciśnień sygnałów sterujących przekładnikiem osiągnie wartość nastawioną tym wyłącznikiem. Na skutek takiej różnicy ciśnień przekładnik powoduje spadek ciśnienia w przewodzie głównym wymagany w karcie UIC 541-03 [2] dla wdrożenia pierwszego stopnia hamowania służbowego.

W uproszczonym układzie sterowania hamowanie nagłe zainicjowane manipulatorem wywoływane jest przez przekładnik ciśnienia. Na skutek braku wzbudzenia zaworów „HN1" i „HN2" przekładnik ten zarówno przerywa dopływ powietrza do przewodu głównego jak i łączy ten przewód z atmosferą. Niewielka pojemność przewodu głównego autobusu jednoczłonowego umożliwia uzyskanie za pomocą tego przekładnika gradientu ciśnienia wymaganego w karcie UIC 541-1 [4] dla wywołania hamowania nagłego. Ten sam

przekładnik wywołuje hamowanie nagłe na polecenie układów SHP i czuwaka oraz radiostopu.

Hamulec PN autobusu uruchamiany jest przez zawór rozrządczy, współpracujący z przekładnikiem dwustopniowym. Przekładnik ten realizuje niski zakres ciśnień cylindrowych, gdy aktualna masa autobusu jest mniejsza od jego masy przestawczej, albo wysoki zakres ciśnień cylindrowych, gdy masa ta jest równa masie przestawczej, bądź od niej większa. Wybór właściwego zakresu ciśnień cylindrowych umożliwia zawór „P/Ł", sterowany sygnałem elektrycznym z przełącznika „próżny-ładowny".

Pozostałe urządzenia zastosowane w uproszczonym układzie, takie jak:

- zestaw wyłączników ciśnieniowych,
- zawory do odcinania układu sterowania ciśnieniem w przewodzie głównym od tego przewodu,
- urządzenia hamulca bezpieczeństwa,
- aparaty sterujące hamulcem postojowym

są takie same jak w układzie standardowym.

5. Podsumowanie

Porównanie obu odmian układu sterowania przedstawionych powyżej umożliwia tabela 4.

Tabela 4. Porównanie układu standardowego i układu uproszczonego

		Układ standardowy	Układ uproszczony
Zakres stosowania	rodzaj autobusu	autobus jedno- lub wieloczłonowy, przystosowany do sterowania wielokrotnego	autobus jednoczłonowy, bez możliwości sterowania wielokrotnego
	Skuteczność hamulca	$\lambda<170\%$	$\lambda<105\%$
Hamulce sterowane za pomocą układu		PN, EP-B, postojowy sprężynowy	PN, postojowy sprężynowy
Sposób sterowania hamowaniem służbowym		manometryczny	impulsowy
Sposób regulacji siły hamowania		samoczynny płynny	samoczynny dwustopniowy
Źródło sygnału o aktualnej masie autobusu		usprężynowanie pneumatyczne lub zawór ważący	przełącznik „próżny-ładowny" sterowany ugięciem usprężynowania
Rodzaj sygnału o aktualnej masie autobusu		pneumatyczny analogowy	elektryczny binarny
Zabezpieczenie przed poślizgiem		układ sterowany mikroprocesorowo	brak

Z informacji zawartych w tej tabeli wynika, że układ standardowy jest układem uniwersalnym. Stosując go w autobusie szynowym można spełnić wszystkie wymagania dotyczące hamulców, zawarte w ogłoszonych dotychczas warunkach dostawy takich pojazdów. Dzięki układowi przeciwpoślizgowemu układ standardowy może w przyszłości znaleźć zastosowanie w autobusach o skuteczności hamowania wynoszącej 150 ÷ 170% ciężaru hamującego.

Występujące w układzie standardowym proporcjonalne sterowanie hamowaniem służbowym i płynna, samoczynna regulacja siły hamowania w funkcji aktualnej masy autobusu sprawiają, że długości dróg hamowania uzyskiwane na danym stopniu hamowania służbowego dla dowolnego stanu obciążenia autobusu z wykorzystaniem hamulca elektropneumatycznego bądź pneumatycznego są w przybliżeniu równe; dotyczy to wszystkich siedmiu stopni hamowania służbowego.

Rolę hamulca podstawowego w układzie standardowym spełnia wykorzystywany najczęściej hamulec EP-B (elektropneumatyczny typu bezpośredniego), który działa równocześnie we wszystkich autobusach zespołu sterowanego wielokrotnie i zużywa mniej sprężonego powietrza niż hamulec pneumatyczny. Hamulec pneumatyczny, którego pozostawanie w stanie gotowości sprawdza maszynista wykonując próby i hamowania kontrolne wymagane w procedurach eksploatacyjnych (na przykład w instrukcji Mw-56 [7]), pełni w układzie standardowym funkcje hamulca awaryjnego, podobnie jak hamulec sprężynowy. Takie rozwiązanie zapewnia wysoki poziom bezpieczeństwa jazdy.

Dla autobusów jednoczłonowych, w których sterowanie wielokrotne nie jest wymagane a do realizacji zadań przewozowych wystarcza umiarkowana skuteczność hamowania, opracowano uproszczony układ sterowania. Układ ten może znaleźć zastosowanie, gdy przedmiotem zamówienia jest taki autobus szynowy o możliwie prostej budowie.

Zmniejszenie kosztu układu uproszczonego w porównaniu z układem standardowym uzyskano przez:

- wyeliminowanie układu przeciwpoślizgowego sterowanego mikroprocesorowo,
- zastąpienie pneumatycznego, analogowego sygnału o aktualnej masie autobusu (generowanego przez usprężynowanie pneumatyczne albo zawór ważący) binarnym sygnałem elektrycznym (pochodzącym z prostego przełącznika sterowanego ugięciem sprężyn śrubowych zawieszenia autobusu),
- zastąpienie manipulatora hamulca o działaniu manometrycznym nieco prostszym i mniejszym manipulatorem o działaniu impulsowym,
- uproszczenie zestawu aparatów zabudowanego na tablicy pneumatycznej polegającym na wyeliminowaniu zespołu stopniującego, aparatów sterujących hamulcem elektropneumatycznym i zespołów hamowania nagłego o dużej średnicy nominalnej.

Brak układu przeciwpoślizgowego w układzie uproszczonym ogranicza możliwość jego zastosowania do autobusów o skuteczności hamulca mniejszej niż 105% ciężaru hamującego. Dwustopniowa regulacja siły hamowania powoduje pewne zróżnicowanie długości dróg hamowania w funkcji aktualnej masy autobusu. Podczas hamowań z prędkości 100km/h zróżnicowanie to wynosi tylko kilkadziesiąt metrów. Impulsowe sterowanie

hamowaniem służbowym, umożliwiające uproszczenie układu sterowania hamulcem, może być stosowane – zgodnie z przepisami karty UIC 541-03 [2] – na równi ze sterowaniem manometrycznym. Impulsowy sposób sterowania hamulcem stosowany jest powszechnie w elektrycznych zespołach trakcyjnych eksploatowanych w kraju. Rozwiązanie proponowane dla autobusu ma własności korzystniejsze od stosowanego w zespołach trakcyjnych, gdyż w stanie gotowości hamulca zapewnia uzupełnianie ubytków powietrza w przewodzie głównym (wywołanych drobnymi nieszczelnościami tego przewodu), a podczas hamowania służbowego możliwy jest tylko spadek ciśnienia w przewodzie głównym; mieszczący się w przedziale pomiędzy pierwszym stopniem hamowania a hamowaniem pełnym. Pod tym względem układ uproszczony dorównuje nowoczesnym układom umożliwiającym sterowanie hamulcem zespolonym za pośrednictwem sygnałów elektrycznych, stosowanym w lokomotywach. Sterowanie hamulcem za pośrednictwem manipulatora o działaniu impulsowym wymaga pewnej wprawy maszynisty. W przypadku autobusu jest ono łatwiejsze, gdyż ze względu na małą pojemność przewodu głównego zmiany ciśnienia w tym przewodzie i w komorze sterującej przekładnika ciśnienia zachodzą prawie jednocześnie.

Obie odmiany układu sterowania zaproponowane w tym artykule, opracowano na podstawie doświadczeń uzyskanych podczas eksploatacji układów sterowania hamulcami, zastosowanych w pojazdach szynowych. Układ standardowy, w wersji przystosowanej do potrzeb zamawiającego, funkcjonuje w dwóch autobusach szynowych typu 213M, produkcji ZNTK Poznań. Podstawowe rozwiązania układu uproszczonego zostały sprawdzone w lokomotywach SM48 przystosowanych do zdalnego (radiowego) sterowania jazdą i hamowaniem.

Dalszy rozwój układów umożliwiających sterowanie hamulcami autobusów szynowych za pośrednictwem sygnałów elektrycznych polegać będzie na lepszym przystosowaniu ich tablic pneumatycznych do zróżnicowanych wymagań przyszłych użytkowników takich pojazdów. Rozwiązanie konstrukcyjne tablicy pneumatycznej powinno umożliwić zabudowę różnych przekładników napełniających cylindry hamulcowe, to jest zarówno przekładnika dwustopniowego jak i przekładników umożliwiających płynną regulację ciśnienia cylindrowego w funkcji aktualnej masy autobusu (z jednym lub dwoma zakresami ciśnień cylindrowych).

6. LITERATURA

[1] Karta UIC 540 "Hamulec. Hamulce pneumatyczne dla pociągów towarowych i osobowych" – wydanie 3 z dnia 1982-01-01 ze zmianą 5 z dnia 01. 07. 1995.

[2] Karta UIC 541-03. „Hamulec. Przepisy dotyczące budowy różnych części hamulcowych, Układ zaworu hamulcowego maszynisty" - wydanie 1 z dnia 01. 01. 1994

[3] Karta UIC 541-05 „Hamulec. Przepisy dotyczące budowy różnych części hamulca: urządzenie przeciwpoślizgowe- wydanie 1 z dnia 01. 01. 1985; 8 zmian od 01.01.86 do 01.01.98.

[4] Karta UIC 541-1 „Przepisy dotyczące budowy różnych części hamulcowych" – wydanie 5 z dnia 01. 07. 1973; 29 zmian od 01.01.74 do 01.01.97.

[5] Karta UIC 543 „Hamulec. Przepisy dotyczące wyposażenia wagonów" wydanie 11 z grudnia 2001r.

[6] Karta UIC 544-1 „Hamulec. Moc hamowania" wydanie 4 z dnia 01. 01. 2000.

[7] Mw - 56 – „Instrukcja obsługi i utrzymania w eksploatacji hamulców taboru kolejowego" – opracowanie Dyrekcji Generalnej PKP, Warszawa 1996.