

MOCZARSKI Jarosław

OCENA SKUTECZNOŚCI REGULACJI PRĘDKOŚCI ODPRZĘGÓW NA STACJACH ROZRZĄDOWYCH

Streszczenie

Na stacjach rozrządowych są eksploatowane systemy służące regulacji prędkości odpręgów. Skuteczność funkcjonowania tych systemów jest różna, zależy od ich wieku, technologii wykonania i zasady działania. W pracy zaproponowano zbiór podstawowych wskaźników umożliwiających ocenę skuteczności funkcjonowania systemów hamowania odpręgów, systemów regulacji prędkości oraz systemów rozrządzania. Wyniki oceny pozwolą porównywać przydatność tych systemów w procesie rozrządzania oraz ułatwią podejmowanie decyzji dotyczących modernizacji stacji.

WSTĘP

Stacje rozrządowe i manewrowe wyposażone w górki różnią się geometrią układu torowego, liczbą torów kierunkowych i ich długością, a także wymaganą wydajnością procesu rozrządzania. Podstawowym celem działań realizowanych na tych stacjach jest sortowanie składów napychanych na górkę rozrządową w taki sposób, aby każdy z odpręgów bezpiecznie dotarł do punktu celu na odpowiednim torze kierunkowym.

Przemieszczanie się odprzęgu jest efektem zamiany jego energii potencjalnej na energię kinetyczną [1]. Prędkość odprzęgu na drodze staczania, od szczytu górki do punktu przeznaczenia w torze kierunkowym, jest regulowana dzięki wykorzystaniu urządzeń hamujących. Każdy odpręg powinien dojechać do punktu przeznaczenia z bezpieczną prędkością nie większą niż 1,5 m/s. Jednocześnie przedwczesne zatrzymanie się odprzęgu, przed osiągnięciem punktu celu, wywołuje konieczność dodatkowych jazd lokomotyw manewrowych co obniża wydajność procesu rozrządzania i efektywność wykorzystania elementów infrastruktury stacyjnej. Ograniczenia prędkości odprzęgu występują także w innych punktach drogi staczania między szczytem górki i punktem celu na torze kierunkowym.

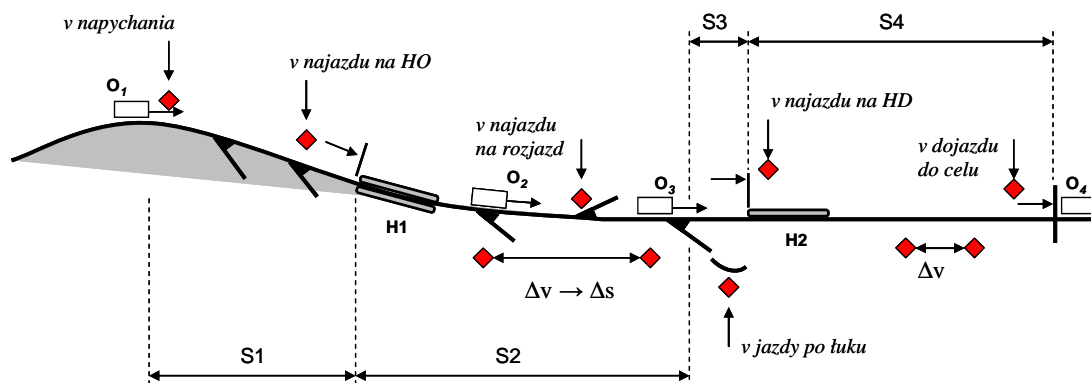
Na stacjach wyposażonych w górki rozrządowe są stosowane zróżnicowane urządzenia i systemy służące regulacji prędkości toczących się odpręgów. Na sieci PKP PLK S.A. są to rozwiązania różnych generacji, wykonane w różnych technologiach, o niejednakowym zakresie stosowania i realizowanych funkcjach. Jednocześnie z uwagi na znaczny stopień zużycia istniejących urządzeń i ich elementów, a także przestarzałe rozwiązania techniczne są projektowane i wdrażane nowe systemy, służące regulacji prędkości odpręgów w wybranych strefach stacji. Łączenie efektów funkcjonowania różnych urządzeń i systemów zwykle nie optymalizuje przebiegu całego procesu rozrządzania.

Dla efektywnego planowania działań modernizacyjnych potrzebna jest umiejętność oceny skuteczności funkcjonowania poszczególnych rozwiązań jak też realizacji całego procesu rozrządzania z wykorzystaniem współpracujących systemów różnych generacji. Użytkownik

powinien dysponować narzędziem pozwalającym porównywać skuteczność funkcjonowania różnych systemów regulacji prędkości, oceniać ich przydatność w realizacji procesu rozrządania na różnych stacjach, a także poprawność ich wykorzystywania w procesie eksploatacji.

1. KLASYFIKACJA SYSTEMÓW REGULACJI PRĘDKOŚCI ODPRZĘGÓW

Celowe oddziaływanie na odprzęgi z wykorzystaniem urządzeń hamujących jest powodowane występowaniem ograniczeń prędkości na drodze staczania [2] wynikających zarówno ze zmiennej geometrii toru, parametrów zabudowanych elementów infrastruktury (rozjazdy, hamulce torowe) jak też zmieniającej się w czasie sytuacji ruchowej i oddziaływania czynników otoczenia (rys. 1).



Rys. 1. Ograniczenia prędkości na drodze staczania w poszczególnych strefach ruchu odprzęgów (na przykładzie rozrządania wg metody *spw*)

Źródło: opracowanie własne

gdzie:

O – odpręg,

H1 – hamulec I pozycji hamowania (odstępowy),

H2 – hamulec II pozycji hamowania (docelowy),

S1 ÷ S4 – wyróżnione strefy ruchu odprzęgów,

Δv – ograniczenia dotyczące wymaganej różnicy prędkości kolejnych odpręgów,

$\Delta v \rightarrow \Delta s$ – ograniczenia dotyczące wymaganej różnicy prędkości kolejnych odpręgów spowodowane wymaganą minimalną odległością między kolejnymi, toczącymi się odpręgami.

Urządzenia i systemy służące zmianie prędkości toczących się odprzęgów można klasyfikować [3]:

- ze względu na realizowane funkcje,
- ze względu na stopień automatyzacji i rodzaj stosowanego regulatora.

Klasyfikacja ze względu na realizowane funkcje pozwala wyróżnić następujące rodzaje systemów:

1. systemy hamowania – oddziaływanie na odpręg odbywa się w wyróżnionym punkcie drogi staczania; system służy obniżaniu prędkości odpręgów w miejscu oddziaływania urządzenia hamującego, z uwzględnieniem ograniczeń występujących co najmniej w jego najbliższym otoczeniu,
2. system regulacji prędkości – oddziaływanie na odpręg jest realizowane w kilku (co najmniej dwóch) punktach drogi staczania; system umożliwi dostosowanie prędkości odpręgów do ograniczeń występujących w poszczególnych strefach ruchu (S1 ÷ S4), a w szczególności w miejscach wskazanych na rysunku 1,

3. system rozrządzenia – obiektami regulacji są hamulce i zwrotnice; system umożliwia bezpieczny dojazd każdego odprzęgu do punktu celu na odpowiednim torze kierunkowym.

Klasyfikacja ze względu na stopień automatyzacji pozwala wyróżnić:

- systemy mechaniczne,
- systemy ręczne,
- systemy półautomatyczne,
- systemy automatyczne.

W systemach ręcznych funkcję regulatora w procesie sterowania pełni człowiek. Na podstawie doświadczenia i subiektywnej oceny potrzeb dotyczących zmian prędkości odprzęgu lub na podstawie informacji uzyskanych z przyrządów pomiarowych, określa parametry regulacji oraz steruje urządzeniami w taki sposób aby uzyskać zamierzony efekt.

W systemach półautomatycznych człowiek określa parametry regulacji (wartości wielkości zadanych), a sterowanie urządzeniami jest realizowane przez zautomatyzowane systemy sterujące.

Ocenie skuteczności funkcjonowania można poddawać systemy, w których człowiek nie wpływa na przebieg realizacji procesu. Do takich systemów można zaliczyć systemy mechaniczne oraz systemy automatyczne.

Zakładając, że pod pojęciem układów regulacji stosowanych w procesie rozrządzenia odpręgów będziemy rozumieli nie tylko systemy z regulacją nadążną (uwzględniającą na przykład zmiany w sytuacji ruchowej) ale także z regulacją stałowartościową lub programową można przyjąć, że w praktyce ocena skuteczności regulacji prędkości odpręgów może dotyczyć:

- automatycznych systemów hamowania,
- mechanicznych systemów regulacji prędkości (systemów złożonych z hamulców niesterowanych),
- automatycznych systemów regulacji prędkości,
- automatycznych systemów rozrządzenia.

2. WSKAŹNIKI OCENY SKUTECZNOŚCI FUNKCJONOWANIA SYSTEMÓW

Dla oceny skuteczności funkcjonowania poszczególnych systemów należy określić cele ich stosowania oraz realizowane funkcje.

Automatyczny system hamowania steruje hamulcem (sekcją hamulców) w celu obniżenia prędkości odprzęgu do wartości zgodnej z wymaganą (zadaną). Wielkością regulowaną jest prędkość wyjazdu odprzęgu z hamulca.

Systemy regulacji prędkości umożliwiają oddziaływanie na odprzęgi i obniżanie ich prędkości w wielu (co najmniej dwóch) punktach drogi staczania. Celem regulacji jest dostosowanie prędkości odprzęgu do miejscowych ograniczeń (rys. 1), zachowanie wymaganych różnic prędkości kolejnych odpręgów (odległości między nimi) w poszczególnych strefach ruchu, a także skuteczne i bezpieczne doprowadzenie odpręgów do miejsc przeznaczenia w torach kierunkowych.

System rozrządzenia poprzez regulację prędkości odpręgów oraz ustawianie zwrotnic zgodnie z zapisami w karcie rozrządowej powinien zapewnić przemieszczanie się odpręgów z odpowiednimi prędkościami na całej drodze staczania, umożliwić ich kierowanie na właściwe tory kierunkowe oraz skuteczny i bezpieczny dojazd każdego odprzęgu do punktu celu.

Uwzględniając cele stosowania poszczególnych systemów można zaproponować następujące wskaźniki umożliwiające ocenę skuteczności ich funkcjonowania:

1. dla automatycznych systemów hamowania

a) wskaźnik skuteczności hamowania:

$$w_H = \frac{v_{zad} - |\Delta v|}{v_{zad}} * 100\% \quad (1)$$

gdzie: $\Delta v = v_{wy} - v_{zad}$,

v_{zad} – wartość zadana (oczekiwana) prędkości wyjazdu odprzęgu z hamulca (sekcji hamulców),

v_{wy} – rzeczywista prędkość wyjazdu odprzęgu z hamulca (sekcji hamulców).

Jeżeli celem hamowania jest uzyskanie odpowiedniej prędkości odprzęgu w wybranym punkcie drogi staczania (np. prędkości wjazdu na tor kierunkowy, prędkości wjazdu na kolejną pozycję hamowania itp.) można wprowadzić

b) wskaźnik redukcji prędkości:

$$w_R = \frac{v_o - |\Delta v|}{v_o} * 100\% \quad (2)$$

gdzie: $\Delta v = v_{we} - v_o$,

v_o – wartość oczekiwana prędkości odprzęgu w wybranym punkcie drogi staczania,

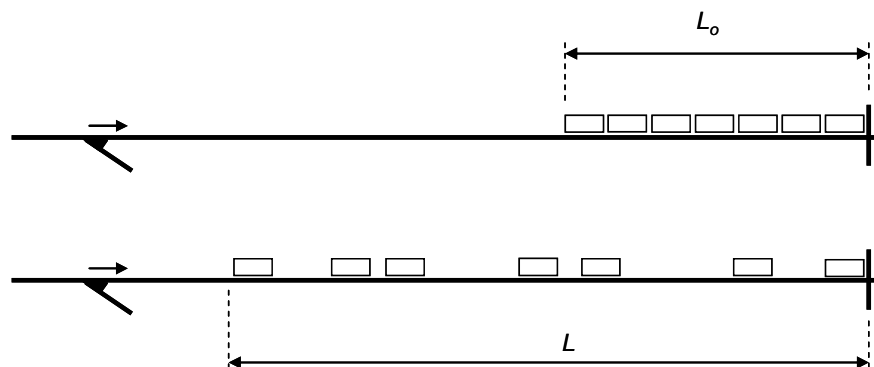
v_{we} – rzeczywista prędkość odprzęgu w wybranym punkcie drogi staczania.

2. dla mechanicznych i automatycznych systemów regulacji prędkości

a) wskaźnik zagęszczenia odpręgów:

$$w_Z = \frac{L_o}{L} * 100\% \quad (3)$$

gdzie: L_o – sumaryczna długość n odpręgów rozrządzonych na tor kierunkowy,
 L – rzeczywista długość toru kierunkowego zajęta przez n stojących odpręgów (rys. 2),



Rys. 2. Pomiar wskaźnika zagęszczenia odprzegów na torze kierunkowym
Źródło: opracowanie własne

b) *wskaźnik zderzeń odprzegów:*

$$w_{zd} = \frac{N_{zd}}{N} * 100\% \quad (4)$$

gdzie: N_{zd} – liczba zderzeń odprzegów z prędkością względną przekraczającą 1,5 m/s,
 N – liczba rozrządzonych odprzegów.

3. dla automatycznych systemów rozrządzania

a) *wskaźnik zagęszczenia odprzegów w_z (3),*

b) *wskaźnik zderzeń odprzegów w_{zd} (4),*

c) *wskaźnik mylników:*

$$w_M = \frac{N_M}{N} * 100\% \quad (5)$$

gdzie: N_M – liczba odprzegów–mylników rozrządzonych na niewłaściwy tor kierunkowy,
 N – liczba rozrządzonych odprzegów.

Dla systemów regulacji prędkości oraz systemów rozrządzania można także wyznaczać wskaźniki redukcji prędkości w_R (2) dla wybranych punktów drogi staczania odprzegów.

3. OCENA WARTOŚCI WSKAŹNIKÓW

Skuteczność funkcjonowania omawianych systemów zależy nie tylko od ich budowy i zasady działania ale także od prędkości napychania składu na górkę (odległości czasowych między kolejnymi, przemieszczającymi się odprzegami), rodzaju odprzegów (liczby osi, masy, rodzaju wagonów i ładunków) oraz ich sekwencji w rozrządzanym składzie (liczba i kolejność odprzegów lekkobieżnych i ciężkobieżnych). Proponowane wskaźniki powinny być wyznaczone niezależnie dla różnych klas prędkości napychania. Aby umożliwić porównywanie wartości odpowiednich wskaźników dla systemów o podobnym przeznaczeniu lecz różnej konstrukcji lub eksploatowanych w niejednakowych warunkach (na różnych stacjach rozrządowych) pomiary należy realizować stosując jednolite, ustalone wcześniej zasady prowadzenia eksperymentu.

W tym celu, dla każdego z proponowanych wskaźników należy opracować procedurę jego pomiaru określającą szczegółowo:

- rodzaj stosowanych wagonów,
- sekwencje rozrządzanych odpręgów,
- prędkość napychania składu na górkę,
- strefę ruchu (lub miejsce ograniczenia prędkości – rys. 1), dla których wskaźnik ma być liczony.

Sekwencje odpręgów powinny być tak dobrane, aby zapewnić najbardziej niekorzystne warunki ruchowe na drodze stacjana.

Wskaźnik skuteczności hamowania w_H lub *wskaźnik redukcji prędkości* w_R mogą być wyznaczone odpowiednio dla sterowanych hamulców odstępowych, hamulców docelowych lub sekcji hamulców punktowych.

Wskaźnik zageśzczenia odpręgów w_Z można wyznaczać dla pojedynczego toru, wiązki torów lub całej grupy torów kierunkowych. Interesujące może być także wyznaczenie wartości wskaźnika w_Z niezależnie dla początkowego, środkowego i końcowego odcinka toru kierunkowego.

Wskaźnik zderzeń odpręgów w_{zd} powinien dotyczyć przede wszystkim torów kierunkowych. Może być także wyznaczany dla strefy podziałowej stacji. Dla dokładnej analizy poprawności funkcjonowania systemów można wprowadzić kilka klas *wskaźnika zderzeń* określając liczbę zderzeń dla różnych przedziałów prędkości względnych odpręgów.

Wskaźnik mylników w_M powinien być wyznaczany dla całej stacji dla różnych klas prędkości napychania składu na górkę rozrządową.

Wartości wskaźników mogą być także wyznaczone w warunkach eksploatacyjnych. W takim przypadku należy jednak uwzględnić fakt, że ocena będzie dotyczyła nie tylko skuteczności funkcjonowania badanych systemów. Na wartości wskaźników będą miały wpływ: asortyment wagonów rozrządzanych na stacji, geometria układu torowego, stan techniczny urządzeń, a także prowadzone prace manewrowe oraz ingerencje operatorów w pracę systemów podczas realizacji procesu rozrządzania.

PODSUMOWANIE

Systemy i urządzenia wspomagające proces sortowania odpręgów na stacjach rozrządowych i manewrowych realizują różne funkcje. Różnią się także parametrami oddziaływania na odpręgi. Dla porównywania walorów użytkowych systemów różnych generacji, a także oceny przydatności nowych, innowacyjnych rozwiązań niezbędne są wskaźniki ilościowe, określające skuteczność ich funkcjonowania. Zaproponowane wskaźniki pozwalają oceniać skuteczność automatycznych systemów hamowania odpręgów, mechanicznych i automatycznych systemów regulacji prędkości, a także automatycznych systemów rozrządzania. Wyznaczanie wartości wskaźników powinno się odbywać zgodnie z wcześniej przyjętą, jednakową dla wszystkich systemów w danej klasie, procedurą realizacji testów.

Wyniki oceny umożliwią porównywanie skuteczności funkcjonowania systemów w poszczególnych klasach, ułatwią podejmowanie decyzji dotyczących zakresu modernizacji infrastruktury stacji, pozwolą także oceniać poprawność procesu eksploatacji poszczególnych systemów. Oczekiwania dotyczące wartości wskaźników powinny także zostać uwzględnione w treści wymagań na nowe systemy przeznaczone dla stacji rozrządowych i manewrowych wyposażonych w górki rozrządowe.

BIBLIOGRAFIA

1. Moczarski J., *Proces rozrządzenia jako sekwencja zmian stanów dynamicznych odpręgów*. Logistyka 2011, nr 6.
2. Moczarski J., *Działania celowe w regulacji prędkości odpręgów na zautomatyzowanych stacjach rozrządowych*. Technika Transportu Szynowego 2012, nr 9.
3. Moczarski J., *Klasyfikacja systemów regulacji prędkości odpręgów na stacjach wyposażonych w górki rozrządowe*. Materiały Konferencyjne IV Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej „Stacja rozrządowa Tarnowskie Góry w 80-lecie funkcjonowania magistrali węglowej Śląsk-porty”, Zawiercie 2013, wyd. Polskie Stowarzyszenie Telematyki Transportu, ISBN 978-83-927821-0-0.

APPRAISAL OF SPEED REGULATION EFFICIENCY ON THE MARSHALLING YARDS

Abstract

The system for wagon speed regulation are using on the marshalling yards. Paper discussed problem of systems efficiency. Author proposed the set of efficiency indicators for systems of braking, speed regulation and shunting. The value of this indications enables comparing the systems and appraise their usefulness for shunting process on the gravity hump yards.

Autor:

dr inż. **Jarosław Moczarski** – Instytut Kolejnictwa Warszawa;
Politechnika Warszawska Wydział Transportu