

CIEŚLAKOWSKI Stanisław Janusz¹

PROBLEMY „STRZELANIA DO CELU” W GRAWITACYJNYCH SYSTEMACH ROZRZĄDOWYCH

W pracy obliczono w jakim stopniu podwyższenie dopuszczalnej prędkości zderzenia wagonów, powoduje możliwość podwyższenia dopuszczalnego błędu systemu hamowania.

ISSUES OF „TARGET SHOOTING” IN GRAVITATIONAL MARSHALLING SYSTEMS

The study calculated the extent to which increase of the speed limit wagon collision, causing the possibility of increasing the acceptable error of the braking system.

1. WSTĘP

Stacje rozrządowe są skomplikowanymi organizmami technicznymi, a od sprawności ich działania zależy w dużej mierze sprawność całego transportu kolejowego. Stacje te spełniają bowiem i nadal będą spełniały zasadniczą rolę w organizowaniu potoków wagonów towarowych w pociągi.

W procesie unowocześniania kolejnictwa polskiego jest konieczna - obok innych działań - także zasadnicza modernizacja stacji rozrządowych, ze względu na zwiększenie wydajności oraz bezpieczeństwa wagonów i personelu, a także zwiększenie sprawności obróbki przerabianych przez nie potoków wagonów. Modernizacja ta polega przede wszystkim na unowocześnieniu układów torowych oraz automatyzacji i mechanizacji wybranych, istniejących już stacji rozrządowych, na których będzie skoncentrowana praca manewrowa. W pewnych nielicznych przypadkach może również powstać potrzeba budowy nowych stacji rozrządowych.

Rozwój przewozów w pociągach zwartych nie wymagających rozrządzenia, zarówno z ładunkami masowymi jak i pociągów kontenerowych, wzrost udziału wagonów cztero- i więcejosiowych w całym parku wagonów oraz przejmowanie przez transport samochodowy przewozów na bliskie odległości oraz w mniejszych ratach ładunków - powodują, że zadania stacji rozrządowych nie rosną tak szybko, jak zadania przewozowe kolei ogółem.

Błędne byłoby jednak mniemanie, że nastąpi eliminacja lub radykalne ograniczenie przewozów koleją w pojedynczych wagonach lub grupach relacyjnych, liczących kilka lub kilkanaście wagonów. Po prostu istnieje, i zawsze będzie istniała, gospodarcza potrzeba

¹ Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29.
Tel. +48 361 -77-86.

obsługi przewozów kolejowych w ratach rzędu kilkudziesięciu lub kilkaset ton, tj. takich, których z różnych przyczyn nie będzie się wykonywało samochodami lub w kontenerach, a z drugiej strony są one zbyt małe, aby obsługiwać je w pociągach zwartych o ładowności około 2000 do 3000 ton.

Wynika stąd, że będzie to zawsze generowało potrzebę staczania wagonów kolejowych na stacjach rozrządowych, wykorzystujących do tego celu grawitacyjne systemy rozrządowe.

2. REGULACJA PRĘDKOŚCI STACZANYCH ODPRZĘGÓW

Przyjęty dla PKP system regulacji prędkości ze swobodnym przemieszczaniem się wagonów na torach kierunkowych („strzał do celu”) zakłada dla górek 24- i 32-torowych instalację dwóch pozycji hamowania na drodze staczania odpręgów.

System regulacji prędkości musi cechować dużą niezawodność i precyzją pracy, gdyż na nim ciąży - w głównej mierze - odpowiedzialność za bezpieczeństwo wagonów i ładunków. Obecnie na PKP zastosowano w większości hamulec torowy - oznaczony symbolem ETH-1 - o nowej konstrukcji, który charakteryzuje się znaczną oszczędnością materiału oraz krótkim czasem odhamowania i opuszczania - cechą szczególnie istotną w sterowaniu automatycznym. Dostosowanie długości hamulca do lokalnych wymagań umożliwia modułowość.

Hamulec ETH-1 jest zbudowany z typowych profili stalowych, a jego szczęki są wykonane z szyn S60. Nie wymaga fundamentu lub wykopu i jest montowany na podrozdziach, na podsypce - jako typowe przesło toru.

Kontrolę prędkości odpręgu na hamulcu realizuje radarowy system sterowania STH-1. Radar zawiera falowodową antenę szczelinową z głowicą mikrofalową składającą się z półprzewodnikowego oscylatora pracującego na diodzie Gunna i układu przetwarzania powrotnego z mieszaczem diodowym. Sygnałem wyjściowym z anteny jest napięcie przemiennie o amplitudzie 7 V i o zmiennej częstotliwości w granicach 30-690 Hz proporcjonalnej do prędkości odpręgu będącego w zasięgu działania anteny.

Operator pulpitu zintegrowanego ma do dyspozycji trzy sposoby sterowania hamulcami torowymi:

- ręczny - poprzez obsługę przycisków H (hamowania) i L (luzowania), który należy raczej traktować jako tryb pracy awaryjnej,
- półautomatyczny - przez wybór na tastaturze obsługiwanego hamulca zadanej prędkości wyjazdu, po uprzednim wciśnięciu przycisku PA,
- automatyczny; wciskając przyciski PA,A operator powierza sterowanie hamulcem zestawowi mikroprocesorowemu.

Wyboru zadanej prędkości wyjazdu odpręgu z hamulca operator pulpitu zintegrowanego dokonuje na podstawie oceny własności tocznych tego odpręgu i sytuacji na górze rozrządowej oraz informacji o stanie zajętości torów kierunkowych. Jakość pracy przy zastosowaniu sposobu półautomatycznego regulowania prędkości zależy głównie od doświadczenia operatora pulpitu zintegrowanego. Niewielkie oddalenie hamulców odstępowych od nastawni rozrządowej umożliwia, operatorowi pulpitu zintegrowanego bardzo poprawne regulowanie odstępów między kolejnymi odpręgami, a ponadto umożliwia natychmiastowe skuteczne reagowanie w sytuacjach trudnych lub wręcz niebezpiecznych, takich jak: ponowne rozdzielenie odpręgów uznanych za dopędzone, starcia boczne od-

przęgów w ukresach zwrotnic i groźne zderzenia odprzęgów przed hamulcami kierunkowymi. Wprowadzenie automatycznego hamowania odstępowego odciąża operatora od konieczności obsługiwanego tastatury hamulców odstępowych, lecz nie zwalnia od interwencji w sytuacjach trudnych i niebezpiecznych.

Duże oddalenie hamulców kierunkowych od nastawni rozrządowej oraz słaba widoczność stopnia zapełnienia torów kierunkowych, poważnie utrudniają operatorowi realizację półautomatycznego hamowania docelowego, a więc maksymalnego zapełnienia torów przy zachowaniu dopuszczalnych prędkości w momencie zderzenia się odprzęgów. Z tego powodu nadzieje pokładane w automatycznym hamowaniu docelowym wykraczają poza proste odciążenie operatora od wybierania prędkości wyjazdu z hamulców kierunkowych. System automatyczny musi gwarantować większą skuteczności zapełnienia torów, bezpieczeństwo wagonów i ładunków niż operator w trybie pracy półautomatycznej oraz ograniczać interwencje człowieka do sygnalizowanych przypadków awarii elementów systemu.

3. ZAGROŻENIE BEZPIECZEŃSTWA NA TORACH KIERUNKOWYCH

"Strzelanie do celu", które powinno być wykonywane w grawitacyjnych systemach rozrządowych, podobne jest do strzelania balistycznego realizowanego z różnych odległości pociskami o różnej charakterystyce, np. kształtu i ciężaru i gdzie artylerzysta miałby jedynie możliwość zmiany prędkości miotania, mając uprzednio daną właściwość balistyczną pocisku.

To co dotyczy "strzelania do celu" w grawitacyjnych systemach rozrządowych jest stosunkowo proste i wy pływa z równania:

$$\frac{V_A^2}{2g'} = l(w_c - i) + \frac{V_B^2}{2g'} \quad [m] \quad (1)$$

gdzie:

- V_A - prędkość wyjazdu wagonu z hamulca docelowego [m/s],
- l - zasięg jazdy wagonu na torze kierunkowym [m],
- w_c - całkowity opór jednostkowy wagonu,
- i - pochylenie toru kierunkowego,
- V_B - prędkość wagonu w punkcie docelowym [m/s],
- g' - zmodyfikowane przyspieszenie ziemskie [m/s²].

Wagon powinien dojeżdżać do celu z prędkością zerową ale można też przyjąć pewną prędkość zderzenia o takiej wartości, aby nie przekraczała dopuszczalnej prędkości zderzenia.

Ponieważ wartość V_A obarczona jest błędem działania hamulca docelowego wartości l , w_c - błędami pomiarowymi, to można oszacować błąd "strzelania do celu" w grawitacyjnych systemach rozrządowych.

W tym celu wprowadzono następujące wyrażenie B:

$$B = \frac{V_A^2}{2g'} - l \cdot (w_c - i) \quad [m] \quad (2)$$

Teraz oszacowano metodą różniczki zupełnej błąd tego wyrażenia:

$$\Delta B = \left| \frac{\partial B}{\partial V_A} \right| |\Delta V_A| + \left| \frac{\partial B}{\partial l} \right| |\Delta l| + \left| \frac{\partial B}{\partial w_c} \right| |\Delta w_c| \quad [\text{m}] \quad (3)$$

Dokonując obliczeń, otrzymano:

$$\Delta B = \left| \frac{V_A}{g'} \right| |\Delta V_A| + |-w_c| |\Delta l| + |-l| |\Delta w_c| \quad [\text{m}] \quad (4)$$

gdzie:

- ΔV_A - błąd działania hamulca docelowego [m/s],
- Δl - błąd pomiaru wolnej długości toru [m],
- Δw_c - błąd pomiaru oporu jednostkowego wagonu.

Dla grawitacyjnych systemów rozrządowych $\Delta l = 6$ [m]. Zgodnie z pracami [2] $\Delta w_c = 0,0001$. Natomiast według pracy [4] $g' = 9,25$ [m/s²]. Dla hamulców ETH 10, $\Delta V_A = 0,5$ [m/s] [3].

Wynika stąd, że drugi składnik równania (4) jest dziesięć razy mniejszy od trzeciego i sto razy mniejszy od pierwszego.

Można więc drugi składnik we wzorze (4) pominąć.

Ostatecznie wzór na błąd wyrażenia (2) przyjmie postać:

$$\Delta B = \pm \left(\frac{V_A}{g'} \cdot \Delta V_A + l \cdot \Delta w_c \right) \quad [\text{m}] \quad (5)$$

Zakładając we wzorze (1) $V_B = V_z$,

gdzie: V_z - dopuszczalna prędkość zderzenia wagonu [m/s],
można napisać nierówność:

$$\Delta B \leq \frac{V_z^2}{2g'} \quad [\text{m}] \quad (6)$$

Jest to warunek, który musi być spełniony, aby wagony nie ulegały uszkodzeniu na torach kierunkowych.

Pokazuje on, jak zmniejszanie dopuszczalnych prędkości zderzenia powiększa trudności rozwiązania problemu "strzelania do celu".

Trudności te wynikają z tego, że należy wówczas stosować dokładniejsze metody pomiaru wolnej długości toru i oporu jednostkowego wagonu oraz dążyć do precyzyjniejszego działania hamulców docelowych, co powiększa koszty grawitacyjnych systemów rozrządowych.

4. PRZYKŁAD LICZBOWY

Punkt zatrzymania wagonu przewidziany jest na $l = 400$ m za hamulcem docelowym. Jednostkowy opór całkowity wagonu wynosi $w_c = 2,5$ N/kN, a pochylenie toru kierunkowego $i = 1,5$ ‰.

Wymaganą prędkość wyjazdu wagonu z hamulca docelowego, umożliwiającą dojazd wagonu do wagonów zapewniających tor kierunkowy z prędkością $V_Z = 0$, obliczamy ze wzoru (1):

$$V_A = \sqrt{2 \cdot g' \cdot l \cdot (w_c - i)} \quad [\text{m/s}] \quad (7)$$

Wstawiając dane wartości otrzymuje się:

$$V_A = \sqrt{2 \cdot 9,25 \cdot 400(0,0025 - 0,0015)} = 2,72 \text{ m/s}$$

Obliczając teraz błąd, który powstanie z niedokładności hamulca oraz przy ocenie straty energii pomiędzy hamulcem docelowym i punktem zatrzymania:

$$\Delta B = \pm \left(\frac{V_A}{g'} \cdot \Delta V_A + l \Delta w_c \right) \quad [\text{m}]$$

Wstawiając dane wartości otrzymuje się:

$$\Delta B = \pm \left(\frac{2,72 \cdot 0,5}{9,25} + 400 \cdot 0,0001 \right) = \pm (0,15 + 0,04) = \pm 0,19 \text{ m}$$

Ze wzoru (6) można obliczyć jaką powinna być dopuszczalna prędkość zderzenia wagonów V_Z , aby przy błędzie ΔB nie były one uszkodzane:

$$V_Z \geq \sqrt{2 \cdot g' \cdot \Delta B} \quad [\text{m}] \quad (8)$$

Wstawiając dane wartości, otrzymuje się:

$$V_Z \geq \sqrt{2 \cdot 9,25 \cdot 0,19} \quad [\text{m/s}]$$

czyli

$$V_Z \geq 1,88 \text{ m/s, tzn. } V_Z \geq 6,77 \text{ km/h}$$

Oznacza to, że wszystkie wagony ze zderzakami o dopuszczalnej prędkości zderzenia $V_Z < 6,77$ km/h ulegną uszkodzeniu.

Prawdopodobieństwo, że błąd ΔB będzie miał dodatnią wynosi $P_b = 0,5$.

Warto porównać teraz, jaki błąd można popełnić dla wagonów wyposażonych w zderzaki o dopuszczalnej prędkości zderzenia $V = 5 \text{ km/h} = 1,4 \text{ m/s}$, a jaki dla wagonów wyposażonych w zderzaki o dopuszczalnej prędkości zderzenia $V_z = 15 \text{ km/h} = 4,2 \text{ m/s}$, czyli zderzaki elastomerowe lub sprzęgi samoczynne. Wartość błędu można obliczyć ze wzoru (6):

$$\Delta B \leq \frac{V_z^2}{2g'} \text{ m}$$

Dla pierwszego przypadku:

$$\Delta B \leq 0,1 \text{ m}$$

Dla drugiego przypadku:

$$\Delta B \leq 1,0 \text{ m}$$

5. WNIOSKI

Z przedstawionych obliczeń wynika, że trzykrotne podwyższenie dopuszczalnej prędkości zderzenia V_z powoduje dziesięciokrotne podwyższenie dopuszczalnego błędu ΔB .

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Cieślakowski St.J.: Kształtowanie pochylenia rozpędowego górki rozrządowej. IV Konferencja Naukowo-Techniczna. PROJEKTOWANIE, BUDOWA I UTRZYMANIE INFRASTRUKTURY W TRANSPORCIE SZYNOWYM. INFRASZYN 2011. Zakopane 6-8 kwietnia 2011.
- [2] Celiński K.: Mikroprocesowy system sterowania pracą urządzeń górki rozrządowej. Problemy Kolejnictwa. Z. 104, 1988.
- [3] Ucieklak J.: Hamulce torowe ETH-1 oraz system elektrohydraulicznego napędu SHN-1. Problemy Kolejnictwa. Z. 103, 1988.
- [4] Węgiński J.: Układy torowe stacji. WKŁ. Warszawa 1974.