

W.S. ŁYSIUK

WNIIŻT, Moskwa

NIEZAWODNOŚĆ TORU BEZSTYKOWEGO

Streszczenie. Artykuł zawiera opis i wyniki badań doświadczalnych wykonanych w laboratorium trwałości i stateczności toru bezstykowego WNIIŻT w Moskwie. Podano praktyczne zalecenia i wnioski.

1. WSTĘP

Tor bezstykowy, dzięki swym licznym zaletom, stał się niemal dla wszystkich zarządów kolejowych podstawowym rodzajem nawierzchni. Może on być stosowany w każdych warunkach geograficznych. Pozwala osiągać duże prędkości i przynosi poważne efekty techniczne, ekonomiczne, ekologiczne oraz społeczne, dostrzegane zarówno przez specjalistów, jak i niekolejarzy. Uszkodzenia szyn w torze bezstykowym występują 1,5 raza rzadziej w porównaniu do torów stykowych. Zwiększa się bezpieczeństwo ruchu i jego niezawodność. Polepszają się parametry dotyczące oporów oraz zużycia wszystkich elementów taboru i toru, a jednocześnie maleją straty w sypkich ładunkach i zmniejszają się drgania powodujące hałas szkodliwy dla otoczenia.

Ogólne oszczędności z zastosowania toru bezstykowego mogą osiągnąć, według badań WNIIŻT od 0,8-1,6 tys. rubli na 1 km rocznie, według cen z 1990 r.

2. STAN OCENY I PERSPEKTYWY ROZWOJU

Na kolejach radzieckich tor bezstykowy jest stosowany od 30 lat. W tym czasie zbadano i wyjaśniono liczne zagadnienia związane z jego pracą, z wytrzymałością oraz trwałością. Określono wymagania dotyczące konstrukcji, technologii budowy i utrzymania oraz warunków eksploatacji. Powstał bogaty bank danych na ten temat. Upewniono się przede wszystkim, że wytrzymuje on oddziaływania ekstremalnych temperatur występujących na terytorium ZSRR [7], [8], [9].

W 1989 r. długość linii, na których ułożony był tor bezstykowy, osiągnęła 60 tys. km (łącznie z torami stacijnymi) - stanowi to 1/3 wszystkich

torów głównych. Teoretycznie istnieje możliwość ułożenia torów bezстыkowych na 70% sieci kolejowej ZSRR.

Z powodu zbyt małego tempa wdrażania tego toru gospodarka narodowa w dziedzinie transportu pozbawiana jest każdego roku znacznych oszczędności.

Przyczynami powolnego wdrażania torów bezстыkowych są m.in. małe nakłady kapitałowe na rozwój transportu kolejowego, a także pokutujące jeszcze bariery psychologiczne. Zaliczyć do nich należy fałszywy pogląd, że tor bezстыkowy można budować wyłącznie na odcinkach prostych lub w łukach o dużych promieniach, w łagodnym klimacie oraz na liniach, na których obciążenie nie przekracza 80 Tg rocznie.

Wymienione ograniczenia spowodowane były niedostateczną znajomością zagadnień teoretycznych. Mimo to w ostatnich latach przypisywano winę za niektóre wykołajenia torom bezстыkowym uważając, że spowodowane one zostały wyboczeniem toru, w wyniku oddziaływania jadącego pociągu [6], [7], [8], [9].

3. EKSPERYMENT FIZYCZNY

Specjaliści z laboratorium badań wytrzymałościowych toru WNIIŻT czują się zobowiązani i wystarczająco kompetentni, aby ustosunkować się do tego zarzutu, o którym wspomniano wyżej. Podobne przypadki miały wprawdzie miejsce na Kolei Moskiewskiej, Przywołżańskiej Odesskiej, Oktjabrskiej i Kujbyszewskiej, jak również w torach klasycznych w tym także zimą (BAM, Kolej Zachodnio-Syberyjska), jednak po szczegółowym zbadaniu okoliczności ustalono, że przyczynami wykołajenia nie mogły być ani temperatura, ani mała odporność na przemieszczanie się podkładów w podsypce, ani pełzanie szyn, itd.

Przypuszczano, że przyczyną mogły być:

- zwichrowanie ramy toru w wyniku mimośrodowego działania sił podłużnych w szynach bądź wpływ drgań od wózków wagonowych lub
- niedostateczna utrzymywanie toru.

W celu sprawdzenia obu opinii specjaliści WNIIŻT przeprowadzili odpowiednie badania, uwzględnili jednocześnie wpływ temperatur i oddziaływanie pociągów (badania dynamiczne).

Ustalono, że po przejechaniu 200 pociągów towarowych o masie 3000 t z $V = 80$ km/h (szyny R65, podkłady betonowe) na prostej i w łukach o promieniu $R = 400$ m, przy ciągłym podgrzewaniu szyn do temperatury o 30% wyższej od dopuszczalnej, całkowite przemieszczenie ramy toru nie przekracza 1 mm, a po przerwaniu podgrzewania zmniejsza się do 0.

Przypuszczenie o mniejszej wytrzymałości toru bezстыkowego podczas przejazdu pociągu nie potwierdziło się [3], [4].

W badaniach dynamicznych sprawdzono, jaki wpływ wywierają odstępstwa od obowiązujących norm na utrzymanie toru bezстыkowego w eksploatacji. Po torze kursowały pociągi towarowe o masie 3 tys. i 9 tys. ton. Przepuszczono 560 pociągów, z których część poruszała się z rozpędu, a 75 pociągów jechało po torze podgrzanych powyżej normy - łącznie przejechało 3,5 Tg. Nie stwierdzono zagrożenia dla stateczności toru nawet przy ciągłym podgrzewaniu, co na ogół nie zdarza się w normalnych warunkach eksploatacji.

Stwierdzono, że niebezpieczne przemieszczenie toru powstaje po przejechaniu ok. 60 Tg ładunków, gdy ma miejsce niedostatek podsypki na czołach podkładów lub niedopuszczalne nierówności w planie [1]. Zjawisko to może wystąpić nie wcześniej jak po 0,5-1 roku, tzn. w czasie, w którym koniecznie powinny być wykryte i usunięte wymienione wady. W ZSRR sezon letni o takiej długości bywa bardzo rzadko.

Wpływ pełzania toków szynowych z powodu poluzowania przytwierdzeń (nakrętek śrub) na wytrzymałość toru symulowano podgrzewaniem szyn do wartości siły podłużnej $P = 57,5$ t i nie stwierdzono zakłóceń.

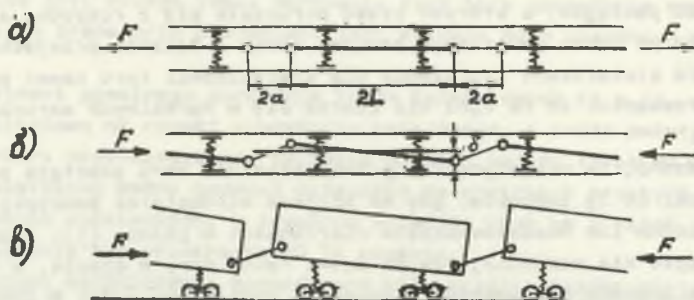
Pomierzono również siły boczne przekazywane na tor przez koła 8-osioowego wagonu ładownego, dla prędkości $V = 70$ km/h, przy stosowaniu trakcji lub z rozpędu. Siły te nie przekroczyły wielkości 7,5 t, nawet w przypadku pewnych nieprawidłowości przy utrzymaniu toru, co nie stanowiło zagrożenia dla bezpieczeństwa ruchu.

Udowodniono, że tor bezстыkowy krajowej konstrukcji dysponuje wystarczającymi rezerwami odporności na wyboczenie [7], [9]. Ma to miejsce nawet wówczas, gdy kursują ciężkie pociągi o masie wagonów do 50 t (pasażerskie i chłodnie) oraz towarowe o ładowności do 100 t i naciskach na oś 12,5 t (jeśli wzdłużne, quasi-statyczne siły ściskające działają ponad 2 s) i nie przekraczają wielkości ustalonych w normach MPS i MPC, dla spokojności biegu wagonów.

Przekroczenie wspomnianych sił ściskających może doprowadzić do awarii. Wystąpi wówczas wyboczenie toru z powodu oddziaływania nabiegających wózków, które ustawią się w przeciwne strony, bądź wyciśnięcie wagonów, jeśli zapas wytrzymałości na przemieszczenie toru jest odpowiednio duży. Przekroczenie sił podłużnych w pociągu może wystąpić z powodu podwójnej lub wielokrotnej trakcji i nieodpowiedniej współpracy pomiędzy lokomotywami. Aktualnie brak jest przyrządu rejestrującego wielkość sił podłużnych w sprzęgu samoczynnym, w zależności od miejsca ustawienia lokomotyw (na początku, w środku czy na końcu), pozwalającego sterować nabieganiem wagonów w przypadku hamowania.

Na rys. 1 przedstawiono możliwe sytuacje ustawienia się wagonów z tego powodu. Poruszający się pociąg stanowi wieloczołowy przegubowo-rzdeniowy mechanizm. Człony tego mechanizmu (pojazdy i sprzęgi samoczynne) przy rozciąganiu układają się w jednej linii (rys. 1a), przy ściskaniu ulegają

skręcaniu w płaszczyźnie poziomej (rys. 1b) i pionowej (rys. 1c), ustawiając się pod kątem do osi podłużnej pociągu - zygzakiem lub "w jodełkę".



Rys. 1. Schemat ustawiania się wagonów w pociągu podczas biegu
a) przy rozciąganiu, b) przy nabieganiu

Fig. 1. Scheme of position changes of cars in a train during
a) acceleration, b) slowing down

Przeciwdziałają skręcaniu wózki wagonowe, a sprzyjają wszelkie ponadnormatywne luzy między obrzeżami kół i szynami, a także w resorach, maźnicach i czopach skretu.

Zewnętrznym objawem ustawiania się wagonów przy hamowaniu pociągu jest oddziaływanie sąsiednich wózków na toki szynowe, które starają się rozepścić tor lub przesunąć go w przeciwnie strony. Zewnętrznym objawem takiego przesuwania toru jest tzw. "żmijka" powstająca jak przy wyboczeniu toru bezsztykowego. Możliwe, że ta zewnętrzna oznaka wyboczenia pobudza wyobraźnię niektórych praktyków do wyciągania nieuzasadnionych wniosków o przyczynach katastrof.

Wyniki wieloletnich kompleksowych badań WNIIZT świadczą, że boczne, zespolone obciążenie toru przez koła wózków nowoczesnych lokomotyw i wagonów pasażerskich jest większe niż obciążenie przez wózki wagonów towarowych (w następstwie większej wrażliwości na pochYLENIE boczne nadwozia pod działaniem podłużnych sił ściskających). Na przykład przy podłużnej, quasi-statycznej sile ściskającej $F = 50$ t, grupowe boczne oddziaływanie na tor od kół wózków nowoczesnych lokomotyw spalinowych 4TE10S i ZTE10M może osiągnąć na prostych wartości 13 t, w łukach o $R = 600$ m - 14 t, a dla $R = 300$ m - 15 t; natomiast przy sile $F = 100$ t - odpowiednio 26,28 i 30 t.

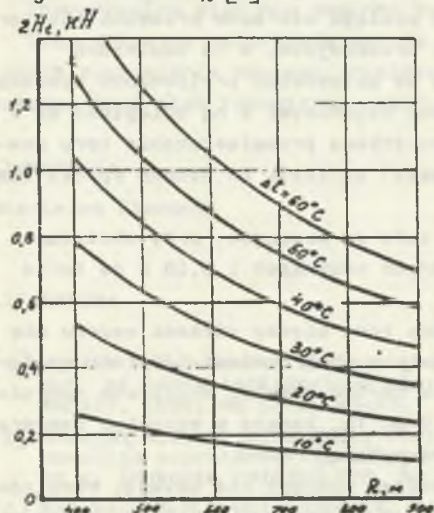
Dla wagonów towarowych, w takich samych warunkach jak przedstawiono wyżej, zespolone boczne oddziaływanie kół wózków na tor jest 2,0-2,5 raza mniejsze, ponieważ nie są one tak wrażliwe na podłużne siły ściskające (są mniej podatne na przekrzywienie).

Na odcinkach toru bezsztykowego zaznacza się dodatkowo wpływ sił od temperatury. Powoduje ono, że sumaryczne oddziaływanie boczne na podkłady

jest tym większe, im mniejszy jest promień łuku (rys. 2). Na prostych oddziaływanie toków szynowych na podkłady występuje tylko w miejscach bocznych nierówności toru.

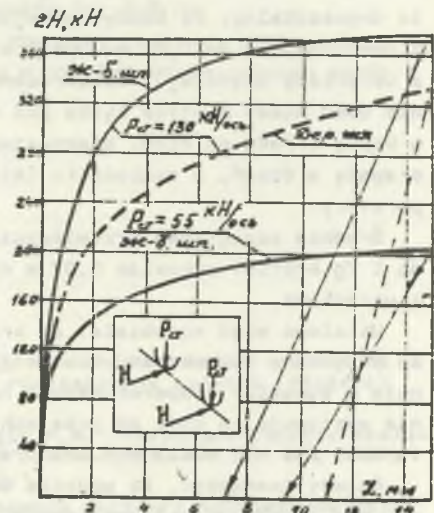
Porównanie danych (rys. 2) z wielkością sił zespolonego bocznego oddziaływania kół wózka ściskanego quasi-statyczną siłą ($F = 100 \text{ t}$), z siłami odporności nowoczesnych konstrukcji toru na przemieszczenie boczne, nawet w łukach o $R = 500 \text{ m}$, wykazuje, że są one o 4% mniejsze od sił próbujących wybończyć tor. Dlatego siły ściskające w szynach od temperatur nie odgrywają istotnej roli w powstawaniu poprzecznych przemieszczeń ramy toru pod wózkami maksymalnie załadowanych pociągów. Siły te są nieco większe, jeśli chodzi o wyciskanie wagonów próżnych, ale w takich przypadkach dopuszczalna quasi-statyczna siła ściskająca w pociągu jest mniejsza o 50% w stosunku do wagonów ładownych; zmniejsza się ona ze 100 t do 50 t [1], [3].

W 1988 r. w celu określenia faktycznej odporności na wyboczenie WNIIZT wykonał eksperyment fizyczny dla typowych konstrukcji toru z podkładami drewnianymi i betonowymi, z szynami R 65 pod stojącymi wagonami, o różnym stopniu załadowania (rys. 3). Ustalono, że odporność na wyboczenie jest tym większa, im bardziej obciążone są wagony, a zmniejsza się na skutek drgań - o 15-20% [2].



Rys. 2. Poziome oddziaływanie na podkłady sił termicznych w szynach (R65, 2000 szt./km)

Fig. 2. Horizontal thermal reaction of rails (R65, with 2000 pcs. per 1 km)



Rys. 3. Opory pionowego wybożenia ramy toru, obciążonej wózkem wagonu, przy $\Delta t = 0$, R65 i 2000 szt. pokładów/km, tłuczeń

Fig. 3. Resistance of vertical warping of rail frame in case of loading by a car ($\Delta t = 0$, R65, with 2000 pcs per 1 km, gravel)

Zbadano również możliwość wybożenia toru pod wagonem (między wózkami) w miejscu, gdzie występowały poprzeczne odkształcenia. W tym celu na torze doświadczalnym podgrzewanym do granicy wybożenia, na prostej, przepuszczano specjalne urządzenie wibracyjne, imitujące standardowy zestaw kołowy obciążony masą 22,5 t i zmiennym sinusoidalnym obciążeniem ± 10 t, drgającym z częstotliwością 4 Hz. We wszystkich przypadkach, gdy zaistniało wybożenie, miało ono miejsce za strefą wygięcia szyn.

Dodatkowe obciążenie wywożano ww. urządzeniem w łuku o $R = 800$ m, masą 8 t, ze zmiennym sinusoidalnym obciążeniem ± 5 t, z częstotliwością 7-8 Hz. Tu także miejsce wybożenia nie pokrywało się ze strefą krzywizny toru.

Przeprowadzono również eksperymenty na prostych odcinkach toru i w łukach o promieniach $R = 600$ i $R = 400$ m; na torze w bardzo dobrym stanie technicznym oraz na łuku $R = 600$ m, z usterkami (poziome nierówności toru wielkości 26 i 43 mm na długości 20 m, brak tłuczni na długości 5 m) [4]. Na odcinkach tych pociągi o masie 2700 i 5000 t jeździły z prędkością 70-80 km/h. Temperatura szyn wynosiła 42°C (maksymalne przekroczenie w stosunku do temperatury przytwierdzenia) oraz 56°C - 33% przekroczenia temperatury dopuszczalnej. W trakcie doświadczeń pociąg przejechał odcinek doświadczalny 560 razy (3,5 Tg), w tym 77 razy, gdy temp. szyn przekraczała dopuszczalną. Po każdym przejeździe pociągu mierzono przesunięcie toru, z dokładnością do 0,01 mm (co 5 m w 21 przekrojach, a na odcinkach z usterkami częściej). Stwierdzono, że we wszystkich przypadkach wybożenia toru miały miejsce tylko pod wózkami wagonowymi i na odległość do 1 m w każdą stronę od nich. Nieznaczne, szcążkowe przemieszczenia toru powstawały w dzień, a całkowicie (nie zawsze) zanikały po nocnym spadku temperatury.

Średnie szcążkowe przemieszczenia toru od pociągów, przy obciążeniu do 1 Tg brutto, wynosiło 0,07 m na dobrych odcinkach i 0,18 m na torze z usterkami.

Ustalono więc niezbicie, że krzywizny toru między wózkami wagonu nie są przyczyną wybożenia. Kumulacja szcążkowych przemieszczeń toru następuje w wysokich temperaturach i narasta bardzo powoli. Krytyczne naprężenia występują na ogół po przejechaniu 8-20 Tg, zawsze w wysokich temperaturach, ale nie muszą być one przyczyną wybożeń toru.

Należy zaznaczyć, że podczas doświadczeń pociągi nie używały hamulców, aby nie powodować sił podłużnych w szynach. W przypadku silnego hamowania nabiegające wagony mają tendencję do zygżakowatego ustawiania się, co powoduje, że przekazywane są większe siły na tor mogące pokonać opór krytyczny ramy toru i doprowadzić do wybożenia [7].

4. PODSUMOWANIE

W rezultacie wieloletnich badań WNIIZT wynika, że wyboczenie toru bezstykowego może nastąpić wyłącznie w wysokich temperaturach, pod ruchem pociągów, jeśli zostały naruszone zasady budowy lub utrzymania toru (układano go w zbyt niskich temperaturach lub dopuszczono do migracji poszczególnych toków). Innymi słowy: jeśli wyboczenie nie nastąpiło przed pociągiem, to pod nim jest ono niemożliwe. Jeśli natomiast wyboczenie wystąpiło nie w przedniej, lecz środkowej lub końcowej części pociągu, to można z całą pewnością twierdzić, że nie było ono spowodowane z winy toru bezstykowego, lecz wskutek nabiegania na siebie wózków hamowanego pociągu. Aby wyboczenia uniknąć, sumaryczne boczne oddziaływanie wszystkich kół wózka na tor (H w (t)) nie może przekroczyć wielkości:

$$H = 2,5 - 0,38 nR (t)$$

gdzie:

n - liczba osi w wózku,

R - statyczny nacisk osi na tor w (t).

Dopuszczalna siła nie powinna być większa jak 0,5 H .

Duży wpływ na zaistniałe awarie mają czynniki ruchowe, takie jak: sposób zestawienia pociągu, rozlokowanie w nim lokomotyw, sposób jazdy i hamowań oraz stan techniczny taboru.

Tłumaczył:

Stanisław Zimnoch

LITERATURA

- [1] Łysiuk W.S.: Identyfikacja grupowego wozdziejstwa kolea teleżki na put ot kwasistatycznego szatja i raztżażenija pojezda, Wiestnik WNIIZT, 1989, No 2, s. 43-47.
- [2] Ananjew N.J., Łysiuk W.S., Piereslegin A.W.: Eksperimentalnyje issledowanija soprotiwlenija zdwigu szpał w ballastie. WNIIZT. M., 1987, 20 s. (Rękopis CNIITEJ MPS, No 4062).
- [3] Bromberg E.M.: Ustojcziwost bezstykowego puti pri sowmiesnom dejstwiu pojezdnoj i tiempieraturnoj nagruzok. (Powyszenije efektiwnosti bezstykowego puti-Sb. naucz. tr. M.: Transport, 1983, s. 77-85.
- [4] Bromberg E.M.: Ustojcziwost bezstykowego puti pod pojezdom (Sowierszenstwowanije konstrukcii i ekapłuatacija bezstykowego puti) Sb. naucz. tr. M. Transport 1988, s. 13-20.
- [5] Łysiuk W.S.: Kak izbieżat raspora i zdwigu kolei. P.i P.Ch., 1989, No 7, s. 23-25.
- [6] Łysiuk W.S., Bromberg E.M., Winogorow N.P., Zwieriew N.B., Chwostik G.S., Piereslegin A.W.: Bezstykowej put nieobosnowannoje "obwinienije" P. i P.Ch., 1989, No 8, s. 28-29.

- [7] -: Wremiennye metodukazanija po obezpečeniju bezopasnosti dwi-
ženija gruzowych pojezdow powyszennogo wiasa i dliny (Dopożnienije
k konstrukcji CD-CT/4485).
- [8] Łysiuk W.S.: Powyżenijsze procznosti i nadziežnosti puti za szcot
piereraspredelenija po szirinie gołowki relsa kontaktnych napriazhenij
(Powyżenijsze procznosti i nadziežnosti puti: Sb. naucz. tr., M. Trans-
port 1989, s. 3-18).
- [9] Łysiuk W.S.: Uprawlat nadziežnostju puti. P. i P.Ch., 1990, No 2,
s. 16-19.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Bożysław Bogdaniuk

Wpłynęło do Redakcji 21.01.1991 r.

RELIABILITY OF JOINTLESS RAIL

S u m m a r y

The paper contains description and test results concerning durability and stability of jointless rail. Practical recommendations and conclusions are given.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

Р е з ю м е

В работе доказан тезис, что повышение прочности и надежности пути зависит от устойчивости пути и состояния группового воздействия колес тележки на путь, от квазистатического сжатия и растяжения поезда. В статье приводятся экспериментальные результаты из лаборатории прочности и устойчивости пути ВНИИЖТ в Москве. Предлагаются новые концепции прочности по обеспечению безопасности движения поездов повышенного веса и длины.