

Ryszard JANECKI

MODELOWANIE RUCHU POCIĄGÓW - CZ.I WYBRANE ROZWIĄZANIA OBCYCH ZARZĄDÓW KOLEJOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono niektóre rozwiązania odnoszące się do zagadnień modelowania ruchu pociągów. Cechy funkcjonalne metod i rozwiązań w tym zakresie pozwalają wyróżnić trzy zasadnicze obszary ich zastosowań: wspomaganie pracy personelu służby dyspozytorskiej ze szczególnym uwzględnieniem prognozowania sytuacji awaryjnych oraz sposobów rozwiązywania konfliktów ruchowych, automatyzacja procesu sporządzania rozkładów jazdy oraz prognozowanie rozwoju sieci kolejowej i organizacji ruchu.

Szczegółowo omówiono niektóre modele ruchu pociągów obcych zarządów kolejowych oraz ich praktyczne zastosowania. Wymienić tutaj należy:

- model symulacyjny ruchu pociągów na liniach o dużych prędkościach dla potrzeb Deutsche Bundesbahn,
- model "życia linii kolejowej" SNCF (Francja),
- model ruchu pociągów kolei japońskich JNR,
- model ruchu pociągów kolei radzieckich SZD.

Omówione w artykule metody i praktyczne rozwiązania dokumentują znaczące dokonania w zakresie modelowania ruchu pociągów szeregu zagranicznych zarządów kolejowych. W większości rozwiązania te potraktowano kompleksowo dla fragmentów sieci najczęściej nowoczesnych i odosobnionych.

1. Uwagi wstępne

System transportu kolejowego jest strukturą sieciową, w której konieczność zaspokojenia zapotrzebowania na przewozy wymaga integracji działalności wszystkich służb eksploatacyjnych oraz racjonalnego wykorzystania istniejącego wyposażenia technicznego.

Podjęcie decyzji w każdym z tych zakresów powinno być oparte na gruntownej znajomości systemu transportu kolejowego. Istotną pomocą jest tutaj modelowanie matematyczne odzwierciedlające cechy systemu, najważniejsze z punktu widzenia określonego zadania, którego rozwiązaniu model ma służyć.

Stopień szczegółowości rozważań implikuje podział modeli matematycznych odwzorowujących zjawiska ruchowe na makromodele i mikromodele. Natomiast zależnie od zasobu informacji o parametrach modelu, dzieli się je na:

- deterministyczne,
- niedeterministyczne.

- probalistyczne,
- statystyczne,
- strategiczne.

Podstawą modelowania są metody zastosowań matematyki, w których zakres wchodzi między innymi: metody programowania matematycznego, rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna, metody Monte-Carlo i teoria gier. Powszechnie jest również wykorzystanie techniki komputerowej, przy czym obszar jej zastosowań obejmuje:

- numeryczne rozwiązywania zadań opisujących badane procesy,
- symulację badanych procesów czyli poszukiwanie ich charakterystyk.

Podstawy teoretyczne modelowania procesów ruchowych w transporcie zawierają między innymi prace [1], [2], [3], [5], [6], [10], [11], [12], [13], [15], [16].

Cechy funkcjonalne metod i rozwiązań w zakresie modelowania ruchu pociągów pozwalają wyróżnić trzy zasadnicze obszary ich zastosowań. Określić je można następująco:

- wspomaganie pracy dyspozytorów (dyżurnych ruchu) odpowiadające planowaniu krótkoterminowemu (bieżącemu), a zatem między innymi rozstrzygnięciu konfliktowych sytuacji ruchowych,
- automatyzację sporządzania rozkładów jazdy (planowanie średnioterminowe),
- programowanie rozwoju sieci kolejowej i organizacji ruchu obejmujące planowanie długoterminowe.

Występujące w pracy przewozowej kolei trudności zmusiły szereg zarządów kolejowych do podjęcia badań nad usprawnieniem procesów prowadzenia ruchu pociągów. Konsekwencją tych działań było opracowanie wielu rozwiązań systemów zdalnego sterowania i kontroli dyspozytorskiej.

Systemy te należą do systemów "człowiek - maszyna". W zależności od stopnia automatyzacji systemu, mogą zachodzić różne relacje między procesem przemieszczania pociągów, personelem służby ruchu i systemem komputerowym. W pierwszym przypadku zasadnicza relacja zachodzi między procesem przemieszczania pociągów i człowiekiem. System komputerowy otrzymując bezpośrednio informacje o procesie przemieszczania, działa niezależnie i jest pomocny w realizacji przez człowieka funkcji wykonawczo-kierowniczych. Drugi sposób oznacza bezpośrednie sprzężenie komputer - proces przemieszczania pociągów, a rola człowieka polega na spełnianiu funkcji kontrolnych i korygujących decyzje komputera.

Do podstawowych elementów, które są już całkowicie bądź częściowo zautomatyzowane w wielu systemach należą [14]:

- odtworzenie sytuacji ruchowej w kontrolowanym obszarze sieci,
- zdalne sterowanie ruchem pociągów podczas jazdy planowej,
- regulacja prędkości i kontrola hamowania pociągów,
- kontrola pracy urządzeń,
- identyfikacja pociągów w kontrolowanym obszarze.

- planowanie ruchu pociągów, pracy lokomotyw i drużyn trakcyjnych.
- rejestrowanie danych statystycznych i sprawozdawczość.

W tabl. 1 przedstawiono zastosowane do końca lat 70-tych systemy zdalnego sterowania i kontroli ruchu pociągów (znak "-" w tabl. oznacza brak danych).

Tablica 1

Niektóre zastosowane na świecie systemy zdalnego sterowania i kontroli ruchu pociągów

Lp.	System	Kraj, w którym zastosowano system	Obszar zastosowania	Długość linii km	Prędkość max pociągów km/h
1	2	3	4	5	6
1	GRS (USA)	Australia	linia Green-vale-Townsville	-	-
		Taiwan	linia kolejowa	91	-
		Holandia	"	-	160
		USA	szybka kolej miejska, metro	-	-
2	Siemens (RFN)	RFN	linia Monachium-Augsburg	-	-
			Okręg Monachium	400	-
		Włochy	linia Mediolan-Chiasso	-	-
		RPA	linia Natal System	-	-
			Cap Midland	2800	-
			Cap Western	-	-
Indonezja, Dania, Indie, Finlandia, Jugosławia	-	-	-		
3	SEL (RFN)	RFN	rejon Stuttgartu	100	-
			linia Hanover-Brema	188	300
		Jugosławia	linia Sarajewo-Ploce	180	-
4	GEC (W. Brytania)	W. Brytania	linia Londyn-Glasgow	650	160
			linia Londyn-Edynburg	600	160
			Londyn-Cardiff	200	160

cd. tabl. 1

1	2	3	4	5	6
		RPA	linia Sishen-Saldania	860	-
		Indie	-	-	120
		Brazylia	-	80	-
		Hiszpania	-	47	-
		Australia, Dania, Jugosławia	-	-	-
5.	Westinghouse (USA)	W. Brytania	linia Londyn-Glasgow	650	160
			linia Londyn-Edynburg	600	160
			Londyn-Cardiff	200	160
		RPA	linia Sishen-Saldania	860	-
		Indie	-	-	120
		Brazylia	-	80	-
		Hiszpania	-	47	-
		Australia, Dania, Jugosławia	-	-	-
6.	L. M. Ericsson (Szwecja)	Szwecja	Sztokholm i niektóre linie kolejowe	520	-
		Egipt	Kair	55	-
		Taiwan	-	408	-
		Norwegia	-	-	-
7.	System kolei japońskich	Japonia	linia Tokaido	515	210
			linia Sanyo	500	260
			linia Tohoku	-	-
			linia Jeotsu	861	260
			linia Navita	-	-
8.	System kolei radzieckich	ZSRR	linia Moskwa-Leningrad	651	200
			linia Soczi-Adler	600	-
9.	Systemy PKP	Polska	węzeł kato-wicki ¹⁾	-	-
			węzeł warszawski	-	-

1) Aktualnie przygotowywany jest nowy system urządzeń kontroli dyspozytorskiej

cd. tabl. 1

10	Harmon Electro- nics	USA	kompania Denver and Rio	3000	-
			kompania Grande	-	-
			kompania Western Railroad		-

Zródło: [14].

W kolejnych latach następował dalszy rozwój urządzeń zdalnego sterowania i kontroli dyspozytorskiej. W zastosowanych rozwiązaniach pojawiają się nowe funkcje systemów realizowane przy wykorzystaniu modeli symulacyjnych procesów przemieszczania pociągów, mianowicie prognozowanie sytuacji ruchowej oraz rozwiązywanie konfliktów ruchowych. Funkcja operatywnego kierowania ruchem pociągów w warunkach zakłóceń jest szczególnie trudna do automatyzacji ze względu na wielką różnorodność i wielkość zakłóceń oraz konieczność ścisłej koordynacji wielu służb eksploatacyjnych.

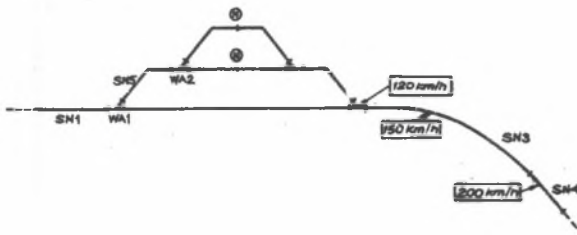
W dalszej części niniejszego artykułu szczegółowo zaprezentowano niektóre modele ruchu pociągów obcych zarządów kolejowych oraz ich praktyczne zastosowania. Modele opracowane dla potrzeb PKP przedstawiono w kolejnym artykule zamieszczonym w niniejszym wydawnictwie.

2. Model symulacyjny ruchu pociągów na liniach o dużych prędkościach dla potrzeb Deutsche Bundesbahn (DFB)

Pracownicy firmy Siemens (DFB) dla potrzeb DB opracowali model symulacyjny ruchu pociągów na liniach przystosowanych do dużych prędkości. Model przygotowano w postaci programu GASP IV w języku FORTRAN. Dane wejściowe do badań symulacyjnych stanowią:

- parametry odcinka linii kolejowej i charakterystyka urządzeń sygnalizacji,
- parametry wykresu ruchu pociągów,
- charakterystyki taboru,
- parametry systemu kierowania ruchem pociągów.

Dla potrzeb modelowania odcinek linii kolejowej dzieli się na elementarne odcinki standardowe.



Rys.1. Podział odcinka linii kolejowej na elementarne odcinki
 Fig.1. A partition of railroad segment on elementary segments

Przykładowo, odcinki typu SN - to prostoliniowe odcinki jednotorowe linii dopuszczające ruch w jednym kierunku bez odgałęzienia. W modelu odcinki te są opisane dwoma parametrami: długością i dopuszczalną prędkością ruchu. Odcinki typu WA oprócz ruchu po torze głównym dopuszczają zjazd na odgałęzienie (zwrótnicę). W modelu odcinki te scharakteryzowane są tymi samymi parametrami, co i odcinki typu SN oraz danymi o: długości zwrótnicy, czasie jej przestawiania, maksymalnej dopuszczalnej prędkości jazdy pociągu po zwrótnicy.

Wykres ruchu opisany jest w modelu następującymi parametrami: moment odjazdu, przyspieszenie rozruchu i prędkość na odcinku dla każdego pociągu, kolejność przechodzenia każdego pociągu przez elementarne odcinki linii kolejowej.

Charakterystyka taboru określona jest następującymi parametrami: długość i masa pociągu, wielkość oporów ruchu, prędkość dopuszczalna, charakterystyka hamowania i rozruchu. Przykładowo, charakterystykę rozruchu wprowadza się do EMC w postaci wielkości dyskretnej otrzymanych drogą schodkowej aproksymacji charakterystyki $b_a = f(v)$, gdzie: b_a - wielkość przyspieszenia, a v - prędkość jazdy pociągu.

Podczas modelowania ruchu pakietu pociągów na odcinku należy zapewnić odpowiednie ich następstwo, aby uwzględnić wymagane zasady bezpieczeństwa ruchu. Przy ustalaniu następstwa pociągów w warunkach ich przestrzennego rozgraniczenia (ruch pociągów w odstępie odległości) AV1, obliczanie minimalnego odstępu między pociągami (a_{\min}) przeprowadza się w tym modelu według wzoru:

$$a_{\min} = \frac{v_{\max}^2}{2b_b} + L_z \quad (2.1)$$

gdzie: L_z - długość pociągu,

b_b - przyspieszenie hamowania.

Przy czasowym rozgraniczeniu pociągów (ruch pociągów w odstępie czasu) AV2:

$$a_{\min} = \frac{v_{\max} \cdot v}{2b_b} + L_z \quad (2.2)$$

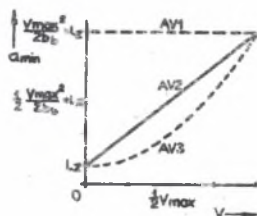
Przy rozgraniczeniu pociągów drogą hamowania (AV3):

$$a_{\min} = \frac{v^2}{2b_b} + L_z \quad (2.3)$$

$$a_{\min} = \frac{V^2}{2b_b} + L_z \quad (2.3)$$

Obliczenie według wzoru 2.1 nie uwzględnia rzeczywistej prędkości pociągu. Przy obliczeniu według wzoru 2.2 odległość między pociągami liniowo zależy od V , a zgodnie ze wzorem 2.3 odległość między pociągami zależy od kwadratu prędkości.

Przypadki te zilustrowano na rys. 2. na którym przedstawiono zależności wielkości odległości między pociągami, otrzymane dla różnych prędkości (V_{\max}) i podanych wyżej wzorów obliczeniowych.



Rys.2. Zależność minimalnego odstępu między pociągami od maksymalnych prędkości ruchu.

Fig.2. Dependence of minimal distance among trains on maximal drive speed.

Uwzględniając dyskretność sterowania, wynikającą z blokady samoczynnej (przy zastosowaniu której linia kolejowa jest podzielona na odcinki blokowe (L_A)) rzeczywisty minimalny odstęp między pociągami wyniesie:

$$a_{\min}^{(g)} = \left[\text{ENTIER} \left(\frac{a_{\min}}{L_A} \right) + 2 \right] \cdot L_A \quad (2.4)$$

gdzie: L_A - długość odcinka blokowego.

Regulowanie ruchu pociągu sprowadza się do porównywania dopuszczalnego odstępu czasu między pociągami z odstępem rzeczywistym przy kontroli prędkości ruchu. Jednym z wariantów optymalizacji kierowania ruchem jest przechodzenie od jednej prędkości dopuszczalnej do drugiej w minimalnym czasie, wykorzystując wszystkie możliwości taboru w zakresie przyspieszenia i opóźnienia ruchu.

Na odcinkach jednotorowych, gdzie występują krzyżowania i wyprzedzania

pociągów, faktyczne odstępy między pociągowe mogą być znacznie większe, niż wielkości obliczone według wzoru 2.4.. Opracowany model umożliwia analizę takich przypadków. W tym celu w modelu uwzględnia się kierunki ruchu, prędkości i współrzędne wszystkich pociągów. Przy powstaniu kolizji priorytet (w sensie pierwszeństwa przejazdu na odcinku) otrzymuje ten pociąg, który ma większą prędkość lub (przy jednakowych prędkościach) znajduje się bliżej zwrotnicy. Po ustaleniu kolejności przejazdu pociągów po odcinku oblicza się dokładniejsze interwały między nimi, wychodząc z konieczności zatrzymania tych pociągów, których miejsce w hierarchii ważności jest niższe.

W wyniku przeprowadzonej symulacji otrzymuje się dane ilościowe charakteryzujące ruch pociągu na odcinku: zużycie energii przez każdy pociąg i średnio na odcinku, prędkość na odcinku i czas przejazdu przez odcinek dla każdego pociągu i średnio dla zbioru pociągów, liczbę pociągów opóźnionych, czas zatrzymania poszczególnych pociągów i średni czas opóźnienia, minimalne zapasy czasu dla każdego pociągu, intensywność ruchu na odcinku, stopień zajętości każdego odcinka, wykresy ruchu pociągów w funkcji czasu.

Opracowanie modelu w języku FORTRAN zawiera około 4000 instrukcji. Dla symulacji ruchu 50 pociągów na odcinku linii kolejowej składającym się ze 100 elementarnych części, potrzebna jest pamięć operacyjna EMC rzędu 620 KB. Podstawowy obszar pamięci zużyty jest na zapamiętanie międzyoperacyjnych wyników modelowania. Czas symulacji zależy od takich parametrów, jak liczba pociągów, liczba odcinków elementarnych, zadana dokładność obliczeń charakterystyk wyjściowych. Na modelowanie ruchu 10 pociągów na odcinku 100 km podzielonym na 1-kilometrowe odcinki elementarne zużywa się około 80 s czasu maszynowego.

3. "Model życia linii kolejowej" SNCF (Francja)

Koleje francuskie wprowadziły do eksploatacji linie kolejowe przystosowane do dużych prędkości (do 280 km/h). Kursują po nich wyłącznie szybkie pociągi pasażerskie systemu TGV.

Opracowanie Dyrekcji Studiów Ogólnych i Badań SNCF, dotyczy nowej linii kolejowej Paryż - Południowy - Wschód [8]. Jest to modelowe ujęcie funkcjonowania linii kolejowej, które wykorzystując symulację komputerową ma za zadanie:

- dostarczać kierownictwu ocen jakości oferowanych usług przewozowych (dane statystyczne dotyczące opóźnień pociągów),
- określić główne przyczyny zakłóceń w funkcjonowaniu linii, które stanowiąc mają podstawę wyboru metod utrzymania i napraw elementów wyposażenia technicznego,
- określić optymalną strategię eksploatacyjną w systemie wadliwym

(w warunkach zakłóceń w funkcjonowaniu linii).

Formułowanie modelu ruchu pociągów zostało poprzedzone szczegółowymi badaniami niezawodnościowymi poszczególnych elementów systemu jakim jest rozpatrywana linia kolejowa. Kryterium podziału systemu na elementy składowe było przyjęcie, że dany blok (podsystem) zawiera te składniki infrastruktury i taboru, których awaria powoduje identyczne konsekwencje ruchowe. I tak np. "moduł trakcyjny" stanowią: uzwojenie wtórne transformatora, przetwornica elektroniczna mocy, układy sterowania i silniki trakcyjne. Jakakolwiek awaria jednego z wymienionych składników powoduje niemożność działania modułu, a w konsekwencji zmniejszenie siły pociągowej jednostki trakcyjnej.

Ostatecznie podział systemu zawiera 11 zespołów (bloków - podsystemów) dla urządzeń stanowiących wyposażenie linii i 12 dla taboru kolejowego. Dla każdego tak wyróżnionego zespołu technicznego określono statystyki:

- powstawania awarii,
- czasu trwania naprawy i dostępu do miejsc awarii,
- czasu trwania postojów pociągów, spowodowanych zaistniałą niesprawnością

oraz opracowano tzw. karty charakterystycznych awarii.

Aby określić wielkość opóźnienia pociągów powstałego w wyniku niesprawności technicznych systemu opracowano model symulacyjny ruchu pociągów.

W systemie wyróżniono następujące obiekty i ich atrybuty:

- infrastruktura linii kolejowej:
 - profil trasy,
 - maksymalna prędkość ruchu pociągów na danym odcinku,
 - podział poszczególnych szlaków na odstępy blokowe,
 - prędkość jazdy na poszczególnych drogach zwrotnicowych,
 - wykaz dróg przebiegu;
- tabor kolejowy:
 - masa pociągu,
 - wielkość oporów ruchu,
 - charakterystyki trakcyjne;
- rozkład jazdy pociągów:
 - godziny odjazdów,
 - stacje początkowe i końcowe jazdy pociągów,
 - rodzaj pociągu,
 - dane o przebiegu pociągu wg normatywnego wykresu ruchu.

Wszystkie wyspecyfikowane dane przygotowywane są na kartach perforowanych lub taśmach magnetycznych. Podlegają one przetwarzaniu przez wyspecjalizowane programy i następnie umieszczane są w kartotece formowanej na dyskach magnetycznych. Prezentowany model został opracowany w języku FORTRAN na komputer IBM 370/3033.

Symulacja ruchu pociągów prowadzona jest według zasady symulacji

kolejnych zdarzeń, a więc umożliwia śledzenie ruchu pociągów z jednego punktu - miejsca zdarzenia (szczególnego punktu, w którym mogą zaistnieć zmiany reguł ruchu pociągu), np. początku odstępu blokowego do kolejnego punktu-miejsca zdarzenia.

Model symulacyjny umożliwia:

- symulację ruchu pociągów w warunkach normalnego trybu ruchu (bez zakłóceń) pozwalającą na ocenę poprawności trasy pociągu (przejazd przez szlaki i posterunki ruchu modelowanej linii),
- symulację ruchu pociągów w warunkach zakłóceń (wyznaczanie zastępczych tras przejazdu pociągu przez szlaki i posterunki ruchu modelowanej linii),
- optymalne rozwiązywanie konfliktów ruchowych dostarczające danych do przygotowania strategii eksploatacji linii w warunkach zakłóceń (np. dla węzła Pasiłly).

W tabl. 2 przedstawiono wyniki symulacji "życia" linii kolejowej Paryż - Południowy-Wschód w okresie 6-cio miesięcznym. Zużyto na ten cel około 80 min. czasu obliczeniowego jednostki centralnej komputera.

Tablica 2

Nazwa wskaźnika	Wartość wskaźnika
Czas symulacji w dobach	180
Liczba dób bez uszkodzeń elementów technicznych	43
Liczba dób z zarejestrowanymi uszkodzeniami	137
Procentowy udział pociągów przybyłych planowo (opóźnienie poniżej 3 min)	97,2
Procentowy udział pociągów przybyłych z opóźnieniem od 3,1 do 15 min	1,7
Procentowy udział pociągów przybyłych z opóźnieniem od 15,1 do 30 min	0,8
Procentowy udział pociągów przybyłych z opóźnieniem powyżej 30 min	0,3
Średnie łączne dobowe opóźnienie w min	55
Średnie opóźnienie przypadające na jeden pociąg w min	16
Maksymalne opóźnienie pociągu w min	78

Zródło: [8].

4. Model ruchu pociągów kolei japońskich JNR

Również koleje japońskie eksploatują linie kolejowe systemu Shinkansen, po których kursują wyłącznie szybkie pociągi pasażerskie. Określone trudności w pracy tego systemu (występujące lub prognozowane) jak, np. zarejestrowane od 1972 roku zwiększenie opóźnień pociągów i występujące zakłócenia w ruchu pociągów w warunkach zimowych (intensywne opady śniegu na obszarach, przez które przebiegają linie) były czynnikiem inspirującym podjęcie prac nad problematyką symulacji ruchu pociągów przez ośrodki naukowo-badawcze JNR [9].

Opracowany przez Instytut Badań Technicznych JNR system symulacji komputerowej ruchu pociągów STRATS (Shinkansen Train Traffic Simulation System) bazuje na dużych rozmiarów komputerze IBM 3031 oraz jednostce średniej wielkości PDP11/70. Oprogramowanie systemu zostało wykonane w języku FORTRAN. Schemat blokowy systemu przedstawiono na rys. 3.

System STRATS został wykorzystany do rozwiązania szeregu problemów eksploatacyjnych na liniach Shinkansen. Wymienić tutaj należy w zakresie planowania krótkookresowego między innymi:

- operatywne określanie optymalnego wykorzystania torów wjazdowych i wyjazdowych oraz krawędzi peronowych na podstawowych stacjach krańcowych systemu Shinkansen - Tokio Ueno i Omiya, wybranych stacjach pośrednich - Tokio, oraz ustalanie optymalnej organizacji ruchu pociągów w tych węzłach w warunkach zakłóceń,
- przygotowanie strategii prowadzenia ruchu pociągów na linii Tokaido w przypadku obfitych opadów śniegu, w znaczącym stopniu utrudniających ruch pociągów (konieczność istotnego zmniejszenia ich prędkości jazdy).

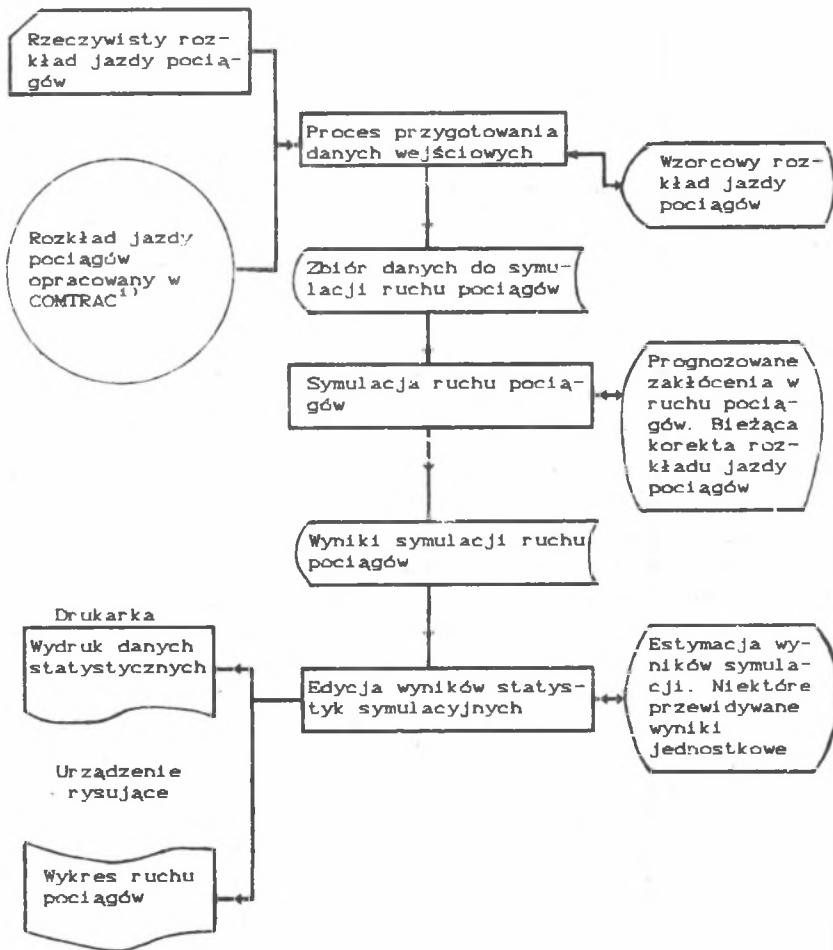
Inne zastosowania systemu STRATS dotyczą opracowywania rozkładów jazdy pociągów przy uwzględnieniu przestrzennych charakterystyk popytu na usługi przewozowe (obserwuje się większe zainteresowanie kierunkiem Hakiri w porównaniu do relacji Kodama).

5. Model ruchu pociągów kolei radzieckich SŽD

Model ruchu pociągów (MDP) kolei SŽD [7] przeznaczony jest do kontroli ruchu i całej pracy pociągowej odcinka oraz zapewnienia pomocy dyspozytorowi w przygotowaniu decyzji w zakresie kierowania odcinkiem. Rozróżnia się dwa rodzaje MDP:

- symulacyjny, który ma za zadanie symulację ruchu pociągów na odcinku dla opracowywania i sprawdzania zasadniczych technologicznych i technicznych rozwiązań pracującego systemu sterowania (ASUPT na odcinku),
- stacjonarny, który obserwuje faktyczny ruch pociągów w danym momencie i odwzorowuje go na monitorze ekranowym dyspozytora, na wydruku itp.

W 1978 r. oddział techniki obliczeniowej WNIIZI opracował model



1) COMTRAC - system informatyczny JNR

Rys. 3. Schemat blokowy systemu STRATS

Fig. 3. A block schema of STRATS system

Zródło: [8].

symulacyjny ruchu pociągów MDP-I-1, na podstawie którego wykorzystując EMC mogą być rozwiązane następujące zadania:

- rejestracja położenia wszystkich pociągów i urządzeń srk na odcinku i odwzorowanie tego, dla dyspozytora, dyżurnych ruchu i innych pracowników operacyjnych rejonu sieci kolejowej,
- kontrola realizacji wykresu ruchu pociągów i sygnalizowanie o odchyłkach od wykresu, przy czym ta informacja może być przekazywana nie tylko

dyspozytorowi lecz i maszynistom (drogą radiową).

- automatyczny wydruk zrealizowanego wykresu ruchu z odnotowaniem numerów pociągów, a w przypadku potrzeby i odchyień od wykresu ruchu również informacji dla maszynistów pociągów o trybie jazdy,
- analiza zrealizowanego wykresu, obejmująca obliczenia jego parametrów, zbieranie statystyki o odchyleniach w ruchu i cząstkową analizę przyczyn odchyień,
- sprawdzanie różnych sposobów operatywnej korekty wykresu ruchu (włączając w to zestawienie planów - wykresów na kilka godzin) i dyspozytorskiego regulowania ruchu w celu powrotu do normalnego wykresu ruchu; to sprawdzanie może być zorganizowane jako dialog dyspozytora z EMC.

Model MDP-I-1 pozwala symulować ruch pociągów, przybliżone i rzeczywiste warunki, gdy pociąg przemieszcza się z określonymi odchyleniami od czasu jazdy i postojów założonych w wykresie. Te odchylenia wprowadzane są do modelu za pomocą programowego generatora liczb losowych.

Symulacja ruchu w modelu uwzględnia również te rzeczywiste odchylenia od wykresu ruchu pociągów, które powstają przy ruchu pociągów innym niż "na sygnał światła zielonego".

Opracowywany wariant modelu zapewnia symulację ruchu pociągów na odcinku jednotorowym, na którym zasadniczo czas trwania i rozmiary ruchu nie są limitowane, również nie są ograniczone kategorie pociągów, techniczne wyposażenie odcinka oraz sposoby regulowania ruchu.

W charakterze technicznego wyposażenia modelowanych odcinków mogą występować takie systemy srk, jak dyspozytorskie urządzenia nastawcze, blokada samoczynna z kontrolą dyspozytorską itp. Odwzorowanie stanu sygnałów realizowane jest następująco: przed początkiem modelowania wszystkie odstępowe i wyjazdowe stacyjne semafony przyjmuje się jako wyświetlające sygnał "wolna droga" (światło zielone), a dla kierunku ruchu parzystego sygnał - "stój" (linia jednotorowa). Stan stacyjnych semaforów wyjazdowych zależy tylko od tego czy dany tor jest zajęty, czy wolny.

Ruch pociągów na odcinku przekazywany jest jako przesuwanie kodów pociągów między komórkami symulującymi odstępów blokowe i tory stacyjne. Za podstawę bierze się obowiązujący wykres ruchu pociągów, ustalający kolejność odjazdu pociągów oraz momenty przyjazdu i odjazdu ich ze stacji przewidując możliwość wprowadzenia dowolnych zmian. Momenty przyjazdu i odjazdu pociągów na odcinku blokowe są obliczane przy użyciu tablic czasów jazdy po odcinkach blokowych, przechowywanych w pamięci EMC, zawierających czasy rozruchu i hamowania.

W skład danych wejściowych do modelu wchodzi m.in. dane normatywne i sprawozdawcze, stanowiące bazę informacyjną systemu; informacje bieżące; narastające dane obliczeniowe.

Podstawowa informacja, niezbędna dla procesu modelowania ruchu pociągów na odcinku, może być podzielona na trzy grupy: dane stałe, warunkowo-stałe

i bieżąco-zmienne.

Informacja stała charakteryzuje odcinek i ruch pociągów na odcinku. Informacja warunkowo-stała zawiera trasy pociągów i inne dane dotyczące wykresu ruchu pociągów na okres modelowania. Informacja bieżąco-zmienna, niezbędna dla warunków programu MDP-I, składa się z emitowanych przez generator liczb losowych dla przyjętych odchyłeń od czasu rozkładowego. Przy pracy w systemie dialogowym omawiana informacja może być uzupełniona (przez monitor) różnymi zadaniami dyspozytorskimi, np. zwiększanie lub skracanie czasu postoju na dowolnej stacji danego pociągu.

Schemat blokowy modelu symulacyjnego MDP-I-1 przedstawiono na rys. 4. W celu sprawdzenia poprawności przyjętych w modelu zasad i ustalenia jego możliwości we Wszzechwiazkowym Naukowo-Badawczym Instytucie Transportu Kolejowego w Moskwie przeprowadzono modelowanie ruchu pociągów na odcinku obciążonym ruchem 20 pociągów. Oprogramowanie modelu wykonano w języku ASSEMBLER dla komputera EC-1030.

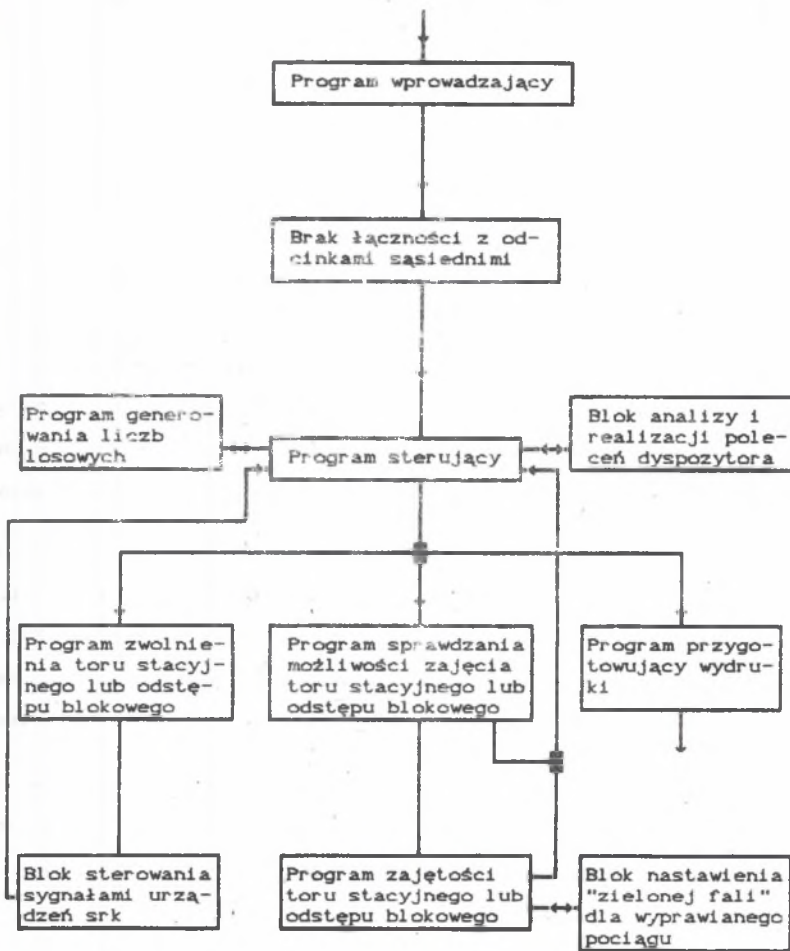
Pierwszy wariant symulacyjnego modelu ruchu pociągów MDP-I-1 na EMC EC-1030 z zestawionym zbiorem głównych programów (ok. 3000 instrukcji) zajmuje ok. 60 kB pamięci operacyjnej. Model symuluje równoczesny ruch 20 pociągów na odcinku składającym się z 22 odstępów, przy ogólnej wielkości ruchu 100 pociągów na dobę. Przeprowadzone próby modelu ustaliły przydatność jego do rozwiązywania czterech zadań:

- rejestrowania położenia pociągów na odcinku w czasie i jego odwzorowanie,
- kontrola wykonania wykresu ruchu i informowanie o wszystkich odchyleniach,
- automatycznego rysowania analizowanego wykresu ruchu z zaznaczeniem numerów pociągów i odchyłeń od rozkładu jazdy,
- sprawdzenia wybranego sposobu regulowania ruchu przy wprowadzeniu decyzji dyspozytorskich.

Schemat blokowy modelu symulacyjnego MDP-I-1 przedstawiono na rys. 4.

6. Podsumowanie

Omówione w artykule metody i praktyczne rozwiązania dotyczące modelowania ruchu pociągów, dokumentują znaczące dokonania w tym zakresie szeregu zagranicznych zarządów kolejowych. Wiele z nich znajduje się na etapie intensywnego wprowadzania konkretnych rozwiązań technicznych, dotyczących procesów organizowania i regulowania ruchu pociągów. W większości rozwiązania te potraktowane są kompleksowo dla fragmentów sieci kolejowej, najczęściej nowoczesnych i odosobnionych. Dla takich sieci odwzorowanie struktury oraz nałożenie na tę strukturę ruchu pociągów jest mniej skomplikowane niż w przypadku sieci jednorodnych pod względem topologicznym i ruchowym.



Rys. 4. Schemat blokowy modelu symulacyjnego MDP-I-1

Fig. 4. A block schema of a simulation model MDP-I-1

Źródło: [7].

Przedstawione modele charakteryzują się także pewnymi niedogodnościami. Można wśród nich wymienić takie jak: jednostkowość i sztywność oprogramowania oraz znaczne zapotrzebowanie na pamięć operacyjną. Wykorzystuje się w nich metody segmentowe symulacji, w których dany odcinek czy linię dzieli się na bloki (segmenty) odpowiednio ze sobą połączone, po

których kolejno przesuwają się pociągi.

Należy jednak podkreślić szerokie praktyczne zastosowanie modeli kolei francuskich i japońskich do bieżącej działalności eksploatacyjnej tych przewoźników.

LITERATURA

- [1] Bereziński M.: Modelowanie matematyczne sieci transportu kolejowego. Semin. Podstawy teorii transportu. Jabionna 1978.
- [2] Bereziński M.: Model teoretyczny linii kolejowej w warunkach stochastyczności ruchu. Politechnika Krakowska 1981.
- [3] Bereziński M.: Podstawy tworzenia matematycznych modeli ruchu kolejowego. Eksploatacja Kolei nr 8/1984.
- [4] Hummer K i inni: Ein Simulationsmodell zur Untersuchung von Betriebsablaufen bei Schnellbahnen. Arch. Eisenbahntechnik nr 35/1980.
- [5] Leszczyński J.: Modelowanie symulacyjne w transporcie kolejowym. WKŁ, Warszawa 1973.
- [6] Leszczyński J.: Optymalne decyzje w procesach transportowych. WKŁ, Warszawa 1981.
- [7] Maksimienko N.K. i inni: Model ruchu pociągów na odcinku. Wiestnik WNII ZT nr 6/1979.
- [8] Moulin R., Berguerand A.: Etude previsionnelle de la disponibilite d'une ligne nouvelle Paris - Sud Est. Revue Generale des Chemins de Fer nr 2/1981.
- [9] ONO J.: The practical application of Shinkansen traffic simulation. Japanese Railway Engineering nr 4/1981.
- [10] Piasecki S.: Optymalizacja systemów przewozowych. WKŁ, Warszawa 1973.
- [11] Potthof G.: Teoria potoków ruchu kolejowego. WKiŁ, Warszawa 1973.
- [12] Sokołowski J.: Obiektowy system transportowy i jego składowe. Sem. Podstawy teorii transportu. Jabionna 1978.
- [13] Sokołowski J.: Modelowanie pracy ruchowej w węzłach sieci transportowej. PWN Warszawa-Łódź 1980, PAN IBS.
- [14] Stolarski M.: Kierunki rozwoju urzędzeń kontroli dyspozytorskiej i zdalnego sterowania ruchem. Problemy Kolejnictwa z.84 ss.43-61, Warszawa 1979.
- [15] Węgierski J.: Metody probabilistyczne w projektowaniu transportu szynowego. WKŁ, Warszawa 1971.
- [16] Woch J.: Podstawy inżynierii ruchu kolejowego WKiŁ, Warszawa 1983.

MODELLING TRAIN TRAFFIC (PART 1) - SELECTED SOLUTIONS OF FOREIGN RAILWAY ADMINISTRATIONS

Summary

Some of the solutions which concerns the problems of train traffic modelling have been presented in the paper. Functional features of the methods and solutions within this range allow to distinguish three basic fields of their application: assistance in the dispatcher service personal work with particular regard to forecasting emergency situations

and methods of solving motorial conflict, automatization of making up time-tables and programming the railway system and traffic organization development.

Some of the foreign railway administrations' train traffic models and their partical application have been discussed with full particulars. The following should be numbered herein:

- train traffic simulation model on high-speed railway lines for Deutsche Bundesbahn.
- railway line life model for SNCF (France).
- train traffic model of Japanese Railways JNR.
- train traffic model of Russian Railways SŽD.

The methods and practical solutions discussed in the paper testify to remarkable achievements of a number of foreign railway administrations in the sphere of modelling the train traffic. In majority, these solutions have been treated jointly for mostly modern and separate fragments of the railway system.

MODELLIERUNG DES ZUGVERKEHRS - TEIL I. AUSGEWÄHLTE LÖSUNGEN FREMDER EISENBAHNVERWALTUNGEN

Zusammenfassung

Im Aufsatz wurden einige Lösungen vorgestellt die Probleme der Zugverkehrsmodellierung betreffen. Die Funktionsmerkmale der Methoden und Lösungen auf diesem Gebiet erlauben, drei grundsätzliche Bereiche ihrer Anwendung zu unterscheiden: Arbeitsunterstützung des Dispatcherdienstpersonals bei besonderer Untersfützung der Prognosierung von Hawariesituationen sowie der Art und Weise der Lösung von Verkehrs Konflikten, Automatisierung des Fahrplanerarbeitungsprozesses sowie Programmierung der Entwicklung des Eisenbahnnetzes und der Verkehrsorganisation.

Im Detail wurden einige Zugverkehrsmodelle fremden Eisenbahnverwaltungen sowie ihtr praktische Einsatz besprochen. Man soll hier nennen:

- Simulationsmodell des Zugverkehrs auf Linien mit großen Geschwindigkeiten für die Deutsche Bundesbahn.
- Modell des Lebens einer Eisenbahnlinie SNCF (Frankreich),
- Modell des Zugverkehrs der japanischen Eisenbahnlinien JNR.
- Modell des Zugverkehrs der sowjetischen Eisenbahnlinien SŽD.

Die im Aufsatz besprochenen Methoden und praktischen Lösungen dokumentieren bedeutende Leistungen auf dem Gebiet der Modellierung des Zugverkehrs einer Reihe ausländischer Eisenbahnverwaltungen. Zum großen Teil

wurden diese Lösungen komplex betrachtet.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ - часть I. ВЫБРАННЫЕ РЕШЕНИЯ ЧУЖИХ ТРАНСПОРТНЫХ УПРАВЛЕНИЙ

Резюме

В статье представлены некоторые решения, касающиеся вопросов моделирования движения поездов. Функциональные свойства методов и решений в этом диапазоне дают возможность выделить три основные группы их применений: помощь в работе диспетчерского обслуживающего персонала с особым учетом прогнозирования аварийных ситуаций а также способов решения транспортных конфликтов, автоматизация получения расписаний поездов а также программирование развития железнодорожной сети и организации движения.

Детально оговорены некоторые модели движения поездов чужих железнодорожных управлений и их практическое применение. Необходимо указать следующие модели:

- Симуляционная модель движения поездов на линиях с большой скоростью для потребностей Дойтче Бундесбан,
- модель долговечности железнодорожной линии СНЦФ (Франция),
- модель движения японских железных дорог ЯНР,
- модель движения советских железных дорог СЖД.

Оговоренные в статье методы и практические решения документируют видные достижения по моделированию движения поездов ряда зарубежных управлений железными дорогами.