ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1984

Seria Nr kol. 791

Jolanta BASIAGA

Instytut Organizacji i Techniki
Transportu Kolejowego
Politechniki Krakowskiej

MODEL MATEMATYCZNY REJONU TORÓW NA GRANICZNEJ STACJI PRZEŁADUNKOWEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono możliwość zastosowania teorii masowej obsługi do modelowania rejonu torów na stacji przeładunkowej leżącej na styku sieci PKP i sieci SŻD. Podstawową funkcją stacji jest przeładunek masy towarowej importowanej ze Związku Radzieckiego. Przedyskutowano również czynniki uzasadniające potraktowanie rejonu torów jako systemu masowej obsługi oraz przedstawiono identyfikację postaci systemu.

1. WSTĘP

Graniczne stacje przeładunkowe umożliwiają wymianę towarową między Polską i Związkiem Radzieckim przy wykorzystaniu sieci kolejowych obu krajów, a więc sieci PKP o prześwicie torów 1435 mm i sieci SŻD o prześwicie torów 1520 mm. W niniejszym artykule rozpatrywana będzie stacja przeładunkowa, której podstawową funkcją jest przeładunek masy towarowej importowanej ze Związku Radzieckiego, a przeznaczonej dla odbiorców krajowych. Wielkość zadań przeładunkowych wymaga zaangażowania do ich realizacji poważnych środków technicznych i organizacyjnych. Racjonalne gospodarowanie tymi środkami, jak również określanie strategii rozwoju i modernizacji stacji przeładunkowych, wymagają posiadania wiarygodnych informacji o ich pracy w różnych warunkach i przy różnej wielkości zadań przeładunkowych. Normy ustalone procesem technologicznym pracy stacji mogą jedynie stanowić punkt wyjścia do oszacowania rzeczywistych wartości parametrów jej pracy, lecz nie wystarczają do przeprowadzenia wszechstronnych analiz tej pracy, gdyż w rzeczywistości tryb pracy stacji może w znacznym stopniu odbiegać od wzorca ustalonego normatywem.

Złożoność struktury i technologii pracy stacji przeładunkowej, a jednocześnie niewielkie możliwości obserwowania pracy stacji przy istotnych zmianach zadań, utrudniają zbieranie potrzebnych informacji bezpośrednio przez Zarząd stacji. Możliwość otrzymania takich informacji stwarza opracowanie modelu odwzorowującego najistotniejsze cechy technologii pracy stacji i odzwierciedlającego nieokreśloność towarzyszącą realizowanym w niej procesom przeładunkowym i ruchowym. Dla rozwiązania tego zadania jest

celowe dokonanie dekompozycji stacji przeładunkowej na dwa rejony torów: rejon torów normalnych oraz rejon torów szerokich i opracowanie ich modeli matematycznych. Zagregowanie otrzymanych wyników pozwoli na sformułowanie modelu stacji przeładunkowej.

2. KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA GRANICZNEJ STACJI PRZEŁADUNKOWEJ I SPOSÓB JEJ DEKOMPOZYCJI

W układzie torowym granicznej stacji przeładunkowej można wydzielić dwa podukłady: rejon torów normalnych oraz rejon torów szerokich.

W każdym z tych rejonów wyróżnia się cztery zasadnicze grupy torów:

- grupa torów przyjazdowych,
- grupa torów kierunkowych,
- grupa torów odjazdowych,
- grupa torów przeładunkowych.

Stacja przeładunkowa jest więc jak gdyby układem dwóch stacji rozrządowych: normalnotorowej (SRN) i szerokotorowej (SRS) oraz na przemian równolegle ułożonych torów przeładunkowych obu szerokości (TP). Stacje te buduje się najczęściej w układzie podłużnym, w którym stacje rozrządowe o różnych szerokościach toru są skierowane do siebie czołami i przedzielone torami przeładunkowymi. Układ ten upraszcza dalszą rozbudowę stacji przeładunkowej oraz pozwala na całkowite uniezależnienie od siebie urządzeń linii normalnotorowej i linii szerokotorowej. Schemat tego układu jest przedstawiony na rys. 1.

Rys. 1. Schemat granicznej stacji przeładunkowej w układzie podłużnym

Istotne znaczenie dla stacji przeładunkowej mają tory przeładunkowe. Na torach tych są zorganizowane tzw. punkty przeładunkowe różniące się między sobą parametrami techniczno-organizacyjnymi, np. sposobem przeładunku, wzajemnym ułożeniem torów obu szerokości, rodzajem przeładowywanych towarów czy też stosowanymi urządzeniami przeładunkowymi. Zasadniczo wyróżnia się dwa sposoby przeładunku:

- bezpośredni, polegający na przemieszczaniu towarów z wagonów szerokotorowych bezpośrednio do wagonów normalnotorowych,
- pośredni, polegający na przemieszczaniu towarów z wagonów szerokotorowych na składowiska, do zasobników lub magazynów, skąd są potem załadowywane do wagonów normalnotorowych.

Zasadniczą wadą przeładunku bezpośredniego jest konieczność oczekiwania wagonów ładownych na podstawienie wagonów próżnych, co wydłuża czas ich pobytu w stacji. Sytuacja ta nie ma miejsca w przypadku stosowania przeładunku pośredniego, dlatego jest on częściej stosowany. Przy tym sposobie przeładunku tory obu szerokości mogą być ułożone względem siebie:

- w jednym poziomie, wówczas są one oddzielone od siebie rampą płaską, składowiskiem lub magazynem,
- w dwu poziomach, wówczas tory szerokie układa się na estakadach, pod którymi znajdują się zasobniki lub składowiska (takie ułożenie torów stosuje się przy przeładunku materiałów sypkich).

W obu rejonach torów są realizowane analogiczne zadania ruchowe, przy czym w rejonie torów normalnych dokonuje się obróbki składów przybywających i wyprawianych na sieć PKP, natomiast w rejonie torów szerokich są przetwarzane składy przybywające i wyprawiane na sieć SŻD. Do podstawowych zadań ruchowych realizowanych w rejonie torów należą:

- przyjmowanie składów pociągów przybywających do stacji,
- rozrządzanie składów, mające na celu rozdzielenie wagonów przeznaczonych do podstawienia na poszczególne punkty przeładunkowe stacji,
- obsługa punktów przeładunkowych,
- zestawianie składów pociągów z wagonów zabieranych z punktów przeładunkowych,
- wyprawianie pociągów ze stacji.

Obsługa punktów przeładunkowych następuje po zakumulowaniu na torach kierunkowych odpowiedniej liczby wagonów z danym ładunkiem (wagony SŻD) lub danego rodzaju (wagony PKP). Obejmuje ona:

- połączenie wagonów, sporządzenie wykazu R25, doczepienie lokomotywy manewrowej i przeprowadzenie uproszczonej próby hamulca,
- przestawienie grupy wagonów na odpowiedni punkt przeładunkowy, przekazanie jej magazynierowi i odczepienie lokomotywy,
- rozładunek lub naładunek wagonów na punkcie, sporządzenie wykazu R27, doczepienie lokomotywy i przeprowadzenie uproszczonej próby hamulca,
- przestawienie grupy wagonów na tory postojowe.

Omówienie pozostałych zadań ruchowych zostało pominięte z uwagi na to, że obejmują one analogiczne operacje jak na typowej stacji rozrządowej.

Podsumowując przeprowadzone rozważania należy stwierdzić, że stacja przeładunkowa jest obiektem, do którego przybywają dwa rodzaje pociągów: pociągi normalnotorowe z sieci PKP i pociągi szerokotorowe z sieci SŻD. Do obróbki tych pociągów na stacji są wydzielone dwa odrębne rejony torów: rejon torów normalnych oraz rejon torów szerokich.

Ponieważ na granicznych stacjach przeładunkowych preferuje się pośredni sposób przeładunku, więc przy założeniu odpowiedniej pojemności składowisk, zasobników czy magazynów, umożliwiającej zgromadzenie pewnych za-

pasów towarów, można przyjąć, że rejony torów normalnych i szerokich pracują niezależnie od siebie. Uzasadnia to możliwość i celowość dekompozycji granicznej stacji przeładunkowej na dwa rejony torów. Za przyjęciem takiej koncepcji dekompozycji stacji przemawia również fakt, że mierniki pracy stacji są określane odrębnie dla obu szerokości torów.

3. MODEL REJONU TORÓW JAKO SYSTEM MASOWEJ OBSŁUGI

3.1. Uzasadnienie wyboru modelu

Najbardziej ogólnym i naturalnym sposobem rozpatrywania rejonu torów na stacji przeładunkowej jest potraktowanie go jako obiektu przeznaczonego do przetwarzania potoku pociągów przybywających do niego w potok pociągów opuszczających rejon. Pociągi powinny zgłaszać się do rejonu torów w chwilach określonych obowiązujących rozkładem jazdy, a ich przetwarzanie winno być realizowane zgodnie z zasadami procesu technologicznego pracy stacji, który dla przeciętnych dobowych zadań ustala zakres rzeczowy, czas trwania oraz kolejność poszczególnych czynności technologicznych. Rejon torów powinien więc pracować w sposób zdeterminowany. Jednak w rzeczywistości w warunkach dużego obciążenia sieci kolejowej oraz wskutek zawodności urządzeń technicznych i zespołów pracowniczych zatrudnionych w stacji, chwile przybywania pociągów do rejonu torów często znacznie różnią się od przewidzianych rozkładem jazdy, a realizacja prac ruchowych i przeładunkowych w rejonie torów zazwyczaj odbiega, w mniejszym lub większym stopniu, od zdeterminowanego procesu technologicznego. Rozważając przyczyny tych rozbieżności, można stwierdzić, że pełne ich wyeliminowanie nie jest możliwe. Rozkład jazdy i proces technologiczny pracy w rejonie torów na stacji przeładunkowej są więc jedynie wzorcami, do których jak najpełniejszej realizacji należy dążyć, ale od których występują i zawsze będą występować jakieś odchylenia. Ponieważ główną przyczyną tych rozbieżności są czynniki o charakterze losowym, słusznie więc można przyjąć, że zarówno chwile przybywania pociągów do rejonu torów, jak i czasy ich pobytu w rejonie torów są wielkościami losowymi.

Należy jednak podkreślić, że losowość ta nie oznacza żywiołowości i chaosu, lecz jedynie możliwości wystąpienia zakłóceń w realizacji rozkładu jazdy i procesu technologicznego. Rejon torów jest więc obiektem, którego zadaniem jest dokonywanie stochastycznej transformacji losowego potoku pociągów pojawiających się na wejściu do obiektu w potok wyjściowy, a więc modelem rejonu torów może być system masowej obsługi.

3.2. Identyfikacja postaci systemu masowej obsługi odwzorowującego rejon torów

Z uwagi na olbrzymią różnorodność modeli, w teorii masowej obsługi została wprowadzona specjalna symbolika, służąca do wyrażenia podstawowych

założeń o obiekcie modelowanym jako system masowej obsługi (SMO). Zgodnie z tą symboliką obiekt przedstawiony jako SMO opisuje się następującym ciągiem zmiennych:

$$A(B)m(K)R. \tag{1}$$

Kolejne zmienne w tym zapisie opisują:

A - potok jednostek zgłaszających się do obiektu,
B - czas pobytu jednostek w obiekcie,
m - liczbę równolegle pracujących stanowisk obsługi,
K - pojemność, a więc maksymalną liczbę jednostek, które równocześnie mogą przebywać w obiekcie,
R - liczbę źródeł potokotwórczych, czyli liczbę punktów, z których są wysyłane jednostki do obiektu.

Dla scharakteryzowania typu potoku jednostek, a więc rozkładu prawdopodobieństwa odstępów czasu między kolejnymi jednostkami, oraz rozkładu prawdopodobieństwa czasu pobytu jednostek w obiekcie na miejsce zmiennych A i B wstawia się następujące symbole:

M - w przypadku rozkładu wykładniczego,
E_r - w przypadku rozkładu Erlanga r-tego rzędu,
H_R - w przypadku rozkładu hiperwykładniczego rzędu R,
D - w przypadku zdeterminowanym,
G - w przypadku rozkładu dowolnego.

Identyfikacja postaci SMO będącego modelem rejonu torów na stacji przeładunkowej polega na nadaniu zmiennym występującym w zapisie (1) takich wartości, które najlepiej przybliżają rzeczywiste właściwości rejonu reprezentowane przez te zmienne. Poniżej przedyskutowano kolejno te właściwości.

Potok zgłoszeń pociągów do rejonu torów

Na podstawie rozważań teoretycznych i badań empirycznych prowadzonych - między innymi - przez G. Potthoffa [10] i J. Węgierskiego [11] można przyjąć, że modelem potoku zgłoszeń pociągów do rejonu torów mogą być procesy Poissona. Słuszność przyjęcia takiego modelu procesu zgłoszeń potwierdziły badania przeprowadzone w jednym z kolejowych rejonów przeładunkowych [2]. Przyjęcie takiego modelu oznacza, że zgłoszenia pociągów do rejonu torów traktuje się jako niezależne zdarzenia punktowe zachodzące w losowych momentach czasu i prawdopodobieństwo tego, że w przedziale czasu o długości t do rejonu torów przybędzie k pociągów, wyraża się wzorem:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}. \tag{2}$$

Wielkość λ jest parametrem potoku zwanym jego intensywnością i określa średnią liczbę pociągów przybywających do rejonu torów w jednostce czasu. Przyjęcie procesu Poissona za model potoku pociągów jest równoznaczne założeniu, że zmienna losowa charakteryzująca odstępy czasu między chwilami przybywania kolejnych pociągów do rejonu torów ma rozkład wykładniczy. Jego funkcja gęstości ma postać:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}, \quad t \geqslant 0. \tag{3}$$

Oznaczając przez X zmienną losową, której realizacjami są liczby pociągów, można zapisać, że prawdopodobieństwo tego, że w przedziale czasu o długości t, np. w ciągu doby, do rejonu przybędzie co najwyżej k pociągów, gdzie k = 0,1,2,... wynosi:

$$F(k) = P\left\{X \leqslant k\right\} = e^{-\lambda t} \sum_{i=0}^{k} \frac{(\lambda t)^i}{i!}. \tag{4}$$

Czas pobytu pociągów w rejonie torów

Na czas pobytu pociągów w rejonie torów składa się czas oczekiwania pociągu na obsługę (obróbkę) i czas obsługi, czyli czas efektywnego wykonywania czynności przewidzianych procesem technologicznym.

Ponieważ powszechnie przyjmuje się, że potoki pociągów na sieci kolejowej mają charakter poissonowski, jest dopuszczalne przyjęcie założenia, że czasy pobytu pociągów w rejonie torów są realizacjami zmiennej losowej o rozkładzie wykładniczym o funkcji gęstości prawdopodobieństwa określonej wzorem:

$$g(t) = \mu \cdot e^{-\mu t}, \quad t \geqslant 0. \tag{5}$$

Wielkość μ jest parametrem procesu przetwarzania pociągów w rejonie torów, określającym średnią liczbę pociągów przetwarzanych w jednostce czasu.

Pojemność rejonu torów

Pod tym pojęciem rozumie się maksymalną liczbę pociągów, które równocześnie mogą znajdować się w rejonie torów, obsługiwanych lub oczekujących na obsługę. Liczba ta jest skończona. Oznaczmy ją symbolem K.
Jej wartość można oszacować na podstawie analizy układu torowego danego rejonu torów oraz średniej długości składu pociągu przybywającego do niego.

Należy zwrócić uwagę, że z zasad organizacji sieci kolejowej jak również z zasad organizacji pracy w rejonie torów wynika warunek:

$$\text{liczby stanowisk obsługi} \leqslant K \leqslant \text{liczby źródeł ruchu}. \tag{6}$$

Liczba równolegle pracujących stanowisk obsługi

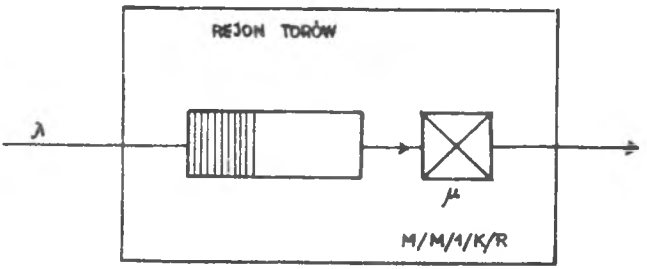
Ponieważ rejon torów na stacji przeładunkowej jest rozpatrywany na poziomie makro, dopuszczalne jest przyjęcie założenia, że rejon torów jest wyposażony w dokładnie jeden ciąg technologiczny. Oznacza to, że wszystkie urządzenia i zespoły robocze znajdujące się w rejonie torów i uczestniczące w wykonywaniu procesu technologicznego są traktowane jako systemowa jedność.

Liczba źródeł potokotwórczych dla rejonu torów

Do rejonu torów przybywają pociągi z różnych kierunków, najczęściej ze stacji rozrzędowych położonych na sieci PKP (w przypadku rejonu torów normalnych) lub sieci SŻD (w przypadku rejonu torów szerokich). Liczby klientów kolei wysyłających pociągi do danego rejonu torów można określić np. na podstawie rozkładu jazdy i organizacji pracy w rejonie torów. Oznaczmy tę liczbę literą R.

Z przeprowadzonej dyskusji wynika, że modelem rejonu torów na stacji przeładunkowej jest system masowej obsługi typu:

M(M)1(K)R.



Rys. 2. Model rejonu torów na stacji przeładunkowej

Schemat modelu jest przedstawiony na rys. 2. W modelu tym poczekalnię stanowią tory grupy przyjazdowej, na które są przyjmowane pociągi przybywające do danego rejonu torów, zaś przez obsługę jest rozumiany ciąg operacji technologicznych składających się na przetwarzanie składów pociągów w danym rejonie torów.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawiony w artykule model rejonu torów na granicznej stacji przeładunkowej jest jedną z pierwszych prób odwzorowania obiektu kolejowego w postaci systemu masowej obsługi przy uwzględnieniu ograniczonej pojemnoś-

ci obiektu i ograniczonej liczby źródeł potoków, (szerzej problem ten omawia praca [1]).

Pozwala on na określenie prawdopodobieństw stacjonarnych tego, że w rejonie torów znajdującego się w stanie równowagi statycznej, a więc w stanie, w którym probabilistyczne charakterystyki rejonu nie zmieniają się w czasie, znajduje się n pociągów (dla n = 0,1,2,...,K) [6], [12]. Na ich podstawie można określić wartość średniej liczby pociągów w rejonie torów oraz średniego czasu pobytu pociągów i ich oczekiwania na obróbkę w rejonie torów.

LITERATURA

[1] Bartczak M., Basiaga J.: Model stochastyczny pracy ruchowej w wybranych elementach punktowych sieci kolejowej. Przegląd zagadnień, dyskusja i modele matematyczne z wykorzystaniem teorii masowej obsługi. Opracowanie w ramach problemu resortowego RI.20, Politechnika Warszawska, Instytut Transportu, Warszawa 1982.

[2] Basiaga J.: Analiza procesu technologicznego pracy rejonu przeładunkowego Żurawica-Medyka. Praca wykonana przez KNOT, Kraków 1979.

[3] Basiaga J., Perykasza E.: Model technologii pracy kolejowej stacji przeładunkowej. W materiałach konf. nt.: Modelowanie procesów przewozowych w transporcie kolejowym, Zakopane 1980.

[4] Bereziński M., Trusz W.: Podstawowe zagadnienia modelowania matematycznego systemów transportowych. [W:] "Aktualne zagadnienia transportu kolejowego i samochodowego", WCSRN, Warszawa 1980.

[5] Iwczenko G.I., Kasztanow W.A., Kowalenko I.N.: Teorija massowowo obsługiwanija, Wysszaja szkoła, Moskwa 1982.

[6] Kleinrock L.: Queueing Systems. Vol. I: Theory, John Wiley, New York 1975.

[7] Klimow G.P.: Procesy masowej obsługi. WNT, Warszawa 1979.

[8] König H., Stoyan D.: Metody teorii obsługi masowej, WNT, Warszawa 1979.

[9] Koźniewska I., Włodarczyk M.: Modele odnowy, niezawodności i masowej obsługi. PWN, Warszawa 1978.

[10] Potthoff G.: Teoria potoków ruchu kolejowego. Ruch pociągów na stacjach i szlakach. WKŁ, Warszawa 1977.

[11] Węgierski J.: Metody probabilistyczne w projektowaniu transportu szynowego. WKŁ, Warszawa 1971.

[12] Zitek F.: Stracony czas. Elementy teorii obsługi masowej. PWN, Warszawa 1974.

Recenzent: Doc. dr inż. Zbigniew Fidrych

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЙОНА ПУТЕЙ ПОГРАНИЧНОЙ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ СТАНЦИИ

Р е з ю м е

В статье представлена могучность применения теории массового обслуживания к моделированию района путей перегрузочной станции лежащей на стике сети ПКП и сети СЖД. Основная функция станции это перегрузка импортных товаров из Советского Союза. В статье передискутированы также факторы, которые обосновывают отнесить район путей как систему массового обслуживания и представлены проблемы идентификации вида системы.

MATHEMATICAL MODEL OF THE SET OF TRACKS AT THE FRONTIER TRANS-SHIPMENT STATION

S u m m a r y

The report describes the possibility of the application of queueing theory for the modelling of the set of tracks at the frontier trans-shipment station situated in the junctionpoint of PKP- and SŻD - Systems.

The main purpose of the station is to trans-ship mass wares and goods imported from the USSR. The factors which justify the treatment of the set of tracks as a queueing system are discussed and the identification of the system-form is presented.