ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985
Seria: TRANSPORT z. 3 Nr kol. 829

Ewa MAJCHROWSKA

Instytut Organizacji i Techniki
Transportu Kolejowego
Politechniki Krakowskiej

OPTYMALIZACJA WSPÓŁPRACY STACJI OSOBOWEJ Z REJONEM POSTOJOWYM

Streszczenie. Jednym z warunków sprawnej współpracy stacji osobowej z rejonem torów postojowych jest odpowiedni dobór relacji między pojemnością rejonu postojowego i zakłóceniami w ruchu w otoczeniu rejonu. Problem sformułowano w kategoriach procesów probabilistycznych. Do jego rozwiązania przedstawiono model pracy rejonu postojowego jako szeregowy układ dwóch systemów masowej obsługi $M/H_2/1$ i $H_2/M/m$. Podano diagram intensywności przejść stanów układu, układ równań równowagi węzłów diagramu i jego rozwiązanie.

1. Wprowadzenie

Jednym z warunków sprawnej realizacji przewozów pasażerskich na kolei jest harmonijna współpraca między podstawową siecią kolejową, głównie stacjami osobowymi i zapleczem technicznym obsługującym tabor pasażerski. Istotnymi elementami tego zaplecza są małe stacje i rejony postojowe ogólnie nazywane rejonami postojowymi. Są to obiekty stworzone na bazie grupy torów postojowych, posiadające odpowiednie urządzenia techniczne i obsadę niezbędną do wykonania czynności związanych z utrzymaniem taboru pasażerskiego w zakresie obsługi technicznej, sanitarnej i estetycznej zapewniającej bezpieczne i o odpowiednim standardzie warunki podróżowania. Organizowane zasadniczo w bezpośrednim sąsiedztwie stacji osobowych mogą wywierać duży wpływ na ruch pociągów i pracę manewrową na stacji oraz w otaczającej ją sieci kolejowej.

Optymalizacja współpracy stacji osobowej i rejonu postojowego jest zagadnieniem obszernym i skomplikowanym. Można ją rozpatrywać w wielu płaszczyznach. Jednym z aspektów problemu jest kwestia doboru relacji między pojemnością rejonu postojowego i zakłóceniami w ruchu w otoczeniu rejonu powstającymi na skutek określonego rozwinięcia grupy postojowej.

Tabor pasażerski przybywa do rejonu postojowego w składach pociągowych lub grupach wagonów odłączonych od pociągów na stacji osobowej. Grupa wagonów pasażerskich lub jednostek ezt, która podczas pobytu w rejonie stanowi całość jest dalej nazywana składem pasażerskim.

Nierównomierność przewozów pasażerskich znajduje swe odbicie we współpracy rejonów postojowych z otaczającą siecią kolejową. Składy pasażerskie przybywają do rejonu postojowego i opuszczają go z intensywnością znacznie zmieniającą się w ciągu doby. Czas ich pobytu w rejonie, wynikający z wymagań ruchu pasażerskiego i technologii utrzymania taboru kolejowego waha się w szerokich granicach. Powoduje to, że szczególnie w dobie, znacznie zmienia się obciążenie pracą rejonu. Jej chwilową wielkość określają m.in.:

- stan zajętości rejonu postojowego,
- stan obciążenia rejonu postojowego.

Stan zajętości rejonu określa liczba składów, które w danej chwili znajdują się w rejonie. Jego wartość może być co najwyżej równa pojemności rejonu wyrażonej liczbą składów, które równocześnie może pomieścić rejon. Stan obciążenia rejonu określa liczba składów mogących jednocześnie znaleźć się w rejonie nie ze względu na pojemność jego układu torowego ale wymuszenie otoczenia. Jest to wielkość w zasadzie teoretyczna. Jej wartość można przyjąć za równą sumie wszystkich składów znajdujących się w danej chwili w rejonie i składów gotowych do przestawienia na tory postojowe, oczekujących na stacji osobowej na zwolnienie się miejsca w rejonie. Kolejka składów oczekujących na wolne miejsce w rejonie tworzy się wtedy, gdy obciążenie ruchowe rejonu przewyższa jego pojemność. Jeżeli są to nieplanowane postoje na torach stacji osobowej to zostaje zakłócony ruch na stacji i w jej otoczeniu, co staje się przyczyną wielu strat, m.in. energetycznych, związanych z dodatkowymi zatrzymaniami pociągów przed stacją.

Rozpatrując proces obsługi składów pasażerskich w rejonie postojowym w kategoriach procesów stochastycznych, nie ma takiego praktycznie realnego stanu obciążenia rejonu, który w pewnych warunkach nie mógłby zaistnieć. Nie ma więc takiej praktycznie realnej pojemności rejonu postojowego, która dałaby całkowitą pewność, że nie stanie się przyczyną zakłóceń. Można natomiast mówić o prawdopodobieństwie przeciążenia układu określającym prawdopodobieństwo, że składy gotowe do przestawienia na tory postojowe będą musiały oczekiwać na wolne miejsce w rejonie zajmując tory stacji osobowej. Prawdopodobieństwo to jest równe prawdopodobieństwu powstania zakłóceń ruchu w otaczającej rejon sieci kolejowej spowodowanych niedostatecznym rozwinięciem układu torów postojowych.

W zagadnieniach praktycznych związanych z poruszanym problemem interesujące są dwa przypadki:

a) przy określonej pojemności rejonu postojowego m, poszukuje się wartości prawdopodobieństwa powstania zakłóceń spowodowanych dodatkowym zajęciem torów na stacji osobowej p_z przez składy gotowe do zabrania,

b) przy określonym prawdopodobieństwie zakłóceń p_z, poszukuje się takiej pojemności rejonu m, przy której prawdopodobieństwo przepełnienia jest równe $p_p = p_z$.

Rozwiązanie powyższych zadań wymaga sformułowania modelu analitycznego procesu pracy rejonu postojowego uwzględniającego cechy charakterystyczne i relacje istniejące w rejonie, ze szczególnym uwzględnieniem współpracy obiektu ze stacją osobową. Dla rozwiązania obu tych problemów możliwe jest zbudowanie jednego modelu, przy czym w praktycznych zastosowaniach zmieniać się będzie klasyfikacja pewnych wielkości na parametry modelu i zmienne.

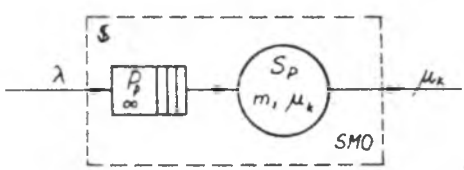
Poniżej zostanie przedstawiony taki model.

2. Analityczny model pracy rejonu postojowego

Praca rejonu postojowego ma charakter obsługi masowo przybywających składów pasażerskich. Odstępy czasu między zgłoszeniami składów do rejonu, tzn. momentami, w których są one gotowe do podstawienia na tory postojowe, a także czasy pobytu składów w rejonie są losowe. Uzasadnione jest więc budowanie modelu rejonu na gruncie teorii systemów masowej obsługi.

Najogólniejszy model rejonu postojowego to prosty system masowej obsługi S przedstawiony na rys. 1.

Składa się z poczekalni odwzorowującej tory stacji osobowej, na których mogą oczekiwać składy pasażerskie wtedy, gdy rejon postojowy jest przepełniony i aparatu obsługi z m kanałami obsługi modelującymi tory w rejonie. Składy pasażerskie zgłaszające się do rejonu odzwierciedla strumień zgłoszeń na wejściu systemu. Charakteryzuje się tym, że jest pojedynczy, bez strat, z odstępami czasu między zgłoszeniami będącymi realizacjami ciągłej zmiennej losowej T o dystrybuancie A(t). Czas pobytu składu w rejonie odzwierciedla czas obsługi zgłoszenia w systemie, który jest zmienną losową ciągłą X o dystrybuancie B(x).



Rys. 1. Rejon postojowy jako prosty system masowej obsługi

Z badań empirycznych strumieni zgłoszeń i czasów obsługi w rejonach postojowych wynika, że można przyjąć następujące założenia:

- zmienna losowa T ma rozkład hiperwykładniczy o gęstości prawdopodobieństwa określonej wzorem:

$$a(t) = \sum_{i=1}^{R} \alpha_i \quad \lambda_i e^{-\lambda_i t} \qquad t \geq 0 \tag{1}$$

gdzie:

α_i - współczynniki normujące, spełniające warunek:

$$\sum_{i=1}^{R} \alpha_i = 1 \tag{2}$$

Zmienna losowa X_i, $i = 1, \ldots, m$ odwzorowująca czas obsługi w kanale i-tym ma rozkład wykładniczy o gęstości prawdopodobieństwa określonej wzorem:

$$b(x) = \mu_i e^{-\mu_i x} \qquad x \geq 0 \tag{3}$$

- intensywność obsługi w kanałach obsługi wynosi odpowiednio

$$\mu_1 = \mu_2 = \ldots = \mu_i = \ldots = \mu_m = \mu \tag{4}$$

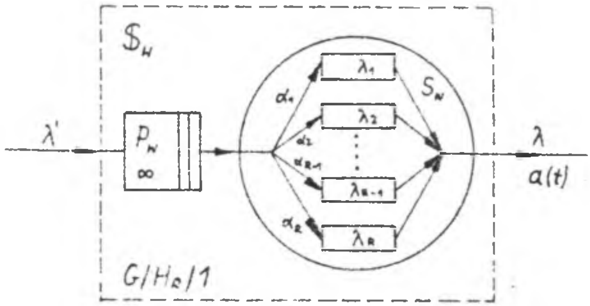
Intensywność obsługi całego aparatu obsługi wynosi:

$$\mu_k = \begin{cases} k \cdot \mu & \text{gdy} \quad k < m \\ m \cdot \mu & \text{gdy} \quad k \geq m \end{cases} \tag{5}$$

Należy zauważyć, że przyjęcie założenia o hiperwykładniczym rozkładzie zmiennej losowej T uwzględnia występowanie w pewnych okresach doby zagęszczeń a w innych nawet kilkugodzinnych przerw w dopływie składów pasażerskich do rejonów postojowych. Modelem otoczenia rejonu jako generatora strumienia składów do obsługi jest system masowej obsługi $\$_w$ przedstawiony na rys. 2. Składa się z poczekalni P_w o nieograniczonej pojemności oraz aparatu obsługi z R kanałami, w których czasy obsługi są zmiennymi losowymi o gęstościach prawdopodobieństwa określonych następująco:

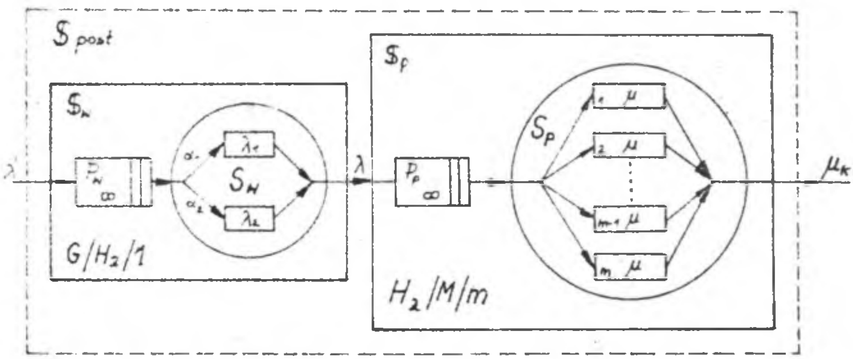
$$c_i(t) = \lambda_i \cdot e^{-\lambda_i t} \qquad t \geq 0; \quad i = 1, \ldots, R \tag{6}$$

System S_w jest zasilany strumieniem zgłoszeń o dużej intensywności λ' zapewniającej zawsze obecność przynajmniej jednego zgłoszenia w systemie. W aparacie obsługi może być równocześnie obsługiwane tylko jedno zgłoszenie.



Rys. 2. Model generatora strumienia zgłoszeń do rejonu postojowego

Rozwiązanie wcześniej sformułowanych zadań wymaga analizy sieci masowej i obsługi utowrzonej z obu systemów S_p i S_w.
Sieć taką, przy $R = 2$, przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Sieć SMO modelująca rejon postojowy

Chwilowy stan sieci określają dwie wartości:

γ - numer kanału obsługi systemu S_w, w którym przebywa w danej chwili obsługiwane zgłoszenie,

ω - liczba jednostek znajdujących się w danej chwili w systemie S_p odzwierciedlająca stan obciążenia rejonu w danej chwili.

Uporządkowaną parę liczb (γ, ω) można traktować jako realizację dwuwymiarowej zmiennej losowej dyskretnej (Γ, Ω) przyjmującej wartości całkowitoliczbowe z przedziałów $([1, R], [0, \infty])$. Ponieważ stan obciążenia rejonu wzrasta o jednostkę za każdym razem gdy kolejny skład jest gotowy do zabrania na tory postojowe i maleje o jednostkę gdy skład opuszcza rejon, zmienna losowa Ω charakteryzuje się tym, że jej dwie kolejne ralizacje mogą się różnić między sobą o 1.

Prawdopodobieństwo tego, że w dowolnej chwili sieć masowej obsługi znajdzie się w stanie (i,j) wynosi:

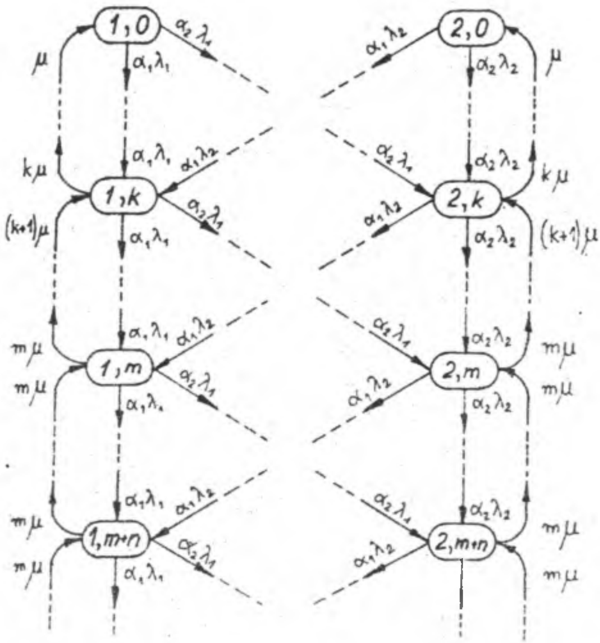
$$P(i,j) = P(\gamma = i) \cdot P(\omega = j) \tag{7}$$

gdzie:

$P(\gamma = i)$ - prawdopodobieństwo, że system $\$_w$ jest w stanie i,
$P(\omega = j)$ - prawdopodobieństwo, że system $\$_p$ jest w stanie j.

W ogólności prawdopodobieństwa $P(i,j)$, $P(i)$, $P(j)$ są funkcjami czasu. Interesujący jest stan stacjonarny sieci, w którym nie ma tej zależności. Aby określić stacjonarne prawdopodobieństwa stanów sieci posłużono się diagramem intensywności przejść stanów sieci.

Diagram taki dla sieci złożonej z systemów $\$_w$ i $\$_p$ przedstawiono na rys. 4. Jest to sieć, której węzły reprezentują stany sieci smo.



Rys. 4. Diagram intensywności przejść stanów układu systemów S_p i S_w

Łuki wchodzące do węzła przedstawiają wejścia sieci smo do danego stanu, łuki wychodzące - wyjścia z tego stanu. Aby diagram był w równowadze w węzłach muszą być spełnione warunki bilansu przejść stanów. Układ równań równowagi węzłów diagramu przyjmuje następującą postać:

$$\begin{cases}
\lambda_1 \cdot p(1,0) - \mu \cdot p(1,1) = 0 \\
\lambda_2 \cdot p(2,0) - \mu \cdot p(2,1) = 0 \\
\vdots \qquad\qquad \vdots \\
(k\mu + \lambda_1) \cdot p(1, k(-\alpha_1\lambda_1\, p(1,(k-1)) - \alpha_1\lambda_2\, p(2, (k-1)) - (k+1) \cdot \\
\mu \cdot p(1, (k+1)) = 0 \\
(k\mu + \lambda_2) \cdot p(2, k(-\alpha_2\lambda_2\, p(2,(k-1)) - \alpha_2\lambda_1\, p(1, (k-1)) - (k+1) \cdot \\
\cdot \mu\, p(2, (k+1)) = 0 \\
\vdots \qquad\qquad \vdots \qquad \text{dla } 0 < k < m \\
(m\mu + \lambda_1) \cdot p(1, k(-\alpha_1\lambda_1\, p(1,(k-1)) - \alpha_1\lambda_2\, p(2, (k-1)) - \\
- m\mu p(1, (k+1)) = 0 \\
(m\mu + \lambda_2) \cdot p(2, k(-\alpha_2\lambda_2 p(2,(k-1)) - \alpha_2\lambda_1\, p(1, (k-1)) - \\
- m\mu p(2, (k+1)) = 0 \\
\vdots \qquad\qquad \vdots \qquad \text{dla } k \geq m
\end{cases} \tag{8}$$

Rozwiązanie układu równań równowagi pozwala na określenie prawdopodobieństwa różnych stanów obciążenia rejonu. Niech p_k oznacza stacjonarne prawdopodobieństwo znalezienia się k zgłoszeń w systemie $\$_p$ bez względu na stan systemu $\$_w$. Wykorzystując dodatkowe warunki:

$$p(i,k) = \alpha_i \cdot p_k, \qquad \begin{matrix} i = 1, \ldots, R \\ k = 0, \ldots, \infty \end{matrix} \tag{9}$$

można sformułować analityczną zależność prawdopodobieństwa p_k od p_o. Ma ona następującą postać:

$$p_k = \begin{cases} p_o \cdot \frac{1}{k!} (\alpha_1\rho_1 + \alpha_2\rho_2)^k & k \leqslant m \\ p_o \cdot \frac{1}{m!} (\alpha_1\rho_1 + \alpha_2\rho_2)^k \cdot \frac{1}{m^{k-m}} & k \geqslant m \end{cases} \tag{10}$$

gdzie:

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu}, \quad \rho_2 = \frac{\lambda_2}{\mu} \tag{11}$$

$$p_0 \text{ - określa się z warunku } \sum_{i=0}^{\infty} p_i = 1 \qquad (12)$$

Prawdopodobieństwo oczekiwania składu pasażerskiego na wolne miejsce P_{oczek} w rejonie o pojemności m oblicza się z następującego równania:

$$P_{oczek} = P(\omega > m) = \sum_{k=m}^{\infty} p_k \qquad (13)$$

wykorzystując (10), (12).

Rozwiązanie zadania sformułowanego na wstępie rozważań, w jego pierwszej wersji, otrzymuje się wykorzystując relację równości między prawdopodobieństwami oczekiwania składów na wolny tor postojowy i zakłóceń spowodowanych dodatkowym zajęciem torów na stacji osobowej.

$$P_{oczek} = p_z \qquad (14)$$

Ze względu na skomplikowaną postać analityczną równania (13) nie można określić formuły opisującej prostą zależność k od P_{oczek}. Toteż rozwiązanie zadania w jego drugiej wersji można uzyskać tylko na drodze iteracyjnej, dobierając taką wartość k, dla której spełnione jest równanie

$$k = \min_i \left(k_i : P(\omega > k_i) \leqslant p_z ; \qquad i = 0, \ldots, \infty \right) \qquad (15)$$

Otrzymana wartość k jest poszukiwaną pojemnością rejonu, przy której prawdopodobieństwo przepełnienia jest równe p_z.

3. Podsumowanie

Informacje o wartości prawdopodobieństwa P_{oczek} w warunkach eksploatacyjnych mogą stanowić podstawę do wyciągnięcia wniosków dotyczących przyczyn powstawania zakłóceń w pracy sieci kolejowej współpracującej z rejonem postojowym. W przypadku budowy i modernizacji rejonu a także stacji osobowej może ono być kryterium oceny lub doboru potrzebnej pojemności torów dając informacje o wielkości ewentualnych zakłóceń, które mogą wystąpić w trakcie eksploatacji. Podjęcie ostatecznych decyzji powinno być jednak dodatkowo uzupełnione analizą ekonomiczną przedsięwzięcia.

LITERATURA

[1] Kleinrock L.: Queueing Systems, vol.I Theory, John Wiley & Sons, New York 1975.

[2] Węgierski J.: Metody probabilistyczne w projektowaniu transportu szynowego. WKiŁ, Warszawa 1971.

[3] Węgierski J.: Układy torowe stacji. WKiŁ, Warszawa 1974.

[5] Zasady organizacji i technologii pracy stacji postojowych na PKP, COBiRTK, Sopot, wrzesień 1976.

Recenzent: Doc. dr inż. Zbigniew Fidrych

Wpłynęło do Redakcji w lipcu 1984 r.

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЗАИМНОДЕЙСТВИЯ ПАССАЖИРСКОЙ СТАНЦИИ И ПАССАЖИРСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО РАЙОНА

Р е з ю м е

Одним из условий надежного взаимнодействия пассажирской станции и пассажирского технического района является определение отношения между ёмкостю пассажирского технического района и нарушениями движения в окружении района. Проблему сформулировано в категориях стохастических процессов. Для ей решения представлено модель работы пассажирского технического района в виде сетьи двух систем массого обслуживания $M/H_2/1$ и $H_2/M/м$. Представлено диаграмму интенсивности переходов состояний сетьи, систему уравнений равновесия узлов диаграммы и решение этой системы.

OPTIMIZATION OF PASSENGER STATION AND TRAIN STORAGE AREA CO-OPERATION

S u m m a r y

Adequate selection of relations between train storage area capacity and movement disturbances occurring in area's environment is (among other things) condition of efficient co-operation between passenger station and train storage area. This problem is formulated as probability process. The train storage area work model in a form of two $M(H_2)1$ and $H_2(M)m$ queueing systems arranged in series is shown to solve it. System state transition intensity schedule, system of equilibrium equations of joining points of schedule and its solution are presented.