ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1980

Seria: BUDOWNICTWO z. 50 Nr kol. 629

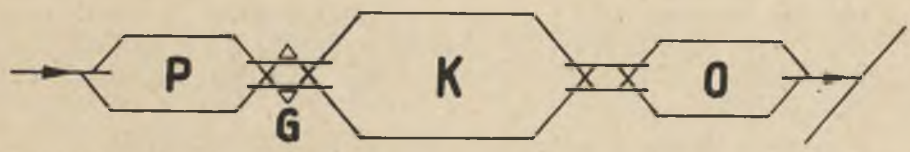
Ewa KONONOWICZ

PROBABILISTYCZNA METODA WYMIAROWANIA GRUPY ODJAZDOWEJ STACJI ROZRZĄDOWEJ

Streszczenie. Artykuł jest prezentacją nowej metody wymiarowania układów torowych na przykładzie grupy odjazdowej stacji rozrządowej. Jest to metoda probabilistyczna, w której układ torowy traktuje się jako system urządzenia masowej obsługi. Dla określenia racjonalnej wielkości grupy torów zastosowano oryginalne kryterium optymalizacji technicznej oraz symulację komputerową.

1. PROBLEMY WYMIAROWANIA GRUPY ODJAZDOWEJ STACJI ROZRZĄDOWEJ

Stacje rozrządowe są charakterystycznymi elementami sieci kolejowej. Rola ich w prowadzeniu ruchu polega na pochłanianiu i generowaniu potoków pociągów towarowych.



Rys. 1. Trzygrupowy, szeregowy układ stacji rozrządowej
P - grupa przyjazdowa, G - górka rozrządowa, K - grupa kierunkowa, O - grupa odjazdowa

Nowoczesne stacje rozrządowe mają zwykle układ trzygrupowy, szeregowy, jedno- lub dwukierunkowy.

Od właściwego układu torowego stacji rozrządowych zależy w dużej mierze jakość pracy sieci kolejowej, jako całości. Wśród tych trzech grup wyjątkowo złożonymi warunkami pracy wyróżnia się grupa odjazdowa. Było to przyczyną powstania stosunkowo dużej liczby metod wymiarowania tej grupy,

z których żadna - jak wykazuje ich porównanie i analiza - nie gwarantuje obiektywnego wyniku.

W pracy [1] omówione są szczegółowo trudności, które napotykali autorzy dotychczasowych metod wymiarowania, próbując formułować wzory analityczne na potrzebną liczbę torów odjazdowych w ujęciu deterministycznym. Szczególnie trudny do określenia był czas oczekiwania pociągów na wyjazd, stanowiący martwy czas zajęcia toru odjazdowego. Jego wartość wpływa w zasadniczy sposób na wielkość grupy.

Również próby stosowania metod analitycznych probabilistycznych nie dały zadowalającego rezultatu. Pełny przegląd znanych metod zawierają prace [1] i [2]. Z rozważań w nich zawartych wynikało, że dalsze próby poszukiwania formuły na właściwą liczbę torów odjazdowych powinny iść w kierunku wykorzystania probabilistycznych metod symulacyjnych, ze względu na złożoność i stochastyczny charakter zjawiska pracy grupy.

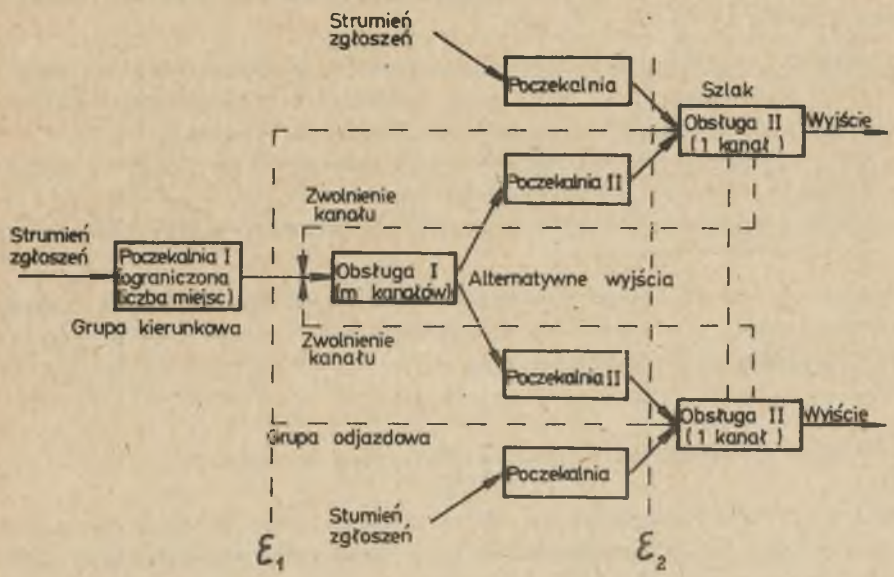
2. MODEL PRACY GRUPY ODJAZDOWEJ JAKO URZĄDZENIA MASOWEJ OBSŁUGI

Funkcjonowanie grupy odjazdowej można przedstawić za pomocą modelu systemu urządzeń masowej obsługi. Będzie to zbiór odpowiednio powiązanych i logicznie uporządkowanych zjawisk zachodzących w pracy systemu i opisanych w sensie matematycznym co do strumienia zgłoszeń, charakteru obsługi i regulaminu kolejek.

Graficzną postać przyjętego wg J. Węgierskiego [4] modelu pracy grupy odjazdowej jako urządzenia masowej obsługi ukazuje rysunek 2, jest to tzw. uporządkowany system bez strat zgłoszeń.

Opis elementów modelu przedstawia się następująco:

- strumień zgłoszeń Palma z rozkładem Erlanga o stałej $k = 2$ odstępów czasu między zgłoszeniami, z ustaloną wartością minimalną tego czasu,
- poczekalnia I na torach grupy kierunkowej lub porządkowej z ograniczoną liczbą miejsc,
- zasadnicza obsługa I z ponumerowanymi m kanałami obsługi (tory główne odjazdowe) o normalnym rozkładzie czasu trwania obsługi, z ustaloną na odpowiednim poziomie ufności wartością minimalną i maksymalną. Zgłoszenie zajmuje ten z wolnych kanałów obsługi, który opatrzony jest najniższym numerem kolejnym,
- alternatywne wyjścia na szlaki (liczba ich w praktyce nie przekracza pięciu). Każdemu wyjściu przyporządkowana jest pewna wartość prawdopodobieństwa α_j, że zgłoszenie (pociąg) wyprawione będzie na szlak j,
- poczekalnia II o m miejscach (także na torach grupy odjazdowej),
- obsługa II jednokanałowa na każdym wyjściu (tor szlakowy) o zdeterminowanym czasie trwania obsługi t_s. Zgłoszenie, zastając to stanowisko obsługi wolne, przechodzi przez nie bez zatrzymania, powodując



Rys. 2. Model pracy grupy odjazdowej stacji rozrządowej

jednak stan jego zajęcia dla następnych zgłoszeń - z poczekalni II lub z poczekalni szlakowej - przez czas t_s,

- strumień zgłoszeń pociągów szlakowych o wykładniczym rozkładzie odstępów czasu między zgłoszeniami, z ustaloną wartością minimalną,
- poczekalnia szlakowa z 1 miejscem, przed każdym wyjściem i obsługą II.

Zwolnienie kanału obsługi I (toru odjazdowego) następuje w momencie wejścia zgłoszenia w kanał obsługi II. Zostało przyjęte założenie, że pociągi są wyprawiane operatywnie, to jest odjazd może nastąpić zaraz po ukończonych przygotowaniach do odjazdu. Oczekiwanie na odjazd (w poczekalni II) może zaistnieć jedynie w przypadku zajęcia szlaku, na który ma być wyprawiony pociąg z grupy odjazdowej.

Kolejność przejazdów pociągów na szlakach i wyprawianych z grupy odjazdowej na szlaki determinują wartości wag priorytetów odpowiednio przyporządkowane dla każdego rodzaju pociągów.

Symulacja pracy grupy odjazdowej odbywa się w czasie ciągłym. Program symulacyjny modelu, wykorzystany do wymiarowania grupy, znajduje się w bibliotece programów COBiRTK pod kryptonimem Sym POST 6 (cz. I) i WOCH (cz. II). Szczegóły sposobu korzystania z programu znaleźć można w pracy [5]. Model został sprawdzony pod względem niezawodności i nietendencyjności. Przeprowadzone badania zamieszczone w pracy [2] pozwalają na przyjęcie modelu.

W wyniku procesu symulacji w pamięci maszyny cyfrowej rejestrowane są między innymi:

- momenty: zgłaszania się przygotowanych do przestawiania składów z grupy kierunkowej na odjazdową, rozpoczęcia przestawiania składu, zgłoszenia pociągu do wyjazdu i rzeczywistego wyjazdu,
- czasy: oczekiwania na przestawienie, oczekiwania na wyjazd z grupy, przerw w zajęciach torów odjazdowych,
- liczby: składów i pociągów zgłoszonych w całym systemie, składów i pociągów zatrzymanych.

Wydruk odpowiednio długo trwającego procesu symulacji zawiera charakterystyki jakości pracy systemu, których znajomość pozwala na określenie właściwej liczby torów w grupie.

3. KRYTERIUM USTALANIA RACJONALNEJ LICZBY TORÓW ODJAZDOWYCH

Ogólne kryterium optymalizacji technicznej układów torowych sformułował J. Woch [5], [6] wychodząc z założenia, że układ kolejowy jest nałożeniem dwóch struktur: torowej (t) i ruchowej (r). Z nich wynika trzecia, abstrakcyjna struktura jakościowa (j), będąca funkcją dwóch poprzednich. Oceniając efektywność układu, można powiedzieć, że układ jest tym lepszy, im:

- wyższa jest jakość działania układu,
- większe jest obciążenie ruchowe,
- mniejszy jest układ torowy.

Efektywność układu $E(t,r)$ można więc ustalić z wyrażenia

$$E(t,r) = m_1(j(t,r)) \cdot \frac{m_2(r)}{m_3(t)}, \tag{1}$$

gdzie $m_1(j)$, $m_2(r)$, $m_3(t)$ są miarami poszczególnych struktur układu.

W przypadku poszukiwania technicznie optymalnej wielkości układu torowego dla ustalonego obciążenia, we wzorze (1) można pominąć czynnik $m_2(r)$ jako stały. Efektywność takiego układu wyrazi się wzorem

$$E(t) = \frac{m_1(j(t,r))}{m_3(t)}. \tag{2}$$

Optymalny technicznie będzie ten układ, dla którego wartość $E(t)$ osiągnie maksimum. Za miarę jakości można przyjąć prawdopodobieństwo, że skład a następnie pociąg przejdzie przez układ płynnie, czyli nie dozna zakłóceń ani na wejściu, ani na wyjściu z grupy, czyli

$$m_1(j(t)) = (1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2), \tag{3}$$

gdzie ε_1 jest prawdopodobieństwem, że przygotowany do przestawienia skład zastanie wszystkie tory grupy odjazdowej zajęte (prawdopodobieństwo zakłócenia na wejściu), zaś ε_2 - prawdopodobieństwem, że przygotowany do odjazdu pociąg zastanie zajętym szlak, na który ma być wyprawiony (prawdopodobieństwo zakłócenia na wyjściu).

Miejsca występowania ε_1 i ε_2 zaznaczono na rysunku 2. Specjalnie w tym celu prowadzone badania (2) wykazały, że liczba torów grupy m pozostaje bez wpływu na wartość zakłóceń na wyjściu ε_2, a więc we wzorze (3) czynnik $(1 - \varepsilon_2)$ może pominąć, zaś za miarę jakości przyjąć wyrażenie:

$$m_1(j(t)) = 1 - \varepsilon_1(m). \tag{4}$$

Jeśli za miarę struktury torowej przyjąć liczbę torów grupy odjazdowej m, to funkcja efektywności (2) przybierze postać:

$$E(m) = \frac{1 - \varepsilon_1(m)}{m}. \tag{5}$$

W praktyce okazało się wygodniejsze posługiwanie odwrotnością tej funkcji w postaci:

$$C(m) = \frac{m}{1 - \varepsilon_1(m)} \tag{6}$$

i poszukiwanie jej minimum. Wyraża ona "cenę" osiągniętej jakości, jeśli liczbę torów m potraktować jako koszty układu.

Według tego kryterium poszukiwano racjonalnej liczby torów w grupie, czyli takiej ich liczby dla ustalonych warunków pracy grupy, przy której "cena" osiągniętej jakości jest najniższa.

4. PARAMETRY OKREŚLAJĄCE WARUNKI TECHNICZNE PRACY GRUPY ODJAZDOWEJ

Rozpoznanie warunków technicznych pracy grupy odjazdowej wykazało istnienie aż 15 czynników wpływających w większym lub mniejszym stopniu na potrzebną liczbę torów grupy. W pracy 2 przeprowadzono szczegółową ich analizę, która dała w rezultacie odpowiedź na istotne pytanie: które z czynników i w jakim stopniu decydują o wielkości grupy odjazdowej i płynności ruchu?

Niektóre z pierwotnych czynników pogrupowano - łącząc je wg istniejących między nimi zależności, tworząc tzw. parametry scalone. Okazało się, że istotny - ustalony metodami statystyki matematycznej - wpływ na płynność ruchu mają następujące parametry, sklasyfikowane według miejsca ich działania w systemie rzeczywistej lub modelowanej (nazwy w nawiasach) pracy grupy odjazdowej, z podziałem na parametry określające intensywność ru-

chu na grupie lub przyległych szlakach, a opisujące strukturę ruchową systemu oraz parametry określające układ topologiczny torów grupy i węzłów torowych na wejściu i na wyjściu z grupy, opisujące więc jego strukturę torową:

Parametr	Ruchowy	Topologiczny
Wydzielony	N	-
Wjazdu	J_o	-
Pracy gr. odj.	t_o	m
Wyjazdu	p	K_o

gdzie:

N - liczba składów a następnie pociągów obsługiwana w grupie w ciągu doby,

J_o - minimalny odstęp czasu między dwoma przestawianymi kolejno składami z grupy kierunkowej na odjazdową,

m - liczba torów grupy,

t_o - średni czas trwania czynności techniczno-handlowych (obsługi) na torach odjazdowych,

K_o - poziom niesprzeczności węzła torowego, jakim jest głowica wyjazdowa, oznacza maksymalną liczbę pociągów, które mogą równocześnie wyjeżdżać z torów grupy odjazdowej,

p - prawdopodobieństwo zdarzenia, że w dowolnym momencie będzie możliwe wyprawienie pociągu z grupy odjazdowej na szlak o pewnej intensywności ruchu pociągów tranzytowych, określone bliżej w pracach [2], [3], [4].

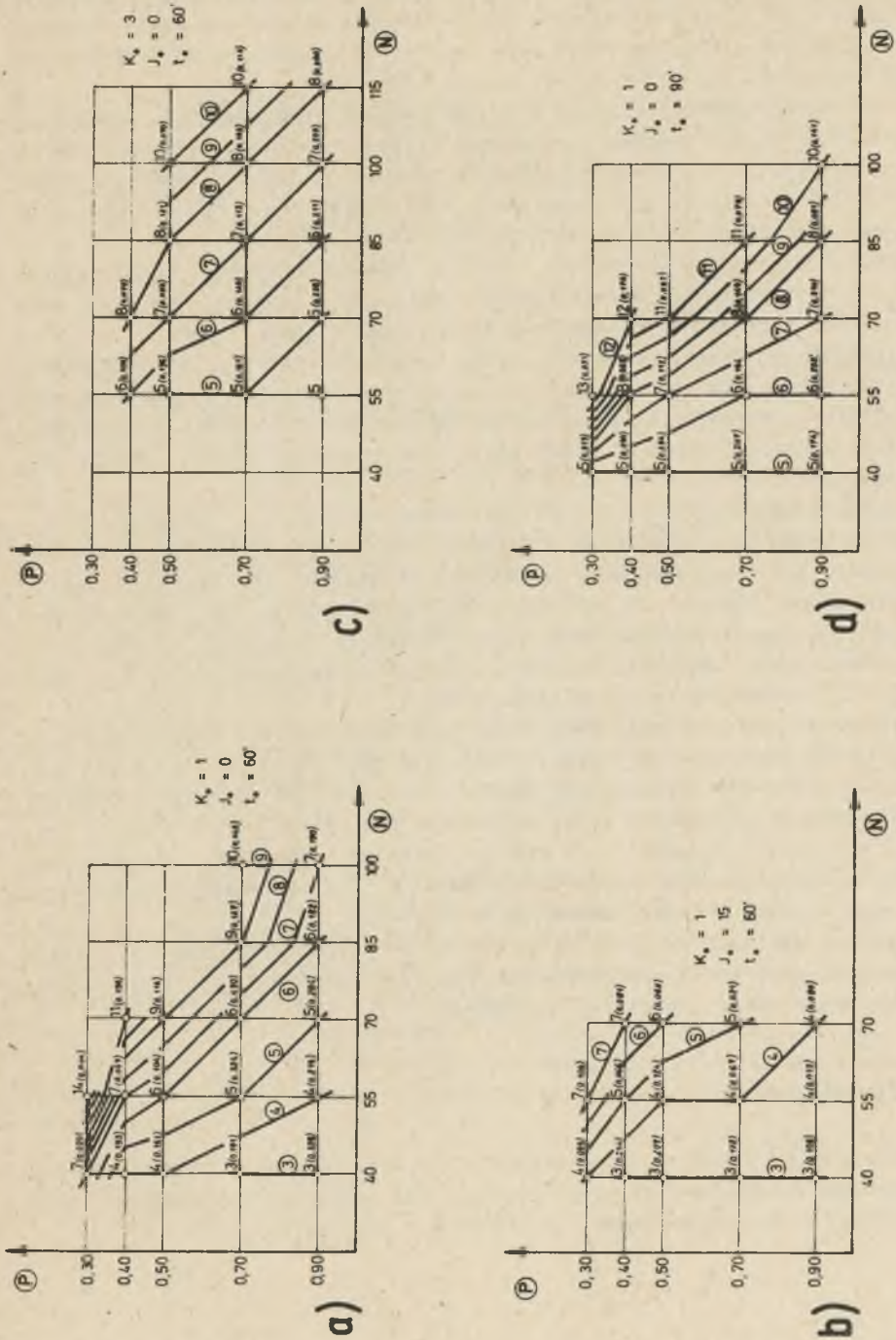
Parametry te, uszeregowane w hierarchii ich wpływu na wielkość m liczby torów odjazdowych od najsilniej do najsłabiej oddziałujących, znajdą się w następującej kolejności:

$$p,\ N,\ K_o,\ J_o,\ t_o$$

W zależności od wartości tych parametrów ustalono - dla pewnych charakterystycznych ich wartości - wielkość grupy odjazdowej na drodze doświadczeń symulacyjnych.

5. RACJONALNA LICZBA TORÓW GRUPY ODJAZDOWEJ

Jak uprzednio stwierdzono, liczba torów odjazdowych jest funkcją parametrów p, N, K_o, J_o i t_o, określających techniczne warunki jej pracy.



Rys. 3. Izolinie racjonalnej liczby torów odjazdowych

Przyjęta na wstępie metoda probabilistycznej symulacji komputerowej pracy grupy - jako najwłaściwsza na obecnym etapie wiedzy - pozwala określić dla każdej kombinacji wartości tych parametrów racjonalną jej wielkość według założonego kryterium optymalizacji technicznej.

Przeprowadzając odpowiednio dużo doświadczeń symulacyjnych, można uzyskać ogólnie ważne wykresy racjonalnej liczby torów odjazdowych. I tak wykresy na rys. 3 przedstawiają izolinie racjonalnej liczby torów odjazdowych w układzie parametrów najsilniej oddziałujących p i N, dla kilku wybranych kombinacji pozostałych parametrów K_o, J_o, t_o.

Obszar zmienności parametrów N i p badano punktowo, przeprowadzając dla każdego punktu doświadczenie symulacyjne, którego wynikiem było określenie racjonalnej (optymalnej technicznie) liczby torów.

Izolinie otrzymano przez połączenie odcinkami prostymi punktów układu współrzędnych, dla których ustalono na podstawie symulacji taką samą właściwą liczbę torów m. Izolinie pośrednie skonstruowano przez interpolację liniową poziomą i pionową między sąsiednimi punktami siatki układu podstawowego.

Każda z liczb torów określona jest przez wartość ε_1 prawdopodobieństwa zatrzymania składu przed przestawieniem z grupy kierunkowej na grupę odjazdową (prawdopodobieństwo zakłócenia na wejściu do systemu), na poziomie której została przyjęta jako racjonalna. Zdarza się, że w dwóch a nawet kilku sąsiednich punktach siatki otrzymano taką samą liczbę torów jako racjonalną. Liczby te różnią się jednak poziomem wartości ε_1. Wartości ε_1 podano na rys. 3 w nawiasach.

Przedstawione izolinie, jakkolwiek dają wyobrażenie o kształtowaniu się powierzchni odpowiedzi w układzie trójwymiarowym N, p i m, są jej niedoskonałym obrazem. Praktycznie jednak można się nimi w prosty sposób posłużyć przy projektowaniu grupy odjazdowej pod warunkiem określenia wartości wszystkich parametrów, z których określenie wartości p jest najbardziej skomplikowane. Metody obliczania "p" dla najczęściej spotykanych warunków wyjścia z grupy zawarte są w pracy [2].

Wykresy izolinii racjonalnej liczby torów odjazdowych mogą być również użyte dla celów ustalania zdolności przerobowej istniejącej grupy odjazdowej, czyli racjonalnego jej obciążenia.

6. PODSUMOWANIE

W pracy [2] dokonano sprawdzenia metody i porównania z innymi metodami dotychczas stosowanymi do projektowania, dla czterech istniejących grup odjazdowych. Wyniki porównania zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Porównanie wyników
stosowania różnych metod wymiarowania grupy odjazdowej

Lp.	Symbol grupy odjazdowej	Istniejąca liczba torów	Liczba torów obliczona ze wzorów anal. od	do	Racjonalna liczba torów
1	A	9	5	11	6
2	B	8	5	12	7
3	C	4	2	7	3
4	D	5	2	5	3

Potwierdzają one nieobiektywny charakter metod analitycznych, dających znaczny rozrzut wyników.

Można podać co najmniej dwie przyczyny takiego stanu rzeczy. Po pierwsze, stosowane dotychczas metody nie miały wyraźnie sformułowanego kryterium. Z budowy wzorów analitycznych można było domyślać się, że bardzo słusznie, choć milcząco stawiano wymaganie, aby wielkość grupy odjazdowej zapewniała płynność ruchu - bez określania jednak, co ma być miarą tej płynności i jak ją mierzyć lub szacować. Możliwości te stworzyło zastosowanie probabilistycznej symulacji komputerowej pracy grupy jako systemu masowej obsługi. Określona została miara jakości pracy systemu - jest nią prawdopodobieństwo płynnego wejścia do układu $(1 - \varepsilon_1)$ - a także, co jeszcze ważniejsze, została stworzona możliwość oszacowania wartości tego prawdopodobieństwa. Na znajomości tego oszacowania opiera się formuła kryterium ustalania racjonalnej - z przyjętego punktu widzenia - liczby torów w grupie.

Po drugie, metoda uwzględnia pięć parametrów scalonych, mających istotny wpływ na wielkość grupy odjazdowej. Porównanie tych parametrów z parametrami występującymi we wzorach analitycznych na potrzebną liczbę torów wykazało, że nie wszystkie są w nich uwzględniane, co decyduje o słabości tych wzorów. Tylko jedna z metod daje wyniki mające dobrą zgodność z racjonalną liczbą torów pod warunkiem, że znana jest wartość czasu oczekiwania na wyjazd. Czas ten jednak może być oszacowany tylko na podstawie badań statystycznych dla układów istniejących lub na podstawie symulacji dla układów nowo projektowanych.

LITERATURA

[1] Kononowicz E.: Kryterium, narzędzia i metody projektowania układów torowych na przykładzie grupy odjazdowej stacji rozrządowej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z. 29/1972.

[2] Kononowicz E.: Racjonalna wielkość grupy odjazdowej stacji rozrządowej a warunki techniczne pracy grupy. Praca doktorska, Politechnika Śląska 1976.

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

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

[5] Woch J.: System oceny układów torowych (SOUT) - Informacja. Wydawnictwo COBiRTK, Katowice 1977.

[6] Praca zbiorowa: Informatyka w planowaniu technicznym przewozów kolejowych. WKiŁ, Warszawa 1977.

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД РАЗМЕРЕНИЯ ОТПРАВЛЯЮЩЕЙ ГРУППЫ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ

Р е з ю м е

Предлагаемая статья предьявляет новую методу нанесения размеров путевого развития станции на примере отправляющей группы сортировочной станции. Это вероятностный метод, в котором путевое развитие станции относиться как систему устройства массового обслуживания. С целью определения рациональной величины групы отправочных путьей применено оригональный критерий техничкской оптимализаций и симулирования на электронно-вычислительной машиние.

PROBABILISTIC METHOD OF DIMENSIONING DEPARTURE GROUP OF A SHUNTING YARD

S u m m a r y

The article presents a new method of dimensioning track systems on the example of departure group of a shunting yard. It is a probabilistic method in which the track system is treated as a serwice system. To determine the rational size of the track group there has been applied the original criterion of technical optimization and computer simulation.