Leszek Mindur

Sformalizowane metody logistyki w sferze transportu : (na przykładzie budownictwa)

Ekonomiczne Problemy Usług nr 59, 197-210

2010

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

MUZEUM HISTORII POLSKI

ZESZYTY NAUKOWE UNIWERSYTETU SZCZECIŃSKIEGO

NR 603 EKONOMICZNE PROBLEMY USŁUG NR 59 2010

LESZEK MINDUR[*]

SFORMALIZOWANE METODY LOGISTYKI W SFERZE TRANSPORTU (NA PRZYKŁADZIE BUDOWNICTWA)

Wprowadzenie

Logistyka, dążąc do zoptymalizowania procesu przepływu produktów i informacji, stosuje nowoczesne urządzenia i metody racjonalizacyjne oraz niezawodny system informatyki. Fakt ten sprawia, że logistykę z powodzeniem można wykorzystać do racjonalizacji procesów transportowych, a zwłaszcza jej aparat metodologiczny i techniczny w postaci rozbudowanej sieci komputerowej i telekomunikacyjnej. Podejście logistyczne znajduje już zastosowanie w wielu krajach, zwłaszcza w tych, w których występuje tzw. totalna dystrybucja[1].

Stały wzrost wymagań użytkowników transportu dyktuje konieczność integracji systemów transportowych z systemami zaopatrzenia i zbytu. W takiej sytuacji przewoźnicy coraz częściej sięgają do systemów logistycznych, dostrzegając w nich jedyny sposób na zaspokojenie społecznych oczekiwań w zakresie świadczonych usług transportowych. Duże osiągnięcia w tym zakresie odnotowano w państwach zachodnich, dlatego również w warunkach polskich powinna nastąpić szybka adaptacja koncepcji logistycznych do celów racjonalizacji procesów transportowych oraz właściwej obsługi klientów.

---

[*] Prof. dr hab. Leszek Mindur – Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu.

[1] *Logistyczne aspekty organizacji procesów transportowych*, red. H. Babis, „Rozprawy i studia”, Uniwersytet Szczeciński, Szczecin 1991, s. 5.

1. Optymalizacja przewozów w oparciu o sformalizowane metody analityczne

Optymalizacja przewozów zapewnia korzyści ekonomiczne zarówno przewoźnikowi, jak i usługobiorcy. Wymaga ona jednak odpowiedniego sterowania procesami przewozowymi. Gdy liczba dysponowanych pojazdów jest niewielka, to zapewnienie ciągłości ich pracy nie wymaga specjalnych metod dyspozycyjnych. W takiej sytuacji zadania ustala się na podstawie analizy możliwości zapewnienia ładunków dla każdego pojazdu podczas dnia pracy. Przy dużej liczbie środków transportu do optymalizacji ich pracy konieczne są sformalizowane metody analityczno-obrachunkowe.

Pierwsze prace w tej dziedzinie zostały wykonane za granicą. Zastosowano wówczas metody programowania liniowego do minimalizacji próżnych przebiegów, czego wynikiem jest maksymalizacja wskaźnika wykorzystania przebiegu. Metody te zostały rozwinięte i zastosowane również w transporcie budownictwa[2].

Idea zastosowania programowania liniowego do minimalizacji próżnych przebiegów polega na wykorzystaniu tzw. klasycznego zadania transportowego do ustalania optymalnych powiązań dla środków transportu między odbiorcami i dostawcami ładunków. Formalizacja tego problemu ma następującą postać:

$$\sum_{o,n} l_{on} x_{on} = \min$$

przy warunkach ograniczających

$$\sum_{o} x_{on} = a_n ,$$

$$\sum_{n} x_{on} = b_o$$

oraz

$$x_{on} \geq 0 ,$$

gdzie:

l_{on} – odległość między o-tym odbiorcą i n-tym nadawcą,

[2] B. Żukowski, *Metoda kolejnych przybliżeń optymalizacji pracy taboru samochodowego w przedsiębiorstwach transportowych budownictwa*, IOMB, Warszawa 1968.

x_{on} – poszukiwana optymalna liczba pojazdów skierowanych bez ładunku od *o*-tego do *n*-tego nadawcy,

a_n – liczba pojazdów niezbędna do wywiezienia ładunku od *n*-tego nadawcy,

b_o – liczba pojazdów dostarczających ładunek zapotrzebowany przez *o*-tego odbiorcę.

Wartości x_{on} uzyskane w wyniku rozwiązania podanego zadania, w połączeniu z ustaloną liczbą środków transportu a_n niezbędnych do przewozu ładunku od *n*-tego nadawcy do *o*-tego odbiorcy (wynikających ze zleceń przewozowych), pozwalają na określenie zamkniętych powiązań przewozowych. Do tego celu służy specjalna technika wyboru marszrut, z wyłączeniem niezbędnych tras wahadłowych. W wyniku niej uzyskuje się optymalne trasy pracy taboru w postaci geometrycznego układu powiązań kolejnych dostawców z odbiorcami, dla których wskaźnik wykorzystania przebiegu osiąga wartość maksymalną w danych warunkach przewozów.

Uwzględniając lokalizację taboru w bazach transportowych, można jeszcze zminimalizować próżne przebiegi, łącząc odpowiednio bazy z najbliższymi punktami naładunków. Problem minimalizacji próżnych przebiegów od strony teoretycznej wygląda pozornie prosto. W rzeczywistości istnieją dość duże trudności w praktycznym wykorzystaniu uzyskanego rozwiązania, bowiem nie uwzględnia ono różnorodności typów środków transportu, niejednorodności ładunków, czasu wykonania robót ładunkowych itp. Urealnienie rozwiązań wymaga w pierwszym rzędzie zastosowania programowania całkowitoliczbowego, znacznie bardziej skomplikowanego od strony formalnej.

W praktyce minimalizacja próżnych przebiegów za pomocą programowania liniowego może być stosowana w odniesieniu do jednorodnej grupy taboru o jednakowej ładowności, eksploatowanego na stosunkowo małym obszarze, przy przewozach masowych jednego rodzaju ładunku. Stwarza to określone trudności w wykorzystaniu metod optymalizacji przewozów za pomocą programowania liniowego. Podejmowane są próby teoretycznego rozwiązania tych trudności. Jedną z nich jest metoda polegająca na wyróżnieniu zapotrzebowania na sporadyczne przewozy ładunków – terminowe i bezterminowe.

W przypadku zapotrzebowań terminowych zakłada się, że znane są terminy j_{ij} odbioru ładunków Q w punktach docelowych j. Zakłada się również, że dla danej sieci drogowej określone są macierze odległości czasów dojazdu i najkrótszych tras. Na tej podstawie można określić maksymalny czas nadania ładunku

z miejscowości i do j. Niestety w modelu tym zakłada się ponadto, że tabor przewozowy jest jednorodny i wszystkie jednostki mają jednakową ładowność q. W związku z tym do przewiezienia ładunku Q_{ij} potrzeba:

$$\lambda_j^i = \frac{Q_{ij}}{q}$$

samochodów, przy czym λ_j^i jest liczbą całkowitą, będącą zaokrągleniem w górę wyniku dzielenia.

Wprowadza się następujące zmienne całkowitoliczbowe:

$$X_{kij} = 0,1,2,...,$$

oznaczające liczbę jednostek transportowych skierowanych z miejscowości k do przewozu ładunku Q w relacji (ij) oraz ak oznaczające liczbę jednostek, które w danej chwili będzie można wykorzystać do przewozu ładunków. Warunki realizacji tego zagadnienia są wówczas następujące:

$$\sum_{(i,j)\in R} X_{kij} = a_k \text{ dla wszystkich } k \in K$$

oraz

$$\sum_{k\in K} X_{kij} \geq \lambda_{ij} \text{ dla wszystkich } (i,j) \in R,$$

przy czym K oznacza zbiór miejscowości, w których znajdują się jednostki transportowe. Mogą to być bazy lub miejscowości, w których znalazły się pojazdy po zakończeniu przewozu ładunków w poprzednim okresie, natomiast R oznacza zbiór relacji (i,j). Optymalizacja sprowadza się do minimalizacji funkcji:

$$F = \sum_{(i,j)\in R} \sum_{k\in K} X_{kij}(d_{ki} + d_{ij}),$$

przy czym d_{ki} i d_{ij} oznaczają odpowiednio odległości od miejscowości, w których znajdują się samochody, do punktów nadania i odległości od punktów nadania do punktów odbioru.

Tak sformułowany problem można rozwiązać metodą transportową programowania liniowego. Taka sytuacja miałaby miejsce wówczas, gdyby w każdej miejscowości, w której znalazł się ładunek Q_{ij}, znajdowała się wystarczająca liczba odpowiednich do transportu jednostek. W rzeczywistości tak jednak nie jest, gdyż zazwyczaj liczba dysponowanych jednostek nie wystarcza do jednora-

zowego przewiezienia ładunków na wszystkich relacjach (i,j). Poszczególne jednostki są wykorzystywane wielokrotnie do przewozu ładunków w tych samych lub za każdym razem innych relacjach. Tak więc zbiór K miejscowości, w których znajdują się jednostki transportowe, nie jest stały. Jego elementy zmieniają się w funkcji czasu, gdyż są wielkościami zależnymi od zmiennych decyzyjnych X_{kij} i prędkości jednostek transportowych.

Proponowana metoda rozwiązania postawionego zadania sprowadza się do rozwiązania parametrycznego zadania transportowego, w którym funkcję parametru spełnia wielkość V, oznaczająca niezależną od trasy średnią prędkość ruchu na sieci drogowej. Dla każdej wartości V rozwiązuje się zadania transportowe i wyznacza wartość funkcji celu. Najmniejszej wartości funkcji odpowiada rozwiązanie optymalne.

Opisany model, jakkolwiek umożliwiający otrzymanie rozwiązania optymalnego, niezbyt dokładnie odzwierciedla rzeczywistość. W praktyce przewozów mamy zazwyczaj do czynienia z jednym lub podobnymi, z punktu widzenia własności przewozowych, asortymentami wyrobów.

W świetle tego można, tak samo zresztą jak w podanym modelu, założyć bez specjalnego uszczerbku dla formalnej optymalizacji, że wszystkie jednostki przewozowe są jednakowe. Zakłada się dodatkowo, że wszystkie zamówienia przewozowe mają dane terminy dostaw do punktów odbioru, przy czym terminy najwcześniejsze są realizowane przez dostępny w danej chwili tabor.

Proponowana metoda decyzji dyspozycyjnych jest następująca: metodą programowania liniowego wyznacza się optymalny rozdział jednostek transportowych na kierunki o danych zadaniach przewozowych $Q_{ij.}$ Tak jak w omawianym poprzednio modelu funkcją jest minimalizacja przebiegów zerowych od miejsc postoju jednostek w chwili początkowej do punktów nadania. Dla relacji przewozowych y o najważniejszych terminach realizacji dostaw ustala się priorytet poprzez umowne zmniejszenie odległości dojazdowych d_{ki} do tych kierunków. Rozwiązaniem jest jednoznaczne, jednokrotne podporządkowanie jednostek transportowych do kierunków przewozowych. Na tej podstawie wylicza się czasy realizacji przewozów na wszystkich wybranych kierunkach. Tak więc czas realizacji cząstkowego zadania przewozowego przez daną jednostkę transportową jest sumą czasu dojazdu z miejsca postoju do miejsca nadania, czasu załadunku, czasu przejazdu z ładunkiem od miejsca nadania do miejsca odbioru i czasu wyładunku. Czasy te są zaokrąglone z dokładnością do przyjętej jednostki czasu. Może to być jedna godzina lub nawet jedna zmiana przy przewozach

na dalekie odległości. Czasy te są podporządkowane w kolejności niemalejącej. Następnie, tak jak w metodach symulacyjnych, czas jest „przesuwany" z chwili początkowej t_0 do chwili t_1, odpowiadającej najwcześniejszej realizacji cząstkowego zadania przewozowego. W chwili tej część jednostek przewozowych jest „zajęta" realizacją cząstkowych zadań przewozowych przydzielonych im w chwili początkowej, natomiast pozostałe jednostki (co najmniej jedna) są wolne po wykonaniu przydzielonych im zadań. Znajdują się one już w innych miejscach (w miejscu odbioru) różnych (na ogół) od miejsc swego postoju w chwili początkowej t_0. Jednostki te podlegają ponownemu rozdysponowaniu w czasie t_1. W taki sam sposób jak poprzednio obliczane są czasy realizacji przydzielonych im zadań, modyfikowana jest tablica czasów następnych przydziałów będących chwilami realizacji przydzielonych zadań przewozowych. Procedura jest powtarzana do wyczerpania się zbioru zadań przewozowych.

Proponowana metoda, jakkolwiek optymalna w każdym kroku z osobna, nie gwarantuje otrzymania rozwiązania minimalizującego przebiegi próżne (zerowe i puste) w całym rozpatrywanym czasie. Heurystyczna reguła spinająca poszczególne kroki proponowanej metody wynika z zasady obsługi w pierwszej kolejności tych zleceń przewozowych, które mają najkrótsze terminy realizacji dostaw. Niewątpliwą zaletą tej metody jest to, że oprócz uwzględniania różnych terminów dostaw umożliwia ona uwzględnianie różnych typów jednostek transportowych. Przydzielenie takiej czy innej jednostki transportowej do obsługi danego zlecenia tylko w nieznacznym stopniu komplikuje rozwiązanie (wprowadzenie dodatkowego indeksu na oznaczenie jednostki, np. „małej", „średniej" i „dużej"), natomiast zwiększa jego dyspozycyjny charakter. Nie bez znaczenia jest również fakt, że metoda ta umożliwia uwzględnienie czasów naładunku i wyładunku, czasów przestojów związanych z limitowaniem czasu pracy kierowców lub obsługą techniczną pojazdów. Zaprezentowana metoda optymalizacji dyspozycji taborem uwzględnia więc kolejne, praktyczne warunki ograniczające. Rzeczywistość jest jednak daleko bardziej złożona. Mamy bowiem do czynienia nie z jednostkami transportowymi „małymi", „średnimi" i „dużymi", ale z kilkudziesięcioma typomarkami pojazdów, o różnych właściwościach techniczno-eksploatacyjnych i różnych kosztach. Mogą one być ponadto wyposażone (lub nie) w urządzenie ładunkowe, np. żurawiki samochodowe. Nieustalone są również w praktyce ścisłe terminy dostaw do punktów odbioru, zwłaszcza przy zleceniach długookresowych, na scentralizowane dostawy ładunków masowych. Wiele jeszcze szczegółowych warunków musi być uwzględnionych,

aby dyspozycja dla środków transportu mogła być jednoznaczna i realna w praktyce, przy jednoczesnym spełnieniu przyjętego kryterium optymalizacji.

2. Kryteria optymalizacji pozatransportowe

Przy omawianiu metod optymalizacji dyspozycji taborem należy zwrócić uwagę na kryteria optymalizacji nie tylko czysto transportowe. Na przykład przy programowaniu dostaw materiałów budowlanych na place budów można zagadnienie rozpatrywać nie z punktu widzenia minimalizacji pracy przewozowej próżnych przebiegów, lecz z punktu widzenia najbardziej efektywnego zabezpieczenia terminowych potrzeb budownictwa, przy jednoczesnym wykorzystaniu środków przewozowych. Z sytuacją taką mamy do czynienia wszędzie tam, gdzie istotna jest terminowa dostawa, np. mieszanki betonowej lub pewnych elementów budowlanych do montażu „z kół". W przypadku gdy jednostki transportowe obsługują kilka budów jednocześnie, istotna jest nie tyle minimalizacja przebiegów próżnych (np. przy dostawie mieszanki betonowej na niewielkie odległości), ile minimalizacja czasu trwania wszystkich prac budowlanych, przy w miarę równomiernym wykorzystaniu jednostek transportowych.

Załóżmy przykładowo, że należy zakończyć w możliwie najkrótszym czasie pięć różnych prac budowlanych. W tabeli 1 podane są poszczególne prace budowlane i składające się na nie operacje. Przyjmijmy, że do zrealizowania każdej pracy budowlanej są potrzebne odpowiednie zasoby, np. mieszanki betonowej dostarczanej specjalnymi samochodami. Natężenie zużycia zasobu może być zmienne w czasie, gdyż prace budowlane mogą być prowadzone bardziej lub mniej intensywnie. Każda praca składa się z trzech operacji. Dane są terminy rozpoczęcia poszczególnych prac budowlanych i najpóźniejsze terminy ich zakończenia, wynikające np. ze ścieżek krytycznych. Zakłada się, że nie można rozpocząć żadnej operacji, z wyjątkiem pierwszej, przed zakończeniem poprzedniej. Przyjęto, że niektóre operacje mogą być wykonane kilkoma sposobami (P_{ij}), w zależności od liczby przydzielonych samochodów do przewozu betonu. Wynikają stąd różne czasy trwania tych operacji, w zależności od sposobu ich realizacji. Zakłada się, że czas podzielony jest na równe przedziały S_t, (zmiany, dni), a czasy trwania operacji (a_{ij}) są ich wielokrotnością.

Tabela 1

Dane wyjściowe do opracowania zadania transportowego

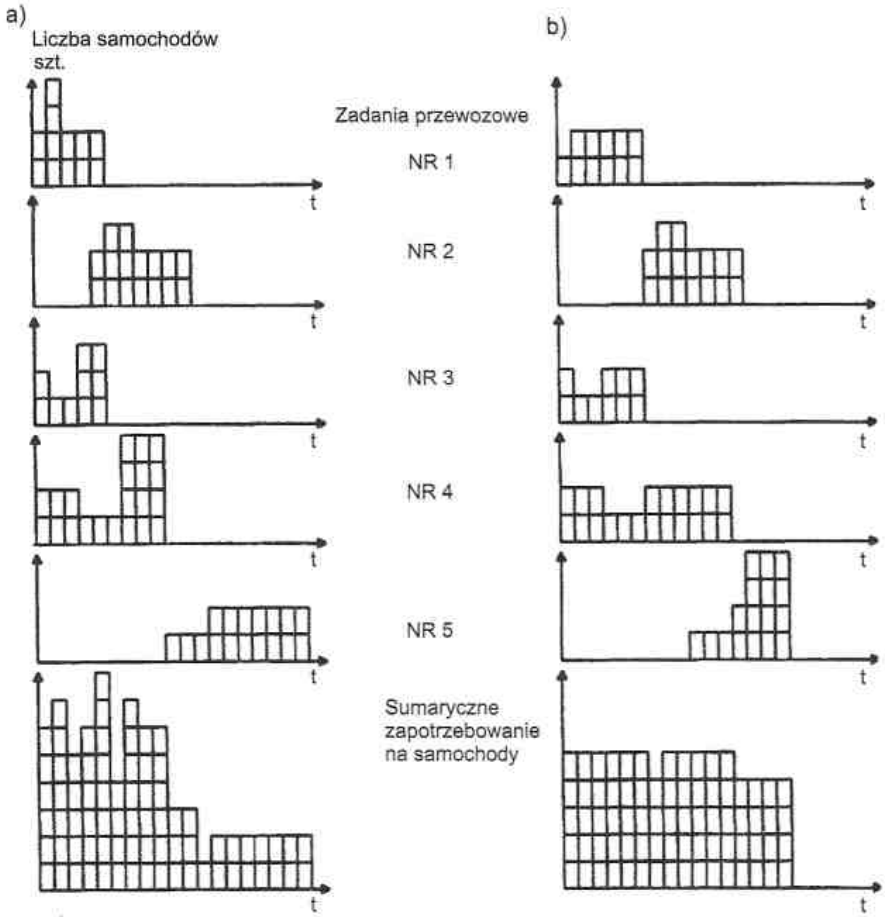
Praca budowlana (i)	Operacja (j)	Termin rozpoczęcia pracy (A_i)	Najpóźniejszy termin zakończenia pracy (L_i)	Liczba możliwych realizacji (P_{ij})	Czas trwania operacji $d\frac{h}{ij}$	Natężenie zużywanych zasobów $r\frac{h}{ij}$
1	1	1	9	1	1	1
					1	4
1	2	1	9	2	2	2
1	3	1	9	1	3	2
2	1	5	13	1	1	2
					2	3
2	2	5	13	3	3	2
					6	1
2	3	5	13	1	4	2
3	1	1	12	1	1	2
3	2	1	12	1	2	1
					2	3
3	3	1	12	2	8	2
4	1	1	16	1	3	2
4	2	1	16	1	3	1
					3	4
4	3	1	16	2	6	2
5	1	10	18	1	3	1
					1	2
5	2	10	18	2	2	1
					6	2
5	3	10	18	3	3	4

Źródło: opracowanie własne.

Zadanie polega na takim wyznaczeniu terminów rozpoczęcia i sposobów realizacji prac budowlanych, aby czas realizacji wszystkich procesów był najkrótszy, przy czym nie może być przekroczona liczba dostępnych zasobów samochodów. Gdyby prace budowlane rozpoczynały się w terminach wstępnie zaplanowanych i według pierwszego sposobu realizacji operacji (tabela 1), to otrzymalibyśmy sumaryczne zapotrzebowanie na samochody przedstawione na rysunku 1.

Realizacja tych prac budowlanych – jak wynika z rysunku 1 – jest bardzo nieefektywna ze względu na bardzo nierównomierne wykorzystanie środków transportu. Zadanie polega bowiem na takim wyznaczeniu terminów rozpoczęcia i sposobów realizacji prac budowlanych, aby czas realizacji wszystkich prac był

najkrótszy. Czas realizacji pracy określa się jako różnicę terminów jej zakończenia i rozpoczęcia. Praca jest zakończona wówczas, gdy są zakończone wszystkie operacje wchodzące w jej skład[3].



Rys. 1. Zapotrzebowanie na samochody: a – przy założeniu harmonogramu produkcji budowlano-montażowej, bez uwzględnienia optymalizacji popytu na usługi przewozowe, b – przy założeniu harmonogramu uwzględniającego racjonalne zapotrzebowanie na tabor

Źródło: opracowanie własne.

[3] Dokładny model programowania liniowego całkowitoliczbowego dla podobnego zagadnienia układania harmonogramów produkcyjnych procesów nieciągłych można znaleźć w pracy A. Kałuszki, *Układanie harmonogramów procesów nieciągłych przy ograniczonym natężeniu zasobów*, IOK PAN, Warszawa 1975. Wprowadzone są tam ograniczenia na natężenie zużycia zasobów, czasy zakończenia operacji i prac oraz kolejność operacji.

W wyniku rozwiązania podanego przykładu powstaje harmonogram prac budowlanych, do których realizacji wykorzystuje się w sposób optymalny dostępne środki transportu (rysunek 1 – wariant a). W rozpatrywanym przykładzie mamy 124 zmienne i 148 ograniczeń.

Po bliższej analizie problemu okazuje się, że istnieje możliwość redukcji liczby zmiennych i ograniczeń odpowiednio do 64 i 30[4].

Jak wynika z rysunku 1 (wariant b), wszystkie prace budowlane zostały zakończone nie tylko wcześniej, lecz także do ich wykonania wystarczy co najwyżej pięć jednostek transportowych, a nie osiem samochodów, jak w przykładzie przedstawionym na rysunku 1 (wariant a).

Przedstawione metody optymalizacji pracy taboru okazują się nie w pełni skuteczne w praktyce, ponieważ nie uwzględniają całej złożoności problemu programowania procesów przewozowych. Metody te polegają bowiem na optymalizacji wskaźnikowej, a nie kompleksowej optymalizacji dyspozycyjnej, której celem jest sterowanie tymi procesami.

Istotą sterowania procesami przewozowymi jest umożliwienie podejmowania optymalnych i jednocześnie realnych decyzji, odniesionych do poszczególnych środków transportu, z punktu widzenia integralności pracy całego, zdolnego do pracy taboru.

Takie podejście stało się podstawą opracowania i zastosowania w budownictwie i przemyśle materiałów budowlanych oryginalnej, tzw. wariantowej metody programowania dyspozycji taborem[5].

3. Wariantowa metoda programowania dyspozycji pracy taboru

Idea tej metody sprowadza się do zastosowania rachunków numerycznych w miejsce metod programowania liniowego, w celu wyznaczenia wariantu najkorzystniejszego spośród możliwych wariantów pracy taboru będącego w dyspozycji przedsiębiorstwa transportowego, określonego jednoznacznymi decyzjami dotyczącymi całodziennej pracy każdego, pojedynczego pojazdu samochodowego. Kryterium programowania stanowi ekonomiczna zasada racjonal-

[4] Metody redukcji liczby zmiennych i ograniczeń podaje A. Kałuszko. Można tam również znaleźć opis i ocenę efektywności metod programowania liniowego całkowitoliczbowego, stosowanych do rozwiązywania tego typu zadań.

[5] Metoda ta jest przedstawiona w pracy B. Żukowskiego.

nego działania: uzyskanie maksymalnego efektu pracy taboru przy minimalnym nakładzie środków na ten cel. Funkcja kryterium ma następującą postać:

$$F = \frac{\sum_{s,p,(s)} q_s c_p l_p}{\sum_s k_{1s} L_s + k_{2s} T_s},$$

gdzie:

- s – numer kolejny pojazdu samochodowego,
- p – powiązanie przewozowe pary nadawca – odbiorca n_o określone zleceniem przewozu,
- $p(s)$ – zbiór numerów powiązań przewozowych p przyporządkowanych s-temu pojazdowi,
- q_s – ładowność s-tego pojazdu,
- C_p – wskaźnik wykorzystania ładowności pojazdów na p-tym powiązaniu przewozowym,
- lp – odległość od odbiorcy do nadawcy na p-tym powiązaniu przewozowym,
- k_{1s}, k_{2s} – stałe koszty jednostkowe s-tego pojazdu zależne odpowiednio od przebiegu i czasu pracy,
- L_s – łączny przebieg s-tego pojazdu w ciągu dnia pracy,
- T_s – całkowity dzienny czas pracy s-tego pojazdu.

Należy dążyć do maksymalizacji F, przy jednoczesnym uzyskaniu jednoznacznych dyspozycji dla wszystkich pojazdów i spełnieniu następujących praktycznych warunków ograniczających:

- stałego przyporządkowania pojazdów do bazy (oddziałów) transportowych, polegającego na tym, że pojazd rozpoczyna i kończy pracę w tym samym miejscu;
- ograniczenia dziennego czasu pracy poprzez ustalenie czasu dopuszczalnego;
- równomierności pracy taboru w ciągu dnia roboczego, tj. założenia nieprzerwanej pracy pojazdu od wyjazdu z bazy aż do jego powrotu (poza sytuacjami awaryjnymi);
- terminowości realizacji zadań, oznaczającej konieczność wykonania całości przewozów, których terminy umowne, określone w zleceniu (na ogół długookresowym) upływają w dniu programowanych zadań;

- realizacji przewozów całopojazdowych, tj. pełnego wykorzystania ładowności środków transportu;
- dekoncentracji pojazdów w początkowych punktach naładunku po wyjeździe z baz (na ogół o jednakowej godzinie rozpoczęcia pracy);
- różnorodności godzin nadawania i odbioru ładunków w poszczególnych punktach pracy;
- względnej ograniczoności obszaru pracy pojazdów wokół baz macierzystych, aby wyeliminować długie powrotne przebiegi zerowe taboru do baz macierzystych.

Formalizacja matematyczna wymienionych warunków wraz z podaną funkcją kryterium stanowi ogólnie sformułowany model programowania pracy taboru samochodowego w przedsiębiorstwie transportowym budownictwa. Z analizy metodycznej tego modelu wynika skończona liczba możliwych dyspozycji – wariantów pracy taboru, spośród których można ustalić dyspozycje najkorzystniejsze. Liczba wszystkich wariantów, aczkolwiek ograniczona znacznie wariantami dopuszczalnymi (dzienny czas pracy taboru i trasy), jest jednak olbrzymia i wyraża się wielkością potęgową, której wykładnikiem jest liczba pojazdów objętych programowaniem. Ze względu na to oraz z powodu trudności opracowania algorytmu określającego sposób ustalania wszystkich możliwych dyspozycji pracy taboru, a także dlatego, że dla praktyki nie ma istotnego znaczenia w pełni ścisłe rozwiązanie modelu, opracowano algorytm przybliżony, pozwalający na uzyskiwanie suboptymalnych rozwiązań, całkowicie jednak wystarczających na potrzeby praktyczne. Podstawą tego algorytmu jest zasada budowy dopuszczalnych ze względu na czas, trasy pracy (na podstawie minimalizacji jednostkowych kosztów pracy przewozowej) pojedynczych pojazdów, a następnie całego taboru zgodnie ze wzorem na minimalizację kosztów 1 tkm, przekształconym do postaci przydatnej do obliczeń:

$$K_{tkm} = \frac{l_o + l_p}{q_s C_p l_p}\left(k_{1s} + \frac{k_{2s}}{V_s}\right) + \frac{k_{2s}}{l_p}\left(T_n + T_w\right),$$

gdzie:

K_{tkm} – koszt 1 tkm,
l_o – odległość jazdy bez ładunku,
V_s – średnia prędkość techniczna s-tego pojazdu,
T_n, T_w – odpowiednio czasy naładunku i wyładunku.

Ze względu na jednakowe wartości wszystkich wskaźników techniczno-eksploatacyjnych dla samochodów tego samego typu obliczenia prowadzi się tylko dla wyodrębnionych typów pojazdów. Sam tok obliczeń jest jednak dość skomplikowany, co nie stanowi problemu dla skomputeryzowanego sterowania procesami przewozowymi. Do tego celu niezbędne są następujące informacje wejściowe: względnie stałe powtarzalne oraz informacje zmienne.

Na informacje względnie stałe powtarzalne składają się następujące charakterystyki:

- charakterystyka technologiczna ładunków objętych jednym programem dla określonej grupy taboru, ustalająca w szczególności jednostkowe czasy naładunku i wyładunku, wartości wskaźnika wykorzystania ładowności pojazdów oraz okresy pracy punktów nadania i odbioru;
- charakterystyka techniczno-eksploatacyjna i kosztowa taboru zawierająca dane o ładowności poszczególnych typów środków transportu, jednostkowych kosztach pracy, prędkości technicznej i dopuszczalnym dziennym czasie pracy;
- macierz odległości między miejscami nadania ładunków i miejscami ich odbioru oraz między tymi punktami a bazami eksploatacyjnymi przedsiębiorstwa transportowego.

Do informacji zmiennych zalicza się:

- nazwę, ilość, miejsca (adres) nadania i odbioru ładunku oraz wymagany termin dostawy;
- liczebność poszczególnych typów środków transportu sprawnych do pracy w danym dniu w każdej z baz eksploatacyjnych.

Wynikowa dyspozycja, stanowiąca podstawę sterowania pracą taboru, pokazana jest w formie zapisu dostosowanego do dokumentacji przewozowej i zawiera szczegółowe informacje typu: skąd, dokąd, ile, czego oraz pełny czasowy rozkład pracy pojedynczego środka transportu w ciągu dnia roboczego. System sterowania dyspozycją taborem uzyskuje dzięki temu właściwą podstawę formalną, dzięki której można efektywnie kierować pracą taboru.

Podsumowanie

Integralną częścią tego systemu jest ponadto podsystem przetwarzania informacji za pomocą elektronicznej techniki obliczeniowej, obejmujący ewidencję i rozliczanie wyników pracy taboru. Same programy optymalizacji dyspozy-

cji taborem mogą być opracowane na podstawie danych przygotowanych indywidualnie przez odpowiednich pracowników przedsiębiorstwa. Służba dyspozytorska ma wówczas za zadanie czuwanie nad realizacją tych programów i operatywne wprowadzanie zmian wynikających z zaistniałych zakłóceń w toku realizacji zadań.

Obecnie, w związku z panującą konkurencją na rynku transportowym należy się liczyć z ożywieniem wdrażania do praktyki metod optymalizacyjnych. Zapewniają one bowiem nie tylko możliwość obniżenia kosztów i cen świadczonych usług transportowych, lecz również podniesienie ich jakości dzięki terminowej realizacji zleconych zadań. Walor ten odgrywa bowiem obecnie ważną rolę.

Literatura

Kałuszko A., *Układanie harmonogramów procesów nieciągłych przy ograniczonym natężeniu zasobów*, IOK PAN, Warszawa 1975.

Logistyczne aspekty organizacji procesów transportowych, red. H. Babis, „Rozprawy i studia", Uniwersytet Szczeciński, Szczecin 1991.

Żukowski B., *Metoda kolejnych przybliżeń optymalizacji pracy taboru samochodowego w przedsiębiorstwach transportowych budownictwa*, IOMB, Warszawa 1968.

THE FORMALIZED LOGISTICS METHODS IN THE TRANSPORT AREA (ON THE BASIS OF THE CONSTRUCTION SECTOR)

Summary

Tending to the logistic activities is the essence to improve the functioning of the whole process and, in the result, to reduce the related costs. The sources for reducing of the logistic costs are sought, inter alia, in the optimalization of transport. The rationalization of freights on the basis of the mathematic methods provides for some economical benefits, both transport agents and service receivers. In the situation of the current crisis and by the increased competition on the transport market it is highly required to animate the implementation the optimalizing methods. This article is intended for the optimalization of the transport process by taking into account of the above mentioned reasons.