

JÓZEF W. SYLWESTRZAK

Programowanie matematyczne w projektowaniu i budowie dróg leśnych *

Математическое программирование в проектировании и строительстве лесных дорог

Mathematical programming in designing and construction of forest roads

W wielu krajach są już obecnie powszechnie stosowane w projektowaniu i budowie dróg metody programowania matematycznego i elektroniczna technika obliczeniowa (ETO). Pozwalają one bowiem na szybkie otrzymywanie wyników, umożliwiają uzyskiwanie najkorzystniejszych rozwiązań oraz uwalniają od żmudnych prac obliczeniowych.

Pierwszym programem opracowanym na elektroniczne maszyny cyfrowe dla potrzeb budownictwa drogowego był program obliczania objętości mas ziemnych, który został zademonstrowany w 1956 r. na Zjeździe Stowarzyszenia Drogowców USA na Florydzie.

W 1964 r. na XII Światowym Kongresie Drogowym w Rzymie na pierwsze miejsce zagadnień w zgłoszonych referatach z zakresu projektowania i wykonania robót drogowych wysunięte zostało zastosowanie elektronicznej techniki obliczeniowej w szczególności przy obliczaniu robót ziemnych. W ciągu następnych kilku lat nastąpił bardzo szybki rozwój stosowania ETO, szczególnie przy geometrycznym projektowaniu dróg, co zostało podkreślone na XIII Światowym Kongresie Drogowym w Tokio w 1967 r.

Do przodujących krajów wykorzystujących ETO w projektowaniu i budowie dróg należy zaliczyć USA, Szwecję, Francję, NRF i ZSRR.

Również w Polsce prowadzone są prace z tego zakresu. W Warszawskim Biurze Studiów i Projektów Transportu Drogowego i Lotniczego opracowano na maszynę cyfrową Elliott 803 (w autokodzie Mark 2) program obliczania objętości robót ziemnych dla dróg o podbudowie z gruntu stabilizowanego. Ostatnio w Biurze Projektów Przemysłu Węglowego w Katowicach opracowano programy do wariantowania rozwiązań oraz do automatycznego wykonywania fragmentów dokumentacji budowy dróg na maszynę cyfrową produkcji polskiej Odra 1003. Czynione są również w Polsce próby wprowadzania nowych metod organizacji robót drogowych opartych na układach zależności sieciowych.

* Referat wygłoszony w Katedrze Budownictwa Leśnego VSLD w Zwoleniu oraz VSZ w Brnie.

W Polsce nie są jeszcze stosowane metody programowania matematycznego oraz elektroniczna technika obliczeniowa w projektowaniu i budowie dróg leśnych. Biorąc jednak pod uwagę olbrzymie możliwości, jakie stwarza ETO w pracach wymagających pracochłonnych i skomplikowanych obliczeń oraz coraz szersze zainteresowanie tymi zagadnieniami, należy sądzić, że w najbliższych latach ulegnie to radykalnej zmianie.

Zastosowanie ETO w leśnym budownictwie drogowym może być dwojakie. Pierwsze, polegające tylko na zmniejszeniu pracochłonności projektowania, stwarza możliwości wielowariantowego projektowania i wyboru wariantu najkorzystniejszego spośród rozpatrywanych. Natomiast drugie — to projektowanie optymalnych rozwiązań w oparciu o metody programowania matematycznego.

Ujęcie całości projektowania dróg leśnych, w formę przystosowaną do wykorzystania ETO, wymaga, oczywiście, opracowania odpowiednich metod obliczeniowych, poczynając od szczegółów związanych z projektem techniczno-roboczym budowy drogi przez wybór trasy drogowej aż do projektowania sieci dróg leśnych.

Wysiłki podjęte w tym zakresie początkowo w Katedrze Inżynierii Leśnej SGGW w Warszawie, a obecnie, po reorganizacji uczelni, w Instytucie Użytkowania Lasu i Inżynierii Leśnej, zmierzają do opracowania metod umożliwiających otrzymywanie optymalnych rozwiązań projektowych z wykorzystaniem programowania matematycznego.

Pierwsze opracowanie z tego zakresu dotyczy metody optymalizacji rozdziału mas ziemnych. Metoda ta umożliwia, w zależności od stawianych wymagań, otrzymanie rozdziału mas ziemnych nadającego wartość minimalną sumie momentów przewozów gruntu, czasowi trwania robót lub też kosztem robót związanych z przemieszczaniem mas ziemnych z zastosowaniem ograniczeń, które mogą mieć znaczenie w wykonawstwie. A więc, przy minimalizacji czasu trwania robót — ograniczenie kosztów ich wykonania, a przy minimalizacji kosztów — ograniczenie czasu trwania robót. Pozwalają one, niezależnie od kryterium optymalizacji, na uwzględnienie przy rozdziale mas ziemnych, przydatności gruntu do budowy nasypów oraz rzeczywistych długości dróg, jego przemieszczania w naturalnych warunkach terenowych. W niektórych metodach brane są pod uwagę środki wydobywania i przemieszczania gruntu, którymi dysponuje wykonawca robót.

Z optymalnym rozdziałem mas ziemnych związane jest zagadnienie ustalania najkorzystniejszego zespołu maszyn. Zagadnienie to zreferował w 1968 r. na XIV Międzynarodowym Zjeździe ABG Werner Schoss, nie podając jednak gotowych metod jego rozwiązania, ograniczając się tylko do przedstawienia możliwości w tym zakresie.

Temat taki został również podjęty w Katedrze Inżynierii Leśnej SGGW w 1965 r. i pierwsze wyniki tego opracowania zostały już opublikowane.

Podobnymi zagadnieniami, związanymi z organizacją przemieszczania mas ziemnych przy budowie dróg, zajmuje się G. B o r i s o w i G. W o j n o w a z Centrum Obliczeniowego Karelskiego Instytutu Badawczego Leśnictwa w ZSRR. Przedstawiona przez nich w 1968 r. metoda organizacji przewozu gruntu pozwala na ustalenie najkorzystniejszego (pod względem kosztów eksploatacyjnych) doboru maszyn do wykonania okre-

ślonych robót ziemnych, z uwzględnieniem dopuszczalnego czasu trwania robót, przy założeniu jednak, że znany jest już rozdział mas ziemnych.

Oczywiście, można by tutaj przytoczyć wiele innych przykładów zastosowania programowania matematycznego w budownictwie drogowym. Ogólnie można jednak powiedzieć, że możliwości zastosowania programowania w tym zakresie nie zostały jeszcze wyczerpane i że istnieje poważna szansa stworzenia nowego systemu projektowania dróg leśnych w oparciu o metody matematyczne. Dotyczy to zarówno projektu technicznego budowy drogi, jak i projektowania układów sieci dróg leśnych.

W projekcie technicznym budowy drogi najbardziej istotną sprawą, mającą decydujący wpływ na koszty budowy i eksploatacji drogi, jest wybór trasy drogowej, projektowanie niwelety oraz projektowanie nawierzchni. Projektowanie wymienionych elementów powinno polegać w zasadzie na dokonaniu wyboru najkorzystniejszego rozwiązania spośród teoretycznie nieskończonej liczby rozwiązań. Dokonanie takiego wyboru przez projektanta, według dotychczas stosowanych metod projektowania, nie jest możliwe. Nawet jeśli rozwiązanie takie zostanie zaprojektowane, to nie istnieje możliwość stwierdzenia, że jest ono właśnie najkorzystniejsze spośród możliwych. Wychodząc z założenia, że takie rozwiązanie jednak istnieje, należy dążyć do opracowania metod umożliwiających jego otrzymanie.

Jeśli chodzi o projektowanie niwelety, to wydaje się, że należy opracować metodę pozwalającą na zaprojektowanie niwelety optymalnej, ze względu na kryteria mające istotne znaczenie zarówno w procesie budowy drogi, jak i w okresie jej eksploatacji. Niweleta optymalna powinna więc dokonać takiego podziału na wykopy i nasypy, aby koszty wykonania robót ziemnych były możliwie najmniejsze przy równoczesnym uwzględnieniu kosztów związanych z ruchem pojazdów na wybudowanej drodze. Wstępnymi ograniczeniami w tej metodzie będą punkty stałe, przez które powinna przejść projektowana niweleta, minimalne długości odcinków o jednakowym pochyleniu oraz dopuszczalne jej pochylenia wynikające z przewidywanego rodzaju ruchu oraz jego natężenia. Ze względu na koszty związane z budową korpusu drogi, niweleta powinna być projektowana przy jednoczesnym uwzględnieniu rozdziału mas ziemnych.

Opracowanie takiej metody projektowania niwelety jest zagadnieniem dość skomplikowanym. Zagadnieniem znacznie szerszym, a jednocześnie związanym z projektowaniem niwelety, jest wybór trasy drogowej. Dokonanie wyboru najkorzystniejszej trasy drogowej łączącej dwa punkty wymaga uwzględnienia wielu czynników, z których najważniejszymi są koszty budowy i utrzymania drogi oraz koszty związane z transportem przewidywanym na danej drodze w okresie jej eksploatacji. W metodzie pozwalającej na zaprojektowanie optymalnej trasy drogi należy oprzeć się na trójwymiarowym przedstawieniu za pomocą układu współrzędnych, rzeźby terenu w granicach przewidywanego obszaru projektowanej drogi z uwzględnieniem punktów, przez które powinna przebiegać ta droga oraz miejsc wykluczających jej przebieg.

Ważnym zagadnieniem jest projektowanie nawierzchni. Wydaje się, że można je rozpatrywać osobno, aczkolwiek istnieją pewne powiązania z całością projektu drogowego. Problem ten nie doczekał się jeszcze

w Polsce należytego opracowania teoretycznego dla dróg leśnych. Myślę, że polscy drogowcy leśnicy powinni w tym zakresie przede wszystkim skorzystać z osiągnięć naszych południowych sąsiadów. Mam tutaj na myśli osiągnięcia prof. St. M a k o w n i k a oraz dra habil. J. M a r k o z Katedry Budownictwa Leśnego VŠLD w Zwoleniu, jak również doc. J. B e n e š a z Wydziału Leśnego w Brnie.

Ustalenie najwłaściwszej metody wymiarowania nawierzchni dróg leśnych byłoby punktem wyjścia do dalszych opracowań, zmierzających do wykorzystania metod programowania matematycznego w celu umożliwienia projektowania nawierzchni optymalnej dla konkretnych warunków. Przy wprowadzaniu czynnika ekonomicznego można by wykorzystać metody projektowania nawierzchni stosowane w Portugalii i Indiach, które uwzględniają koszty wykonania poszczególnych warstw o różnych grubościach z różnych materiałów za pomocą odpowiednich współczynników równoważności. Pozwoliłoby to na zaprojektowanie nawierzchni optymalnej tak pod względem technicznym jak i ekonomicznym.

W Polsce, ostatnio absorbuje uwagę wielu leśników drogowców projektowanie sieci dróg leśnych. Zagadnienie to, aczkolwiek doczekało się wielu opracowań — w naszym kraju chociażby prace prof. M. B o t w i n a a w Czechosłowacji prace prof. K. M a t y a š a — nie zostało jednakże jeszcze opracowane teoretycznie na tyle, aby można było mówić o metodzie optymalnego projektowania sieci dróg leśnych.

Wielu leśników twierdzi, że liczba czynników mających wpływ na wybór leśnej sieci drogowej, często trudnych do wartościowego przedstawienia i zmiennych w czasie, jest tak duża, że należy zdać się na umiejętności i wyczucie poszczególnych projektantów. Wydaje się jednak, że mimo tych rzeczywistych trudności, powinno dążyć się do teoretycznego opracowania metody umożliwiającej projektowanie optymalnej sieci dróg leśnych, jeśli nawet w efekcie otrzymywałoby się w praktyce rozwiązania tylko zbliżone do optymalnych. Oczywiście, trzeba zdawać sobie sprawę z bezustannego rozwoju techniki pozyskiwania drewna i jego transportu oraz ich wpływu na system dróg leśnych. Dlatego też, sieć dróg leśnych powinna być tak zaprojektowana, aby spełniała obecne wymagania gospodarki leśnej i mogła być przystosowana w przyszłości do wszelkich możliwych ulepszeń. Oczywiście, nie jest to zadanie proste.

W metodzie projektowania optymalnej sieci dróg leśnych należałoby oprzeć się, podobnie jak przy wyborze najkorzystniejszej trasy dla jednej drogi, na trójwymiarowym przedstawieniu za pomocą układu współrzędnych rzeźby terenu, następnie określeniu punktów, przez które powinny przebiegać drogi oraz miejsc wykluczających budowę dróg. Przyjmując za kryterium optymalizacji sumę kosztów budowy i utrzymania dróg oraz kosztów związanych ze zrywką i wywozem drewna z danego kompleksu leśnego, należałoby w efekcie uzyskać współrzędne sieci dróg oraz typy i rodzaje nawierzchni dla poszczególnych odcinków dróg. Być może, że dla tak złożonego problemu zajdzie konieczność rozwiązywania etapowego, podobnie jak ma to miejsce w metodach programowania dynamicznego.

Poniżej podaję przykład metody, której celem jest dokonanie rozdziału nadającego wartość minimalną sumie kosztów eksploatacyjnych

maszyn i kosztów jednorazowych związanych ze sprowadzeniem tych maszyn na budowę przy ograniczonym czasie trwania robót.

Zagadnienie to ujęto w formie matematycznej w postaci układów równań i nierówności liniowych określających dopuszczalny ruch mas ziemnych i dopuszczalny czas trwania robót oraz w postaci tzw. funkcji kryterium określającej cel optymalizacji.

Podstawowymi ograniczeniami określającymi dopuszczalny ruch mas ziemnych są wymagania odnośnie do wykonania robót ziemnych w dopuszczalnym czasie zgodnie z projektem techniczno-roboczym budowy drogi. Wymagania te sprowadzają się w zasadzie do konieczności wykonania, za pomocą odpowiednich środków, wykopów i nasypów w rozmiarach określonych projektem, z uwzględnieniem przydatności gruntów do budowy nasypów oraz możliwości wykonania ukopów i odkładów gruntu.

Wymagania te można przedstawić w postaci następującego układu zależności liniowych:

$$\sum_{t=1}^p \sum_{i=1}^k X_{st}^i = W_s \quad \text{dla } s = 1, 2, \dots, g \quad (1)$$

$$\sum_{t=n+1}^p \sum_{i=1}^k X_{st}^i = W_s \quad \text{dla } s = g+1, g+2, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^n \sum_{i=1}^k X_{st}^i \leq W_s \quad \text{dla } s = m+1, m+2, \dots, r \quad (3)$$

$$\sum_{s=1}^g \sum_{i=1}^k X_{st}^i + \sum_{s=m+1}^r \sum_{i=1}^k X_{st}^i = N_t \quad \text{dla } t = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{s=1}^m \sum_{i=1}^k X_{st}^i \leq N_t \quad \text{dla } t = n+1, n+2, \dots, p \quad (5)$$

$$x_{st}^i \geq 0 \text{ dla } \begin{cases} s = 1, 2, \dots, g \\ t = 1, 2, \dots, p; \\ i = 1, 2, \dots, k \end{cases} \begin{cases} s = g+1, g+2, \dots, m \\ t = n+1, n+2, \dots, p; \\ i = 1, 2, \dots, k \end{cases} \begin{cases} s = m+1, m+2, \dots, r \\ t = 1, 2, \dots, n \\ i = 1, 2, \dots, k \end{cases}$$

W przedstawionym układzie równań i nierówności przez W_s dla $s = 1, 2, \dots, g$ oznaczono objętości wykopów, z których grunt może być przeznaczony do budowy nasypów lub na odkład, dla $s = g+1, g+2, \dots, m$ objętości wykopów, z których grunt nie nadaje się do budowy nasypów i przewidziany jest na odkład oraz dla $s = m+1, n+2, \dots, r$ objętości możliwych do wykonania ukopów gruntu, z przeznaczeniem ich na budowę nasypów. Natomiast przez N_t dla $t = 1, 2, \dots, n$ oznaczono objętości projektowanych nasypów, a dla $t = n+1, n+2, \dots, p$ objętości dopuszczalnych odkładów gruntu. x_{st}^i jest szukaną objętością gruntu, który należy przenieść i -tą umowną maszyną¹ z s -tego wykopu na t -ty nasyp lub odkład, lub z s -tego ukopu na t -ty nasyp.

¹ Pod pojęciem umownej maszyny należy rozumieć zarówno pojedyncze maszyny (np. spycharkę, zgarniarkę), jak i odpowiednie zespoły (składające się np. z koparki i samochodów wywrotek), które są zdolne do wykonywania wszystkich czynności związanych z przemieszczaniem gruntu.

Roboty zostaną wykonane w określonym dopuszczalnym czasie T , jeśli spełnione będą następujące nierówności:

$$z^i \leq TK_e^i \quad \text{dla } i \in \bar{K}^z \quad (6)$$

$$\sum_{s=1}^g \sum_{t=1}^p \frac{x_{st}^i}{w_{st}^i} + \sum_{s=g+1}^m \sum_{t=n+1}^p \frac{x_{st}^i}{w_{st}^i} +$$

$$+ \sum_{s=m+1}^r \sum_{t=1}^n \frac{x_{st}^i}{w_{st}^i} \leq T \quad \text{dla } i \in K^z \quad (7)$$

gdzie:

- z^i — suma kosztów eksploatacyjnych związanych z wykonaniem robót przez i -tą umowną maszynę,
- K_e^i — koszty eksploatacyjne i -tej umownej maszyny na jednostkę czasu,
- \bar{K}^z — zbiór wskaźników i , odpowiadających umownym maszynom niebędącym zespołami,
- w_{st}^i — wydajność eksploatacyjna i -tej umownej maszyny ($i = 1, 2, \dots, k$) przemieszczającej grunt o objętości x_{st}^i z s -tego wykopu ($s = 1, 2, \dots, g$) t -ty nasyp ($t = 1, 2, \dots, n$) lub odkład ($t = n+1, n+2, \dots, p$), z s -tego wykopu ($s = g+1, g+2, \dots, m$) na t -ty odkład, lub z s -tego ukopu ($s = m+1, m+2, \dots, r$) na t -ty nasyp,
- K^z — zbiór wskaźników i , odpowiadających umownym maszynom, będących zespołami maszyn.

W celu uzależnienia od jednej zmiennej kosztów jednorazowych K_e^i związanych ze sprowadzeniem i -tej umownej maszyny na budowę ($i = 1, 2, \dots, k$), wprowadzono do przedstawionego wyżej układu zależności dodatkowe równania:

$$\sum_{s=1}^g \sum_{t=1}^p \frac{K_e^i}{w_{st}^i} x_{st}^i + \sum_{s=g+1}^m \sum_{t=n+1}^p \frac{K_e^i}{w_{st}^i} x_{st}^i + \sum_{s=m+1}^r \sum_{t=1}^n \frac{K_e^i}{w_{st}^i} x_{st}^i - z^i = 0$$

$$\text{dla } i \in \bar{K}^z \quad (8)$$

$$\sum_{s=1}^g \sum_{t=1}^p \frac{K_{est}^i}{w_{st}^i} x_{st}^i + \sum_{s=g+1}^m \sum_{t=n+1}^p \frac{K_{est}^i}{w_{st}^i} x_{st}^i +$$

$$+ \sum_{s=m+1}^r \sum_{t=1}^n \frac{K_{est}^i}{w_{st}^i} x_{st}^i - z^i = 0 \quad (9)$$

$$\text{dla } i \in \bar{K}^z$$

$$\sum_{s=1}^g \sum_{t=1}^p x_{st}^{iw} + \sum_{s=g+1}^m \sum_{t=n+1}^p x_{st}^{iw} + \sum_{s=m+1}^r \sum_{t=1}^n x_{st}^{iw} - z_w^i = 0 \quad (10)$$

$$z^i \geq 0 \quad \text{dla} \quad \begin{cases} i \in K^z \\ w = w_{\min}^i + 1, w_{\min}^i + 2, \dots, w_{\max}^i \end{cases}$$

$$z_w^i \geq 0 \quad \text{dla} \quad \begin{cases} i \in K^z \\ w = w_{\min}^i + 1, w_{\min}^i + 2, \dots, w_{\max}^i \end{cases}$$

gdzie:

- K_{est}^i — zmienne koszty eksploatacyjne i-tej umownej maszyny, zależne od odległości przewozu gruntu l_{st} ,
- x_{st}^{iw} — objętość gruntu przewożonego przez w środków (np. samochodów) i-tej umownej maszyny z s -tego wykopu lub ukopu na t -ty nasyp lub odkład,
- z_w^i — objętość gruntu do przemieszczenia za pomocą i-tej umownej maszyny w skład której wchodzi co najmniej w środków przewozu,
- w_{\min}^i — najmniejsza ilość środków przewozu wchodzących w skład i-tej umownej maszyny,
- w_{\max}^i — największa dopuszczalna ilość środków przewozu wchodzących w skład i-tej umownej maszyny.

Przedstawiony układ równań i nierówności ma nieskończenie wiele rozwiązań. Każde takie rozwiązanie przedstawia odpowiedni rozdział mas ziemnych. Dokonanie rozdziału, przy którym suma kosztów eksploatacyjnych i jednorazowych maszyn przyjmuje wartość minimalną z uwzględnieniem ograniczonego czasu trwania robót, będzie polegało na znalezieniu takich wartości zmiennych z^i , które przy spełnieniu przedstawionego układu równań i nierówności, nadadzą funkcji celu (11) wartość minimalną, przy dodatkowych warunkach, nakazujących przyjmowanie przez δ^i wartości równych 0 lub 1 w zależności od wartości z^i .

$$z = \sum_{i \in \bar{K}^z} \left(K_j^i \delta^i + z^i \right) + \sum_{i \in K^z} \left[\left(K_{ju}^i + \sum_{w=1}^{w_{\min}^i} K_{jw}^i \right) \delta_u^i + \sum_{w=w_{\min}^i+1}^{w_{\max}^i} K_{jw}^i \delta_w^i + z^i \right]$$

$$\delta^i = \begin{cases} 0 & \text{gdy } z^i = 0 \\ 1 & \text{gdy } z^i > 0 \end{cases} \quad \text{dla } i \in \bar{K}^z \quad (11)$$

$$\delta_u^i = \begin{cases} 0 & \text{gdy } z^i = 0 \\ 1 & \text{gdy } z^i > 0 \end{cases} \quad \text{dla } i \in K^z$$

$$\delta_w^i = \begin{cases} 0 & \text{gdy } z_w^i = 0 \\ 1 & \text{gdy } z_w^i > 0 \end{cases} \quad \text{dla } \begin{cases} i \in K^z \\ w = w_{\min}^i + 1, w_{\min}^i + 2, \dots, w_{\max}^i \end{cases}$$

W przedstawionej funkcji (11) oznaczono przez:

- K_j^i — koszty jednorazowe i -tej umownej maszyny dla $i \in \overline{K^z}$,
- K_{ju}^i — koszty jednorazowe środka ukopu (np. koparki) wchodzącego w skład i -tej umownej maszyny dla $i \in K^z$,
- K_{jw}^i — koszty jednorazowe w -tego środka przewozu (np. samochodu) wchodzącego w skład i -tej umownej maszyny dla $i \in K^z$.

Tak sformułowane zagadnienie daje tzw. problem z czynnikiem stałym (the fixed charge problem) programowania liniowego.

Wśród znanych obecnie metod, jedynie dwie nadawałyby się teoretycznie do wyznaczenia minimum globalnego powyższego zagadnienia. Są to metody tzw. mieszanego programowania w liczbach całkowitych oraz metody programowania dynamicznego. Jednakże te pierwsze nie są w stanie zagwarantować uzyskania wyników w sensownym czasie, nawet dla zagadnień małego rozmiaru, jak również w oparciu o nie, nie można oszacować czasu obliczeń w zależności od ilości zmiennych i ograniczeń. Natomiast metody programowania dynamicznego dopuszczają jedynie bardzo małą liczbę ograniczeń i każde wykroczenie poza $m \geq 3$ wymaga bądź bardzo dużego zmniejszenia dokładności obliczeń, bądź też stają się przy obecnej technice obliczeniowej wręcz niemożliwe do zastosowania ze względu na konieczność przechowywania w pamięci maszyny zbyt wielkiej ilości informacji.

Do metod w danym przypadku realnych, tzn. prowadzących do rozwiązania zagadnienia w sensownym czasie, zaliczyć można metody przedstawione w pracach G. Hadleya oraz J. Żurkowskiego¹.

Obie te metody mają jednak również poważną wadę — mianowicie nie gwarantują uzyskania minimum globalnego. Na podstawie nich można jedynie wyznaczyć optimum lokalne, które w ogólnym przypadku może być różne od globalnego.

Wydaje się jednak, że z braku innych prostych metod, dających rozwiązanie powyższego problemu, i ze względów ekonomicznych lepsza jest jakakolwiek próba optymalizacji zagadnienia niż zaniechanie jej w ogóle. Tym bardziej, że aparat obliczeniowy w obu metodach nie wybiega poza metodę simpleksów programowania liniowego i nie stwarza tym samym większych trudności obliczeniowych.

Szczególnie łatwa w adaptacji dla przedstawionego zagadnienia wydawała się metoda J. Żurkowskiego. Z tych względów do obliczenia przykładów rozdziału mas ziemnych minimalizującego sumę kosztów eksploatacyjnych i jednorazowych maszyn posłużono się programem opracowanym właśnie według tej metody. Obliczone przykłady dla fikcyjnej drogi leśnej dały zadowalające rezultaty.

Należy wspomnieć, że w Centrum Obliczeniowym Komisji Planowania Gospodarczego przy Prezydium Rady Ministrów PRL trwają obecnie prace zakończeniowe nad stosunkowo prostą metodą rozwiązywania tzw. problemu z czynnikiem stałym, pozwalającą na otrzymywanie optimum globalnego (opracowaną przez J. Wdowikę).

¹ Hadley G. — Nonlinear and dynamic programming. Żurkowski J. — Programowanie lokalizacji produkcji.

Trzeba jednak zdawać sobie sprawę, że w przypadkach, gdy koszty jednorazowe związane ze sprowadzeniem maszyn na budowę są niewielkie, celowe ze względów obliczeniowych może okazać się ich pominięcie. Wówczas zagadnienie rozdziału mas ziemnych przedstawia typowe zadanie programowania liniowego, a w przypadku, gdy nie istnieje ścisłe ograniczenie czasu trwania robót, można je sprowadzić do tzw. zagadnienia transportowego. Uproszczone w ten sposób zagadnienie rozdziału mas ziemnych można już bez większych trudności rozwiązać np. metodą simpleks, a przy nieograniczonym czasie trwania robót, jedną ze znanych metod transportowych.

Nie należy na podstawie mojej wypowiedzi sądzić, jakoby w Polsce sprawa wykorzystania metod programowania matematycznego i elektronicznej techniki obliczeniowej w budownictwie drogowym, szczególnie w leśnictwie, była odpowiednio, jak na to zasługuje, doceniana. Tak nie jest. Wynika to z pewnego ogólnego zacofania w tym zakresie, braku odpowiednich opracowań i programów oraz z naturalnej niechęci praktyków do stosowania nowości. Poza tym, zagadnieniami tymi zajmuje się stosunkowo niewielka liczba osób, przeważnie młodych, które jak dotychczas pracują w odosobnieniu. Tym samym ich opracowania mają charakter wycinkowy, nie obejmujący całości zagadnienia. A problemy te są na tyle poważne i skomplikowane, że wymagają pracy zespołowej i to różnych specjalistów: inżynierów, matematyków i ekonomistów.

Jestem jednak przekonany, że w niedalekiej przyszłości, mimo tych wszystkich trudności, nastąpi całkowite przeobrażenie systemu projektowania dróg leśnych i organizacji robót drogowych. Wymaga to jednak dość dużego wysiłku zarówno ze strony naukowców, jak i praktyków.

Краткое содержание

Автор рассматривает возможности использования методов математического программирования и электронной вычислительной техники в проектировании и строительстве лесных дорог. Это касается как технического проекта строительства дороги, так и проектирования схем сети лесных дорог.

Кроме того представлен метод оптимализации распределения масс земли. Целью оптимализации является распределение дающее минимальную величину суммы капиталовложений на эксплуатацию машин и однократных вложений на привоз этих машин на строительство при ограниченном времени продолжительности этих работ.

Summary

Authors considers possibilities of the application of methods of mathematical programming and electronic computer technique in designing and construction of forest roads. This concerns both the technical project of road construction and designing the patterns of network of forest roads.

Besides, there is presented the method of the optimization of the distribution of soil bulk aimed at the distribution giving the minimum value to the total of operating costs of machines and expendable costs connected with the transportation of these machines to the construction site within a limited duration of works.