ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1970

Seria: MATEMATYKA-FIZYKA z. 15 Nr kol. 285

W. SOBIESZEK, J. STOLARZ,
W. ŻYTKA

BUDOWA OGÓLNEGO MODELU MATEMATYCZNEGO OPTYMALIZACJI TRANSPORTU KOŁOWEGO - POZIOMEGO W KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO

Wstęp

Zagadnienie optymalizacji transportu kołowego - poziomego kopalni węgla kamiennego jest zagadnieniem złożonym.
Decyduje o tym pokaźna liczba parametrów technicznych i ekonomicznych, które mają wpływ na kształtowanie się kosztów eksploatacji i nakładów inwestycyjnych.

W dotychczasowych badaniach prowadzonych na ten temat między innymi przez BSiT, GIG i zespół pod kierownictwem J. Łukasiewicza z Wrocławia, nie sformułowano ogólnego problemu optymalizacyjnego. Całość wyżej wspomnianych badań, w których niepoślednią rolę odgrywały tzw. metody symulacji, rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna, dotyczyła bardzo ważnych zagadnień związanych mocno z problemem optymalizacji.

Zagadnienia, którym poświęcone były wyżej wspomniane badania, można podzielić na dwie grupy:

a) badania przebiegu w czasie pewnych zjawisk o charakterze losowym,
b) badanie funkcjonalności pod względem technicznym różnych rozwiązań transportowych z uwzględnieniem także, pewnych czynników losowych.

Wyniki tych badań należy wykorzystać przy budowie ograniczeń na zmienne podlegające optymalizacji, które wynikają z technicznych zależności i warunkują funkcjonalność środków transportu. W pracy niniejszej, ze względu między innymi na niemożliwość przyporządkowania pewnym parametrom wartości liczbowych np. trakcja elektryczna, trakcja spalinowa, trakcja akumulatorowa, trakcja sprężonego powietrza, a które odgrywają istotną rolę jeśli chodzi o koszty, problem optymalizacji postanowiono rozwiązać metodą mieszaną tzn. wariantowanie ze względu na tak zwane parametry główne z jednej strony, zaś optymalizowanie wariantów głównych metodami programowania matematycznego z drugiej strony.

W związku z tym precyzuje się pojęcie wariantu głównego oraz podaje się układ zupełny wariantów w świetle przyjętej definicji.

Wyraźnie oddziela się parametry względem których buduje się wszelkie możliwe warianty od parametrów podlegających optymalizacji w danym ustalonym wariancie.

Pierwsze z nich nazywać będziemy parametrami głównymi, zaś pozostałe krótko parametrami.

Za parametry główne przyjmuje się te, które przyjęte w danym układzie transportowym nie ulegają zmianie w okresie co najmniej pięciu lat.

W ustalonym wariancie parametry główne nie podlegają optymalizacji. Wariant główny nazywać będziemy zoptymalizowanym, jeśli znane będą wartości optymalne parametrów, ze względu na minimum sumy kosztów eksploatacji i nakładów inwestycyjnych w okresie n-lat. Spośród wariantów głównych zoptymalizowanych wybiera się wariant o najmniejszej sumie kosztów eksploatacji i nakładów inwestycyjnych nazywając go wariantem optymalnym.

I. Założenia

a) Znane jest rozmieszczenie punktów załadowczych, dróg transportowych, przebiegi czasowe spływu urobku, średnia dobowa produkcja punktów załadowczych, dane dotyczące podszybia i przepustowości szybu wydobywczego, dane ekonomiczne.

b) Schemat organizacji transportu jest gwiaździsty, dwustopniowy lub mieszany.

c) W transporcie dwustopniowym, dopuszczalnym jest wyposażenie poszczególnych stopni w różne środki przewozowe.

d) Realizowana jest jedna z następujących zasad organizacji ruchu:
   1) zasada pojemności
   2) zasada rozkładu jazdy
   3) zasada dyspozycji

e) Środki transportu:
   1) trakcja elektryczna przewodowa
   2) trakcja elektryczna akumulatorowa
   3) trakcja spalinowa
   4) trakcja sprężonego powietrza.

f) Zbiorniki wyrównawcze mogą być zlokalizowane na stacjach załadowczych albo na podszybiu lub na stacjach załadowczych i na podszybiu.

g) Transport urobku odbywa się najkrótszymi istniejącymi drogami.

h) Koszty związane z poszerzaniem wyrobisk, podyktowanych względami transportowymi obciążają transport.

i) Kryterium optymalizacyjne: minimalizacja nakładów inwestycyjnych I i kosztów eksploatacji E w okresie n-lat.

Koszty eksploatacji równe są sumie kosztów utrzymania zwiększonego przekroju wyrobisk, utrzymania i napraw taboru, energii i paliw, robocizny związanej z transportem, utrzymania i napraw zbiorników wyrównawczych.

Nakłady inwestycyjne równe są nakładom na poszerzenie wyrobisk, budowę torów i sieci trakcyjnej, zakup taboru, budowę zbiorników wyrównawczych, budowę urządzeń zasilania lub stacji paliwowych.

j) Parametry podlegające optymalizacji:

1) rodzaj trakcji
2) typ lokomotywy
3) rodzaj wozów
4) liczba wozów w składzie pociągów
5) prędkość jazdy pociągu
6) schemat organizacji transportu
7) sposób organizacji ruchu
8) pojemność zbiorników wyrównawczych
9) długość torów postojowych.

k) Ograniczenia techniczne parametrów podlegających optymalizacji

1) wybór rodzaju trakcji uzależniony jest od zadań wydobywczych, długości tras transportowych, warunków gazowych poziomu, warunków geologicznych i innych.
2) maksymalna liczba punktów załadowczych powinna być mniejsza od 15,
3) maksymalna liczba tras na poziomie wydobywczym powinna być mniejsza od 15,
4) maksymalna liczba odcinków na danej trasie powinna być mniejsza od 15,
5) maksymalna ilość mijanek na danej trasie nie może być większa od pięciu,
6) przy ruchu pociągów na zasadzie pojemności, ilość wozów w składzie pociągu jest stała.

   Podczas ruchu pociągów na zasadzie rozkładu jazdy, ilość wozów w składzie pociągu może być zmienna przy zachowaniu prawa symetrii, tzn. z podszybia wysyłamy jednorazowo tyle wozów pustych ile wozów pełnych dostarczono do podszybia ostatnim pociągiem,

7) możliwość stosowania wozów o określonej pojemności jest ograniczona następującymi względami technicznymi; minimalna pojemność wozu zależy od wydajności urządzeń załadowczych przelotowych i opróżniających, od czasu manewrowania, od przepustowości tras, podszybia i stacji załadowczej; maksymalna pojemność wozu zależy od warunków geologicznych.

8) ilość wozów w składzie pociągu jest ograniczona warunkiem rozruchu pociągu, warunkiem nagrzania silników lokomotywy i warunkiem dopuszczalnej drogi hamowania.

9) prędkość jazdy pociągów ograniczona jest charakterystykami silników napędowych lokomotyw, ilością wozów w składzie pociągu, stanem torowisk, przepustowością tras przewozowych.

II. Parametry główne i warianty główne. Oznaczenia

Środki transportu, schemat organizacji transportu, sposób organizacji ruchu, rodzaje zbiorników wyrównawczych, rodzaje lokomotyw i rodzaje wozów nazywać będziemy parametrami głównymi, a pozostałe krótko parametrami.

Wprowadzamy następujące oznaczenia dla parametrów głównych.

1) Środki transportu

T_{ep} - trakcja elektryczna przewodowa

T_{ea} - trakcja elektryczna akumulatorowa

T_s - trakcja spalinowa

T_p - trakcja sprężonego powietrza

2) Schemat organizacji transportu

G - gwiaździsty

W - wielostopniowy

M - mieszany

3) Sposób organizacji ruchu

Sp - zasada pojemności

Sr - zasada rozkładu jazdy

Sd - zasada dyspozycji

Spz - pociągi zbiorcze

4) Rodzaj zbiorników wyrównawczych

Zo - bez zbiorników wyrównawczych

Zp - zbiornik wyrównawczy na podszybiu

Zz - zbiorniki wyrównawcze na punktach załadowczych

Zzp - zbiorniki wyrównawcze na stacjach załadowczych i na podszybiu.

5) Rodzaje lokomotyw

$Ep_1, Ep_2 \ldots, Ep_{k1}$ - elektrowozy przewodowe

$Ea_1, Ea_2, \ldots, Ea_{k2}$ - " akumulatorowe

$Ls_1, Ls_2 \ldots, Ls_{k3}$ - " lokomotywy spalinowe

$Lp_1, Lp_2 \ldots, Lp_{k4}$ - lokomotywy powietrzne

6) Rodzaje wozów

$$W^{(1)}_{Ep_i}, \quad W^{(2)}_{Ep_i}, \ldots, W^{(l_i)}_{Ep_i} \qquad (i = 1, 2, \ldots, k_1)$$

wozy możliwe do przyporządkowania i-temu elektrowozowi przewodowemu

$$W^{(1)}_{Ea_i}, \quad W^{(2)}_{Ea_i}, \ldots, W^{(m_i)}_{Ea_i} \qquad (i = 1, 2, \ldots, k_2)$$

wozy odpowiadające i-temu elektrowozowi akumulatorowemu

$$W^{(1)}_{Lp_i}, \quad W^{(2)}_{Lp_i}, \ldots, W^{(S_i)}_{Lp_i} \qquad (i = 1, 2, \ldots, k_4)$$

wozy odpowiadające i-tej lokomotywie powietrznej

$$W^{(1)}_{Ls_i}, \quad W^{(2)}_{Ls_i}, \ldots, W^{(r_i)}_{Ls_i} \qquad (i = 1, 2, \ldots, k_3)$$

wozy odpowiadające i-tej lokomotywie spalinowej.

Definicje

Wariantem głównym nazywać będziemy każdą piątkę parametrów zawierającą jednoznacznie określone: schemat organizacji transportu, sposób organizacji ruchu, rodzaj zbiorników wyrównawczych, rodzaj i typ lokomotywy, oraz odpowiadający jej typ wozu.
Wariant główny oznaczać będziemy literą W podając w nawiasie parametry wchodzące w jego skład np.

$W\ (M,\ Sd,\ Zzp,\ Ep_2,\ W^{(3)}_{Ep_2}$ oznacza wariant główny w skład którego wchodzą parametry:
schemat organizacji transportu - mieszany
sposób organizacji ruchu - zasada dyspozycji
rodzaj zbiorników wyrównawczych - zb. wyrównawcze na punktach załadowczych i na podszybiu.
rodzaj i typ lokomotywy - elektrowóz przewodowy nr - 2, typ wozu odpowiadający elektrowozowi Ep_2 - wóz nr 3.
Dwa warianty różniące się między sobą co najmniej jednym parametrem uważać będziemy za różne.
Ilość wariantów głównych równa jest

$$48\ \left(\sum_{i=1}^{k_1} l_i + \sum_{i=1}^{k_2} m_i + \sum_{i=1}^{k_3} r_i + \sum_{i=1}^{k_4} S_i\right)$$

W danym układzie transportowym ilość wariantów głównych jest znacznie mniejsza, decydują o tym ograniczenia techniczne oraz to, że niektóre parametry główne występują praktycznie bardzo rzadko.

III. Pojęcie wariantu głównego zoptymalizowanego

Rozważamy ustalony wariant główny w okresie N lat gdzie N może np. oznaczać żywotność poziomu.

Parametrami podlegającymi optymalizacji wewnątrz wariantu głównego są:

1) ilość wozów na danym poziomie wydobywczym
2) ilość lokomotyw na danym poziomie wydobywczym
3) pojemność zbiorników wyrównawczych na danym poz. wydobywczym
4) długość torów postojowych na danym poziomie wydobywczym.

Jako kryterium optymalizacyjne przyjmiemy minimalizację sumy kosztów eksploatacji i nakładów inwestycyjnych w okresie N-lat ze względu na wymienione wyżej parametry.

Definicja:

Wariant główny, będziemy nazywać zoptymalizowanym jeśli znane są wartości optymalne parametrów podlegających optymalizacji w tym wariancie wg przyjętego kryterium (jest rzeczą oczywistą, że nie mogą to być parametry główne).

Definicja

Wariantem optymalnym nazywamy ten spośród wariantów głównych zoptymalizowanych, któremu odpowiada najmniejsza suma kosztów eksploatacji i nakładów inwestycyjnych.

IV. Budowa ogólnego modelu matematycznego optymalizacji transportu kołowego poziomego w kopalni z punktu widzenia jednego roku eksploatacji

Parametry podlegające optymalizacji w danym wariancie głównym są zmiennymi decyzyjnymi. Uzasadnione jest więc wprowadzenie następujących oznaczeń:

x_1 - ilość wozów na danym poziomie wydobywczym w pierwszym roku eksploatacji

x_2 - ilość lokomotyw na danym poziomie wydobywczym w pierwszym roku eksploatacji

x_3 - ilość jednostek w m^3 zbiorników wyrównawczych na danym poziomie wydobywczym w pierwszym roku eksploatacji.

x_4 - ilość jednostek długości w metrach bieżących torów postojowych na danym poziomie wydobywczym w pierwszym roku eksploatacji.

Zmienne x_i $(i = 1, 2, 3, 4)$ będące liczbowym wyrażeniem parametrów podlegających optymalizacji w danym wariancie głównym występować będą w niżej podanym modelu jako zmienne niezależne.

Inne wielkości odgrywające istotną rolę przy optymalizacji jak np. ilość wagonów w składzie pociągu, prędkość pociągu itp. mogą i powinny być wyznaczone za pomocą tych zmiennych.

Ograniczenia techniczne ujęte w zależności analityczne określą zbiór rozwiązań dopuszczalnych.

W celu zbudowania funkcji kosztów inwestycji i eksploatacji dla pierwszego roku eksploatacji danego poziomu wydobywczego wprowadzamy dalsze oznaczenia:

I_1, I_2, I_3, I_4 - koszty jednostkowe inwestycji związane odpowiednio ze zmiennymi $x_1, \ldots, x_4$

a_1, a_2, a_3, a_4 - jednostkowe koszty amortyzacji związane odpowiednio ze zmiennymi $x_1, \ldots, x_4$

e_1, e_2, e_3, e_4 - jednostkowe koszty eksploatacji związane odpowiednio ze zmiennymi $x_1, \ldots, x_4$

Przy tych oznaczeniach funkcja kosztów inwestycji i eksploatacji dla pierwszego roku eksploatacji danego poziomu wydobywczego ma postać:

$$K_1 = (I_1 + a_1 + e_1)\, x_1 + (I_2 + a_2 + e_2)\, x_2$$

$$+ (I_3 + a_3 + e_3)\, x_3 + (I_4 + a_4 + e_4)\, x_4$$

Sensowne określenie wyżej wymienionych trzech typów kosztów jednostkowych dla zmiennych x_1, x_2, x_3, x_4 wymaga dłuższej analizy i współpracy z ekonomistami.

Mając tak zbudowaną funkcję kryterium i obszar rozwiązań dopuszczalnych będziemy mogli znaleźć rozwiązanie optymalne z punktu widzenia jednorocznej eksploatacji danego poziomu wydobywczego. Stosować trzeba będzie metody programowania nieliniowego jako, że niektóre zmienne decyzyjne występować będą w pewnych ograniczeniach nieliniowo.

Jeśli chodzi o obszar rozwiązań dopuszczalnych pewne ograniczenia są znane. Przykładowo: n-ilość wozów w składzie pociągu jest równa

$$n = \frac{x_1(1 - q_1)}{x_2(1 - p_2)}$$

gdzie:

x_1 - ilość wozów na danym poziomie wydobywczym w pierwszym roku eksploatacji.

x_2 - ilość lokomotyw na danym poz. wydob. w pierwszym roku eksploatacji.

p_2 i q_1 - są przyjętymi współczynnikami rezerwy.

Z drugiej strony liczba wozów w składzie pociągu jest ograniczona z góry:

1) warunkiem rozruchu pociągu pełnego

$$n \leqslant \frac{1000\ G_1}{(110\ pj + r + i)(G + Go)} - \frac{G_1}{G + Go}$$

gdzie:

G_1 - ciężar lokomotywy

Go - ciężar wozu

G - ładowność wozu

μ - współczynnik przyczepności

r - jednostkowy opór trakcji podczas rozruchu

pj - przyspieszenie rozruchu

i - średni upad trasy

2) warunkiem nagrzania silników lokomotywy

3) warunkiem dopuszczalnej długości drogi hamowania.

Ograniczenie z góry na prędkość jazdy pociągu wynika z charakterystyk silników napędowych lokomotywy, stanu torowisk, przepustowości tras przewozowych i liczby wozów w składzie pociągu.

Powyższe ograniczenia podane zostały częściowo w opracowaniu BSiT w Katowicach. Żeby podać cały zbiór ograniczeń niezbędna jest współpraca matematyków, inżynierów i ekonomistów.

V. Budowa dynamicznego modelu optymalizacji transportu kołowego z punktu widzenia N-letniej eksploatacji danego poziomu wydobywczego

Ze względu na zmieniające się w czasie między innymi wydobycie węgla na danym poziomie wydobywczym oraz ilość i lokalizacja punktów wydobywczych, zmienne decyzyjne x_i zmieniają się również w czasie.

Rozwiązanie optymalne z punktu widzenia jednorocznej eksploatacji nie będzie optymalne z punktu widzenia N-letniej eksploatacji. W związku z powyższym zachodzi potrzeba budowy dynamicznego modelu optymalizacji.

Wobec powyższego oznaczamy przez:

$$x_{ij} \quad \begin{pmatrix} i = 1, 2, 3, 4 \\ j = 1, 2, 3, \ldots, N \end{pmatrix}$$

Wartość liczbowa i-tej zmiennej w j-tym roku eksploatacji.

Otrzymujemy w ten sposób następującą macierz zmiennych decyzyjnych

$$X = \left[x_{ij}\right] \quad \begin{matrix}(i = 1, 2, 3, 4. \\ j = 1, 2, \ldots, N)\end{matrix}$$

Oznaczając przez

$$I_{ij} \quad \begin{matrix}(i = 1, 2, 3, 4, \\ j = 1, 2, \ldots, N)\end{matrix}$$

jednostkowe koszty inwestycji związane ze zmienną x_{ij} otrzymujemy macierz kosztów jednostkowych inwestycji

$$I = \left[I_{ij}\right] \quad \begin{matrix}(i = 1, 2, 3, 4, \\ j = 1, 2, \ldots, N)\end{matrix}$$

Analogicznie oznaczamy przez

$$a_{ij} \quad \begin{matrix}(i = 1, 2, 3, 4, \\ j = 1, 2, \ldots, N)\end{matrix}$$

jednostkowe koszty amortyzacji związane ze zmienną x_{ij}

$$e_{ij} \quad \begin{matrix}(i = 1, 2, 3, 4, \\ j = 1, 2, \ldots, N)\end{matrix}$$

jednostkowe koszty eksploatacji związane z i-tą zmienną
Otrzymujemy odpowiednio

$$A = \left[a_{ij}\right] \quad \begin{matrix}(i = 1, 2, 3, 4, \\ j = 1, 2, \ldots, N)\end{matrix}$$

macierz kosztów amortyzacji i

$$E = \left[e_{ij}\right] \quad \begin{matrix}(i = 1, 2, 3, 4, \\ j = 1, 2, \ldots, N)\end{matrix}$$

macierz jednostkowych kosztów ekspl.

Funkcja kryterium przyjmie postać:

$$K_N = \sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{4} \left[I_{ij}(x_{ij} - x_{ij-1}) + a_{ij}x_{ij} + e_{ij}x_{ij} \right]$$

gdzie:

$$x_{10} = x_{20} = x_{30} = x_{40} = 0.$$

Ponieważ 1 zł po n-latach ma obecnie wartość $\frac{1}{(1+s)^n}$, gdzie s oznacza stopę procentową więc zaktualizowane wydatki na inwestycje, amortyzację i eksploatację przy założeniu stałych cen w rozważanym okresie n-lat mamy

$$I_{ij} = \frac{I_i}{(1 + s)^j}$$

$$a_{ij} = \frac{a_i}{(1 + s_i)^j}$$

$$e_{ij} = \frac{e_i}{(1 + s)^j}$$

gdzie:

s - stopa procentowa,

s_i - stopa amortyzacyjna dla i-tej zmiennej.

Wobec powyższego funkcja kryterium przyjmie postać:

$$K_N = \sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{4} \left[\frac{1}{(1+s)^j} I_{ij}(x_{ij} - x_{ij-1}) + \frac{a_i}{(1+s_i)^j} x_{ij} + \frac{e_i}{(1+s)^j} x_{ij} \right]$$

gdzie:

$$x_{10} = x_{20} = x_{30} = x_{40} = 0.$$

W poszczególnych latach kształt ograniczeń dla obszaru rozwiązań dopuszczalnych nie ulegnie zmianie, natomiast zmienią się tylko dane liczbowe dla współczynników technicznych, które występują w tych ograniczeniach.

Ta uwaga upoważnia nas do twierdzenia, że stosując metody programowania dynamicznego będziemy umieli wyznaczyć macierz zmiennych decyzyjnych, o ile tylko potrafimy rozwiązać ten problem z punktu widzenia pierwszego roku eksploatacji danego poziomu wydobywczego.

Wnioski

W celu wykorzystania dotychczasowych badań w pewien kompleksowy sposób i osiągnięcia efektów ekonomicznych stąd płynących należałoby:

1) Zbudować w pełni dynamiczny obszar rozwiązań dopuszczalnych na podstawie analizy zależności technicznych, którymi związane są parametry podlegające optymalizacji.
2) Zbudować macierz kosztów jednostkowych inwestycji, amortyzacji i eksploatacji na okres n-letniej eksploatacji poziomu wydobywczego.
3) Opracować w oparciu o metody programowania nieliniowego i dynamicznego algorytmy pozwalające rozwiązać dynamiczny model optymalizacji transportu kołowego.
4) Opracować programy dla maszyn cyfrowych i rozwiązać konkretny model dla ustalonej kopalni.
5) Każdy z wymienionych etapów może być samodzielnym tematem jednak realizacja tychże etapów musi być ukierunkowana i kontrolowana przez jednoosobowe kierownictwo.

LITERATURA

[1] Studium nad założeniami i wytyczne do prac optymalizacyjnych poziomego transportu dołowego. Opracowanie Biura Studiów i Typizacji, Katowice 1968 r.

[2] Obliczanie dołowej trakcji elektrycznej przy pomocy M.C."Odra" Opracowanie Biura Studiów i Typizacji Katowice 1968 r.

[3] Wolski J., Pogonowski T. - Projektowanie optymalnej wielkości i modelu głębinowej kopalni węgla kamiennego. Gliwice 1958 r.

[4] Lange O. - Optymalne decyzje, Warszawa 1964 r.

[5] Bellman R., Dreyfus S. - Programowanie dynamiczne. Warszawa 1967 r.

[6] Bellman R. - Dynamic Programming. Prince ton 1957 r.Prince ton Univ. Pres..

СТРОЕНИЕ ОБЩЕЙ МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПТИМАЛЬНОСТИ КОЛЁСНО-ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В ШАХТЕ КАМЕННОГО УГЛЯ

Р е з ю м е

В работе проблема оптимальности решается смешанным методом, т.е. вариация по отношению к так называемым главным параметрам с одной стороны и оптимализация главных вариантов методами динамического программирования с другой стороны.

В качестве оптимализационного критерия принимается минимализация суммы стоимости эксплуатации и затрат инвестиции.

Для полного решения проблемы не достаёт некоторых аналитических зависимостей определяющих состав допускаемых решений.

THE STRUCTURE OF A GENERAL MATHEMATICAL MODEL OF THE OPTIMATION OF THE HORIZONTAL WHEEL-TRANSPORT IN COAL MINES

S u m m a r y

The paper discusses the problem of optimation, solving it by means of a compound method, i.e. by finding the variants with respect to the so-called main parameters on the one hand, and by optimizing the main variants making use of dynamic programming methods on the other.

As the optimizing criterion there has been accepted the minimizing of the sum of both the exploitation costs and the costs of investments.

In order to solve this problem fully it is still necessary to find certain analytical interdependencies determining the set of admissible solutions.