

Bibliography (transliterated): 1. Janjutin, Je. G., et al. *Zadachi impul'snogo deformirovanija elementov konstrukcij*. Kharkov: KhNADU, 2004. Print. 2. Kohmanjuk, S. S., Je. G. Janjutin and L. G. Romanenko. *Kolebanija deformirujemih sistem pri impul'snih i podvizgnih nagruzkah*. Kiev: Naukova Dumka, 1980. Print. 3. Grigoljuk, E. I., and I. T. Selezov. *Neklasicheskie teorii kolebanija sterzhnej, plastin i obolochek*. Moscow: VINITI, 1973. Print. 4. Bronshtejn, I. N., and K. A. Semendjajev. *Spravochnik po matematike dlja inzhenerov i uchashhihsja vtuzov*. Moscow: Nauka. Glavnaja redakcija fiziko-matematicheskoy literatury, 1981. Print.

Надійшла (received) 06.10.2014

УДК 656.073:622.611

І.В. КОЗИНА, канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «НГУ», Дніпропетровськ

АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДОПОМІЖНИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ У ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ

Вирішуються питання розробки математичної моделі переміщення транспортних засобів при мінімальних витратах енергії для доставлення необхідних матеріалів і устаткування з окоlostвольного двору до вибоїв шахт або перекидання їх з одного вибою в інший. Математична модель запропонована на основі методу Флойда-Уоршелла знаходження найкоротших шляхів за умови зміни характеристики траси і обсягів вантажів, що доставляються в підготовчі вибої вугільних шахт. Для порівняння результатів моделювання за методом Флойда-Уоршелла виконано розрахунок маршруту доставки вантажів з урахуванням його фізичних властивостей на основі методу Декстри. Зроблено висновки і виконано аналіз відповідних варіантів і схем транспортування для знаходження оптимального маршруту на основі відповідних методів.

Ключові слова: транспортування матеріалів та обладнання, підготовчі вибої шахт, допоміжні вантажопотоки, управління процесами транспорту.

Вступ і аналіз останніх досліджень. Одними з основних причин, що впливають на продуктивність підземного видобутку корисної копалини, є експлуатаційні характеристики транспортних засобів і системи транспортних служб.

Недостатньо гнучке управління процесами транспортування шахтних вантажопотоків знижує продуктивність вугледобувних підприємств.

Значним елементом системи управління вугільної шахти є підсистема диспетчерського управління, яка забезпечує ефективність контролю процесів доставки внутрішньошахтних вантажопотоків.

Автоматизовані системи диспетчерського управління сучасних шахт дозволяють застосовувати транспортну модель при розгляді низки практичних ситуацій, наявних в компетенції гірничого диспетчера.

У результаті виконання аналізу алгоритмів автоматизованих систем диспетчерського управління вугільних шахт та існуючих моделей управління процесами доставки вантажів внутрішньошахтним транспортом у підготовчі вибої було виявлено, що більшість з них не дозволяють враховувати всього

© І. В. Козіна, 2014

різноманіття технологічних і організаційних зв'язків між окремими виробничими службами вугільної шахти. Це, у свою чергу, викликає затримку на їх виконання і непередбачені простой [1].

Мета статті та постановка проблеми. Метою дослідження є порівняльний аналіз математичних моделей при процесах управління транспортними вантажопотоками в умовах стабільності та зміни пріоритетів обслуговування.

Для її дослідження необхідно розробити методику оперативного управління маршрутом доставки допоміжних матеріалів, що враховує технологічні й організаційні зв'язки між окремими виробничими ділянками і службами вугільної шахти та підвищує продуктивність вугледобувних підприємств.

Алгоритм управління. Запропоновано алгоритм для вдосконалення автоматизованої системи диспетчерського управління вугільної шахти на основі алгоритму Флойда-Уоршелла. Інформаційно-розрахункові процедури алгоритму використовують математичні моделі, за допомогою яких виконується оперативне управління маршрутом доставки допоміжних матеріалів у підготовчі вибої [2].

Як критерій оптимізації за умови зміни характеристики маршруту й обсягу вантажу, який необхідно перевезти допоміжним транспортом у підготовчі вибої транспортної схеми, слід приймати мінімальні сумарні витрати енергії [3]:

$$E_{ij} = 0,278 \cdot 10^{-6} \left(F_{x.cT_{ij}} + F_{p.cT_{ij}} \right) \cdot \left(l_{p_{ij}} - l_m \right) \rightarrow \min ,$$

де 0,278 – коефіцієнт, який переводить механічну роботу (Н·м) в електричну (кВт·год); $F_{x.cT_{ij}}$, $F_{p.cT_{ij}}$ – сталі значення сили тяги електровоза відповідно при холостому (порожньому) і робочому (з вантажем) ходах, Н; l_m – відстань маневрування електровоза на кінцевих пунктах транспортування, м; $l_{p_{ij}}$ – довжина маршруту в одному напрямку, м.

Результат моделювання алгоритму управління. На основі алгоритму виконано імітаційне моделювання управління процесами доставки вантажів у підготовчі вибої вугільних шахт на прикладі схеми транспортування для вибоїв «23, 25, 26, 27, 28» (рис. 1).

З урахуванням витрат енергії локомотива для доставки матеріалів у вибої (табл. 1) проаналізовано рух завантаженого локомотива до підготовчих вибоїв вугільних шахт за ідеальних умов ($i_{c_{i,j}} = 5\%$ – питомий опір руху від ухилу шляху).

Як параметр d_{ij} прийнято розрахунок енергії локомотива. Матриця D_0 симетрична. Для схеми транспортування «23, 25, 26, 27, 28» у матриці S_0 виділені рядок $k=1$ і стовпець $k=1$ як *провідні* (табл. 1).

Проміжний розрахунок наведено в табл. 2, 3.

У результаті отримали матриці D_3 і S_3 , що наведені в табл. 4.

При значеннях $k = 4$ і $k = 5$ дії більше не виконуються, обчислення закінчено. Матриці D_3 і S_3 містять повну інформацію для визначення маршрутів між відповідними підготовчими вибоями вугільних шахт. Таким чином, енергія, що витрачається при доставці вантажопотоків на даному маршруті, склала 27,41 кВт·год.

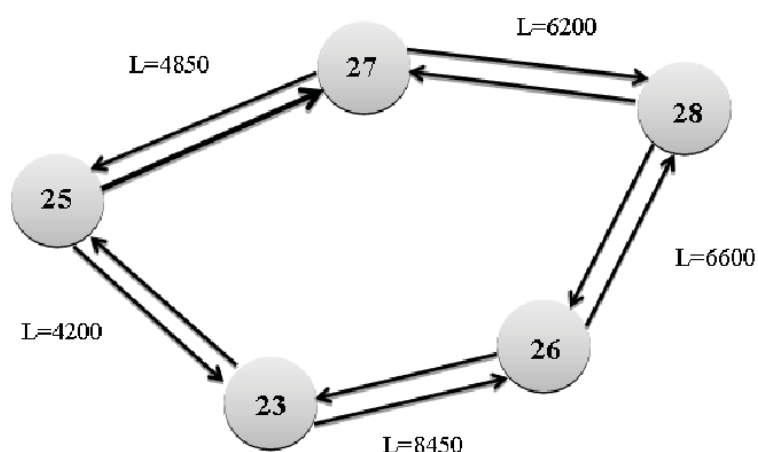


Рис. 1 – Схема транспортування для вибоїв « 23, 25, 26, 27, 28 ».

Таблиця 1 – Початкові дані

Матриця D_0							Матриця S_0						
		23	25	27	26	28			23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
23	1	-	7,11	∞	8,02	∞	23	1	-	2	3	4	5
25	2	7,11	-	8,73	∞	∞	25	2	1	-	3	4	5
27	3	∞	8,73	-	∞	11,58	27	3	1	2	-	4	5
26	4	8,02	∞	∞	-	12,39	26	4	1	2	3	-	5
28	5	∞	∞	11,58	12,39	-	28	5	1	2	3	4	-

Таблиця 2 – Матриці D_1 і S_1 . Проміжний розрахунок

Матриця D_1							Матриця S_1						
		23	25	27	26	28			23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
23	1	-	7,11	∞	8,02	∞	23	1	-	2	3	4	5
25	2	7,11	-	8,73	15,12	∞	25	2	1	-	3	1	5
27	3	∞	8,73	-	∞	11,58	27	3	1	2	-	4	5
26	4	8,02	15,12	∞	-	12,39	26	4	1	1	3	-	5
28	5	∞	∞	11,58	12,39	-	28	5	1	2	3	4	-

Далі проаналізовано рух завантаженого локомотива до підготовчих вибоїв вугільних шахт з урахуванням зміни фізичних характеристик маршрутів. Обчислення аналогічні попереднім. Первинний розрахунок наведено в табл. 5.

Таблиця 3 – Матриці D_2 і S_2 Проміжний розрахунок

Матриця D_2							Матриця S_2						
		23	25	27	26	28			23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
23	1	-	7,11	15,83	8,02	∞	23	1	-	2	2	4	5
25	2	7,11	-	8,73	15,12	∞	25	2	1	-	3	1	5
27	3	15,83	8,73	-	23,85	11,58	27	3	2	2	-	2	5
26	4	8,02	15,12	23,85	-	12,39	26	4	1	1	2	-	5
28	5	∞	∞	11,58	12,39	-	28	5	1	2	3	4	-

Таблиця 4 – Матриці D_3 і S_3 Остаточний розрахунок

Матриця D_3							Матриця S_3						
		23	25	27	26	28			23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
23	1	-	7,11	15,83	8,02	27,41	23	1	-	2	2	4	3
25	2	7,11	-	8,73	15,12	20,31	25	2	1	-	3	1	3
27	3	15,83	8,73	-	23,85	11,58	27	3	2	2	-	4	5
26	4	8,02	15,12	23,85	-	12,39	26	4	1	1	2	-	5
28	5	27,41	20,31	11,58	12,39	-	28	5	1	2	3	4	-

Таблиця 5 – Початкові дані

Матриця $D_1^{0'}$							Матриця $S_1^{0'}$						
		23	25	27	26	28			23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
23	1	-	9,42	∞	24,36	∞	23	1	-	2	3	4	5
25	2	3,95	-	11,40	∞	∞	25	2	1	-	3	4	5
27	3	∞	4,61	-	∞	15,36	27	3	1	2	-	4	5
26	4	8,10	∞	∞	-	19,59	26	4	1	2	3	-	5
28	5	∞	∞	6,009	6,13	-	28	5	1	2	3	4	-

У результаті розрахунку отримані матриці D_3' і S_3' (табл. 6); значення витраченої енергії для доставки допоміжних матеріалів і устаткування складало 36,18 кВт·год і відповідно схема маршруту $23 \rightarrow 25 \rightarrow 27 \rightarrow 28$.

При D_3' і S_3' більше дії не виконуються, обчислення закінчені. Матриці містять повну інформацію для визначення маршрутів між відповідними підготовчими вибоями вугільних шахт.

Таблиця 6 – Матриці D'_3 и S'_3 . Остаточний розрахунок

Матриця D_3'								Матриця S_3'						
		23	25	27	26	28			23	25	27	26	28	
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
23	1	-	9,42	20,82	24,36	36,18		23	1	-	2	2	4	3
25	2	3,95	-	11,40	28,31	26,76		25	2	1	-	3	1	3
27	3	8,56	4,61	-	32,92	15,36		27	3	2	2	-	2	5
26	4	8,10	17,52	28,92	-	19,59		26	4	1	1	2	-	5
28	5	14,56	10,61	6,009	6,13	-		28	5	3	3	3	4	-

Поиск оптимального пути:

Граф содержит 5 вершин(ы)

Введите стартовую вершину:

Введите значения длин ребер графа

a1-1=	<input type="text" value="0"/>	a1-2=	<input type="text" value="9.79"/>	a1-3=	<input type="text" value="21.4"/>	a1-4=	<input type="text" value="24.78"/>	a1-5=	<input type="text" value="37.54"/>
a2-1=	<input type="text" value="3.95"/>	a2-2=	<input type="text" value="0"/>	a2-3=	<input type="text" value="11.6"/>	a2-4=	<input type="text" value="28.73"/>	a2-5=	<input type="text" value="27.74"/>
a3-1=	<input type="text" value="8.47"/>	a3-2=	<input type="text" value="4.52"/>	a3-3=	<input type="text" value="0"/>	a3-4=	<input type="text" value="33.25"/>	a3-5=	<input type="text" value="16.14"/>
a4-1=	<input type="text" value="7.97"/>	a4-2=	<input type="text" value="17.77"/>	a4-3=	<input type="text" value="29.37"/>	a4-4=	<input type="text" value="0"/>	a4-5=	<input type="text" value="20.37"/>
a5-1=	<input type="text" value="14.56"/>	a5-2=	<input type="text" value="10.61"/>	a5-3=	<input type="text" value="6.085"/>	a5-4=	<input type="text" value="6.17"/>	a5-5=	<input type="text" value="0"/>

Рис. 2 – Вхідні дані для розрахунку схеми транспортних виробок «11–8–9–19–16» методом Дейкстри.

З схеми транспортування (рис. 1) у вибій «23» і у вибій «28» можна також потрапити через вершину «26». Довжина маршрутів $23 \rightarrow 25 \rightarrow 27 \rightarrow 28$ і $23 \rightarrow 26 \rightarrow 28$ складає відповідно 15250 і 15050 м. Енергія, використовувана при транспортуванні вантажопотоків по маршруту $23 \rightarrow 26 \rightarrow 28$, складає 43,95 кВт·год. Таким чином, отримали два маршрути: один з них менший за довжиною, але енергії при його використанні витрачається більше, інший – більший за довжиною, і кількість енергії – менша. Але враховуючи те, що процес доставки вантажопотоків відбувається в динамічному режимі, з постійним переміщенням місця виконання основних виробничих операцій, то знаходження лише мінімумів відстаней між підготовчими вибоями в шахтних умовах не завжди виправдано. Отже, вибираємо маршрут з меншою кількістю витраченої енергії, тобто маршрут $23 \rightarrow 25 \rightarrow 27 \rightarrow 28$.

Порівняльні розрахунки та висновки. Для порівняння з методом Флойда-Уоршелла в [4] було виконано розрахунок маршруту доставки вантажів з урахуванням його фізичних властивостей на основі методу Дейкстри для схеми транспортування «11–8–9–19–16» (рис. 2).

Виконувався розрахунок для схеми «11–8–9–19–16». В обох випадках при організації процесів доставки вантажів отримали однакове значення

енергії, що витрачається при транспортуванні, відповідно 37,54 кВт·год.

Але враховуючи специфіку роботи вугільної шахти, де матеріали можуть перекидатися з одного підготовчого вибою в інший, у разі їх дефіциту, метод Флойда-Уоршелла дозволяє проаналізувати кілька разів одну і ту ж вершину, що є важливим чинником у даному випадку.

Запропонований метод дозволяє спростити схеми доставки допоміжних вантажопотоків, а також скоротити дорогі транспортні процеси.

У результаті експериментів встановлено, що при знаходженні оптимального маршруту руху локомотиву до підготовчих вибоїв необхідно вибирати той маршрут, на якому кількість енергії, що витрачається, буде менша. Тому що при розв'язанні поставленої задачі не завжди короткий маршрут виявляється оптимальним, враховуючи специфічні характеристики маршрутів. Математична модель знаходження найкоротших маршрутів за умови зміни характеристики траси й обсягів вантажів, що доставляються в підготовчі вибої вугільних шахт, дозволяє економити енергію локомотива в 1,2 рази та відповідно підвищити продуктивність вугледобувного підприємства у цілому.

Список літератури: 1. Нильва Э.Э., Цейтин И.Э. Горно-подготовительные работы на угольных шахтах. – М.: Недра, 1981. – 280 с. 2. Козина И. В. Математическое моделирование процессов функционирования вспомогательного транспорта шахт: дис...канд. техн. наук: 01.05.02; защищена 26.12.12; утв. 25.04.13 / И.В. Козина – Днепропетровск: НМетАУ, 2012. – 155 с. 3. Розрахунок шахтного локомотивного транспорту: навч. посіб. / О.О. Ренгевич, О.М. Коптовець, П.А. Дьячков та ін. – Д: Національний гірничий університет, 2007. – 83 с. 4. Козина И.В. Обгрунтовання параметрів транспортно-технологічних схем управління вантажопотоками вугільних шахт / И.В. Козина // Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 109. – С. 150 – 157.

Bibliography (transliterated): 1. Nil'va, E. E. *Gorno-podgotovitel'nye raboty na ugol'nyh shahtah*. Moscow: Nedra, 1981. Print. 2. Kozina, I. V. *Matematicheskoe modelirovanie processov funkcionirovaniya vspomogatel'nogo transporta shaht*. Dis. ... kand. tehn. nauk. Dnepropetrovsk. 2013. Print. 3. Rengevych, O. O., et al. *Rozrahunok shahtnogo lokomotyvnoho transportu: navch. posib*. Dnepropetrovsk: NGU, 2007. Print. 4. Kozina, I. V. "Obgruntuvannya parametriv transportno-tehnologichnykh schem upravlinnja vantazhopotokamy vugil'nyh shaht." *Mezhved. sb. nauchnykh trudov.: Geotekhnicheskaja mehanika*. Dnepropetrovsk, 2013. 150 – 157 Print.

Надійшла (received) 07.10.2014

УДК 622.625.28-592.112(043.5)

А.Н. КОПТОВЕЦ, д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «НГУ»,
Днепропетровск

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТОРМОЗА С КОНТАКТНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ ФРИКЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ

© А. Н. Коптовец, 2014