

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
"НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ"



І.В. Козіна

**ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ  
ДОПОМІЖНИМИ ВАНТАЖОПОТОКАМИ  
ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

**Монографія**

Дніпропетровськ  
НГУ  
2013

УДК 622.62:656.073

ББК 33.16:39.28

К 59

Рекомендовано до видання вченою радою Державного вищого навчального закладу "Національний гірничий університет" (протокол № 11 від 27.11.2013)

**Рецензенти:**

*П.І. Козут*, д-р фіз.-мат. наук, проф., професор кафедри диференціальних рівнянь (Дніпропетровський національний університет ім. О.Гончара);

*В.С. Грін*, д-р техн. наук, завідувач кафедри автомобільного транспорту (Державни вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»).

**Козіна І.В.**

К 59            Оптимізація процесів управління допоміжними вантажопотоками вугільних шахт: монографія / І.В. Козіна; Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2013. – 95 с.

ISBN 978-966-350-448-3

Розглянуті питання оптимізації процесів управління допоміжними вантажопотоками вугільних шахт.

Запропоновано математичні моделі, які застосовуються для вдосконалення автоматизованої диспетчерської системи управління, що використовується на вугільних підприємствах, при транспортуванні матеріалів та устаткування в підготовчі вибої вугільних шахт. Це у свою чергу дозволяє зекономити енергетичні ресурси, які використовуються для доставки допоміжних вантажопотоків.

Розрахована на працівників науково-дослідних інститутів та проектних організацій, діяльність яких пов'язана із шахтним транспортом.

Іл. 25. Бібліогр.: 102.

УДК 622.62:656.073

ББК 33.16:39.28

ISBN 978-966-350-448-3

© І. В. Козіна, 2013

© Державний ВНЗ «НГУ», 2013

## ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВНУТРІШНЬОШАХТНОГО ТРАНСПОРТУ	6
1.1. Організація процесів транспортування матеріальних потоків у вугільній шахті	6
1.2. Підсистеми допоміжного внутрішньошахтного транспорту	17
1.3. Методи прогнозування запасів матеріальних ресурсів у вибоях вугільних шахт	23
РОЗДІЛ 2. ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ УПРАВЛІННІ ПРОЦЕСАМИ ТРАНСПОРТУВАННЯ ШАХТНИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ	27
2.1. Обслуговування горизонтів вугільних шахт експертним оцінюванням	27
2.2. Управління процесами транспортування допоміжних вантажопотоків на основі алгоритму Флойда-Уоршелла	33
2.3 Обґрунтування вибору методу «Гусениця - SSA» для дослідження і прогнозування часового ряду	38
РОЗДІЛ 3. ПРОЦЕСИ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДОПОМІЖНИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	44
3.1. Модель послідовності обслуговування горизонтів вугільних шахт для доставки вантажів	44
3.2. Управління процесами транспортування вантажів з урахуванням характеристики траси	51
3.3 Прогнозування часового ряду і його складових при оперативній обробці матеріальних потоків у забоях вугільних шахт	60
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДОСТАВКИ ВНУТРІШНЬОШАХТНИМ ТРАНСПОРТОМ	70
4.1. Моделювання процесів транспортування допоміжних вантажопотоків	70
4.2. Оцінка ефективності прогнозування часового ряду на основі методу «Гусениця - SSA»	73
4.3. Підвищення економічної ефективності при процесах транспортування шахтних вантажопотоків	79
ВИСНОВКИ	85
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	87

## ВСТУП

Виробнича потужність вугільних шахт і ритмічна їх робота досягається своєчасним забезпеченням фронту очисних робіт. Підготовка й введення в експлуатацію нових лав вимагає чіткої координації гірничо-підготовчих робіт, безперебійної роботи підземного транспорту й оперативної роботи диспетчерської служби шахти.

Правильний вибір структури й форми диспетчеризації, а також автоматизація роботи диспетчера шахти для здійснення оперативного управління й організації виробничих процесів при проведенні виробок, є одним з актуальних завдань ефективного функціонування шахти у цілому. Слід зазначити, що однією з основних підсистем єдиної інтегрованої системи контролю шахти є система оперативно-виробничого управління допоміжними вантажопотоками.

При управлінні процесами транспортування матеріальних вантажопотоків гірничих підприємств передбачається, що плани й графіки роботи шахти вже визначені для вирішення планових завдань. Однак у процесі функціонування шахти виникають випадкові екстремальні ситуації, які змінюють характеристики виробничого процесу, не піддаються систематичному контролю і викликають відхилення від заданих оптимальних умов.

Реалізація процедури доставки вантажопотоків є багатоплановим завданням. Для її рішення необхідно враховувати поточний стан і найближчий розвиток виробничого процесу в усіх технологічних ланках вугільної шахти. При управлінні процесами транспортування вантажопотоків необхідно враховувати також і основні параметри завдання оскільки експлуатація обладнання здійснюється в стиснутому робочому просторі.

Таким чином, не всі існуючі методи математичного моделювання знайшли відповідне застосування у вугільній промисловості через слабку адаптацію до специфічних особливостей вугільних підприємств.

Монографія присвячується вирішенню актуального наукового завдання – розробці й удосконаленню математичних моделей процесів функціонування допоміжного транспорту вугільних шахт при використанні методів математичного моделювання й прогнозування.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні задачі:

- 1 виконати аналіз існуючих методів і математичних моделей процесів доставки вантажів внутрішньошахтним транспортом у підготовчі вибої вугільних шахт;

- 2 розробити математичну модель ефективного вибору послідовності обслуговування вибоїв вугільних шахт для оперативної доставки в них допоміжних матеріалів і обладнання;

- 3 виконати прогноз потреби необхідної кількості матеріалів і обладнання для ефективного функціонування добувних дільниць;

4 розробити методику розрахунків маршруту оптимальної доставки необхідних матеріалів і обладнання при мінімальних витратах енергії з пристовбурного двору до підготовчих вибоїв шахт або переміщення їх з одного вибою в інший.

Проведені в роботі дослідження дозволили одержати наступні нові наукові результати:

- математична модель переміщення транспортних засобів до підготовчих вибоїв, що враховує зміни фізичних властивостей маршруту й обсяг вантажу, базується на методі Флойда-Уоршелла, яка, на відміну від відомих математичних моделей, забезпечує економію енергетичних ресурсів мережі;

- математична модель вибору послідовності обслуговування горизонтів вугільних шахт, основана на базі використання методу аналізу ієрархій, яка, на відміну від відомих, описує процес оперативної доставки допоміжних матеріалів і обладнання, що у свою чергу дозволяє ухвалювати обґрунтовані рішення по роботі внутрішньошахтного транспорту;

- математична модель прогнозування потреби необхідної кількості матеріалів і обладнання виконана на базі непараметричного методу «Гусениця - SSA», що забезпечує, на відміну від відомих, безперебійне функціонування добувних ділянок вугільних шахт.

## РОЗДІЛ 1

### МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВНУТРІШНЬОШАХТНОГО ТРАНСПОРТУ

#### 1.1. Організація процесів транспортування матеріальних потоків у вугільній шахті

Однією із причин, що впливають на продуктивність підземного видобутку корисної копалини, є поліпшення роботи транспортних систем і експлуатаційних характеристик транспортних засобів. У цей час значна увага приділяється питанням вибору результативних транспортних систем гірничих підприємств, які гарантують необхідну пропускну спроможність і, як наслідок цього, ефективність основного виробництва як технологічної системи у цілому. У свою чергу пропускну спроможність транспортування вантажів локомотивами, конвеєрами й канатними підвісними дорогами на вугільних шахтах характеризується їх силовими параметрами, надійністю гальмівних систем і продуктивністю транспортних виробок.

Системи підземного транспорту шахт відрізняються багатоланковістю й на сьогоднішній день є самими енергоємними. Через складність моделювання процесів транспортування шахтних вантажопотоків оперативність їх роботи значною мірою знижується.

Недостатньо гнучке управління і контроль процесів транспортування шахтних вантажопотоків, необґрунтоване збільшення витрат на видобуток вугілля, відсутність можливості своєчасного відновлення та ремонту шахтного обладнання, що використовується для збільшення потенціалу шахти, знижує продуктивність вугледобувних підприємств [13].

Існуючі на цей час засоби і схеми транспорту [14] не завжди забезпечують необхідні темпи проходки і безпеки робіт, оскільки виробничі процеси відбуваються у важкому динамічному режимі, з постійним зсувом місця виконання основних виробничих операцій, які іноді супроводжуються відмовами, що носять випадковий характер.

У роботі [15] відзначено, що довжина виїмкових стовпів у сучасних умовах ведення гірничих робіт досягає 2500 – 3000 м, а довжина лав – 360 м, що у свою чергу суттєво збільшує транспортні витрати при підготовці й відпрацьовуванні запасів.

Незважаючи на велику кількість наукових публікацій в області організації та управління процесами транспортування основних і допоміжних вантажопотоків вугільних шахт, залишається низка невирішених проблем. Недостатньо уваги приділяється впливу імовірнісних факторів і обумовлених ними показників на процеси доставки вантажів і технологічні схеми транспортування у цілому. Як правило, існуючі математичні моделі застосовуються для транспортування



й рівномірності режимів роботи установки, швидкості та довжини переміщення вантажу, типу транспортного засобу, характеристик вантажопотоку, які надходять на транспортну установку.

Таким чином, результатом перетворення вантажопотоку є перетворення двох множин вантажопотоків, які або з'єднуються, або розділяються й взаємодіють між собою на відповідному транспортному засобі:



Рис 1.1. Вихідний принцип формалізації транспортного процесу

$$T[U_{1V}(t); U_{2V}(t) \rightarrow U_U(t + \tau)];$$

$$T[U_V(t) \rightarrow U_{1U}(t + \tau); U_{2U}(t + \tau)].$$

де  $\tau$  – транспортне запізнювання;

$U_V(i)$  – вхідний вантажопотік на  $i$ -ту транспортну установку;

$U_U(i)$  – вихідний вантажопотік з  $i$ -ї транспортної установки;

$t$  – час виконання перетворення вантажопотоку.

У роботах [19, 20] запропоновано математичні моделі процесів переміщення вантажопотоків з очисних вибоїв на транспортний засіб з урахуванням фіксованого інтервалу часу, які не враховують відсутності переміщення вантажопотоку. При оперативному управлінні процесами транспортування, у разі виникнення екстремальних ситуацій, застосовується математична модель розподілу  $t$ -хвилинного вантажопотоку:

$$F_t(z) = P_- + \frac{\alpha}{\beta} (1 - e^{-\beta z}) + P_+ \Phi(z/z_0, \sigma_0)$$

де  $P_-$  – імовірність відсутності навантаження вугілля з лави протягом заданого



інтервалу часу;

$P_- = (1 - k) \exp(-k \cdot \lambda \cdot t / (1 - k))$  – імовірність безперервного навантаження вугілля з лави протягом усього інтервалу часу;

$P_+$  – функція розподілу нормальної випадкової величини з математичним очікуванням  $z_0$  і дисперсією  $\sigma_0^2$ , що характеризує безперервне навантаження вугілля з лави протягом усього інтервалу часу;

$\alpha, \beta$  – параметри зрізаного експонентного закону розподілу кількості вугілля, що надходить із перервами протягом заданого інтервалу часу;

$z$  – кількість основного вантажопотоку, що надходить із лави, т;

$A$  – добова продуктивність, т;  $k$  – коефіцієнт машинного часу добувної машини;

$\lambda^{-1}$  – середня тривалість часу безперервної доставки вугілля з лави, хв;  $T$  – кількість хвилин у робочій добі;

$t$  – час доставки основного вантажопотоку з лави, хв.

Параметри  $\alpha, \beta, z_0, \sigma_0, v$  визначаються у такий спосіб:

$$\alpha = \beta(1 - P_- - P_+) / (1 - \exp(-\beta z_0)); \beta = x(v) / z_0; z_0 = \frac{At}{kT};$$
$$\sigma_0 = 3,3 \sqrt{0,3t + \exp(-0,3t) - 1} \exp\left(-\frac{0,4A}{kT}\right); v = \frac{k(1 - \exp(-\lambda t))}{1 - P_- - P_+}.$$

Для рішення задач оптимізації локомотивного транспорту може бути використаний математичний опис  $t$ -хвилинного вантажопотоку.

Призупинення видобутку основного вантажопотоку, що спричиняє значні матеріальні витрати може бути викликано низкою причин:

- нерівномірністю доставки основного вантажопотоку з вибою;
- складністю взаємодії обладнання очисного вибою й процесів транспортування;

- відсутністю можливості своєчасного відновлення й ремонту транспортних засобів і багато чого іншого.

Одним з варіантів розв'язання такого роду задач є застосування заходів щодо розподілу кількості вантажу в транспортних засобах з використанням методу Монте-Карло (ММК) [21].

Відповідно до методу ММК на проміжку часу  $[t_{1k}, t_{1k} + \Delta t]$  (де  $k = 1, 2, \dots$ ) виконується реалізація  $q_{1k}$  стохастического процесу  $Q_1(t_1, \Delta t)$ :

$$q_{1k} = m_Q + \sum_{d=1}^n c_d y_{k-d+1}$$

де  $m_Q$  – математичне очікування вантажопотоку  $Q_1(t_1, \Delta t)$ ;

$c_d$  – вагомі коефіцієнти;

$y_k$  – програмно реалізовані нормально розподілені з математичним очікуванням, рівним 0, і дисперсією, рівною 1, некорельовані псевдовипадкові числа;  $n$  – кількість доданків, яка забезпечує задану точність обчислення;

$y_k$  – числа, одержувані за допомогою генератора нормальних випадкових чисел.

Коефіцієнти  $c_d$  визначаються наступним чином:

$$\sum_{d=1}^{n-1} c_d c_{d+1} = R_Q(l\Delta t), \quad l = 0, 1, \dots, n-1.$$

Величина основного вантажопотоку, при постійному переміщенні його на транспортному засобі визначається вираженням:

$$q = 0,85\Delta t H_p B_3 v_M \gamma_M (1 - k_{uu}),$$

де  $H_p$  – розрахункова потужність шару;

$B_3$  – ширина захвату виїмкової машини;

$\gamma_M$  – маневрова швидкість подачі виїмкової машини;

$k_{uu}$  – коефіцієнт навантаження шнеком виїмкової машини вугілля при виїманні.

Задачі транспортування шахтних вантажопотоків є багатоплановими і для їх рішення необхідно враховувати поточний стан і найближчий розвиток виробничого процесу у всіх технологічних ланках вугільної шахти, у тому числі й на поверхні шахти.

У роботах [22, 23] вирішена задача перевезення основного вантажопотоку (вугілля) від шахт до збагачувальних фабрик:

$$c = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min (i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n)$$

при обмеженнях:

$$x_{ij} \geq 0, \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq b_j,$$

де  $c$  – загальна вартість усіх перевезень вугілля від шахт до збагачувальних фабрик за добу, грош. од.;

$m$  – кількість шахт;

$n$  – кількість збагачувальних фабрик;

$c_{ij}$  – вартість перевезення 1 т вугілля з  $i$ -ї шахти на  $j$ -ту фабрику, грош. од/т;

$x_{ij}$  – кількість перевезеного вугілля з  $i$ -ї шахти на  $j$ -ту фабрику, т/доба;

$a_i$  – продуктивність  $i$ -ї шахти, т/доба;

$b_j$  – продуктивність  $j$ -ї збагачувальної фабрики, т/доба.

Управління процесами транспортування вантажопотоків у транспортних системах вугільних шахт аргументується обсягом перевезеного вантажу й напрямками його доставки. У роботі [24] розглянута реалізація процесу доставки вантажів від джерела до споживача через проміжні пункти за певними маршрутами, з використанням методу потенціалів.

Для розв'язання цього типу задач установлюють наступні обмеження:

1. При  $d_i = 0$  обсяг вантажу, який прибув в  $i$ -й пункт, дорівнює убутому обсягу вантажу.

2. При  $d_i < 0$  в  $i$ -й пункт доставляється вантаж в обсязі  $d_i$ .

3. При  $d_i > 0$  з  $i$ -го пункту вантаж відправляється в обсязі  $d_i$ ,

де  $d_i$  – інтенсивність вантажопотоків в  $i$ -му пункті (кількість відвантаженого або відправленого вантажу з  $i$ -го пункту).

Введено наступні позначення:  $d_{ij}$  – пропускна здатність відрізка шляху  $(i, j)$ ;  $C_{ij}$  – вартість перевезення одиниці вантажу по відрізковій шляху  $(i, j)$ ;  $X_{ij}$  – кількість перевезеного вантажу від пункту  $i$  до пункту  $j$ . Для розв'язання задачі необхідно знайти потоки  $X_{ij} > 0, (i, j = 1, 2, \dots, n)$  з урахуванням мінімуму витрат на транспортування:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min;$$

– з урахуванням виконання умов при доставці:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} - \sum_{i=1}^n X_{ji} = d_i, \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

– з урахуванням умови пропускної здатності:

$$X_{ij} < d_{ij}, \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

де  $(u_1, u_2, u_3, \dots, u_n)$  – один з декількох критеріїв оптимальності плану транспортної задачі:

$$\begin{aligned} u_j - u_i &= C_{ij} \text{ при } 0 < X_{ij} < d_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n); \\ u_j - u_i &\leq C_{ij} \text{ при } X_{ij} = 0 \quad (i, j = 1, 2, \dots, n); \\ u_j - u_i &\geq C_{ij} \text{ при } X_{ij} = d_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n). \end{aligned}$$

При сумарній вартості (вартість із декількох ділянок) переміщення вантажів  $C_{ij} = C_{ik} + C_{ki}$  транспортна задача в мережній постановці є більш результативною [24].

При управлінні процесами переміщення вантажів у великих транспортних системах пропонується поділити джерела і споживачів на групи [25].

Введено позначення:

$i$  – номер джерела (споживача) вантажопотоків;

$b_i$  – кількість вантажу, що отримується  $i$ -м джерелом ( $i$ -м споживачем);

$n$  – кількість джерел (споживачів), що входять до пункту агрегації;

$X, Y$  – координати умовного агрегованого пункту;

$l_{ij}$  – відстань до  $i$ -го і  $j$ -го джерел генерації (споживачі) вантажопотоків, що входять до пункту агрегації.

Коефіцієнти умовного пункту агрегації обчислюють за формулами:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n b_i X_i}{\sum_{i=1}^n b_i}, \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^n b_i Y_i}{\sum_{i=1}^n b_i}.$$

Необхідно відзначити, що якщо вибраний пункт перебуває на великій відстані від кожного зі споживачів вантажопотоків, то серед них можна вибрати такий  $i_0$ , для якого виконується умова:

$$\min_i \sum_{j=1}^n l_{ij} b_j = \sum_{j=1}^n l_{ij} b_j$$

При виконанні планових виробничих завдань, а також для запобігання простоїв в екстремальних ситуаціях при управлінні процесами транспортування шахтних вантажопотоків виникає необхідність у використанні декількох видів транспортних засобів. Цей процес виконується в певній послідовності переміщення вантажів у перевантажувальних пунктах.

У роботі [24] розглянута модель вантажопотоків з одним пунктом і багатоетапними перевантажувальними пунктами.

Моделювання процесу переміщення вантажопотоку до кінцевого споживача в моделі з одним переміщенням вантажів виконується двома видами транспортних засобів.

Математична модель даної задачі полягає в знаходженні:

$$X_{ijkr} > 0, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, K; r = 1, 2, \dots, R$$

при мінімальних витратах:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R C_{ijkr} X_{ijkr} \rightarrow \min;$$

за умови генерації вантажопотоків:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^K X_{ijkr} = d_{ij}, i = 1, 2, \dots, n, r = 1, 2, \dots, R;$$

при пропускних здатностях пунктів перевантаження:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ijkr} \leq d_{kr}, k = 1, 2, \dots, K, r = 1, 2, \dots, R;$$

при доставці вантажопотоків до пунктів призначення:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K X_{ijkr} = b_{jr}, j = 1, 2, \dots, m, r = 1, 2, \dots, R,$$

де  $i$  – джерело генерації вантажопотоків;

$n$  – кількість джерел генерації вантажопотоків;

$j$  – пункт призначення вантажопотоків;

$m$  – кількість пунктів призначення вантажопотоків;

$k$  – пункт перевантаження (трансформаційний центр);

$d_{ir}$  – кількість  $r$ - виду вантажу в  $i$ -му джерелі генерації;

$d_{kr}$  – пропускні здатності  $k$ - го перевантажувального пункту для перевезення  $i$ -го виду вантажу;

$r_{jr}$  – потреба в  $r$ - виді вантажу в  $j$ - пункті призначення;

$C_{ijkr}$  – вартість перевезення одиниці  $r$ - виду вантажу з  $i$ -го джерела генерації

в  $j$ - й пункт призначення через  $k$ - й пункт перевантаження;

$X_{ijk_r}$  – потужність  $r$ - виду вантажу з  $i$ -го джерела генерації в  $j$ - й пункт призначення через  $k$ -й пункт перевантаження.

У результаті одержуємо оптимальний план вантажопотоків із зазначенням перевантажувальних пунктів. Слід відзначити, що вартість перевезення вантажу  $C_{ij}$  складається з витрат на його транспортування, навантаження й розвантаження.

Управління вантажопотоками з багатоетапними перевантажувальними пунктами полягає в знаходженні мінімуму загальної вартості перевезень:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{r=1}^R C_{or}^{ik} X_{or}^{ik} + \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{u=1}^{n_t} \sum_{k=1}^{n_{t+1}} \sum_{r=1}^R C_{tr}^{uk} X_{tr}^{uk} + \sum_{j=1}^m \sum_{u=1}^{n_{t+1}} \sum_{r=1}^R C_{tr}^{uj} X_{tr}^{uj} \rightarrow \min$$

При виконанні наступних умов:

- для генерації вантажопотоків:

$$\sum_{k=1}^{n_t} X_{or}^{ik} \leq d_{ir}, i = 1, 2, \dots, u, r = 1, 2, \dots, R;$$

- для пропускних здатностей пунктів перевантаження:

$$\sum_{u=1}^{n_t} X_{tr}^{uk} \leq d_{(t+1)r}^k, k = 1, 2, \dots, n_{t+1}, t = 1, 2, \dots, T-1, r = 1, 2, \dots, R;$$

- для визначення балансу перевезення вантажів у кожному пункті перевантаження:

$$\sum_{u=1}^{n_t} X_{tr}^{uk} = \sum_{u=1}^{n_{t+1}} X_{(t+1)r}^{ku}, k = 1, 2, \dots, n_{t+1}, t = 1, 2, \dots, T-1, r = 1, 2, \dots, R;$$

- для вантажів у кінцевих пунктах призначення:

$$\sum_{u=1}^{n_t} X_{tr}^{ui} = b_{jr}, j = 1, 2, \dots, m, r = 1, 2, \dots, R;$$

- для виконання умов сумісності транспортних операцій:

$$\sum_{u=1}^{n_t} d_{tr}^u \geq \sum_{k=1}^{n_m} d_{(t+1)r}^k \geq \sum_{j=1}^m b_{jr}, t = 1, 2, \dots, T-1, r = 1, 2, \dots, R,$$

де  $t$  – етап перевантаження вантажопотоку;

$T$  – кількість всіх етапів перевантаження;

$u$  – номер пункту перевантаження (трансформаційного центру)  $i$ -го етапу;

$u_t$  – кількість всіх пунктів перевантаження  $t$ -етапу;

$K$  – номер пункту перевантаження  $(t+1)$ -го етапу;

$n_{t+1}$  – кількість всіх пунктів перевантаження  $(t+1)$ -го етапу;

$d_{tr}^u$  – пропускна здатність  $u$ -го пункту перевантаження  $t$ -го етапу по перевезенню  $r$ -виду вантажу;

$d_{(t+1)r}^k$  – пропускна здатність  $k$ -го пункту перевантаження  $(t+1)$ -го етапу по перевезенню  $r$ -виду вантажу;

$C_{tr}^{ik}$  – вартість перевезення одиниці  $r$ -виду вантажу з  $i$ -го джерела генерації в  $k$ -й пункт перевантаження 1-го етапу;

$C_{tr}^{uk}$  – вартість перевезення одиниці  $r$ -виду вантажу з  $u$ -го пункту перевантаження  $t$ -го етапу в  $k$ -й пункт перевантаження  $(t+1)$ -го етапу;

$C_{tr}^{uj}$  – вартість перевезення одиниці  $r$ -виду вантажу з  $u$ -го пункту перевантаження останнього етапу в  $j$ -й пункт призначення;

$X_{or}^{ik}$  – потужність  $r$ -виду вантажопотоку з  $i$ -го джерела генерації в  $k$ -й пункт перевантаження 1-го етапу;

$X_{tr}^{uk}$  – потужність (обсяг перевезення)  $r$ -виду вантажопотоку з  $u$ -го пункту перевантаження  $t$ -го етапу в  $k$ -й пункт перевантаження  $(t+1)$ -го етапу;

$X_{tr}^{uj}$  – потужність (обсяг перевезення)  $r$ -виду вантажопотоку з  $u$ -го пункту перевантаження останнього етапу в  $j$ -й пункт призначення.

При процесах транспортування вантажопотоків більш детально необхідно приділити увагу транспортному засобу, за допомогою якого виконуються процеси доставки вантажів.

У роботі [25] удосконалена модель руху електричних транспортних засобів з навантаженням залежно від рельєфу місцевості на поверхні, на якій прокладена залізнична колія:

$$m \frac{d^2 l(t)}{dt^2} = F_T(t) - F_r(l, t),$$

де  $m$  – маса транспортного засобу, кг;

$l(t)$  – довжина шляху, на яку перемістився транспортний засіб від початку руху, який залежить від часу  $t$ , с;

$F_T(t)$ ,  $F_r(l, t)$  – сила тяги транспортного засобу й гальмівна сила, що діє на транспортний засіб під час руху, Н.

У роботі [26] запропонована математична модель руху електропоїзда на прямолінійному відрізку й горизонтальній площині як критерій запропоновано мінімум витрати електроенергії  $E$  ( $Bm \cdot c$ ) електровозом:

$$E = \int_{t_A}^{t_B} U(t)nI(t)dt,$$

де  $U(t)$  – напруга, яка подається на електропривод з контактної ланцюга,  $Bm$ ;  
 $I(t)$  – струм на кожній гілці електропривода,  $A$ ;  
 $n$  – кількість паралельних гілок електропривода.

Математична модель оптимального руху незавантаженого електричного транспортного засобу при підйомі та спуску з урахуванням мінімуму витрати енергії в умовах установленого планового руху за графіком [27, 28] має вигляд:

$$i = \frac{C_0 + f_1 + 2f_2v}{2(f_1 + 2f_2v)} - \frac{1}{f_1 + 2f_2v} e^{(f_1 + 2f_2v_1)(\tau - C_1)},$$

де  $v$  – лінійна швидкість руху транспортного засобу,  $m/c^2$ ;  
 $f_1$  й  $f_2$  – коефіцієнти:

$$f_1 = \frac{\mu_1 T_m}{m} \text{ і } f_2 = \frac{\mu_2 T_m V_H}{m}$$

де  $T_m$  – механічна постійна транспортного засобу,  $T_m = \frac{mV_H}{F_T^H}$ ,  $c$ ;

$\tau = \frac{t}{T_m}$ ,  $t$  – час виконання руху транспортним засобом,  $c$ ;

$F_T^H$  – номінальна сила тяги,  $H$ .

Значення коефіцієнтів при спуску та підйомі  $C_0$  й  $C_1$ :

$$C_0 = C_0(f_{00}, \gamma, -); \quad C_1 = C_1(f_{00}, \gamma, -);$$

$$C_0 = C_0(f_{00}, \gamma, +); \quad C_1 = C_1(f_{00}, \gamma, +),$$

де  $\gamma$  – кут нахилу площини спуску до горизонтальної площини.



$$f_{00} - \text{коефіцієнт } f_{00} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{F_T^H},$$

де  $P_i$  – маса  $i$ -го вагона, т.

## 1.2. Підсистеми допоміжного внутрішньошахтного транспорту

Як було відзначено в розділі 1.1 ефективність процесів транспортування залежить від організації та управління гірничотранспортними роботами.

Управління процесами доставки шахтних вантажопотоків можливо тільки при комплексному підході. При даному підході транспортний процес розглядається у взаємодії всіх основних ланок вугільної шахти, з контролем їх параметрів і характеру взаємодії.

Необхідно відзначити, що одними із основних ланок системи на шахті є підсистема диспетчерської служби, добувні та підготовчі дільниці, внутрішньошахтний транспорт, стаціонарні установки, вугільний і породний технологічні комплекси поверхні, допоміжні цехи й служби [29].

Розглянемо функції та призначення деяких з них.

Підсистема диспетчерського управління (диспетчерська служба й ділянки внутрішньошахтного транспорту) є важливою ланкою складної інформаційної системи, яка забезпечує ефективність роботи технологічних схем внутрішньошахтних вантажопотоків [30]. Основною метою підсистеми диспетчерського управління є виявлення потреб у своєчасній інформації, на підставі якої складаються процедури для транспортування основних і допоміжних вантажопотоків підземним транспортом.

У диспетчерських пунктах для складання заявки, на підставі якої формуються й транспортуються допоміжні матеріали й устаткування у вибої вугільних шахт, обробляється інформація за допомогою спеціалізованих автоматизованих систем управління технологічними процесами.

Процедура обробки інформації на вугільних шахтах виконується за наступною схемою (рис. 1.2) [2, 31, 32].

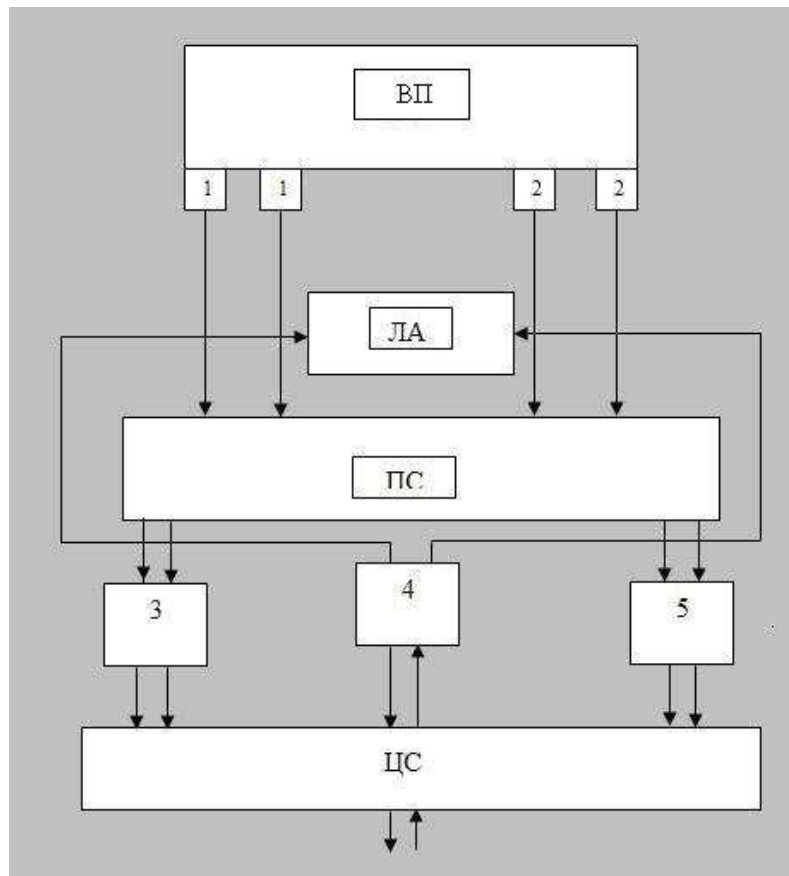


Рис. 1.2. Процедура системи обробки інформації на рівні шахти:

(ВП – виробничий процес; ЛА – локальні автомати; ПС – переносна система інформації всередині шахти; ЦС – центральна система обчислень; 1,2 – датчики, виконавчі елементи; 3 – машинне введення даних; 4 – абонентна одиниця; 5 – результативна інформація для управління шахтою)

Виходячи зі структури шахти і рівня автоматизації кожної ланки окремо і комплексу шахти у цілому, вибирається відповідно обсяг інформації, який надходить у підсистему диспетчерського управління.

На сьогоднішній день у диспетчерських пунктах вугільних шахт існує низка різних систем, що використовуються при складанні заявок диспетчерові шахти для моделювання процесів транспортування шахтних вантажопотоків і інших виробничих процесів.

Однією з таких розповсюджених систем є система Scada (Supervisory Control And Data Acquisition) – це сукупність апаратно-програмних засобів, що забезпечують можливість моніторингу, аналізу й управління параметрами технологічного процесу людиною [3, 33] (рис. 1.3).

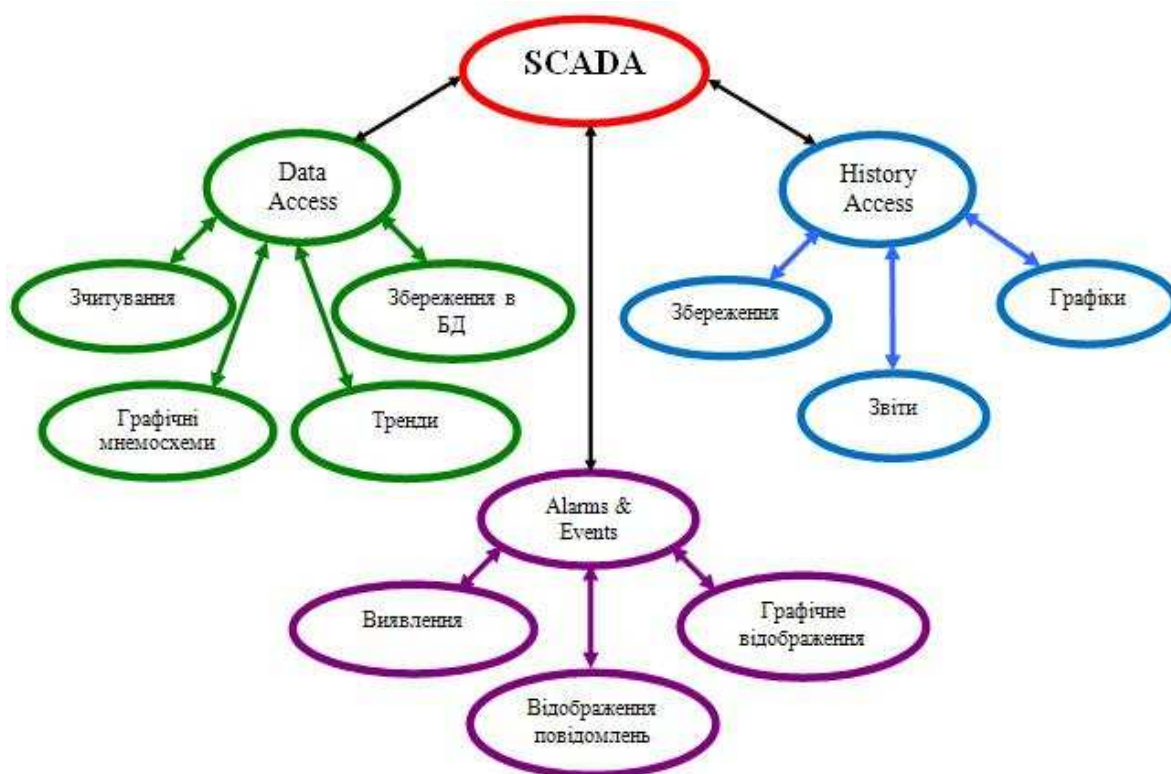


Рис. 1.3. Структура системи Scada

Однак у розглянутих автоматизованих системах не враховані наступні показники [19]:

- при переміщенні вантажопотоків із вибоїв на транспортний засіб враховується неповна інформація, що у свою чергу впливає на оперативне транспортування вантажів;
- транспортне запізнювання при конвеєрному транспорті, що визначає оцінку вантажопотоків, також впливає на оперативне управління при доставці вантажів;
- технологічні параметри рейкового транспорту, які впливають на економічні показники роботи процесів доставки вантажів;
- особливості роботи локомотивів.

Слід відзначити, що в автоматизовані системи диспетчерського управління побудовані на алгоритмах, в основу яких закладено процеси доставки основних вантажопотоків шахт.

Внутрішньошахтний транспорт [34] також є однією із основних ланок вугільної шахти. Одним із основних завдань внутрішньошахтного транспорту – як було сказано раніше є завдання оперативного забезпечення процесів гірничого виробництва, яке полягає у своєчасній доставці матеріалів, обладнання і людей до місць ведення гірничих робіт.

В Інституті гірничої справи ім. О.О.Скочинського створена схема імітації

(рис. 1.4) і змодельовано оптимальні організаційно-технічні характеристики внутрішньошахтних транспортних систем [35, 36].

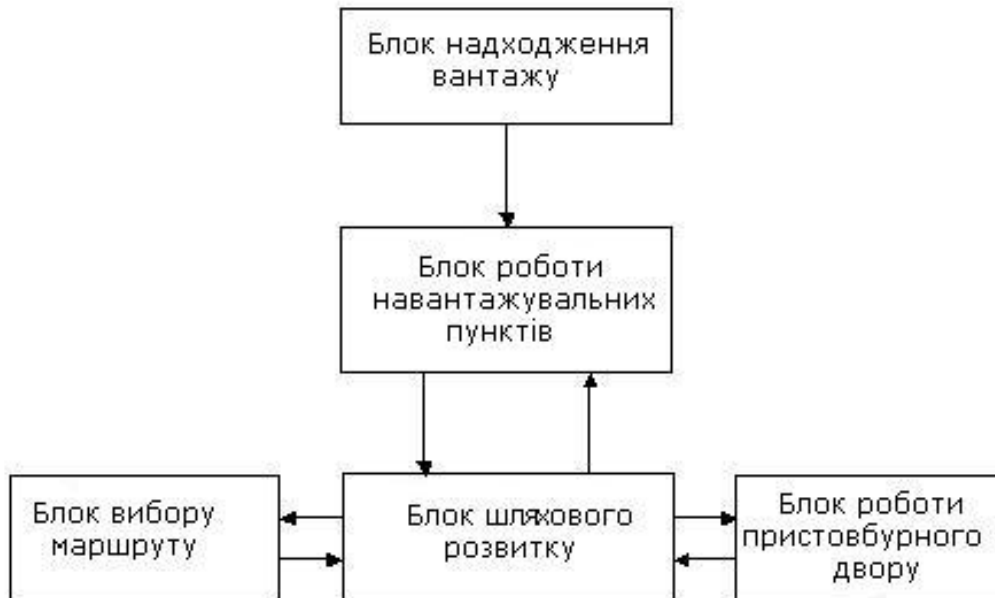


Рис. 1.4. Схема імітації процесів роботи внутрішньошахтного транспорту

Схема складається із відповідних блоків до основних ланок транспорту в шахті:

- 1 блок шляхового розвитку ( $B_{пр}$ );
- 2 блок роботи навантажувальних пунктів ( $B_{ПП}$ );
- 3 блок роботи пристовбурного двору;
- 4 блок вибору маршруту ( $B_{ВМ}$ );
- 5 блок доставки вантажу ( $B_{ПГ}$ ).

З рис. 1.4 видно, що процеси доставки вантажопотоків складаються із характеристик руху локомотивів по системі шляхів вугільної шахти. Таким чином, увесь транспортний розвиток шахти необхідно розділити на окремі стани, які враховують роботу окремих ділянок транспортної схеми.

Розглянемо особливості функціонування допоміжного транспорту з позиції забезпечення основних процесів гірничого виробництва.

На вугільних шахтах переміщення основного вантажопотоку, допоміжних матеріалів, обладнання й перевезення людей по підземних гірничих виробках здійснюється за допомогою допоміжного транспорту [37].

Одним з найбільш складних і трудомістких процесів є транспортування матеріалів і обладнання в підземних умовах.

Необхідно відзначити, що працезатрати при доставці матеріалів і

обладнання з розрахунку на одиницю ваги в 36 разів вище, ніж при транспортуванні основного вантажопотоку, і в 17 разів вище, ніж при транспортуванні породи [38].

Процес транспортування допоміжним транспортом складається із трьох взаємозалежних етапів:

- 1 транспорт на поверхні зі складів до стовбурів шахт;
- 2 транспорт по стовбурах і капітальних виробках (квершлагах, штреках, бремсбергах);
- 3 транспорт по дільничних виробках (вентиляційні та конвеєрні штреки, ходки й ін.)

У роботі [39] відзначено: "... Шахтними исследованиями установлено, что вспомогательные грузопотоки, в отличие от основных, значительно больше подвергаются влиянию различных факторов, таких как: горно-геологические, горнотехнические и организационные. На шахтах СНГ трудоемкость вспомогательного транспорта в среднем составляет около 30 чел.-смен на 1000 т суточной добычи угля. Также следует отметить, что в выполнении погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ принимают участие рабочие очистных и подготовительных забоев. Их доля в общей трудоемкости достигает 18 %, при этом трудоемкость доставки вспомогательных грузов на конвейеризированных шахтах в 3 – 4 раза выше, чем на шахтах с локомотивной откаткой..."

Як відзначалося раніше, велике значення набувають питання вибору критеріїв оптимальності при моделюванні та транспортуванні матеріалів і устаткування в мінімальний термін.

У роботі [21] запропонована мінімізація функції витрат:

$$W_0 + \sum_{s=1}^S \alpha_s T_s^{np},$$

де  $W_0$  – витрати на придбання й експлуатацію технічних засобів транспорту (локомотивів, вагонеток та ін.);

$\alpha_s$  і  $T_s^{np}$  – збиток за одиницю часу простою  $s$ -го навантажувального пункту ( $s = 1, 2, \dots, S$ ) і загальна тривалість його простоїв із причин, пов'язаних з роботою локомотивного транспорту.

Необхідно відзначити, що в умові (1.28) використовуються кількісні й якісні характеристики системи, тому із двох варіантів вибирається той, який забезпечує умова  $\min\{W\}$ .

Транспортування основних і допоміжних вантажопотоків локомотивним транспортом розглядається як дискретний виробничий процес.

Введено позначення:

$t_{si}^n$  – тривалість навантаження складу;

$i$  – номер складу;

$s$  – номер навантажувального пункту;

$t_{si}^x$  – тривалість руху порожнього потяга від пристовбурного двору до навантажувального пункту;

$t_{si}^e$  – тривалість руху вантаженого потяга від навантажувального пункту до пристовбурного двору;

$t_{si}^p$  – тривалість розвантаження потяга.

Моменти початку і закінчення зазначених вище транспортних операцій позначимо через  $(b_{si}^n, c_{si}^n), (b_{si}^x, c_{si}^x), (b_{si}^e, c_{si}^e), (b_{si}^p, c_{si}^p)$ .

У разі прибуття потяга для навантаження в момент завершення навантаження попереднього потяга враховується умова [21]:

$$c_{si}^n - b_{s,i+1}^u = t_{s,i+1}^u.$$

Умова завершення руху потяга і прибуття до пристовбурного двору визначається у такий спосіб:

$$c_{si}^e = c_{si}^n + t_{si}^e.$$

Отже, процес прибуття локомотива в пристовбурний двір при проектуванні всіх точок  $c_{si}^e$  на окрему вісь часу визначається у такий спосіб:

$$c_{si}^p = b_{si}^p + t_{si}^p \quad \text{при} \quad b_{si}^p = c_{s*i}^p,$$

де  $c_{s*i}^p$  – закінчення процесу прибуття в пристовбурний двір попереднього потяга.

У цьому випадку порядок обслуговування складів виконується за принципом: «перший прибув» – «першим обслуговувався», але необхідно враховувати простой в роботі як навантажувальних пунктів, так і локомотивів.

При виконанні умови  $b_k^x \leq c_l^p$  існує ймовірність простою навантажувального пункту тривалістю:

$$t_{ns} = c_l^p - b_k^x,$$

де  $k$  й  $l$  – довільні номери точок;

$b_k^x$  – момент часу у разі виклику потяга;

$c_i^p$  – момент часу у разі невикористання потяга.

Описаний вище принцип моделювання та управління процесів руху потягів відображено на рис. 1.5.

На сьогоднішній день допоміжний транспорт є однією з важливих ланок транспортної системи шахти. Необхідно відзначити його значну роль при виконанні основних виробничих процесів. Також слід зазначити недостатність інформації для процесів транспортування вантажів при виникненні випадкових ситуацій.

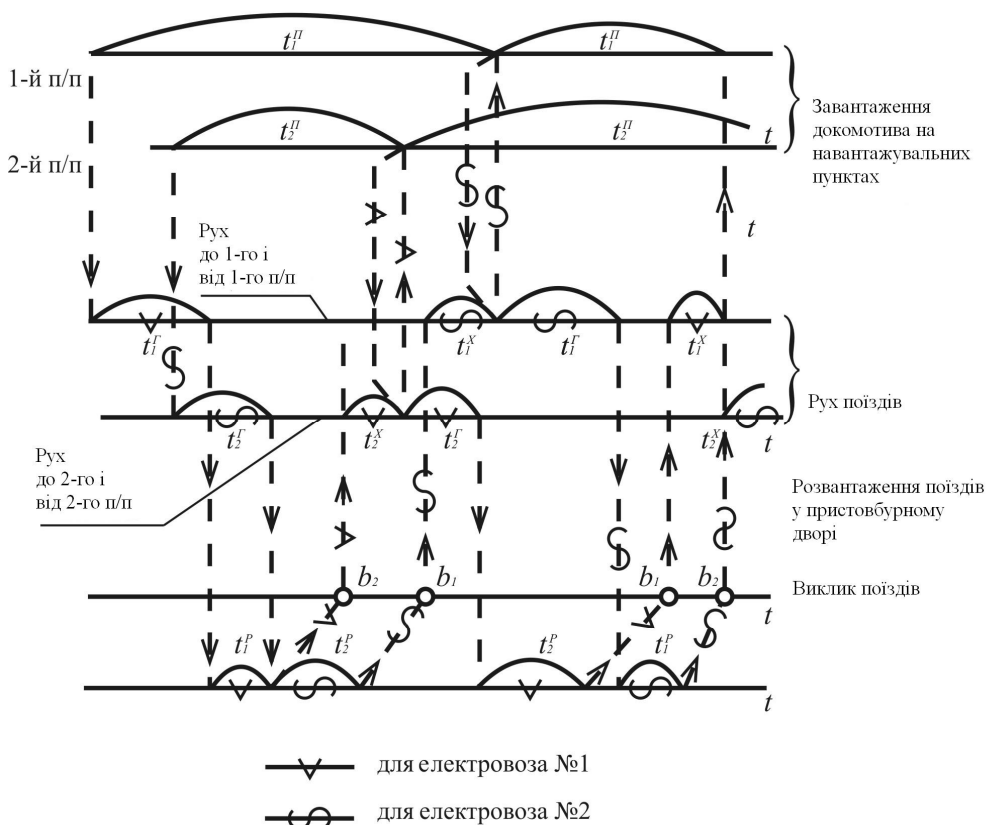


Рис. 1.5. Часова діаграма роботи поточної зміни локомотивної відкатки

### 1.3. Методи прогнозування запасів матеріальних ресурсів у вибоях вугільних шахт

При управлінні процесами транспортування вантажопотоків у гірничому виробництві широко використовуються методи прогнозування. Для зменшення ступеня ризику при виконанні гірничих робіт у складних умовах ймовірність і надійність прогнозу визначає ефективність виконання різних виробничих процесів. Процес транспортування основних і допоміжних вантажопотоків у

вибої, як і будь-які інші процеси вугільної шахти, формується при впливі багатьох факторів. Однак виділити вплив кожного з них не завжди уявляється можливим.

Для визначення планових процесів гірничого виробництва, враховуючи динаміку гірничих робіт, як правило, використовують короткострокові прогнози (на добу, тиждень, місяць, рік).

Для вугільних шахт велике значення має не тільки прогноз потреби в матеріальних ресурсах [40], але й прогноз запасів вантажопотоків.

Для оперативного планування й управління процесами гірничого виробництва широко використовуються методи прогнозування [41].

Однією з головних проблем [42, 43] ймовірності та ефективності прогнозів є максимально корисне застосування методів дослідного і нормативного прогнозування. Нагадаємо, що для дослідницького прогнозування характерне використання таких методів, як: екстраполяція, написання сценаріїв та ін.

Останнім часом одержало розвиток експертне прогнозування [44, 45], що одержується безпосередньо від експертів. Прогноз даного виду орієнтований більшою мірою на роботу не тільки з кількісною, але й з якісною інформацією.

Також необхідно відзначити і такі методи, як: метод ковзної середньої, експонентне згладжування, аналітичне вирівнювання, екстраполяція і багато ін. [46 – 48].

Через розглянуті вище особливості відповідного предмету дослідження не завжди такі класичні методи як аналіз Фур'є, регресійний аналіз або вейвлет-аналіз, що застосовуються слід використовувати, тому що вони використовують розкладання вихідної функції в ряд по фіксованій системі базисних функцій, що породжує властивість строгої періодичності [49 – 51].

Також необхідно відзначити, що специфіка діяльності вугільного підприємства полягає в створенні деякої кількості запасів допоміжних вантажопотоків у підготовчих вибоях для випадків виникнення екстрених ситуацій. Одним з найважливіших факторів забезпечення постійності і безперервності виконання виробничих процесів є запаси. Для виконання умови безперервності виробництва необхідно, щоб у підготовчих вибоях постійно перебувала певна кількість допоміжних матеріалів для повного задоволення потреб виробництва в будь-який момент їх використання.

Завдання своєчасного забезпечення запасами виробництва у випадку виникнення екстремальних ситуацій відноситься до важливих задач. На сьогоднішній день не існує стандартних заходів для їх рішення. Враховуючи особливості кожного підприємства, а також вплив різних зовнішніх факторів (відсутність вантажу на складі), умови забезпечення сталості та безперервності виробництва на кожному підприємстві унікальні [52].

Слід зазначити і той факт, що на виробництві виконується мінімізація витрат на зберігання і складування запасів [52, 53].

На вугільних підприємствах існують заходи для забезпечення запасів виробництва при планових поточних задачах.



У роботі [24] розглянута функція щільності ймовірності загального тижневого попиту на встаткування:

$$f(R) = 0,27 - 0,04R$$

Для опису моделі забезпечення запасами використовується вираз:

$$Q(S) = (c_1 + c_2) \sum_{r=0}^{r=S} P(S-r) + c_2 \sum_{r=S+1}^{\infty} P(r-S),$$

де  $Q(S)$  – очікувані при даному обсязі запасів витрати, у.од.;

$S$  – кількість електродвигунів, наявних у резерві, шт.;

$c_1$  – заводська вартість електродвигуна, у.од.;

$c_2$  – вартість електродвигуна, у.од.;

$r$  – тижневий попит на електродвигуни, шт.;

$P$  – емпірична ймовірність виходу з ладу різної кількості електродвигунів.

Запас встаткування на кінець  $k$ -го періоду:

$$S_k = S_o + \sum_{i=1}^{k-1} q_i + q_k - \sum_{i=1}^k r_i,$$

де  $S_o$  – обсяг запасу до моменту чергового замовлення, шт.;

$q_1, q_2, \dots, q_k$  – розміри замовлень, які зроблені раніше і повинні зробити через 1, 2, ...,  $(k-1)$  тиждень.

Потреба в обладнанні до моменту виконання замовлення на складі:

$$f(R) = f\left(\sum_{i=1}^k r_i\right).$$

Вивчення запасів і їх раціональне використання є важливою проблемою при виникненні питань щодо матеріально-технічного постачання вугільних шахт. Недостатньо інформації з питань забезпечення запасів на виробництві у разі виникнення екстремальних ситуацій.

На підставі вищевикладеного отримано наступні висновки:

1. У розділі виконано аналіз існуючих математичних моделей і методів доставки шахтних вантажопотоків, а також встановлено, що допоміжні вантажопотоки значно більше, ніж основні, піддані впливу гірничо-геологічних, гірничотехнічних і організаційних факторів.

2. Застосовувані на цей час математичні моделі та методи транспортування

допоміжних вантажопотоків використовуються для планових завдань уже закладених при проектуванні шахти.

3. Математичні формулювання існуючих задач доставки допоміжних вантажопотоків повинні враховувати наявність як основних, так і додаткових факторів (гірничо-геологічних, технічних, технологічних, організаційних), які впливають на формування матеріальних вантажопотоків у підготовчих вибоях: можливість доставки додаткових ресурсів – устаткування, недостатність інформації про процеси транспортування, необхідність перерозподілу запасів між підготовчими вибоями у разі дефіциту матеріалів і обладнання.

4. Для вдосконалення диспетчерської автоматизованої системи вугільної шахти необхідно застосовувати інформаційно-розрахункові процедури, використовувати математичні моделі, які враховують викладені вище вимоги та обмеження по виконанню процесів оперативної доставки допоміжних вантажопотоків.

## РОЗДІЛ 2

### ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ УПРАВЛІННІ ПРОЦЕСАМИ ТРАНСПОРТУВАННЯ ШАХТНИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ

#### 2.1. Обслуговування горизонтів вугільних шахт експертним оцінюванням

Динамічне виробництво вугільної шахти здатне переходити з одного стану в інший – виконувати або не виконувати план-графік видобутку й доставки основного й допоміжного вантажопотоків [30, 38].

Для управління процесами транспортування в шахтних умовах при екстремальних ситуаціях, що носять стохастический характер, необхідно створення математичної моделі з використанням людського фактора – диспетчера шахти. Якщо враховувати специфіку розглянутого об'єкта, то необхідно відзначити, що тільки експерт може приймати рішення для послідовності обслуговування горизонтів вугільних шахт.

Для вирішення цієї проблеми необхідно скористатись методом аналізу ієрархій (MAI), який є систематичною процедурою для елементів, які представлені у вигляді ієрархії, що визначають суть проблеми [54, 55].

Особливістю MAI є те, що він містить у собі процедури синтезу множинних суджень, одержання пріоритетності критеріїв і знаходження альтернативних рішень [54].

Метод аналізу ієрархій не вимагає спрощеної структури задачі, попереднього відкидання деяких параметрів. Таким чином, він набагато ефективніше багатьох інших аналітичних інструментів враховує вплив багатьох параметрів на результат.

Необхідно відзначити, що складання структури моделі прийняття рішень може бути трудомістким процесом. Але надалі після її побудови вона може використовуватися багаторазово.

Метод аналізу ієрархій має наступні можливості [54]:

1) виконує аналіз проблеми. У цьому випадку проблему прийняття рішень необхідно представити у вигляді ієрархічно впорядкованих параметрів (рис. 2.1):

- а) головної мети рейтингування можливих розв'язків;
- б) декількох груп однотипних факторів, що впливають на рейтинг;
- в) групи можливих рішень;
- г) системи зв'язків – взаємний вплив факторів і рішень.

З рис.2.1 видно, що метою проведеного дослідження завжди буде одна вершина, яка перебуває на першому рівні ієрархії.

Для такого процесу побудови ієрархії включаються всі основні фактори для одержання повної інформації про розглянутий процес або об'єкт.

- 1) Комплектує збір даних по проблемі.
- 2) Рекомендує оцінку суперечливості даних.

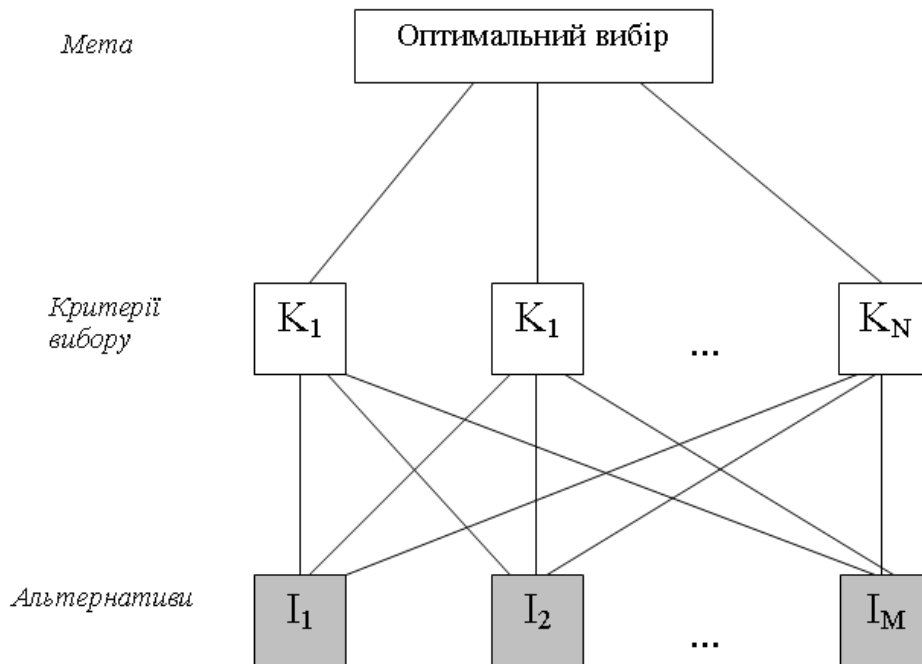


Рис. 2.1. Структура моделі прийняття рішень у методі аналізу ієрархій

- 3) Проводить синтез проблеми прийняття рішення.
- 4) Пропонує обговорення проблеми, сприяє досягненню консенсусу.
- 5) Оцінює ступінь важливості кожного рішення й ступінь важливості кожного фактора, що впливають на пріоритети рішення.
- 6) Оцінює стійкість прийнятого рішення.

Результатам порівняння всіх показників відповідають чисельні значення із шкали, яка запропонована Т.Сааті (табл.2.1).

Далі в МАІ виконується перевірка узгодженості локальних пріоритетів, тобто виконується перевірка якості вихідних даних. Для цього обчислюється відношення узгодженості:

$$OS_k = \frac{IS_k}{SS}, \quad (2.1)$$

де  $k = 0$  – для матриці порівняння критеріїв;  $k = 1, 2, \dots, N$  – для матриць порівняння об'єктів за кожним критерієм;

$IS_k$  – індекс узгодженості вихідних даних, які ввійшли до матриці  $A, B_k$ ;

$SS$  – випадкова узгодженість, яка визначається по таблиці 2.2 (де  $L$  – розмірність матриці:  $L = N$  для матриці  $A$  й  $L = M$  для матриці  $B_k$ , при цьому для  $L \leq 2$ ,  $OS_k = 0$ ).

Таблиця 2.1

## Шкала відносної важливості

Відносна важливість	Визначення
1	Рівна важливість
3	Помітна перевага одного над іншим
5	Істотна перевага
7	Значна перевага
9	Дуже сильна перевага
2, 4, 6, 8	Проміжна оцінка між двома сусідніми
Обернені величини для наведених чисел	Якщо при порівнянні одного показника з іншим отримано одне з вищенаведених чисел (наприклад,3), то для порівняння іншого показника з першим маємо обернену величину ( тобто 1/3)

Таблиця 2.2

## Таблиця узгодженості показників

$L$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$SS$	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Індекс узгодженості висловлень експертів визначається із формули:

$$IS_k = \frac{\lambda_{\max}^k - L}{L - 1}, \quad (2.2)$$

де розмірність  $L$  – матриці визначається кількістю рядків або стовпців матриць  $A$ ,  $B_k$  ( $N$  – для  $A$ ,  $M$  – для  $B_k$ );

$\lambda_{\max}^k$  – найбільше власне число відповідної матриці ( $A$  або  $B_k$ ).

Вихідна інформація вважається узгодженою при виконанні умови [54]:

$$OS_k \leq 0,1.$$

У той же час, матриця попарних порівнянь може бути задана функцією, залежною від часу. Добір цих функцій виконується експертом на підставі функціональної шкали [56] або шляхом апроксимації експертних оцінок, отриманих у різні моменти часу. У певному проміжку часу ці функції досить точно описують зміну переваг експерта.

Розглянемо тепер квадратну позитивну матрицю порядку  $n$ .

$$A = \begin{pmatrix} a_{j1} & \dots & a_{1k} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & \dots & a_{ik} & \dots & a_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nk} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

Матриця  $A$  називається обернено-симетричною, якщо для будь-яких  $i$  і  $k$  виконується співвідношення:

$$a_{ki} = \frac{1}{a_{ik}}. \quad (2.4)$$

Із цього, зокрема, випливає, що  $a_{ii} = 1$ .

Матриця  $A$  називається узгодженою, якщо для будь-яких  $i$ ,  $k$  і  $l$  має місце рівність:

$$a_{ik} \cdot a_{kl} = a_{il} \quad (2.5)$$

Отже, ідеальна матриця порівнянь – зворотньо-симетрична й узгоджена.

Якщо висловлення експерта відносно істинної ступені домінування одного елемента над іншим будуть відповідати дійсності, то максимально власне число матриці попарних порівнянь дорівнюватиме її порядку [54 – 56].

Дійсно, нехай задана матриця попарних порівнянь:

$$Q = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & B & C \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ B \\ C \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 2 & 6 \\ \frac{1}{2} & 1 & 3 \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (2.6)$$

У матриці (2.4) елемент  $A$  в 2 рази краще елемента  $B$ , елемент  $B$  в 3 рази краще елемента  $C$ . Отже, елемент  $A$  в 6 раз краще елемента  $C$ .

Знайдемо власні числа цієї матриці.

$$\det(\lambda E - Q) = \begin{vmatrix} \lambda - 1 & -2 & -6 \\ -\frac{1}{2} & \lambda - 1 & -3 \\ -\frac{1}{6} & -\frac{1}{3} & \lambda - 1 \end{vmatrix} = \lambda^2(\lambda - 3) = 0 \quad (2.7)$$

Його коріннями є  $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$ ,  $\lambda_3 = 3$ .

Неважко помітити, що  $\lambda_{\max} = 3 = n$ , де  $n$  – розмірність матриці  $Q$ .

У випадку, замість матриці  $Q$ , коли висловлення експерта щодо домінування одного елемента над іншим є добре узгодженими, необхідно використовувати матрицю попарних порівнянь (2.8).

$$Q_1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & B & C \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ B \\ C \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 1/2 & 1 & 3 \\ 1/4 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (2.8)$$

$$\text{де } \det(\lambda E - Q_1) = \lambda^3 - 3\lambda^2 - 1/6 = 0.$$

Коріннями останнього характеристичного рівняння є:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 3,0183, \\ \lambda_2 &= -0,0091i + j0,2348, \\ \lambda_3 &= -0,0091i - j0,2348. \end{aligned} \quad (2.9)$$

Тут  $\lambda_{\max} = 3,0183 \neq 3 = n$ .

Як вектор пріоритетів у методі аналізу ієрархій використовується нормований власний вектор матриці  $Q$ , який відповідає  $\lambda_{\max} = 3$ .

Для знаходження цього власного вектора скористаємося співвідношенням:

$$Q \cdot u = \lambda_{\max} \cdot u \quad (2.10)$$

або

$$\begin{bmatrix} \lambda_{\max} - 1 & -2 & -6 \\ -1/2 & \lambda_{\max} - 1 & -3 \\ -1/6 & -1/3 & \lambda_{\max} - 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Розв'яжемо систему лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} 2u_1 - 2u_2 - 6u_3 = 0, \\ -1/2 u_1 + 2u_2 - 3u_3 = 0, \\ u_1 + u_2 + u_3 = 1, \end{cases} \quad (2.12)$$

У даному випадку  $u_1 + u_2 + u_3 = 1$  – умова нормування, одержимо  $u_1 = 0,6$ ,  $u_2 = 0,3$ ,  $u_3 = 0,1$ .

Останнє повністю узгодиться з вихідним попарним порівнянням експерта:

Елемент  $A$  у 2 рази краще елемента  $B$   $\left(\frac{u_1}{u_2} = \frac{0,6}{0,3} = 2\right)$ , елемент  $B$  в 3 рази краще елемента  $C$   $\left(\frac{u_2}{u_3} = \frac{0,3}{0,1} = 3\right)$ , а елемент  $A$  в 6 раз краще елемента  $C$   $\left(\frac{u_1}{u_3} = \frac{0,6}{0,1} = 6\right)$ .

Необхідно відзначити, що найкраща альтернатива вибиралася на основі матриць попарних порівнянь із урахуванням часу. Отримані результати можуть застосовуватися тільки в умовах стаціонарності середовища.

Враховуючи специфічні особливості гірничого виробництва для підвищення результативності прийняття рішень, у деяких випадках найкраще використовувати думки декількох експертів: диспетчер шахти, головний технолог шахти, заступник директора з виробництва й інші. Можливо, у разі виникнення екстремальних ситуацій, необхідна участь декількох експертів, коли рішення потрібно ухвалювати оперативно швидко й максимально ефективно. Використання декількох експертів має на увазі групову експертизу. З урахуванням вищесказаного оцінка ступеня важливості критеріїв і альтернатив допускає наявність експертів з різних структурних підрозділів шахти.

При цьому агрегування висловлювань експертів виконується за допомогою середньгеометричного й елементів агрегованої матриці порівнянь  $A^A = \{A_{ij}^A\}$  у такий спосіб:

$$a_{ij}^A = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n a_{ij}^{(k)y}}, \quad (2.13)$$

де  $n$  – кількість експертів;

$A^{(k)} = \{A_{ij}^{(k)}\}$  – матриця попарних порівнянь  $k$ -го експерта.

При прийнятті управлінських рішень й оцінці можливих результатів експерт звичайно зустрічається зі складною системою взаємозалежних компонентів, яку необхідно проаналізувати. Це виникає у випадках, коли необхідно одержати детальне уявлення про взаємозалежність факторів, що впливають на пріоритетність альтернативних рішень і самих рішень.

Важливою умовою для аргументованого використання методу аналізу ієрархій є кваліфікованість експертів, які беруть участь у побудові структури моделі прийняття рішення, підготовці даних і в інтерпретації результатів.

Результативність на основі використання МАІ залежить від наступних



параметрів:

- 1) повної та детальної інформації про фактори, що визначають рейтинг рішень;
- 2) повної та детальної інформації зв'язків між метою рейтингування, факторами й можливими рішеннями;
- 3) об'єктивністю формулювань критеріїв для парних порівнянь.

Таким чином, МАІ пропонує низку можливостей і переваг перед іншими методами. Однією із важливих переваг методу є присутність «людського фактора», що відрізняє його від інших методів. За допомогою цього методу вдається одержати точне уявлення про формування структури моделі прийняття рішень, а також детальну взаємодію факторів, що впливають на пріоритети альтернативних рішень, і самі рішення. На основі кластерної структури моделі, якою є процес транспортування вантажопотоків, що побудована на основі методу аналізу ієрархій, можливе залучення декількох експертів, які працюють незалежно один від одного над локальними завданнями, що, у свою чергу, сприяє нерозголошенню інформації про підготовку рішення.

## **2.2 Управління процесами транспортування допоміжних вантажопотоків на основі алгоритму Флойда-Уоршелла**

Як було сказано в розділі 1.1, що у теперішній час математичні моделі й методи транспортування допоміжних вантажопотоків використовуються для планових завдань, які повинні відповідати при проектуванні шахти.

При управлінні процесами доставки вантажів до підготовчих вибоїв відповідного горизонту вугільної шахти необхідно розробити модель вибору оптимального маршруту при виникненні випадкових ситуацій, які міняють характеристику поточного процесу.

Необхідно нагадати, що величина транспортних витрат на маршруті прямо пропорційна обсягу перевезеної продукції – один із основних параметрів, який використовується при побудові транспортних моделей для перевезення вантажів [57].

У роботі [58] за допомогою імітації процесу транспортування побудована процедура функціонування електровозного транспорту. Як вхідні дані цієї процедури можуть застосовуватися наступні параметри:

- схема переміщення транспорту (відстані між вантажно-розвантажувальними пунктами й можливі маршрути руху, їх місце розташування);
- транспортні засоби з необхідними параметрами транспортного устаткування.

Нижче наводиться запис програми функціонування транспорту по блоках:

$$\begin{aligned}
& \downarrow G_1^{(n)}(n = 1, 2, \dots, N) B_2^{(n)}(n = 1, 2, \dots, N) \\
& G_3^{(l)}(l = 1, 2, \dots, L) D_4^{(l, j)}(j = 6) \\
& E_5^{(l, n)}(n = 1, 2, \dots, N) \uparrow
\end{aligned} \tag{2.14}$$

де  $G_1^{(n)}$  – блок формування доставки вантажу як випадкової величини на основі заданого розподілу й параметрів виробничої ділянки;

$B_2^{(n)}$  – блок роботи навантажувальних пунктів, що підраховує кількість вантажу в бункері, зайнятість вантажних і порожнякових віток, наявність навантажених і порожніх вагонеток та електровозів;

$C_3^l$  – блок функціонування електровоза, який враховує послідовність місцезнаходження електровоза в певних станах;

$D_4^{l, j}$  – блок вибору маршруту після закінчення маневрів у пристовбурному дворі ( $j = 6$ );

$E_5^{l, n}$  – блок формування показників вибраного маршруту для електровоза, для якого вибирався маршрут.

Відповідна програма припускає одержання всіх показників, що характеризують роботу шахтного транспорту.

Традиційно математичну задачу лінійного програмування транспортного типу представляють у вигляді графа й формулюють у такий спосіб [59 – 62]:

$$\min Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} x_{ij}, \tag{2.15}$$

де  $x_{ij}$  – кількість вантажу, перевезеного з вихідного пункту  $i$  у пункт призначення  $j$ ;

$C_{ij}$  – вартість перевезення одиниці продукції;

$Z$  – функціонал;

при обмеженнях:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \tag{2.16}$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j, \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{2.17}$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ для всіх } i \text{ і } j,$$

де  $a_i$  – кількість продукції, формоване у вихідному пункті  $i$ ;

$b_j$  – кількість продукції, споживаної в пункті  $j$ .

Необхідно відзначити, що метод планування на мережах також застосовується при процесах транспортування шахтних вантажопотоків. На основі цього методу визначають строки завершення всього комплексу робіт; розподіляють на менш важливі, з погляду поставленої мети роботи і т.д.

Як видно із представленої (рис. 2.2) транспортної моделі [32], сумарний обсяг у вихідних пунктах  $\sum_{i=1}^m a_i$  не повинен бути менше сумарного попиту в

пунктах призначення  $\sum_{j=1}^n b_j$ . Тут  $\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$ .

У розглянутих вище математичних моделях враховані не в повному обсязі обмеження факторів, що впливають на процеси транспортування допоміжних вантажопотоків, а також випадкових екстремальних ситуацій, які змінюють характеристики виробничого процесу.

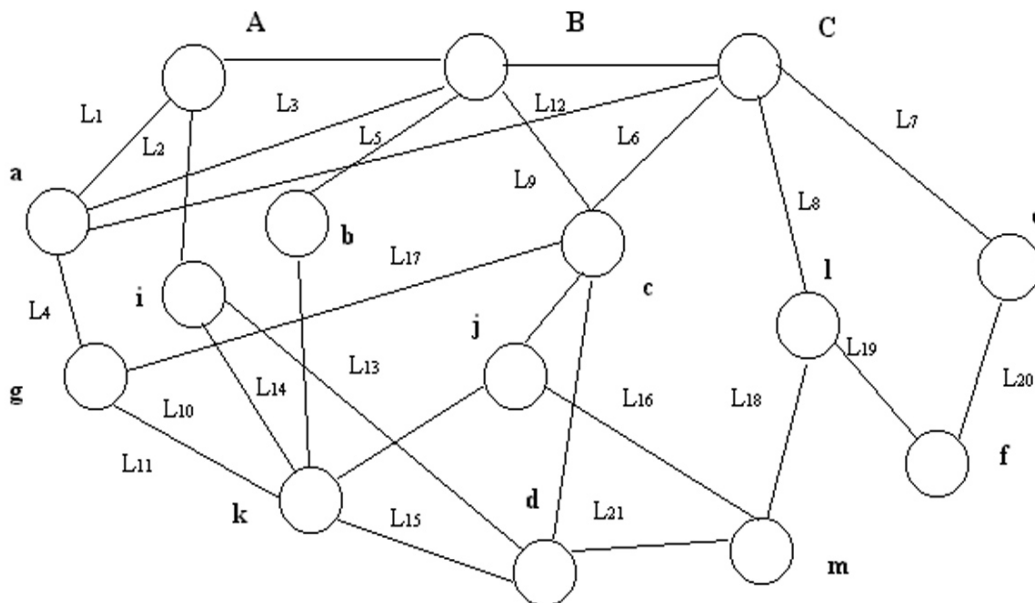


Рис. 2.2 Мережа транспортних гірничих виробок

Для визначення оптимального маршруту проходження локомотива для доставки необхідних матеріалів і обладнання з пристовбурного двору до вибоїв шахт або переміщення їх з одного вибою в інший скористаємося алгоритмом Флойда – Уоршелла [63 – 66], який полягає в наступному.

Виходячи з табл. 2.3, визначається початкова матриця відстані  $D_0$  й матриця послідовності вузлів  $S_0$ .

Якщо виконується нерівність  $d_{ij} + d_{jk} < d_{ik}$ , то раціонально замінити шлях  $i \rightarrow k$  шляхом  $i \rightarrow j \rightarrow k$  (рис.2.3).

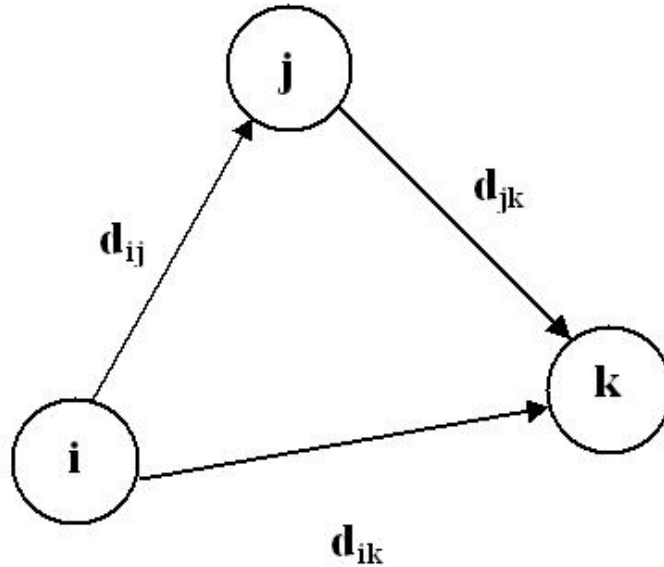


Рис. 2.3 Трикутний оператор

Така заміна (трикутний оператор) використовується регулярно в процесі виконання процедури Флойда-Уоршелла.

Таблиця 2.3

Початкова ситуація

		<b>1</b>	<b>2</b>	...	<b>j</b>	...	<b>n</b>
<b>1</b>	-	$d_{12}$	...	$d_{1j}$	...	$d_{1n}$	
<b>2</b>	$d_{21}$	-	...	$d_{2j}$	...	$d_{2n}$	
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
<b>i</b>	$d_{i1}$	$d_{i2}$	...	$d_{ij}$	...	$d_{in}$	
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
<b>n</b>	$d_{n1}$	$d_{n2}$	...	$d_{nj}$	...	-	

 $D_0 =$ 

		<b>1</b>	<b>2</b>	...	<b>j</b>	...	<b>n</b>
<b>1</b>	-	<b>2</b>	...	<b>j</b>	...	<b>n</b>	
<b>2</b>	<b>1</b>	-	...	<b>j</b>	...	<b>n</b>	
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
<b>i</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	...	<b>j</b>	...	<b>n</b>	
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
<b>n</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	...	<b>j</b>	...	-	

 $S_0 =$

У випадку, якщо діагональні елементи обох матриць (табл. 2.3) в обчисленнях не беруть участь, то вони позначалися знаком “-”.

Приймають рядок  $k$  і стовпець  $k$  як головний рядок і головний стовпець. Пропонується можливість використання трикутного оператора до всіх елементів  $d_{ij}$  матриці  $D_{k-1}$ . При застосуванні умови  $d_{ik} + d_{kj} < d_{ij}, (i \neq k, j \neq k, i \neq j)$  виконуються такі дії:

1 створюється матриця  $D_k$  шляхом заміни в матриці  $D_{k-1}$  елемента  $d_{ij}$  на суму  $d_{ik} + d_{kj}$ ;

2 створюється матриця  $S_k$  шляхом заміни в матриці  $S_{k-1}$  елемента  $s_{ij}$  на  $k$ . Припускаємо, що  $k = k + 1$  і повторюємо крок  $k$ .

Виконуються дії, які проводилися на  $k$  - му кроці алгоритму, якщо уявити матрицю  $D_{k-1}$  таким чином, як вона показана в табл.2.3.

З рис.2.4 видно, що рядок  $k$  і стовпець  $k$  є головними. Рядок  $i$  – будь-який рядок з номером від 1 до  $k - 1$ , а рядок  $p$  – похідний рядок з номером від  $k + 1$  до  $n$ .

Після виконання  $n$  кроків алгоритму заповнення матриць  $D_n$  і  $S_n$  відбувається за наступними правилами:

1. Довжина маршруту між вузлами  $i$  та  $j$  дорівнює елементу  $d_{ij}$  в матриці  $D_n$ .

2. Проміжні вузли траси від вузла  $i$  до вузла  $j$  розраховуємо по матриці  $S_n$ . При  $s_{ij} = k$  знаходимо, що шлях  $i \rightarrow k \rightarrow j$ . При  $s_{ik} = k$  й  $s_{kj} = j$  припускаємо, що шлях знайдений, оскільки розраховані всі проміжні вузли. При невиконанні умов повторюємо описану процедуру для знаходження шляхів від вузла  $i$  до вузла  $k$  й від вузла  $k$  до вузла  $j$ .

Таким чином, метод Флойд-Уоршелла дозволяє проаналізувати кілька раз ту саму вершину, що є важливим чинником для рішення даної задачі, оскільки матеріали можуть бути доставлені з одного підготовчого вибою в інший, у разі їх дефіциту. Необхідно відзначити, що розглянута транспортна схема являє собою граф з ребрами, то запропонований метод може бути застосований для розв’язання поставленої задачі, який дозволить спростити схеми доставки та управління допоміжними вантажопотоками, а також скоротити дорогі транспортні процеси.

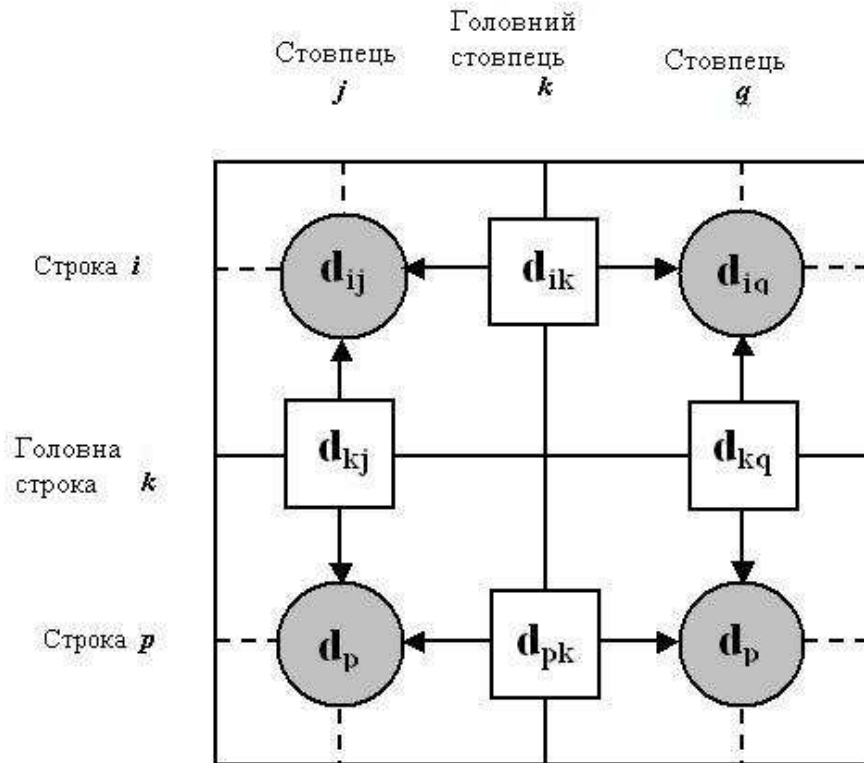


Рис. 2.4 Ілюстрація алгоритму Флойда-Уоршелла

### 2.3 Обґрунтування вибору методу «Гусениця - SSA» для дослідження і прогнозування часового ряду

При рішенні задачі транспортування запасів, а також прогнозування матеріальних ресурсів з'являється потреба в їх плануванні. У зв'язку із цим виникла необхідність виконати аналіз часового ряду для прогнозування потреби необхідної кількості матеріалів і обладнання, щоб надалі забезпечити ефективне функціонування транспортних процесів.

При застосуванні класичних методів для обробки часових рядів зустрічаються з низкою проблем: складність обробки великих обсягів даних, виділення складів, що містять монотонний тренд і т.д. [49, 53, 67].

У цьому зв'язку виникла необхідність у використанні інших математичних методів, які найбільш підходять для рішення задачі – метод головних компонент.

Останнім часом серед статистичних методів вивчення часових рядів найбільш популярним стає метод головних компонент – розкладання на природні ортогональні складові або функції [68, 69]. Необхідно відзначити, що можливості цього методу тільки починають усвідомлюватися, і з його допомогою можна одержати інформацію, яку важко одержати іншими методами. Універсальність даного методу полягає в тому, що задачі аналізу, прогнозу й класифікації

вирішуються однаковими способами.

Нехай  $\epsilon$  матриця  $X$ , що містить  $n$  рядків (об'єктів) і  $m$  стовпців (ознак) [70]. Позначимо через  $X'$  транспоновану матрицю й покладемо  $R = X \cdot X'$ .

Нехай  $\varphi$  – матриця власних векторів матриці  $R$ ;  $\Lambda$  – діагональна матриця її власних значень і  $I$  – одинична матриця. Нехай  $U = X \cdot \varphi$ . Тоді:

$$\begin{aligned} U'U &= \varphi' X' X \varphi = \varphi' R \varphi = \Lambda, \\ \varphi' \varphi &= \varphi \varphi' = I. \end{aligned} \quad (2.18)$$

Матриця  $U$  має ті ж розміри, що й  $X$ , однак її стовпці не корелюють між собою. Дисперсії  $\lambda_i$  стовпців матриці  $U$  є власними значеннями матриці  $R$  й діагональними елементами матриці  $\Lambda$ .

Стовпці, у свою чергу, являють собою лінійні комбінації стовпців матриці  $X$  із сумою квадратів коефіцієнтів, рівній одиниці, і називаються головними компонентами. Кожний компонент має дисперсію, максимально можливу із усіх комбінацій, ортогональних попереднім компонентам. Обробка матриці  $X$  методом головних компонент полягає в обчисленні матриць  $U$ ,  $\varphi$  і  $\Lambda$ .

Як правило, методу головних компонентів передуює центрування й нормування матриці  $X$ .

Транспоновану матрицю  $X'$  також можна обробити методом головних компонент. Нехай  $\tilde{U}$ ,  $\tilde{\varphi}$  і  $\tilde{\Lambda}$  – матриці, які одержали в результаті такої обробки, і  $p = \min(n, m)$ . Тоді:

- ненульові власні значення матриць  $\Lambda$  і  $\tilde{\Lambda}$  рівні між собою і їх кількість не перевищує  $p$ ;
- перші  $p$  стовпців нормованої матриці  $U$  збігаються з першими  $p$  стовпцями матриці  $\tilde{\varphi}$ ;
- перші  $p$  стовпців нормованої матриці  $\tilde{U}$  збігаються з першими  $p$  стовпцями матриці  $\varphi$ .

Розглянемо обробку одного часового ряду методом головних компонент.

Припустимо, що існує послідовність  $y_T, y_{T-1}, \dots, y_1$  спостережень показника  $y$  в рівновіддалені моменти часу  $T, T-1, \dots, 1$  [71]. За багатомірну характеристику стану процесу в момент часу  $t (T \geq t > K)$  вибирається вектор  $y_t, y_{t-1}, \dots, y_{t-K}$ , який є передісторією процесу за час  $K$ .

Параметр  $K$  – запізнювання. Розраховані в результаті обчислень вектори зводяться в матрицю, що має  $T - K$  рядків (об'єктів) і  $T + K$  стовпець (ознака):

	0	1	2	...	$K$
$K + 1$	$y_{K+1}$	$y_K$	$y_{K-1}$	...	$y_1$
$K + 2$	$y_{K+1}$	$y_{K+1}$	$y_K$	...	$y_2$
...	...	...	...	...	...
$T - 1$	$y_{T-1}$	$y_{T-2}$	$y_{T-3}$	...	$y_{T-K-1}$
$T$	$y_T$	$y_{T-1}$	$y_{T-2}$	...	$y_{T-K}$

Обробка отриманої матриці за допомогою методу головних компонент приводить до появи нової матриці тієї ж розмірності. Ознаки нової матриці є лінійними комбінаціями старих ознак:

$$u_{ij} = \sum_{l=0}^K \alpha_{lj} y_{t-l}, \sum_{l=0}^K \alpha_{lj}^2 = 1, j = 0, \dots, K; t = T, \dots, K + 1$$

і не корелюють між собою. Перший компонент має максимально можливу

( $\lambda_0$  або  $\lambda_1$ ) із усіх лінійних комбінацій дисперсію, другий – максимально можливу ( $\lambda_1$  або  $\lambda_{II}$ ) із усіх лінійних комбінацій, ортогональних першій, та ін. Власні числа  $\lambda_j$  автокореляційної матриці, як правило, застосовуються як показники ваги цього компонента в досліджуваному процесі.

Метод «Гусениця- SSA» (Singular Spectrum Analysis) – метод головних компонент і, як виявилось, при аналізі коротких часових рядів є більш результативним [72 – 74]. Технологія аналізу містить процедури дослідження, відновлення й прогнозування ряду досліджень на основі методу «Гусениця- SSA» (рис.2.5).

На етапі розкладання відповідна процедура переводить вихідний часовий ряд у послідовність багатомірних векторів.

Процедура вкладення утворює  $K = N - L + 1$  векторів вкладення, які мають розмірність  $L$  :

$$X_i = (f_{i-L}, \dots, f_{i+L-2})^T \quad 1 \leq i \leq K \quad (2.21)$$

Результатом аналізу головних компонент (ГК) є сингулярне розкладання траекторної матриці ряду. Сингулярне розкладання складається з декількох операцій. Спочатку обчислюють матрицю:

$$S = X \cdot X^T, \quad (2.22)$$

де  $X$  – траекторна матриця одномірного або двомірного дійсного часового ряду відповідно до довжини вікна  $L$ .



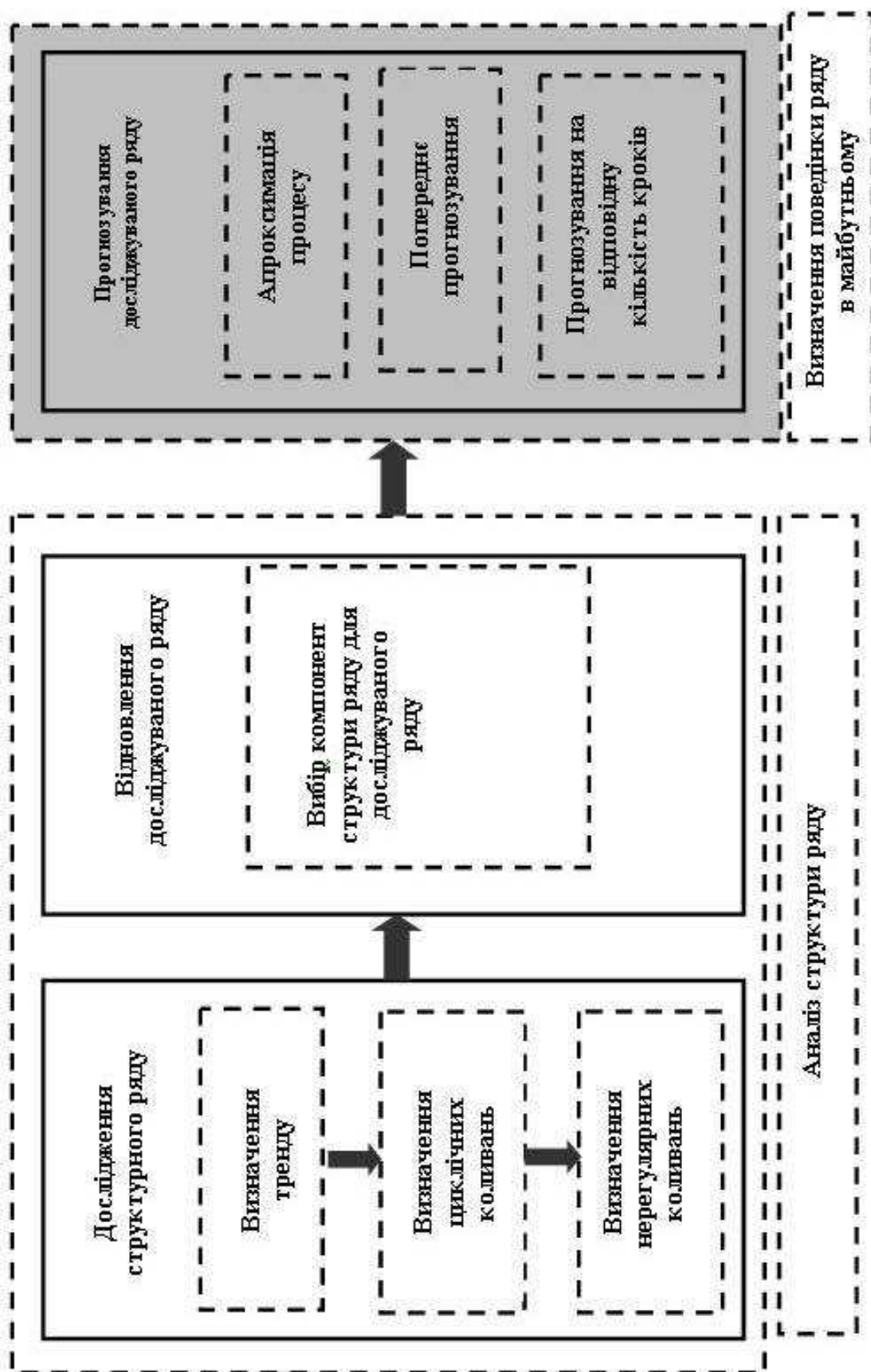


Рис. 2.5. Технологія аналізу на основі методу «Гусениця – SSA»

Якщо визначається вибірка з випадкової сукупності, то власні числа матриці  $S$  є вибірковими дисперсіями відповідних головних компонент, а квадратні корені з них – вибірковими стандартами.

Таким чином, сингулярне розкладання матриці  $X$  може бути записане в такому вигляді:

$$X = X_1 + X_2 + \dots + X_d, \quad (2.23)$$

де  $X_i = \sqrt{\lambda_i} U_i V_i^T$ ;

$U_1 \dots U_L$  – ортонормована система власних векторів матриці  $S$  ( $S = X \cdot X^T$ );

$\lambda_1, \dots, \lambda_L$  – власні числа матриці  $S$ ;  $d = \max\{i : \lambda_i > 0\}$ .

На основі розкладання (2.20) процедура угруповання ділить всі підмножини індексів на непересічні множини:

$$X = X_{I_1} + X_{I_2} + \dots + X_{I_m}, \quad (2.24)$$

де  $m$  – кількість підмножин, що непересічні  $I_1, \dots, I_m$

Наступним ключовим елементом методу «Гусениця - SSA» є процедура відновлення. На цьому етапі для одержання, що цікавить наближення матриці ряду, необхідно кожну матрицю згрупованого розкладання (2.24) перевести в новий ряд довжини  $N$  у такому вигляді:

$$g_k = \begin{cases} \frac{1}{k+1} \sum_{m=1}^{k+1} y_{m,k-m+2}^* & 0 \leq k < L^* - 1 \\ \frac{1}{L} \sum_{m=1}^{L^*} y_{m,k-m+2}^* & L^* - 1 \leq k < K^* \\ \frac{1}{N-k} \sum_{m=k-K+2}^{N-K+1} y_{m,k-m+2}^* & K^* \leq k < N \end{cases}$$

Процедура прогнозування [74] полягає у визначенні часового ряду  $G_{N+M} = (g_0, \dots, g_{N+M-1})$  у такому вигляді:

$$g_i = \begin{cases} f_i & \text{для } i = 0, \dots, N-1, \\ \sum_{j=1}^{L-1} a_j g_{i-j} & \text{для } i = N, \dots, N+M-1 \end{cases} \quad (2.26)$$

Перехід до вихідного ряду формально може бути здійснений усередненням

матриці ряду по побічних діагоналях і може призвести до деякого викривлення отриманої структури.

Основною перевагою методу «Гусениця-SSA» є відсутність вимоги апріорної задачі моделі ряду, а також можливість виділення гармонійних складових з мінливими амплітудами й частотами, що, у свою чергу, вигідно відрізняє його від інших методів. Отримане в результаті розкладання є основою для прогнозування як самого ряду, так і його окремих складових.

Узагальнюючи викладене, слід зазначити, що математичне моделювання процесів внутрішньошахтного транспорту являє собою перспективний напрям. Його вдосконалювання й розвиток при використанні розроблених математичних моделей надають можливість оперативно транспортувати допоміжні вантажопотоки вугільних шахт. Необхідно відзначити, що розроблені математичні моделі повинні адекватно відображати своєчасну доставку допоміжних вантажопотоків, а також вирішувати наступні завдання:

- розробка математичної моделі ефективного вибору послідовності обслуговування горизонтів вугільних шахт для оперативної доставки в них допоміжних матеріалів і обладнання;

- виконання прогнозу потреби необхідної кількості матеріалів і устаткування для ефективного функціонування добувних ділянок;

- розробка математичної моделі переміщення транспортних засобів при мінімальних витратах енергії для доставки необхідних матеріалів і устаткування з пристовбурного двору до вибоїв шахт або переміщення їх з одного вибою в інший.

Існуюче математичне забезпечення потребує подальшого розвитку як за удосконалюванням процесів доставки допоміжних вантажопотоків, так і за виконанням прогнозування матеріальних ресурсів, що припускає необхідність створення відповідних математичних моделей. При цьому необхідно розробити методи розв'язання задач оптимального транспортування матеріальних ресурсів і запропонувати відповідні процедури їх рішення.

## РОЗДІЛ 3

### ПРОЦЕСИ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДОПОМІЖНИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕННОСТІ

#### 3.1. Модель послідовності обслуговування горизонтів вугільних шахт для доставки вантажів

Проблема вибору послідовності обслуговування горизонтів вугільної шахти для доставки допоміжних матеріалів і обладнання в підготовчі вибої є багатокритеріальною. Але при цьому майже жоден критерій не піддається детермінованому, чіткому математичному аналізу. Для розв'язання такого роду задач найбільш раціонально використовувати різні методи [75, 76], у тому числі й метод аналізу ієрархій, запропонований Томасом Л. Сааті в 1970 році.

У даному розділі вирішено декілька задач: розроблена математична модель вибору послідовності обслуговування горизонтів вугільних шахт для доставки допоміжних матеріалів і обладнання; визначена послідовність обслуговування горизонтів в умовах зміни їх потреб у допоміжних матеріалах і обладнанні в різні моменти часу.

Як правило, вугільна шахта складається з декількох горизонтів, з'єднаних між собою допоміжним стовбуром. Горизонт у свою чергу, складається із транспортного комплексу пристовбурного двору й схеми транспортних виробок (рис.3.1).

При формалізації опису розглянутої задачі введено наступні параметри моделі [16, 18]:

- $G_1, \dots, G_3$  – горизонти вугільної шахти;
- $M_1, \dots, M_6$  – допоміжні матеріали й обладнання.

На підставі рекомендацій [54, 55] представимо вугільну шахту у вигляді ієрархічної структури (рис.3.2).

Із рис. 3.2 видно, що за перший рівень ієрархії вибрано транспортний комплекс пристовбурного двору (ПД), в якому виконується процес приймання всіх вантажів, що надходять у шахту і відправлення з неї.

У ролі 2-го рівня прийнято горизонти, а за 3-й рівень – підготовчі вибої.

Таким чином, для рішення поставленої задачі на першому етапі необхідно уявити її в ієрархічній формі (рис. 3.3).

Після закінчення побудови ієрархії для кожної материнської вершини розраховується оцінка вагових коефіцієнтів, що визначають ступінь її залежності від вершин, що впливають на неї, більш низького рівня. Для цього використовується метод попарних порівнянь [58 – 60].

Результатом опису дій є матриця попарних порівнянь відносної важливості вибраних критеріїв і розрахунок відношення узгодження (табл. 3.1).

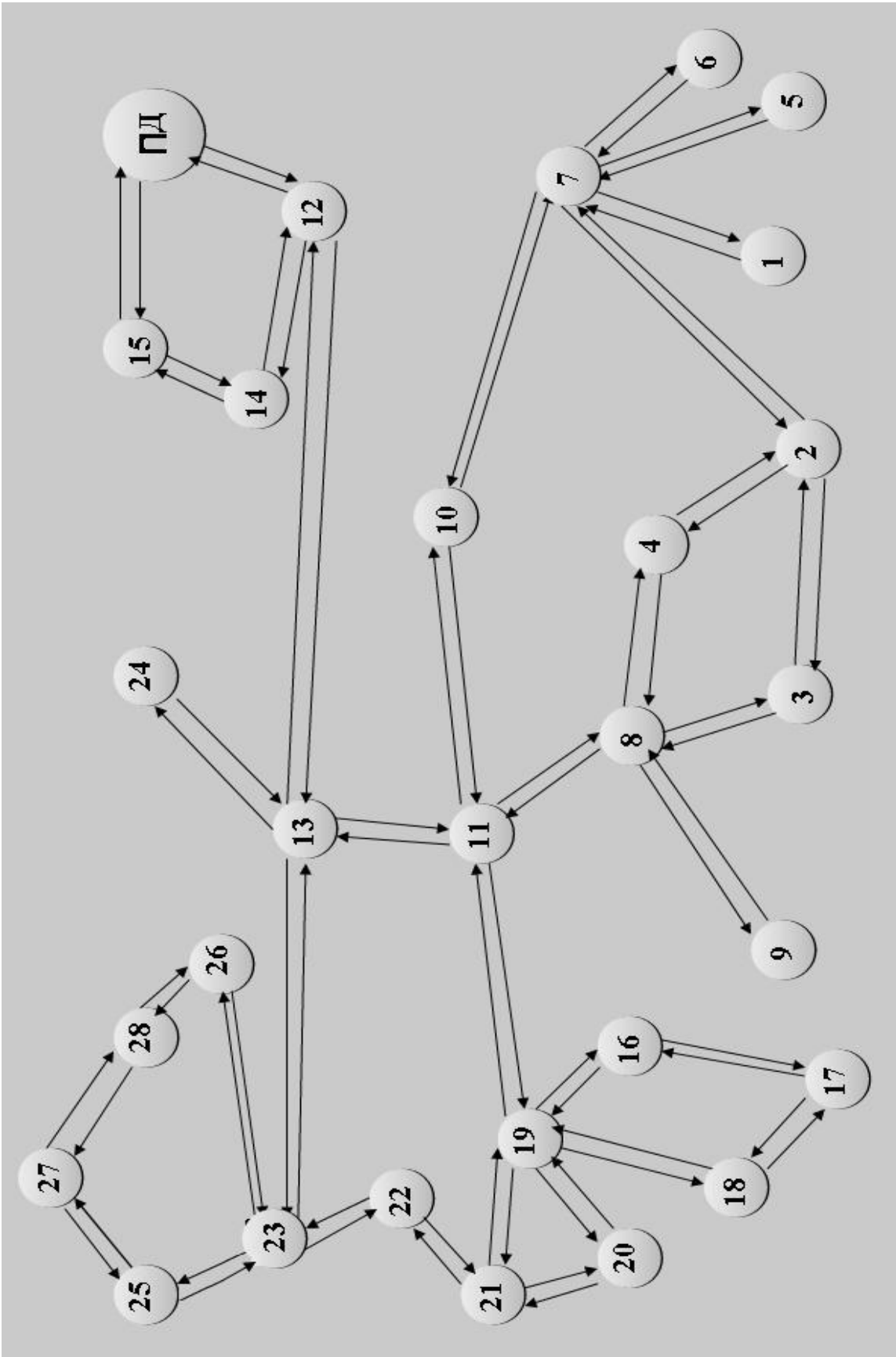


Рис. 3.1. Схема мережі транспортних виробок  
 (ПД – пристовбури двір; 1...28 – підготовчі вибої (вузли)).

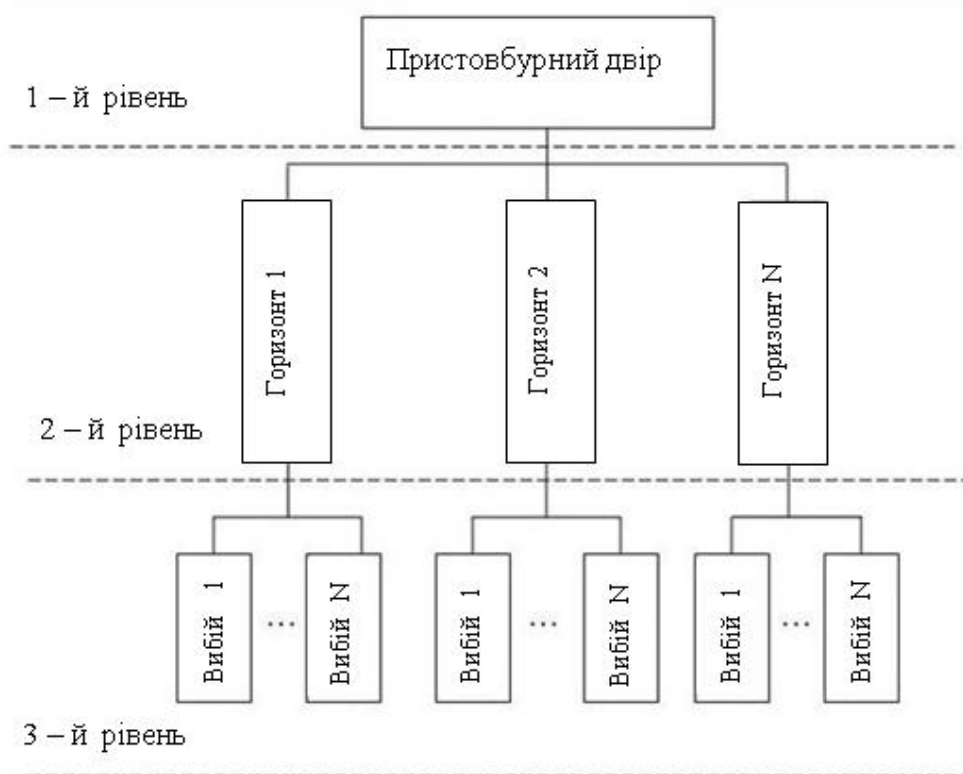


Рис. 3.2. Ієрархічна структура транспортної моделі шахти

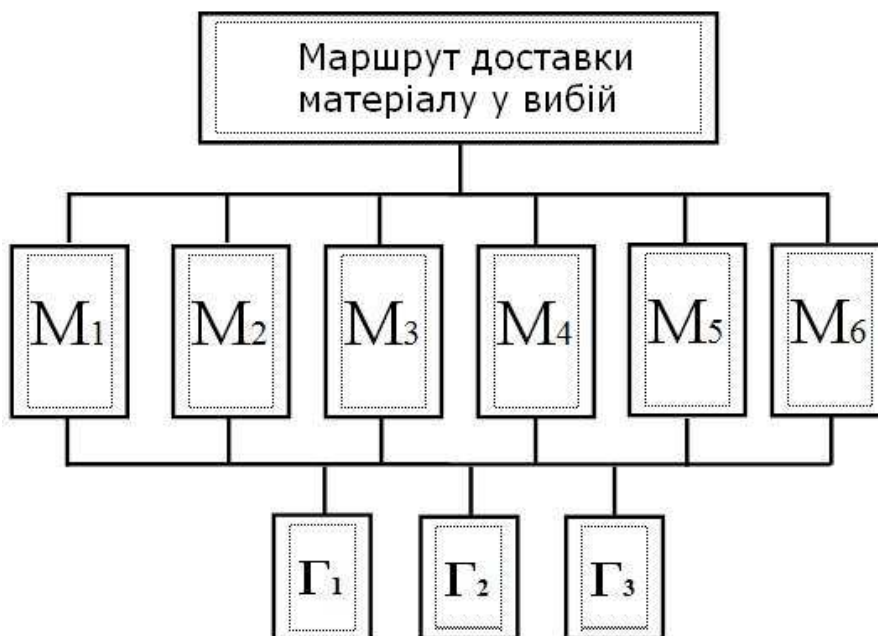


Рис. 3.3. Структурна модель прийняття рішень  
 ( $\Gamma_1, \dots, \Gamma_3$  – горизонти вугільної шахти;  $M_1, \dots, M_6$  – матеріали та обладнання)

Таблиця 3.1

## Матриці попарних порівнянь відносної важливості критеріїв

	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	Оцінка компонент власного вектора
M <sub>1</sub>	1.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	0,29
M <sub>2</sub>	0.33	1.00	2.00	0.33	0.20	0.17	0,05
M <sub>3</sub>	0.50	0.50	1.00	0.33	0.25	0.33	0,05
M <sub>4</sub>	0.50	3.00	3.00	1.00	0.25	0.33	0,11
M <sub>5</sub>	0.50	5.00	4.00	4.00	1.00	4.00	0,31
M <sub>6</sub>	0.33	6.00	3.00	3.00	0.25	1.00	0,17
$\lambda_{\max} = 6,82$		$IC = 0,12$				$OC = 9,91\%$	

$\lambda_{\max}$  – максимальне дійсне число матриці попарних порівнянь;

$IC$  – індекс узгодженості висловлень експертів;

$OC$  – відношення узгодженості.

При формалізації опису розглянутої задачі були запропоновані наступні критерії математичної моделі для вибору варіантів:

- 1 M<sub>1</sub> – першочергова доставка кріпильних деталей замка;
- 2 M<sub>2</sub> – першочергова доставка затяжки;
- 3 M<sub>3</sub> – першочергова доставка шпали;
- 4 M<sub>4</sub> – першочергова доставка стояків;
- 5 M<sub>5</sub> – першочергова доставка міжрамних стяжок;
- 6 M<sub>6</sub> – першочергова доставка верхняку.

У процесі розв'язання задачі побудовано матриці попарних порівнянь відносної важливості альтернатив (табл. 3.2).

На підставі результатів, наведених у таблиці 3.3, розраховано глобальні пріоритети.

Таким чином, оцінка пріоритетності альтернатив показує, що в першу чергу необхідно доставити матеріали на горизонт Г<sub>3</sub> (ГП = 0,49), потім на горизонт Г<sub>1</sub> (ГП = 0,42), і в останню чергу – на горизонт Г<sub>2</sub> (ГП = 0,08).

Через те, що процес доставки вантажопотоків відбувається в динамічному режимі, з постійним переміщенням місця виконання основних виробничих операцій, то розрахунки моделі послідовності обслуговування горизонтів необхідно виконувати при кожному надходженні заявок на диспетчерський пункт.

Як було сказано у розділі 2.1, матриця попарних порівнянь може бути сформована з урахуванням часу. У результаті апроксимації переваг експерта отримана матриця G (3.1): G – горизонт вугільної шахти; t – час (1 доба, 2 доби, 3 доби),  $t \neq 0$  (2.7) [56].

Таблиця 3.2

Матриця попарних порівнянь відносної важливості альтернатив

Критерій M <sub>1</sub>	Г <sub>1</sub>	Г <sub>2</sub>	Г <sub>3</sub>	Оцінка компонент власного вектора
Г <sub>1</sub>	1.00	6.00	2.00	0,58
Г <sub>2</sub>	0.16	1.00	0.25	0,08
Г <sub>3</sub>	0.50	4.00	1.00	0,32
$\lambda_{\max} = 3,03$		$IC = 0,01$		$OC = 0,79\%$
Критерій M <sub>2</sub>	Г <sub>1</sub>	Г <sub>2</sub>	Г <sub>3</sub>	Оцінка компонент власного вектора
Г <sub>1</sub>	1.00	5.00	2.00	0,54
Г <sub>2</sub>	0.20	1.00	0.16	0,08
Г <sub>3</sub>	0.50	6.00	1.00	0,36
$\lambda_{\max} = 3,09$		$IC = 0,04$		$OC = 7,39\%$
Критерій M <sub>3</sub>	Г <sub>1</sub>	Г <sub>2</sub>	Г <sub>3</sub>	Оцінка компонент власного вектора
Г <sub>1</sub>	1.00	7.00	3.00	0,88
Г <sub>2</sub>	0.14	1.00	0.20	0,03
Г <sub>3</sub>	0.33	5.00	1.00	0,09
$\lambda_{\max} = 3,07$		$IC = 0,03$		$OC = 5,58\%$
Критерій M <sub>4</sub>	Г <sub>1</sub>	Г <sub>2</sub>	Г <sub>3</sub>	Оцінка компонент власного вектора
Г <sub>1</sub>	1.00	9.00	4.00	0,72
Г <sub>2</sub>	0.11	1.00	0.33	0,07
Г <sub>3</sub>	0.25	3.00	1.00	0,19
$\lambda_{\max} = 3,01$		$IC = 0,01$		$OC = 0,79\%$
Критерій M <sub>5</sub>	Г <sub>1</sub>	Г <sub>2</sub>	Г <sub>3</sub>	Оцінка компонент власного вектора
Г <sub>1</sub>	1.00	2.00	0.12	0,15
Г <sub>2</sub>	0.50	1.00	0.16	0,09
Г <sub>3</sub>	8.00	6.00	1.00	0,74
$\lambda_{\max} = 3,11$		$IC = 0,06$		$OC = 9,29\%$
Критерій M <sub>6</sub>	Г <sub>1</sub>	Г <sub>2</sub>	Г <sub>3</sub>	Оцінка компонент власного вектора
Г <sub>1</sub>	1.00	3.00	0.33	0,24
Г <sub>2</sub>	0.33	1.00	0.14	0,08
Г <sub>3</sub>	3.00	7.00	1.00	0,66
$\lambda_{\max} = 3,01$		$IC = 0,01$		$OC = 0,6\%$



Таблиця 3.3

Результати обчислення пріоритетів допоміжних вантажопотоків

Альтернатива	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	Розрахунок глобальних пріоритетів	Перевага при виборі варіанта
Г <sub>1</sub>	0,59	0,55	0,88	0,73	0,15	0,24	0,42	2
Г <sub>2</sub>	0,09	0,08	0,03	0,08	0,09	0,08	0,08	3
Г <sub>3</sub>	0,32	0,36	0,08	0,19	0,74	0,66	0,49	1

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 3+t & 2t & 2t & 2 \cdot t & 3+t \\ \frac{1}{3+t} & 1 & 2t & \frac{1}{3+t} & \frac{1}{\ln(t+1)} & \frac{1}{t^2+6t} \\ \frac{1}{2t} & \frac{1}{2t} & 1 & \frac{1}{3+t} & \frac{1}{4} & \frac{1}{3+t} \\ \frac{1}{2t} & 3+t & 3+t & 1 & \frac{1}{4} & \frac{1}{3+t} \\ \frac{1}{2t} & \ln(t+1) & 4 & 4 & 1 & 4 \\ \frac{1}{3+t} & t^2+6t & 3+t & 3+t & \frac{1}{4} & 1 \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

Розрахунки пріоритетних альтернатив при t=2 доб і t=3 доб не змінився (табл.3.4), а відповідно й послідовність доставки допоміжних матеріалів і обладнання до горизонтів (Г<sub>1</sub>, Г<sub>2</sub>, Г<sub>3</sub>) також не змінилася.

Таблиця 3.4

Розрахунки пріоритетних альтернатив з урахуванням часу

t = 1 доба	t = 2 доби	t = 3 доби			
Г <sub>1</sub>	0,35	Г <sub>1</sub>	0,33	Г <sub>1</sub>	0,29
Г <sub>2</sub>	0,16	Г <sub>2</sub>	0,15	Г <sub>2</sub>	0,10
Г <sub>3</sub>	0,48	Г <sub>3</sub>	0,51	Г <sub>3</sub>	0,61

У науковій літературі критично розглянуті властивості методу аналізу ієрархій або методи багатокритеріального аналізу [77]. При цьому відзначається складність урахування варіації складу альтернатив, залежностей переваг від варіантів вибору та ін. З урахуванням цього у [78, 79] запропоновано метод аналітичних мереж (МАН). У роботі [77] зазначено й більш істотні, на погляд автора недоліки МАІ і МАН: «... одно из них состоит в том, что шкалы, в которых осуществляется оценивание (измерение) степеней предпочтений вариантов по каждому из критериев, полагаются шкалами отношений, и притом не связанными друг с другом и с приоритетами критериев. Это допущение в свете математической теории измерений неправомерно». У цих роботах проводиться зіставлення МАІ (МАН) з методом із роботи [77]. Показано на прикладі модельної задачі, що розв'язки за допомогою МАІ та методу з [77] не збігаються. Як відомо, метод [77] має аксіометричне обґрунтування поняття «важливості» критеріїв.

Формально це виражається в судженні про еквівалентність і деяких симетричних пар векторів оцінок варіантів. Наприклад,  $A_1(0,0,0,1)$  і  $B_1(1,0,0,0)$  у разі прийняття такого судження про еквівалентність першого й четвертого показників устанавлюється їх рівнозначність. Разом з тим не розглядається питання про існування систем з такими наборами показників А та В.

Саме правило встановлення в критичних ситуаціях аксіометричних властивостей (вимог для обґрунтування моделей і методів) не уявляється можливим. У тому числі для таких складних систем, якими є процеси доставки допоміжних матеріалів і обладнання в підготовчі вибої вугільних шахт. Використовувані в МАІ форми збору експертних переваг є цілком прийнятними для моделювання таких процесів. У зв'язку з цим обґрунтованою моделлю планування є встановлення їх адекватності з погляду реалізації, наприклад, уже відомих рішень.

У монографії наведено результати метода аналізу ієрархій й зіставлення запропонованих математичних моделей планування послідовності обслуговування горизонтів. На підставі порівняння результатів розрахунків з результатами вибору варіантів, що отримані від диспетчерів шахт, можна зробити висновок про їх прийнятну погодженість (до 5%) у деяких випадках і про повний збіг в інших.

Таким чином, незважаючи на те, що метод аналізу ієрархій має певні обмеження у використанні, він виявився доцільним при формуванні математичних моделей реалізації процедур раціонального вибору.

Сформована в монографії математична модель, як показав порівняльний аналіз, адекватно формалізує.

### 3.2. Управління процесами транспортування вантажів з урахуванням характеристики траси

Для врахування зміни характеристики маршруту й обсягу вантажу, що доставляється, розроблено математичну модель переміщення транспортних засобів до підготовчих вибоїв.

Введено наступні параметри:

$E_{ij}$  – енергія локомотива, що використовується для доставки матеріалів у підготовчі вибої;

$F_{x.cT_{ij}}$  – сила тяги при холостому (з порожняком) ході, Н;

$F_{p.cT_{ij}}$  – сила тяги при навантаженому (з вантажем) ході, Н;

$l_p$  – відстань маневрування електровоза, м;

$l_{mij}$  – відстань в одному напрямку, м;

$i$  – вибій, з якого необхідно вивезти допоміжні матеріали;

$j$  – вибій, в який необхідно доставити допоміжні матеріали.

$i_{c_{i,j}}$  – середній ухил маршруту, ‰;

$M_{n.n.}$  – маса порожнього потяга, т;

$M_{n.z}$  – маса навантаженого потяга, т;

$W_n$  – питомий опір руху, Н/кН;

$m_d$  – маса локомотива, т;

$m_0$  – маса тари, т;

$m$  – маса вантажу, т;

$Z_n$  – кількість порожніх вагонеток у складі потяга;

$C_m$  – коефіцієнт, який враховує транспортування матеріалів у складі локомотива нерозвантаженого залишку гірської маси,  $C_m = 0.10...0.15$ ;

$Z_z$  – обмежена кількість навантажених вагонів у складі потягу;

Представимо транспортну систему вугільної шахти у вигляді графа (рис.3.1).

Згідно з алгоритмом Флойда - Уоршелла [63 – 66] виконано наступні розрахунки для транспортної схеми, зображеної на рис.3.1.

Спочатку розглянуто завдання знаходження оптимального маршруту доставки допоміжних вантажів з урахуванням довжини траси на основі початкових даних (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Початкові дані схеми транспортування для вибоїв «23–25–27–26–28»

Найменування параметра/маршрут	«23–25»	«25–27»	«27–28»	«23–26»	«26–28»
$l_m, \text{м}$	500	500	500	500	500
$l_{Mi,j}, \text{м}$	4200	4850	6200	8450	6600
$i_{c_{i,j}}, \text{‰}$	7	8	9	14	16
$W_n, \text{Н/кН}$	15	15	15	15	15
$W_z, \text{Н/кН}$	11	11	11	11	11
$g, \text{м/с}^2$	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
$m_l, \text{т}$	8000	8000	8000	8000	8000
$m_0, \text{т}$	1260	1260	1260	1260	1260
$m_{i,j}, \text{т}$	6000	6000	6000	6000	6000
$Z_n \text{шт}$	7	7	7	7	7
$Z_z \text{шт}$	5	5	5	5	5
$C_m$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
$M_{n,z_{i,j}}, \text{т}$	44,3	44,3	44,3	44,3	44,3
$M_{n.n_{i,j}}, \text{т}$	17,24	17,24	17,24	17,24	17,24
$F_{p.cT_{i,j}}, \text{Н}$	1714,52	8248,66	8682,8	10853,5	11721,78
$F_{x.cT_{i,j}}, \text{Н}$	1351,62	1182,66	1013,71	168,95	168,95
$E_{i,j}, \text{кВт}\cdot\text{год}$	9,42	11,40	15,36	24,36	19,59

Складено вихідні дані (табл. 3.6) для маршруту доставки матеріалів схеми транспортування вибоїв «23–25–26–27–28» з урахуванням довжини відстаней між ними. Матриця  $D_0$  симетрична. В якості вузлів  $i, j$  і  $k$  використано вибої зі схеми транспортування «23–25–26–27–28».

Необхідно відзначити, що за величину  $d_{ij}$  прийнята відстань між вибоями для доставки матеріалів.

Таблиця 3.6

Вихідні дані

Матриця  $D^0$ 

		23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5
23	1	-	4200	$\infty$	8450	$\infty$
25	2	4200	-	4850	$\infty$	$\infty$
27	3	$\infty$	4850	-	$\infty$	6200
26	4	8450	$\infty$	$\infty$	-	6600
28	5	$\infty$	$\infty$	6200	6600	-

Матриця  $S^0$ 

		23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5
23	1	-	2	3	4	5
25	2	1	-	3	4	5
27	3	1	2	-	4	5
26	4	1	2	3	-	5
28	5	1	2	3	4	-

Для схеми транспортування «23–25–26–27–28» у матриці  $D_0$  виділено рядок  $k = 1$  і стовпець  $k = 1$  як головні рядок і стовпець (табл.3.6).

Припустимо, що  $k = 1$ .

Елементи матриці  $d_{24}$  і  $d_{42}$  єдині серед елементів матриці  $D_0$ , значення яких можна поліпшити за допомогою трикутного оператора. Отже, щоб на основі матриць  $D_0$  і  $S_0$  одержати матриці  $D_1$  й  $S_1$ , виконано наступні дії:

1. Замінено  $d_{24}$  на  $d_{14} + d_{21} = 8450 + 4200 = 12600$  й встановлено  $s_{24} = 1$ .
2. Замінено  $d_{42}$  на  $d_{41} + d_{12} = 4200 + 8450 = 12600$  й встановлено  $s_{42} = 1$ .

Матриці  $D_1$  й  $S_1$  мають такий вигляд (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

Матриці  $D_1$  й  $S_1$ . Проміжний розрахунокМатриця  $D_1$ 

		23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5
23	1	-	4200	$\infty$	8450	$\infty$
25	2	4200	-	4850	12600	$\infty$
27	3	$\infty$	4850	-	$\infty$	6200
26	4	8450	12600	$\infty$	-	6600
28	5	$\infty$	$\infty$	6200	6600	-

Матриця  $S_1$ 

		23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5
23	1	-	2	3	4	5
25	2	1	-	3	1	5
27	3	1	2	-	4	5
26	4	1	1	3	-	5
28	5	1	2	3	4	-

Припустимо, що  $k = 2$ ; у матриці  $D_2$  виділено як головні рядок і стовпець. Трикутний оператор застосовується до елементів  $d_{34}$ ,  $d_{43}$ ,  $d_{31}$  і  $d_{13}$  матриці  $D_2$  й  $S_2$ :

1. Замінено  $d_{34}$  на  $d_{24} + d_{32} = 12600 + 4800 = 17400$  й встановлено  $s_{34} = 2$ .

2. Замінено  $d_{43}$  на  $d_{42} + d_{23} = 4800 + 12400 = 17400$  й установлено  $s_{42} = 2$ .
3. Замінено  $d_{31}$  на  $d_{12} + d_{32} = 4200 + 4850 = 9050$  й установлено  $s_{31} = 2$ .
4. Замінено  $d_{13}$  на  $d_{21} + d_{23} = 4850 + 4200 = 9050$  й установлено  $s_{13} = 2$ .

У результаті одержано матриці  $D_2$  й  $S_2$  (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Матриці  $D_2$  й  $S_2$ . Проміжний розрахунок

Матриця  $D_2$

		23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5
23	1	-	4200	9050	8450	$\infty$
25	2	4200	-	4850	12600	$\infty$
27	3	9050	4850	-	17400	6200
26	4	8450	12600	17400	-	6600
28	5	$\infty$	$\infty$	6200	6600	-

Матриця  $S_2$

		23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5
23	1	-	2	2	4	5
25	2	1	-	3	1	5
27	3	2	2	-	2	5
26	4	1	1	2	-	5
28	5	1	2	3	4	-

Припустимо, що  $k = 3$ ; у матриці  $D_2$  виділено як головний рядок і стовпець. Трикутний оператор застосовується до елементів  $d_{15}$ ,  $d_{25}$ ,  $d_{51}$  і  $d_{52}$  матриці  $D_2$  й  $S_2$ .

1. Замінено  $d_{15}$  на  $d_{13} + d_{35} = 9050 + 6200 = 15250$  й установлено  $s_{15} = 3$ .
2. Замінено  $d_{51}$  на  $d_{31} + d_{53} = 6200 + 9050 = 15250$  й установлено  $s_{51} = 3$ .
3. Замінено  $d_{25}$  на  $d_{23} + d_{35} = 4850 + 6200 = 11050$  й установлено  $s_{25} = 3$ .
4. Замінено  $d_{52}$  на  $d_{32} + d_{53} = 6200 + 4850 = 11050$  й установлено  $s_{52} = 3$ .

У результаті одержано матриці  $D_3$  й  $S_3$  (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

Матриці  $D_3$  й  $S_3$ . Остаточний результат

Матриця  $D_3$

		23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5
23	1	-	4200	8800	8450	15250
25	2	4200	-	4800	12400	11050
27	3	8800	4800	-	17200	6200
26	4	8450	12400	17200	-	6600
28	5	15250	11050	6200	6600	-

Матриця  $S_3$

		23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5
23	1	-	2	2	4	3
25	2	1	-	3	1	3
27	3	2	2	-	4	5
26	4	1	1	2	-	5
28	5	1	2	3	4	-

При  $k = 4$  й  $k = 5$  ніяких дій не виконується, обчислення закінчено.

Кінцеві матриці  $D_3$  й  $S_3$  містять повну інформацію, достатню для визначення маршрутів між відповідними вибоями вугільних шахт.

Таким чином, оскільки  $S_{15} = 3$  й  $S_{45} = 5$ , то спочатку маршрут доставки матеріалів мав такий вигляд:  $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5$ , але вузли «1» і «5» не зв'язані одним ребром і  $S_{13} \neq 3$ , а  $S_{13} = 2$ . Далі визначено проміжний вузол між першим і третім вузлами. Оскільки  $s_{13} = 2$  й  $s_{23} = 3$ , тому маршрут  $1 \rightarrow 3$  замінили на  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ , тому що при  $S_{13} = 2$  й  $S_{23} = 3$  інших проміжних вузлів не існує. Комбінуючи певні ділянки маршруту, остаточно одержали наступний шлях проходження локомотива від вузла «1» до вузла «5»:  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 5$  або  $23 \rightarrow 25 \rightarrow 27 \rightarrow 28$ . Довжина маршруту відповідно становить 15250 м.

Але в даній транспортній схемі (рис. 3.1) існує ще один маршрут проходження локомотива:  $23 \rightarrow 26 \rightarrow 28$ , який можливо коротше ніж попередній.

Таким чином, розв'язання задачі шляхом знаходження тільки мінімумів відстаней між вершинами (підготовчими вибоями) у шахтних умовах не завжди виправдане. Оскільки при процесах транспортування вантажопотоків необхідно враховувати не тільки довжину маршруту між вибоями, але і його фізичні характеристики: ухил, стан поверхні, а також такі причини, як:

- постійна мінливість підземних транспортних виробок і тягових характеристик локомотива за експлуатаційними параметрами, коли для менших відстаней затрачується більша енергія руху локомотива (електрична, механічна);
- наявність експериментальних непланованих ситуацій (схід локомотива з рейок, ремонт шляху, простої та ін.).

У зв'язку з цим виникла потреба розробити математичну модель за умови зміни характеристики траси й обсягу вантажу, що доставляється в підготовчі вибої вугільних шахт допоміжним транспортом. У цих випадках за критерій оптимізації для здійснення ефективного функціонування процесів доставки шахтних вантажопотоків необхідно використовувати мінімальні сумарні витрати енергії локомотива на доставку всієї заявленої маси вантажів до всіх заявлених пунктів.

У роботі [80] запропоновано розрахунки механічної енергії:

$$E_1 = \frac{V^2}{2g} \left( P_1 + 4P_2 \left( 1 + \frac{\rho^2}{r^2} \right) \right), \quad (3.2)$$

де  $V$  – швидкість руху локомотива, м/с;

$g$  – прискорення вільного падіння, м<sup>2</sup>/с;

$P_1$  – вага локомотива, кН;

$4P_2$  – вага коліс, кН;

$\rho$  – радіус інерції колеса щодо осі, яка проходить через його центр інерції, м;

$r$  – радіус коліс, м.

У роботі [81] запропоновано розрахунок електричної енергії:

$$E_2 = \frac{U^2}{2r_e \cdot (1+a)^2} \cdot t, \quad (3.3)$$

де  $U$  – напруга на навантаженні, Вт;

$r_e$  – внутрішній опір ланцюга контуру, Ом;

$a$  – коефіцієнт навантаження;

$t$  – час руху локомотива, с.

Необхідно відзначити, що багато традиційних методів не дозволяють враховувати всього різноманіття технологічних і організаційних зв'язків між окремими виробничими процесами. Це у свою чергу викликає затримку на їх виконання й непередбачені простой [82, 83], не забезпечує ефективності процесів планування й транспортування вантажопотоків.

Отже, виникла необхідність використання більш гнучкої й динамічної організації моделювання гірничо-підготовчих робіт, яка б дозволила в будь-який момент із достатньою швидкістю і точністю перерозподіляти допоміжні вантажопотоки таким чином, щоб забезпечити своєчасне введення в експлуатацію нових лав за мінімальних витрат на їх підготовку.

Розглянемо схему транспортування вибоїв «23–25–26–27–28» з урахуванням мінімуму витрати енергії, тобто з урахуванням характеристики маршруту проходження локомотива.

Для розв'язання поставленої задачі скористаємося процедурою Флойда – Уоршелла.

Необхідно відзначити, що за величину  $d_{ij}$  прийнята витрата енергії для доставки матеріалів у вибої  $E_{ij}$ .

Знайдемо найкоротші значення енергії між відповідними декількома вузлами (виробками). Допускається рух в обидві сторони.

У свою чергу витрата енергії для доставки матеріалів у вибої розраховується наступним чином [84, 85]:

$$E_{ij} = 0,278 \cdot 10^{-6} \left( F_{x.ctij} + F_{p.ctij} \right) \cdot \left( l_p - l_{mij} \right) \rightarrow \min, \quad (3.4)$$

де 0,278 – коефіцієнт, який переводить механічну роботу (Н•м) в електричну (кВт•год);

Відповідно сила тяги при холостому ході  $F_{x.ctij}$  розраховується за формулою:



$$F_{x.c.T_{ij}} = g \cdot M_{n.n.} \cdot (W_n \pm i_{c_{ij}}), \quad (3.5)$$

де  $M_{n.n.}$  – маса порожнього складу, т;

$i_{c_{ij}}$  – середній ухил траси, ‰;

$W_n$  – питомий опір руху, Н/кН.

Знак «плюс» перед параметром  $i_c$  ставиться в тому випадку, якщо розглянуте поле уклонне, знак «мінус» – якщо бремсбергове поле.

Сила тяги при навантаженому ході відповідно  $F_{p.c.T}$ :

$$F_{p.c.T_{ij}} = g \cdot M_{n.z} \cdot (W_z \pm i_{c_{ij}}), \quad (3.6)$$

де  $M_{n.z}$  – маса навантаженого складу, т.

Масу порожнього потяга  $M_{n.n}$  визначають у такий спосіб:

$$M_{n.n} = m_l + Z_n \cdot (m_0 + C_m \cdot m), \quad (3.7)$$

де  $m_l$  – маса локомотива, т;

$m_0$  – маса тари, т;

$m$  – маса вантажу, т;

$Z_n$  – кількість порожніх вагонеток локомотива;

$C_m$  – коефіцієнт, який враховує транспортування матеріалів у складі локомотива нерозвантаженого залишку гірської маси,  $C_m = 0,10 - 0,15$ .

Маса навантаженого складу  $M_{n.z}$ :

$$M_{n.z} = m_l + Z_z \cdot (m_0 + m), \quad (3.8)$$

де  $Z_z$  – обмежена кількість навантажених вагонів у складі.

Аналогічно були розраховані вихідні дані (табл. 3.10) для маршруту доставки матеріалів схеми транспортування «23–25–26–27–28» з урахуванням мінімуму витрати енергії. Матриця  $D_0$  несиметрична.

Розглянемо процедуру рішення задачі для визначення маршруту транспортування допоміжного вантажопотоку.

Для схеми «23– 25– 26– 27–28» у матриці  $D_0$  виділено рядок  $k = 1$  і стовпець  $k = 1$  як головні рядок і стовпець (табл.3.10).

Таблиця 3.10

Вихідні дані

		23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5
23	1	-	9,42	$\infty$	24,36	$\infty$
25	2	3,95	-	11,40	$\infty$	$\infty$
27	3	$\infty$	4,61	-	$\infty$	15,36
26	4	8,10	$\infty$	$\infty$	-	19,59
28	5	$\infty$	$\infty$	6,009	6,13	-

		23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5
23	1	-	2	3	4	5
25	2	1	-	3	4	5
27	3	1	2	-	4	5
26	4	1	2	3	-	5
28	5	1	2	3	4	-

Припустимо, що  $k = 1$ . Значення елементів матриці  $d_{24}$  й  $d_{42}$  поліпшили за допомогою трикутного оператора. Для того, щоб на основі матриць  $D_0$  і  $S_0$  одержати матриці  $D_1$  й  $S_1$ , виконано наступні дії:

1. Замінено  $d_{24}$  на  $d_{14} + d_{21} = 24,36 + 3,95 = 28,31$  й установлено  $s_{24} = 1$ .
2. Замінено  $d_{42}$  на  $d_{41} + d_{12} = 8,10 + 9,42 = 17,52$  й установлено  $s_{42} = 1$ .

Матриці  $D_1$  й  $S_1$  мають такий вигляд (табл. 3.11).

Припустимо, що  $k = 2$ ; у матриці  $D_2$  виділено як головні рядок і стовпець. Трикутний оператор застосовується до елементів  $d_{13}$ ,  $d_{31}$ ,  $d_{34}$  і  $d_{43}$  матриці  $D_2$  й  $S_2$ :

Таблиця 3.11

Матриці  $D_1$  й  $S_1$ . Проміжний результат

		23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5
23	1	-	9,42	$\infty$	24,36	$\infty$
25	2	3,95	-	11,40	28,31	$\infty$
27	3	$\infty$	4,61	-	$\infty$	15,36
26	4	8,10	17,52	$\infty$	-	19,59
28	5	$\infty$	$\infty$	6,009	6,13	-

		23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5
23	1	-	2	3	4	5
25	2	1	-	3	1	5
27	3	1	2	-	4	5
26	4	1	1	3	-	5
28	5	1	2	3	4	-

1. Замінено  $d_{13}$  на  $d_{12} + d_{23} = 9,42 + 11,40 = 20,82$  й установлено  $s_{13} = 2$ .
2. Замінено  $d_{31}$  на  $d_{21} + d_{32} = 3,95 + 4,61 = 8,56$  й установлено  $s_{31} = 2$ .
3. Замінено  $d_{34}$  на  $d_{24} + d_{32} = 28,31 + 4,61 = 32,92$  й установлено  $s_{34} = 2$ .

4. Замінено  $d_{43}$  на  $d_{42} + d_{23} = 17,52 + 11,40 = 28,92$  й установлено  $s_{42} = 2$ .

У результаті одержано матриці  $D_2$  й  $S_2$  (табл. 3.12)

Припустимо, що  $k = 3$ ; у матриці  $D_2$  виділено як головні рядок і стовпець. Трикутний оператор застосовується до елементів  $d_{15}$ ,  $d_{25}$ ,  $d_{51}$  і  $d_{52}$  матриці  $D_2$  й  $S_2$ .

Таблиця 3.12

Матриці  $D_2$  й  $S_2$ . Проміжний результат

Матриця  $D_2$

		23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5
23	1	-	9,42	20,82	24,36	$\infty$
25	2	3,95	-	11,40	28,31	$\infty$
27	3	8,56	4,61	-	32,92	15,36
26	4	8,10	17,52	28,92	-	19,59
28	5	$\infty$	$\infty$	6,009	6,13	-

Матриця  $S_2$

		23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5
23	1	-	2	2	4	5
25	2	1	-	3	1	5
27	3	2	2	-	2	5
26	4	1	1	2	-	5
28	5	1	2	3	4	-

1. Замінено  $d_{15}$  на  $d_{13} + d_{35} = 20,82 + 15,36 = 36,18$  й установлено  $s_{15} = 3$

2. Замінено  $d_{51}$  на  $d_{31} + d_{53} = 8,56 + 6,009 = 14,56$  й установлено  $s_{51} = 3$ .

3. Замінено  $d_{25}$  на  $d_{23} + d_{35} = 11,40 + 15,36 = 26,76$  й установлено  $s_{25} = 3$ .

4. Замінено  $d_{52}$  на  $d_{32} + d_{53} = 4,61 + 6,009 = 10,61$  й установлено  $s_{52} = 3$ .

У результаті одержано матриці  $D_3$  й  $S_3$  (табл. 3.13).

Таблиця 3.13

Матриці  $D_3$  й  $S_3$ . Кінцевий результат

Матриця  $D_3$

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

Матриця  $S_3$

		23	25	27	26	28
		1	2	3	4	5
23	1	-	2	2	4	3
25	2	1	-	3	1	3
27	3	2	2	-	2	5
26	4	1	1	2	-	5
28	5	3	3	3	4	-

При  $k = 4$  й  $k = 5$  ніяких дій не виконується, обчислення закінчено.

Як і в попередньому прикладі, матриці  $D_3$  й  $S_3$  містять повну інформацію, достатню для визначення оптимального шляху проходження локомотива між підготовчими вибоями «23» і «28». Таким чином, значення енергії, що витрачається для доставки допоміжних матеріалів і обладнання між вибоями «23» і «28» становить 36,18 кВт•год і, відповідно, шлях проходження  $23 \rightarrow 25 \rightarrow 27 \rightarrow 28$ .

У ході досліджень удосконалено автоматизовану систему диспетчерського управління розробленими математичними моделями й методами (рис.3.4).

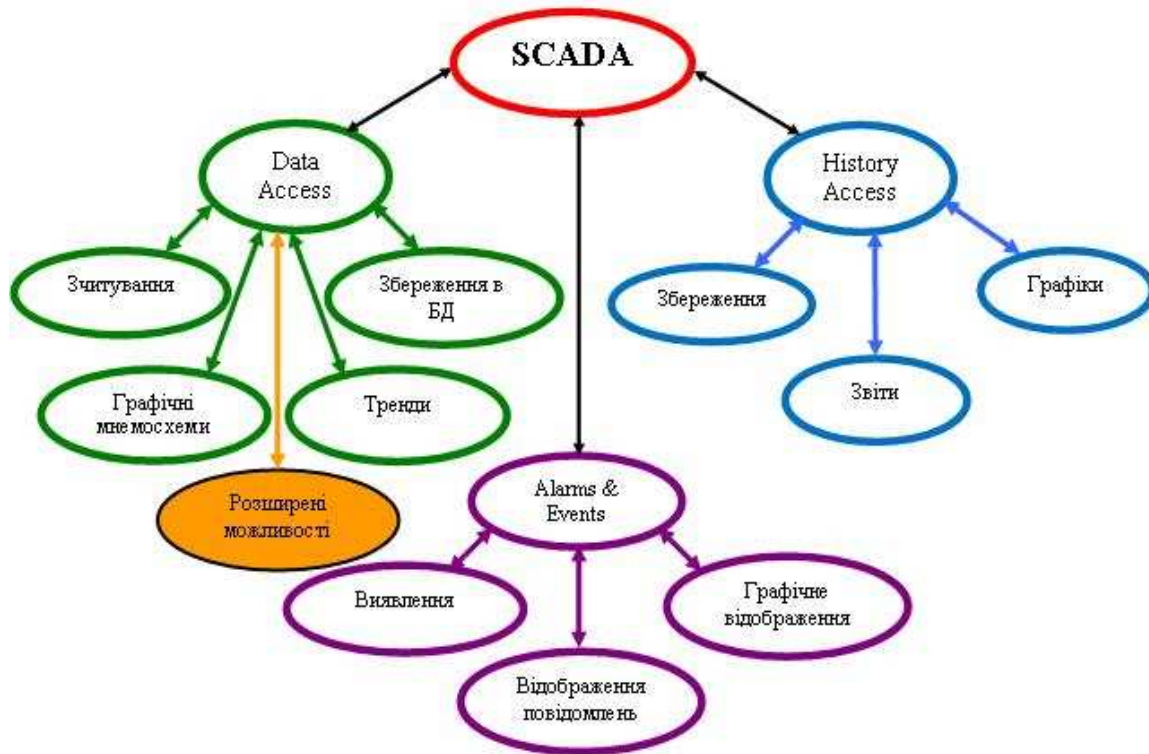


Рис. 3.4. Удосконалена структура системи SCADA

### 3.3 Прогнозування часового ряду і його складових при оперативній обробці матеріальних потоків у забоях вугільних шахт

На базі використання методу «Гусениця-SSA» виконано аналіз оперативної обробки допоміжних матеріальних потоків у вибоях вугільних шахт [73, 74, 86 – 89].

Для формалізації опису розглянутої задачі введено показник «міжрамні стяжки».

З математичної точки зору розглянута задача є задачею аналізу коротких часових рядів, оскільки розглядається період до одного місяця.

Розглянуто часовий ряд  $F = (f_0, \dots, f_{N-1})$  (табл.3.14) тривалістю  $N$  ( $N$  – довжина ряду,  $N = 30$  днів).

Таблиця 3.14

Часовий ряд

Дні	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Кіль-У деталей, шт	10	7	8	6	7	9	9	8	11	7	14	10	12	11	10	12	11	8	9	10	7	12	14	11	10	8	10	9	9	7

У цьому випадку  $L = 10$  (довжина вікна або довжина гусениці  $1 < L < N$ ).

У результаті обчислення етапу 1 одержано  $L$ - траекторну матрицю вихідного ряду  $F$  для допоміжного матеріалу «міжрамні стяжки»:

$$X = \begin{pmatrix} 10 & 7 & 8 & 6 & 7 & 9 & 9 & 8 & . & . & . & 8 & 9 & 10 & 7 \\ 7 & 8 & 6 & 7 & 9 & 9 & 8 & 11 & . & . & . & 9 & 10 & 7 & 12 \\ 8 & 6 & 7 & 9 & 9 & 8 & 11 & 7 & . & . & . & 10 & 7 & 12 & 14 \\ 6 & 7 & 9 & 9 & 8 & 11 & 7 & 14 & . & . & . & 7 & 12 & 14 & 11 \\ 7 & 9 & 9 & 8 & 11 & 7 & 14 & 10 & . & . & . & 12 & 14 & 11 & 10 \\ 9 & 9 & 8 & 11 & 7 & 14 & 10 & 12 & . & . & . & 14 & 11 & 10 & 8 \\ 9 & 8 & 11 & 7 & 14 & 10 & 12 & 11 & . & . & . & 11 & 10 & 8 & 10 \\ 8 & 11 & 7 & 14 & 10 & 12 & 11 & 10 & . & . & . & 10 & 8 & 10 & 9 \\ 11 & 7 & 14 & 10 & 12 & 11 & 10 & 12 & . & . & . & 8 & 10 & 9 & 9 \\ 7 & 14 & 10 & 12 & 11 & 10 & 12 & 11 & . & . & . & 10 & 9 & 9 & 7 \end{pmatrix} \quad (3.9)$$

У результаті реалізації сингулярного розкладання виконано наступні обчислення.

Визначено транспоновану матрицю  $X^T$ :

$$X^T = \begin{pmatrix} 10 & 7 & 8 & 6 & 7 & 9 & 9 & 8 & . & . & 7 \\ 7 & 8 & 6 & 7 & 9 & 9 & 8 & 11 & . & . & 14 \\ 8 & 6 & 7 & 9 & 9 & 8 & 11 & 7 & . & . & 10 \\ 6 & 7 & 9 & 9 & 8 & 11 & 7 & 14 & . & . & 12 \\ 7 & 9 & 9 & 8 & 11 & 7 & 14 & 10 & . & . & 11 \\ 9 & 9 & 8 & 11 & 7 & 14 & 10 & 12 & . & . & 10 \\ 9 & 8 & 11 & 7 & 14 & 10 & 12 & 11 & . & . & 12 \\ 8 & 11 & 7 & 14 & 10 & 12 & 11 & 10 & . & . & 11 \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ 7 & 12 & 14 & 11 & 10 & 12 & 10 & 9 & . & . & 7 \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

Обчислено добуток вихідної матриці й транспонованої  $S = X \cdot X^T$ :

$$S = X \cdot X^T = \begin{pmatrix} 1914 & 1853 & 1942 & 1957 & 1991 & . & . & . & 1977 & 1096 \\ 1853 & 1958 & 1951 & 1994 & 2017 & . & . & . & 2014 & 1982 \\ 1942 & 1951 & 2105 & 2049 & 2092 & . & . & . & 2090 & 2035 \\ 1957 & 1994 & 2049 & 2169 & 2111 & . & . & . & 2119 & 2079 \\ 1977 & 2017 & 2092 & 2111 & 2226 & . & . & . & 2149 & 2123 \\ 1991 & 2003 & 2080 & 2124 & 2129 & . & . & . & 2170 & 2128 \\ 2002 & 2021 & 2080 & 2118 & 2170 & . & . & . & 2197 & 2141 \\ 1986 & 2020 & 2084 & 2107 & 2154 & . & . & . & 2184 & 2161 \\ 2008 & 2114 & 2090 & 2119 & 2149 & . & . & . & 2277 & 2159 \\ 1960 & 1982 & 2035 & 2079 & 2123 & . & . & . & 2159 & 2205 \end{pmatrix} \quad (3.11)$$

Розраховано ортонормовану систему власних векторів  $U_1, \dots, U_{10}$  матриці  $S$ :

$$U_{1,\dots,U_{10}} = \begin{pmatrix} 0,29 & 0,17 & -0,37 & -0,24 & . & . & . & . & . & -0,03 \\ 0,30 & 0,26 & 0,09 & -0,51 & . & . & . & . & . & 0,21 \\ 0,31 & 0,45 & 0,46 & 0,27 & . & . & . & . & . & -0,53 \\ 0,31 & 0,35 & -0,09 & 0,50 & . & . & . & . & . & 0,62 \\ 0,32 & 0,20 & -0,45 & -0,16 & . & . & . & . & . & -0,28 \\ 0,32 & -0,04 & 0,19 & -0,35 & . & . & . & . & . & 0,08 \\ 0,32 & -0,14 & 0,38 & 0,26 & . & . & . & . & . & 0,14 \\ 0,32 & -0,35 & -0,29 & 0,31 & . & . & . & . & . & -0,33 \\ 0,32 & -0,34 & -0,21 & -0,15 & . & . & . & . & . & 0,16 \\ 0,31 & -0,50 & 0,30 & 0,024 & . & . & . & . & . & -0,01 \end{pmatrix} \quad (3.12)$$

Обчислено власні числа матриці  $S$  (табл. 3.15):

Таблиця 3.15

Власні числа матриці  $S$

$\lambda$	2,08	0,015	0,004	0,005	0,006	0,007	0,011	0,009	0,01	0,009
$\sqrt{\lambda}$	1,44	0,12	0,06	0,07	0,08	0,08	0,10	0,09	0,1	0,1

Відзначимо також, що при виборі довжини гусениці, рівної  $N - M + 1$ , власні вектори й головні компоненти просто міняються місцями.

У результаті одержано наступні елементарні матриці:

$$X_1 = \begin{pmatrix} 0,88 & 0,61 & 0,70 & . & . & . & 0,61 \\ 0,63 & 0,72 & 0,54 & . & . & . & 1,08 \\ 0,77 & 0,58 & 0,67 & . & . & . & 1,35 \\ 0,59 & 0,69 & 0,89 & . & . & . & 1,09 \\ 0,72 & 0,93 & 0,93 & . & . & . & 1,03 \\ 0,93 & 0,93 & 0,83 & . & . & . & 0,83 \\ 0,94 & 0,83 & 1,15 & . & . & . & 1,04 \\ 0,83 & 1,15 & 0,73 & . & . & . & 0,94 \\ 1,15 & 0,73 & 1,47 & . & . & . & 0,94 \\ 0,71 & 0,73 & 1,02 & . & . & . & 0,71 \end{pmatrix} \quad (3.13)$$

$$X_{10} = \begin{pmatrix} 0,001 & 0,01 & 0,01 & . & . & . & 0,01 \\ -0,04 & -0,05 & -0,04 & . & . & . & -0,08 \\ 0,13 & 0,10 & 0,11 & . & . & . & 0,23 \\ -0,11 & -0,14 & 0,09 & . & . & . & -0,21 \\ 0,07 & 0,09 & -0,02 & . & . & . & 0,10 \\ -0,02 & -0,02 & -0,04 & . & . & . & -0,02 \\ -0,04 & -0,03 & 0,07 & . & . & . & -0,04 \\ 0,08 & 0,11 & -0,07 & . & . & . & 0,09 \\ -0,06 & -0,04 & 0,01 & . & . & . & -0,05 \\ 0,01 & 0,02 & -0,17 & . & . & . & 0,01 \end{pmatrix}$$

Результат відбору головних компонентів представлено у наступному згрупованому вигляді:

$$\begin{aligned} I_1 &= X_1 + X_2 + X_3 + X_5, \\ I_2 &= X_4 + X_6 + X_8, \\ I_3 &= X_7 + X_9 + X_{10} \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$I_1 = \begin{pmatrix} 5,97 & 3,06 & 3,43 & 2,15 & 2,25 & 2,54 & 2,78 & . & . & . & 2,12 \\ 4,97 & 4,18 & 4,78 & 3,58 & 4,18 & 5,38 & 5,38 & . & . & . & 4,18 \\ 1,95 & 2,22 & 1,67 & 1,95 & 2,50 & 2,50 & 2,22 & . & . & . & 3,33 \\ 3,29 & 2,47 & 2,88 & 3,70 & 3,29 & 4,52 & 3,70 & . & . & . & 5,76 \\ 0,88 & 1,03 & 1,32 & 1,32 & 1,17 & 1,61 & 1,03 & . & . & . & 1,61 \\ 1,24 & 1,60 & 1,60 & 1,42 & 1,95 & 1,24 & 2,48 & . & . & . & 1,77 \\ 0,77 & 0,77 & 0,68 & 0,94 & 0,60 & 1,20 & 0,86 & . & . & . & 0,68 \\ 4,18 & 3,71 & 5,10 & 3,25 & 6,49 & 4,64 & 5,57 & . & . & . & 4,64 \\ 3,64 & 5,01 & 3,19 & 6,37 & 4,55 & -0,48 & 5,01 & . & . & . & 4,10 \\ -0,48 & -0,31 & -0,62 & -0,44 & -0,53 & 5,46 & -0,44 & . & . & . & -0,40 \\ 3,20 & 6,41 & 4,58 & 5,49 & 5,03 & 4,58 & 5,49 & . & . & . & 3,20 \end{pmatrix} \quad (3.15)$$



$$I_2 = \begin{pmatrix} 1,72 & 0,76 & 0,46 & 0,15 & 0,24 & 0,30 & 0,01 & -0,18 & \dots & 0,01 \\ 1,71 & 1,20 & 1,37 & 1,03 & 1,20 & 1,54 & 1,54 & 1,37 & \dots & 1,20 \\ 0,31 & 0,36 & 0,27 & 0,31 & 0,40 & 0,36 & 0,49 & 0,49 & \dots & 0,54 \\ -0,36 & -0,27 & -0,32 & -0,41 & -0,41 & -0,50 & -0,36 & -0,32 & \dots & -0,64 \\ -0,41 & -0,48 & -0,61 & -0,61 & -0,54 & -0,48 & -0,75 & -0,95 & \dots & -0,75 \\ 0,46 & 0,59 & 0,59 & 0,59 & 0,72 & 0,92 & 0,46 & 0,65 & \dots & 0,65 \\ 0,26 & 0,26 & 0,23 & 0,23 & 0,0 & 0,29 & 0,41 & 0,35 & \dots & 0,23 \\ -1,69 & -1,50 & -2,06 & -1,31 & -2,63 & -1,88 & -2,25 & -2,06 & \dots & -1,88 \\ -1,51 & -2,08 & -1,32 & -2,65 & -1,89 & -2,08 & -2,08 & -1,89 & \dots & -1,70 \\ -0,23 & -0,15 & -0,30 & -0,21 & -0,26 & -0,23 & -0,21 & -0,26 & \dots & -0,19 \\ 1,53 & 3,06 & 2,19 & 2,62 & 2,40 & 2,19 & 2,62 & 2,40 & \dots & 1,53 \end{pmatrix}$$

$$I_3 = \begin{pmatrix} 2,65 & -5700 & -4342 & -2443 & -2280 & -2443 & -2094 & -1629 & \dots & -1140 \\ 2,65 & 1,85 & 2,12 & 1,59 & 1,85 & 2,38 & 2,38 & 2,12 & \dots & 1,85 \\ -1,38 & -1,74 & -1,33 & -1,99 & -1,22 & -1,78 & -1,34 & -1,35 & \dots & -1,21 \\ 1,26 & 0,94 & 1,10 & 1,42 & 1,42 & 1,26 & 1,73 & 1,10 & \dots & 2,20 \\ 0,44 & -0,52 & -0,66 & -0,66 & -0,59 & -0,81 & -0,52 & -1,03 & \dots & -0,81 \\ -1,43 & -1,84 & -1,84 & -1,64 & -2,25 & -1,43 & -2,87 & -2,05 & \dots & -2,05 \\ 0,53 & 0,53 & 0,47 & 0,65 & 0,41 & 0,83 & 0,59 & 0,71 & \dots & 0,47 \\ -0,07 & -0,06 & -0,08 & -0,05 & -0,11 & -0,08 & -0,09 & -0,08 & \dots & -0,08 \\ -0,67 & -0,92 & -0,59 & -1,17 & -0,84 & -1,00 & -0,92 & 0,84 & \dots & -0,75 \\ 2,63 & 1,68 & 3,35 & 2,40 & 2,87 & 2,63 & 2,40 & 2,87 & \dots & 2,16 \\ -0,87 & -1,75 & -1,25 & -1,50 & -1,37 & -1,25 & -1,50 & -1,37 & \dots & -0,87 \end{pmatrix}$$

Таким чином, процедура «Гусениця» породжує набір лінійних фільтрів, налагоджених на складові вихідного процесу. При цьому власні вектори матриці  $S$  виступають у ролі перехідних функцій відповідних фільтрів.

При веденні гірничих робіт у складних гірничо-геологічних умовах, а також у разі виникнення випадкових стохастических ситуацій точність і надійність прогнозу визначає ефективність реалізації різних операцій і дозволяє понизити ступінь ризику, скоротити простой при процесах транспортування вантажів, що у свою чергу впливає на продуктивність шахти у цілому.

Запас допоміжних матеріалів і обладнання повинен задовольняти двом умовам: перша – для забезпечення ефективності виконання виробничих процесів, друга – обсяг запасів повинен бути мінімальним, бо їх зберігання й невикористання пов'язане з певними матеріальними витратами [24].

У загальному випадку матеріальний потік (допоміжні матеріали й обладнання) являє собою динамічне й безперервне явище.

Матеріальний потік вугільної шахти складається з таких складових [90, 91]:

- вхідного матеріального потоку у вигляді споживаних сировини, матеріалів, обладнання і тощо;
- внутрішнього матеріального потоку між окремими ділянками системи;
- вихідного матеріального потоку у вигляді готової продукції.

Необхідно відзначити, що недоліком багатьох використовуваних методів є те, що для їх побудови необхідно мати велику кількість статистичної інформації з великої кількості параметрів і часових періодів, що робить їх застосування більш об'ємним. Крім цього, при використанні даних методів низка параметрів залишається неврахованою.

Традиційні підходи, основані на використанні класичних моделей типу «тренд+шум» або «авторегресії-ковзного середнього» призводять до позитивних результатів лише для рядів досить простої структури.

Такий підхід до побудови математичних моделей прогнозування матеріальних потоків вугільних підприємств відрізняється особливою складністю й часто стає неприйнятним.

Рішення задачі прогнозування матеріальних потоків вугільних шахт пропонується здійснювати на основі сучасних технологій – методу «Гусениця - SSA». Необхідно відзначити, що метод не передбачає знання параметричної моделі ряду й працює із зашумленими нестационарними часовими рядами.

Для вхідних даних алгоритму [74, 88, 92, 93] вибрано часовий ряд (табл.3.13).

Вибрано число  $M = 10$  – кількість точок прогнозу.

Визначено часовий ряд  $G_{30+10} = (g_0, \dots, g_{30+10-1})$  наступним чином:

$$g_i = \begin{cases} f_i & \text{для } i = 0, \dots, 30-1, \\ \sum_{j=1}^{10-1} a_j g_{i-j} & \text{для } i = 30, \dots, 30+10-1 \end{cases} \quad (3.16)$$

Числа  $g_{30}, \dots, g_{30+10-1}$  утворюють 10 членів рекурентного прогнозу [74, 88]. Надалі позначимо рекурентний прогноз  $R$  – прогнозом.

Форма наведеного прогнозованого ряду (рис.3.5) практично повністю відтворює форму вихідного ряду, однак є деякі розбіжності в тренді. Необхідно відзначити, що прогнозований ряд перебуває в довірчих інтервалах.

Для вихідного ряду (табл. 3.13) виконано прогнозування на основі використання таких методів, як метод експонентного згладжування (рис.3.6) і параболічної апроксимації (рис.3.7).

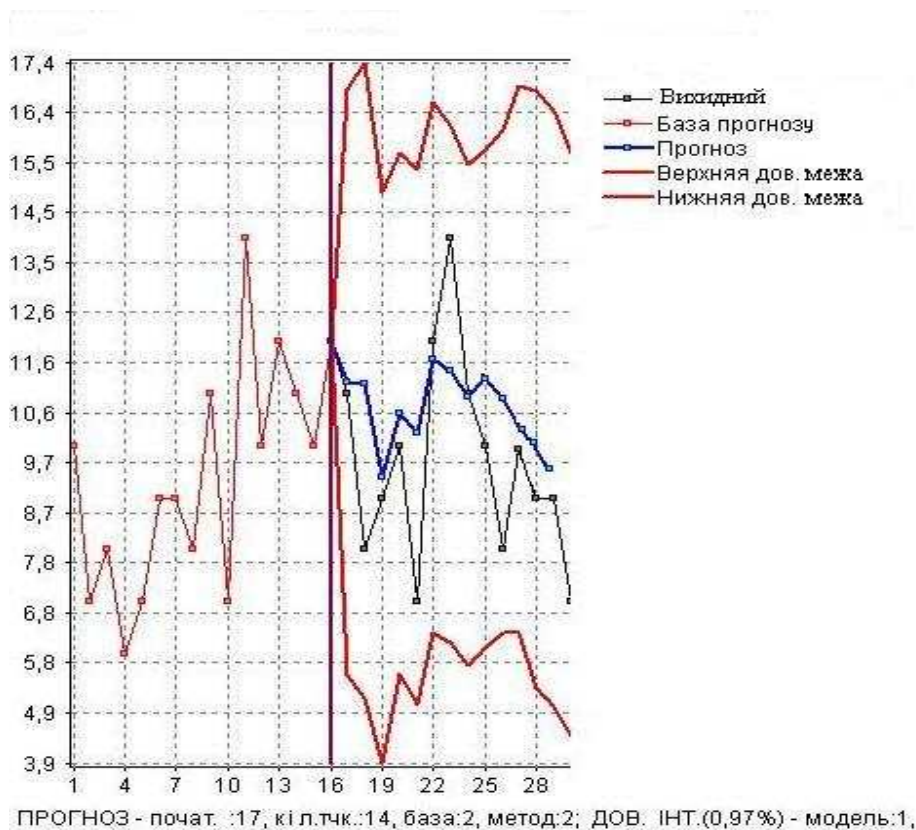


Рис. 3.5. Прогнозування досліджуваного ряду

Необхідно відзначити, що метод експонентного згладжування є також досить результативним і точним методом прогнозування. Основні переваги методу полягають у простоті обчислювальних операцій, у гнучкості опису різних динамічних процесів. Метод експонентного згладжування надає можливість виконати оцінку параметрів тренда, що характеризують не середній рівень процесу, а тенденцію, яка відтворилась до моменту останнього спостереження.

При порівнянні результатів, отриманих при побудові прогнозів за допомогою методу «Гусениця - SSA» (рис.3.5) і методу експонентного згладжування (рис. 3.6), видно, що в цьому випадку прогнозування на основі методу «Гусениця - SSA» більш точно описує часовий ряд, ніж прогнозування на основі методу експонентного згладжування, навіть у випадку підбору параметра згладжування  $\alpha$ .

При порівнянні результатів, отриманих при побудові прогнозів за допомогою методу «Гусениця - SSA» (рис.3.5) і методу поліноміальної апроксимації (рис. 3.7), також видно, що й у цьому випадку прогнозування на основі методу «Гусениця - SSA» більш точно описує часовий ряд, ніж прогнозування на основі методу поліноміальної апроксимації.



Рис. 3.6. Порівняльна характеристика методів прогнозування

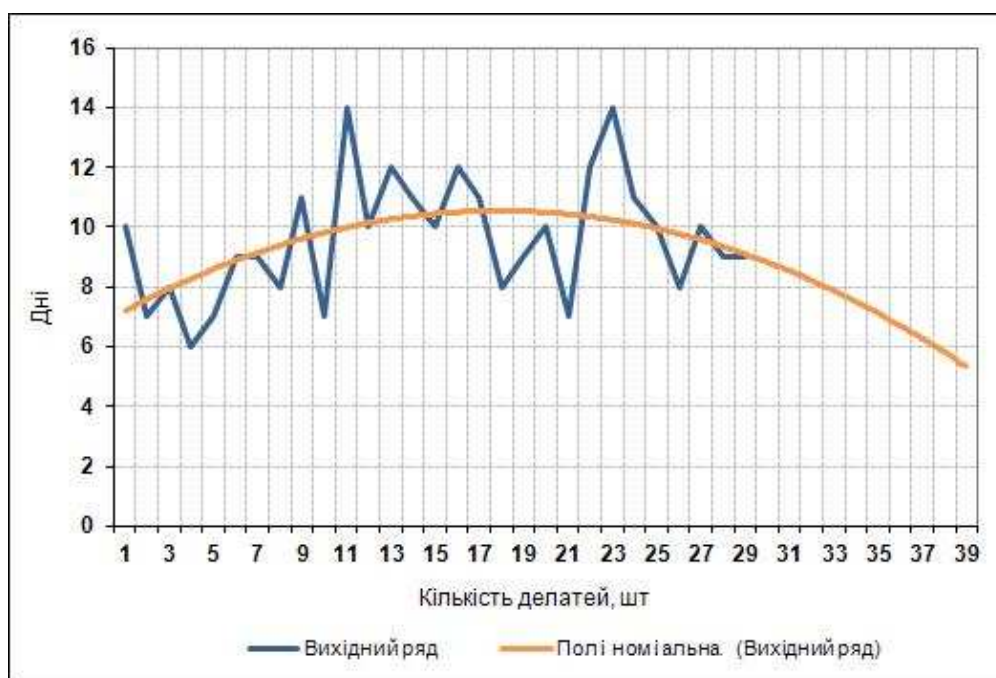


Рис. 3.7. Поліноміальна апроксимація

Таким чином, на підставі вищевикладеного можна зробити висновок, що прогноз, побудований за допомогою методу «Гусениця - SSA», найбільш

близький до вихідного ряду та на відміну від інших, входить у довірчий інтервал з точністю до 97% і практично повністю повторює форму вихідного ряду, що дозволяє найбільш точно визначити запас необхідного матеріального потоку.

Таким чином, для підвищення ефективності роботи внутрішньошахтного транспорту розроблені математичні моделі вибору черговості обслуговування горизонтів шахти допоміжним транспортом як в умовах стабільності пріоритетів обслуговування, так і в умовах їх зміни. В основі запропонованої моделі розрахунків черговості доставки допоміжних матеріалів і встаткування лежить метод аналізу ієрархій. MAI, на відміну від інших методів прийняття розв'язків, найбільше ефективно й повно описує ту складну ситуацію, у якій виявляються диспетчера шахт при виконанні заявок на відповідні горизонти, що, у свою чергу, впливає на безперервне виробництво основного вантажопотоку вугільної шахти.

Для прогнозування потреби необхідної кількості матеріалів і обладнання на базі використання методу «Гусениця -SSA» виконано детальний аналіз динаміки зміни кількості допоміжних матеріалів і обладнання, що використовується при роботі в підготовчих вибоях вугільних шахт для забезпечення необхідного функціонування добувних ділянок вугільних шахт. На основі застосування параметричних моделей, отримані результати перевершують по кількісних і якісних показниках.

Отримано математична модель процесу прийняття рішення для вибіру маршруту доставки матеріалів до підготовчих вибоїв обраних горизонтів, що забезпечує мінімум витрат енергії транспортним локомотивом. Для цього була виконана адаптація методу Флойда-Уоршелла для знаходження найкоротших шляхів з урахуванням фізичного стану траси.

## РОЗДІЛ 4

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДОСТАВКИ ВНУТРІШНЬОШАХТНИМ ТРАНСПОРТОМ

#### 4.1. Моделювання процесів транспортування допоміжних вантажопотоків

З урахуванням специфічних особливостей процесів транспортування допоміжних вантажопотоків ДП «Дзержинськвугілля» за особистої участі автора, а також разом з науково-дослідним інститутом ІГТМ НАН України розроблено:

- математична модель вибору послідовності обслуговування горизонтів вугільних шахт;
- математична модель переміщення транспорту до підготовчих виробок, що враховує зміни фізичних властивостей маршруту та обсягу вантажу;
- зроблено аналіз і прогнозу потреб необхідної кількості матеріалів і обладнання.

При виконанні імітаційного моделювання передбачалося, що необхідна кількість допоміжних матеріалів і обладнання, яку необхідно доставити у відповідні підготовчі вибої вугільних шахт, вже задана.

Імітаційне моделювання проводилось з урахуванням фізичних характеристик маршруту проходження локомотива. Виконано розрахунки параметрів схеми транспортування для вибоїв «23–25–27–26–28» (рис. 4.1).

Початкові дані наведено в табл.3.5 (розділ 3.2).

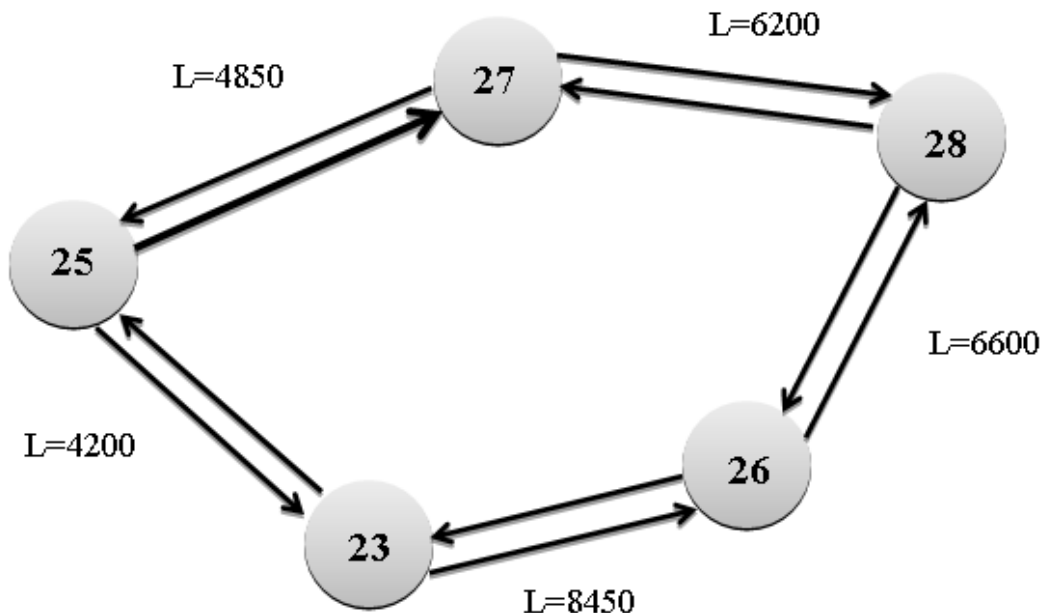


Рис. 4.1. Схема транспортування для вибоїв «23–25–27–26–28»

У результаті розрахунків отримано матриці  $D_3$  й  $S_3$  (табл. 3.13) і значення витраченої енергії для доставки допоміжних матеріалів і обладнання, що відповідно становить 36,18 кВт•год і маршрут проходження локомотива – 23 → 25 → 27 → 28.

Як було сказано раніше, що у вибої «23» та «28» можна також потрапити через вершину «26». Довжина маршрутів 23 → 25 → 27 → 28 і 23 → 26 → 28 становить відповідно 15250 и 15050 м. Енергія, що витрачається при транспортуванні вантажопотоків по маршруту 23 → 26 → 28 становить 43,95 кВт•год. Таким чином, при порівнянні між собою значень енергій, які витрачаються при проходженні цих маршрутів (36,18 і 43,95 кВт•год), необхідно відзначити, що фізичні характеристики маршруту впливають на кількість споживаної енергії локомотивом і не завжди в шахтних умовах більш короткий шлях доставки вантажопотоків виявиться оптимальним.

Удосконалена математична модель процесів доставки вантажів до підготовчих вибоїв вугільних шахт дозволяє провадити:

- моделювати процеси транспортування вантажів технологічних транспортних схем різної складності;
- виконувати аналіз результативності використання оптимальних схем для переміщення допоміжного транспорту, враховуючи його основні функції, обсяг перевезеного вантажу між вибоями й до пристовбурного двору;
- оптимізацію технологічної транспортної схеми – знаходження оптимального маршруту проходження локомотива, що дає можливість заощаджувати енергію, витрачену при доставці вантажів.

Запропонована схема процедури визначення маршруту проходження локомотива зображена на рис. 4.2.

При розробленні програмного продукту (рис. 4.3) для математичної моделі економії енергетичних ресурсів мережі з урахуванням характеристики маршруту та кількості вантажу, що доставляється, враховані наступні питання:

- переміщення транспортним засобом вантажів від пристовбурного двору в підготовчі вибої вугільних шахт;
- переміщення транспортним засобом вантажів між підготовчими вибоями у разі дефіциту допоміжних матеріалів;
- при виконанні операцій переміщення транспортними засобами враховується характеристика рейкового шляху й обсяг переміщеного вантажу.

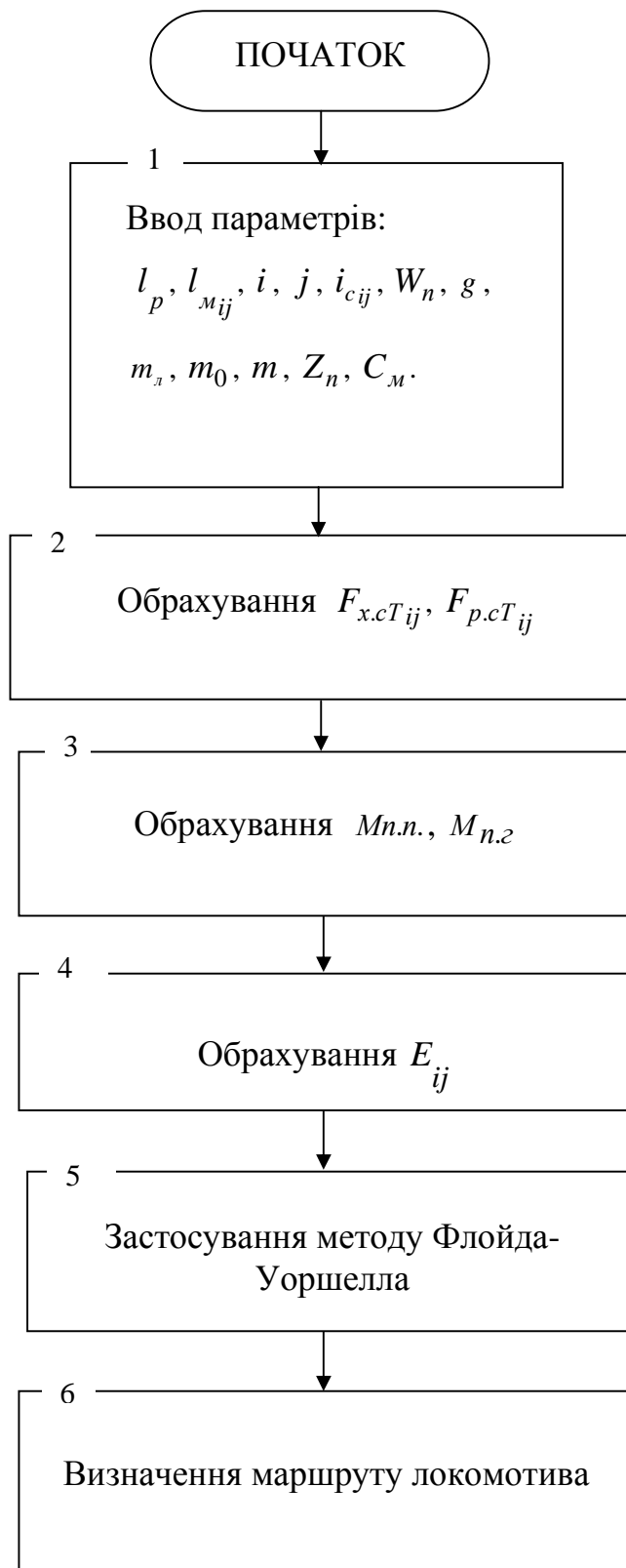


Рис. 4.2. Схема визначення маршруту проходження локомотива



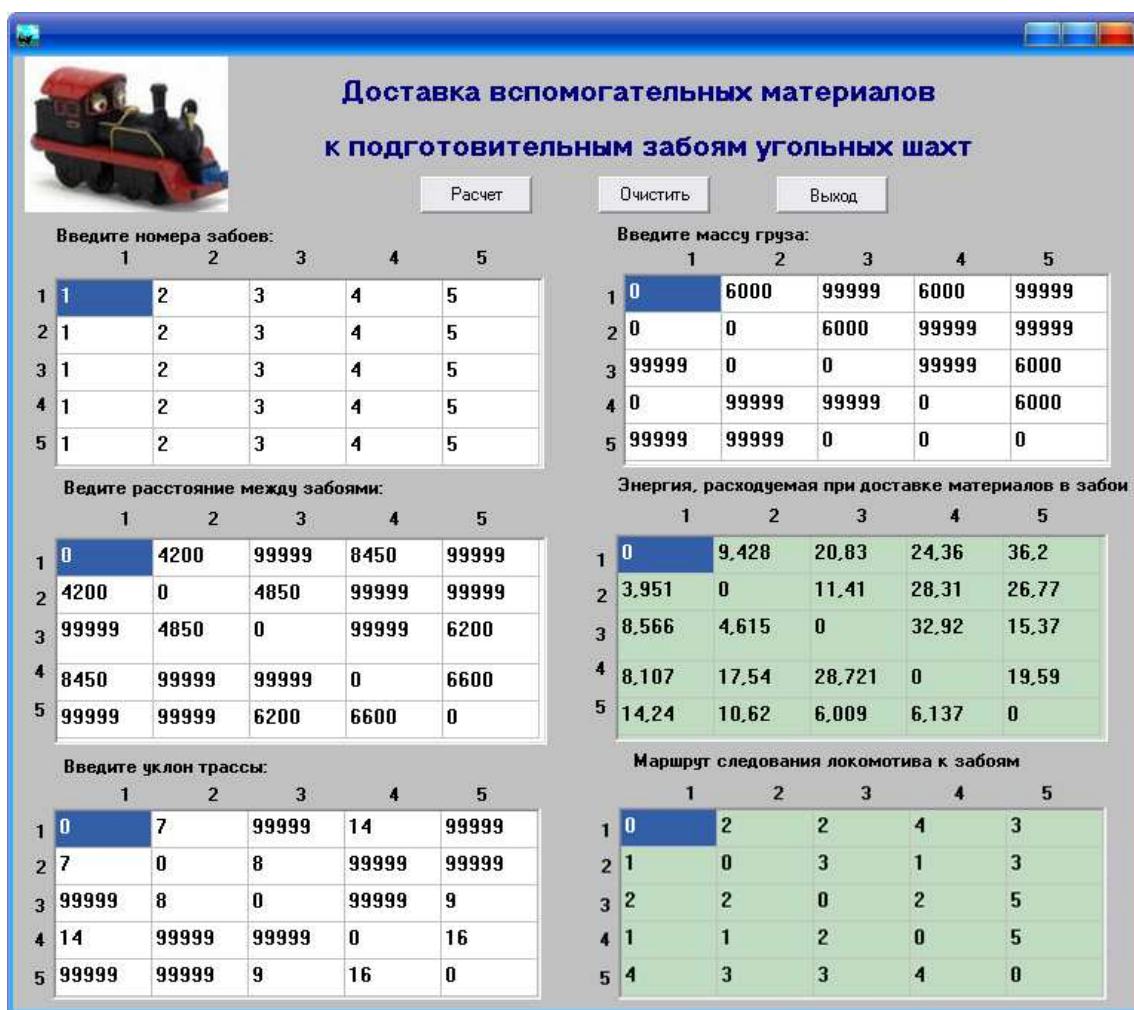


Рис. 4.3. Прикладна програма для знаходження оптимальних шляхів

## 4.2. Оцінка ефективності прогнозування часового ряду на основі методу «Гусениця - SSA»

Виконано аналіз часового ряду для прогнозування матеріальних ресурсів. Як приклад, у ролі матеріальної потреби використовувався показник «міжрамні стяжки».

Нижче наведена відповідна інформація про структуру досліджуваного процесу і властивостях його складових. Виконано аналітичні дослідження як власних векторів, так і головних компонент даного показника.

Таким чином, серед головних компонент необхідно виділити наступні:

- які відносяться до тренда (що повільно змінюються);
- періодичні компоненти;
- шумові компоненти.

При застосуванні діагонального усереднення (2.25) до результуючих матриць одержано частину матриці, що інтерпретується (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Частина матриці, що інтерпретується

№ п/пр.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Кількість деталей	9	6	6	3	4	5	5	4	5	4	7	5	6	6	5	6	6	4	5	5	4

Результати аналізу застосування методу «Гусениця-SSA» для показника «міжрамні стяжки» наведено в таблиці 4.2 а на рис. 4.4 показано початковий часовий ряд, що містить добові зміни про використання необхідної кількості перевезеного вантажу у відповідні підготовчі вибої вугільних шахт, і відновлений.

Таблиця 4.2

Результат використання методу «Гусениця-SSA»

ГК	Інтерпретація	Рис
1	Нелінійний тренд	4.3, а
2, 3	Нелінійний тренд	4.3, б, в
4, 5	Нелінійний тренд	4.3, г, д
7, 8	Сезонний компонент	4.3, ж, з
6, 9	Гармоніка сезонного компонента	4.3, є, і

З рис. 4.4 видно, що при розкладанні ряду на складові вдалося забезпечити досить гарне узгодження початкового й відновленого рядів на етапі відновлення.

Далі проведено подальший аналіз із урахуванням специфічних особливостей вугільної шахти при виконанні процесів транспортування вантажів. Наведено одномірні графіки власних векторів для ідентифікації тренда (рис.4.5).

З рис. 4.5 видно, що для визначення тренда були згруповані власні трійки з повільно мінливими сингулярними векторами. У цьому випадку до трендової групи необхідно віднести компоненти ГК 1, ГК 2, ГК 3 і ГК 4.

Прокоментуємо рис. 4.5. Компоненти, що змінюються повільно, відповідають виконанню планових завдань для переміщення вантажопотоків, але іноді присутні деякі піки. При процесах транспортування вантажопотоків піки можуть характеризувати виникнення стохастичних ситуацій: дефіцит допоміжних матеріалів та обладнання.

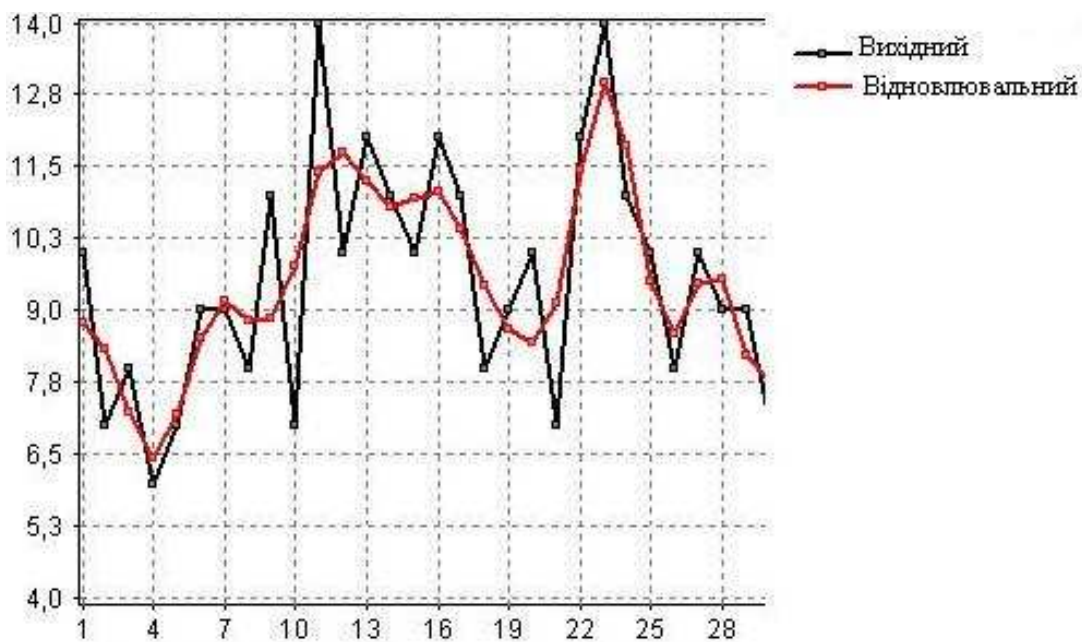


Рис. 4.4. Початковий і відновлений ряди показника «міжрамні стяжки»

Пари власних векторів краще видно на двовимірних діаграмах: на одній осі відкладаються елементи першого вектора з пари, на іншій – елементи другого вектора. На рис.4.6 зображено діаграми таких пар.

З рис. 4.6 видно, що ЕТ (власні трійки) 4–5, 6–7, 8–9, 9–10 виділяються систематичністю поведінки. Представлені діаграми мають досить коректний, чіткий рисунок і можуть бути приблизно віднесені до сезонної.

Таким чином, представлені 9 ГК, майже повністю описують розглянутий початковий ряд і показують на значне узгодження відновленого й початкового рядів. Необхідно відзначити, що випадкова, нерегулярна поведінка сингулярних векторів може характеризувати їх належність до шумової компоненти.

Для одержання шумової компоненти необхідно згрупувати власні трійки у такий спосіб:  $I_1 = X_1$  і  $I_2 = X_4 + X_{10}$ .

Великий набір власних трійок, які утворюють відновлені компоненти, що корелюють один з одним, також відноситься до шумової компоненти (табл.4.3).

На підставі виконаних розрахунків зроблено висновок, що четверта і десята компоненти є реалізацією шумової компоненти або перешкодою (рис. 4.7).

Отримані результати підтверджують правильність вибору даного методу для аналізу й прогнозування допоміжних матеріалів і обладнання на прикладі показника «міжрамні стяжки».

Використання запропонованого методу, дозволяє робити результативний аналіз часових рядів у разі виникнення випадкових ситуацій у процесі виконання переміщення транспортних засобів, виділяти компоненти й гармонійні складові, тренди.

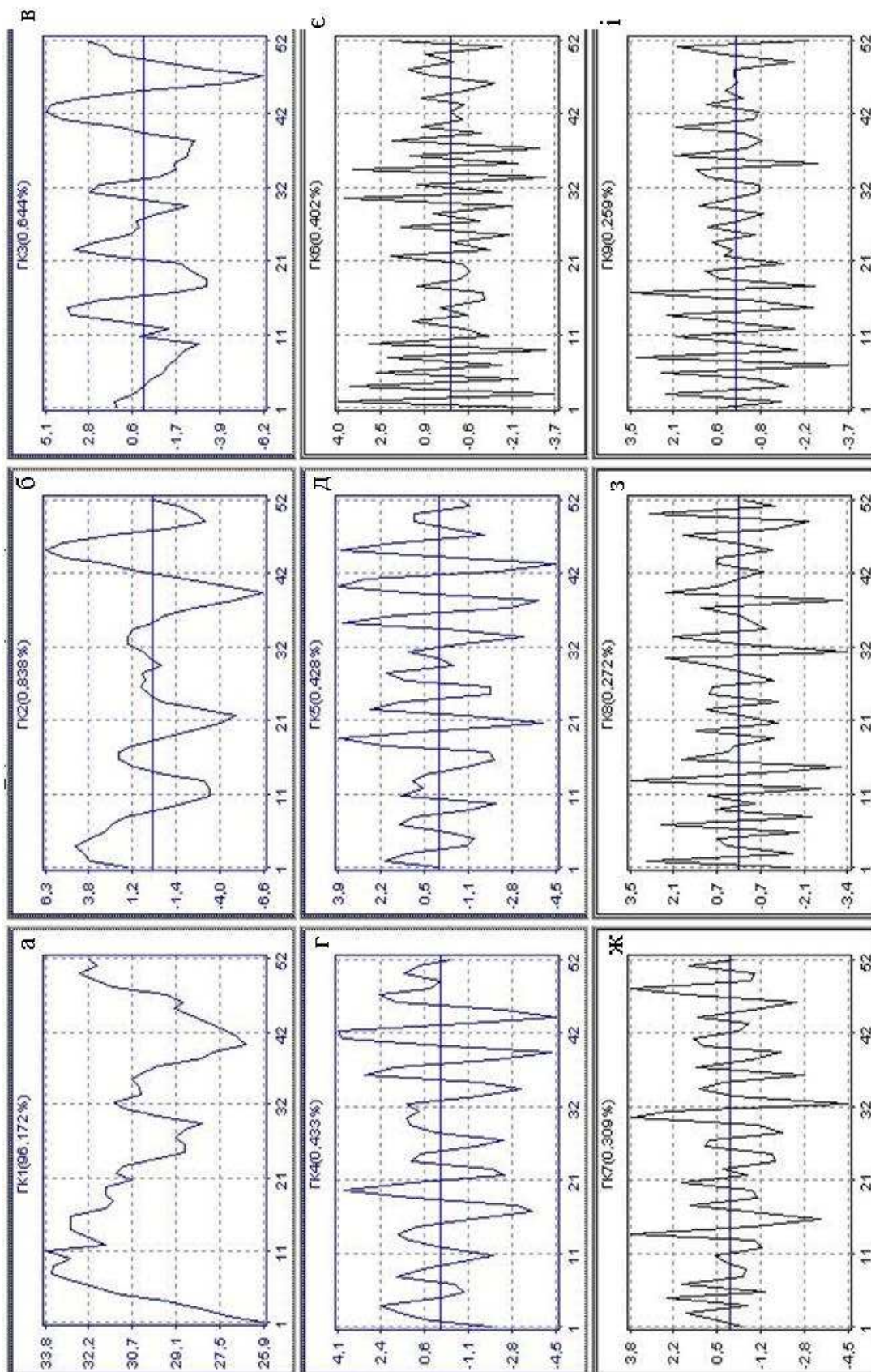
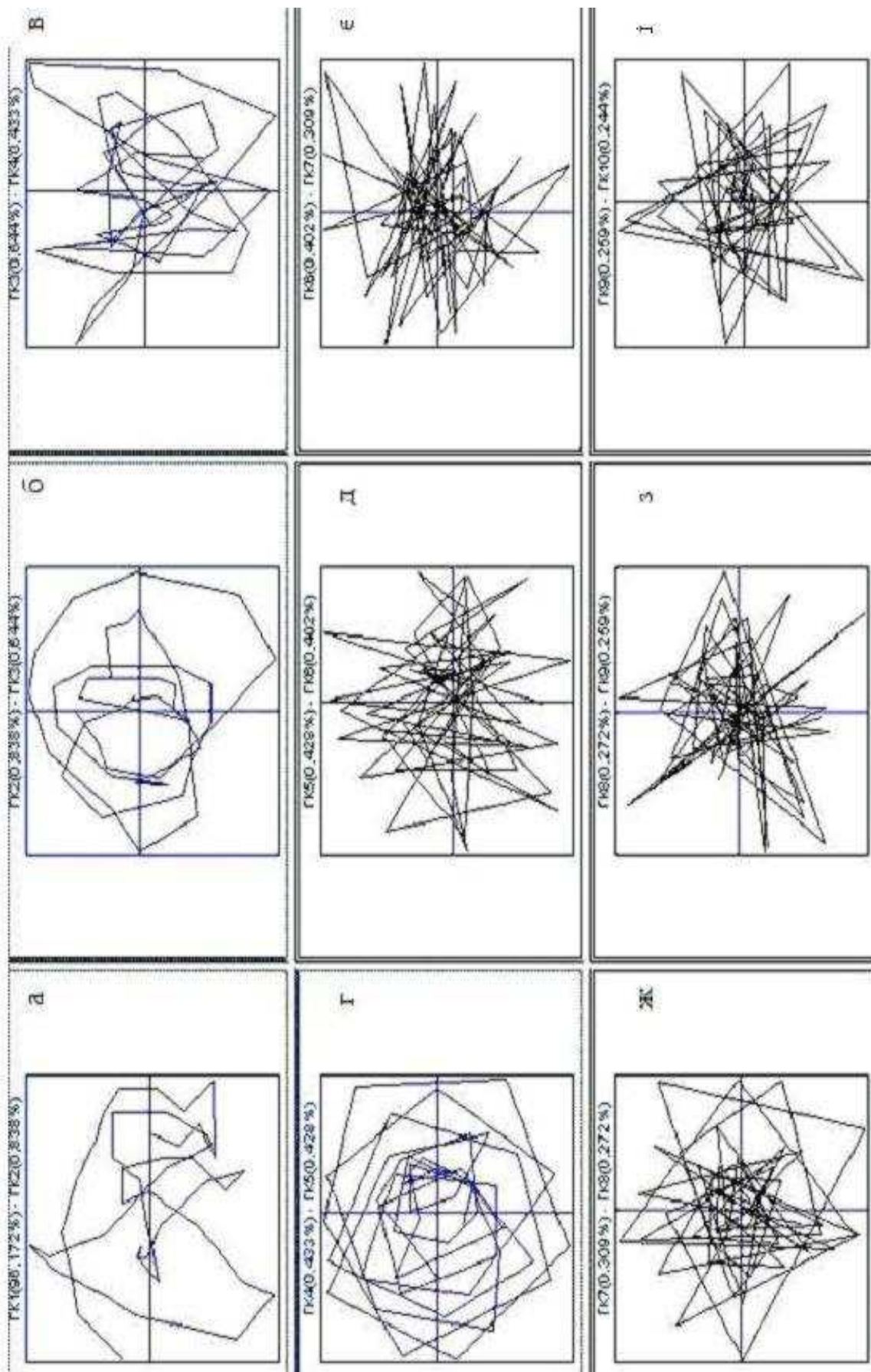


Рис. 4.5. Головні компоненти





Рисю 4.6. Головні компоненти

Таблиця 4.3

## Результати обчислення шумової компоненти

Шумова компонента	0,60	0,62	0,34	-0,02	0,05	0,18	0,06	-0,02	•	•	0,008	0,006
	0,60	0,42	0,48	0,36	0,42	0,54	0,54	0,48	•	•	0,60	0,42
	0,82	0,94	0,70	0,82	1,06	1,06	0,94	1,29	•	•	0,82	1,41
	-0,40	-0,30	-0,35	-0,45	-0,45	-0,40	-0,55	-0,35	•	•	-0,60	-0,70
	-0,85	-0,99	-1,27	-1,27	-1,13	-1,56	-0,99	-1,98	•	•	-1,98	-1,56
	0,34	0,44	0,44	0,39	0,54	0,34	0,69	0,49	•	•	0,54	0,49
	0,75	0,75	0,66	0,91	0,58	1,16	0,83	1,00	•	•	0,83	0,66
	-0,63	-0,56	-0,76	-0,49	-0,97	-0,69	-0,83	-0,76	•	•	-0,56	-0,69
	-0,52	-0,72	-0,46	-0,92	-0,66	-0,79	-0,72	-0,66	•	•	-0,66	-0,59
	0,35	0,22	0,45	0,32	0,38	0,35	0,32	0,38	•	•	0,29	0,29
	-0,04	-0,08	-0,06	-0,07	-0,06	-0,06	-0,07	-0,06	•	•	-0,05	-0,04

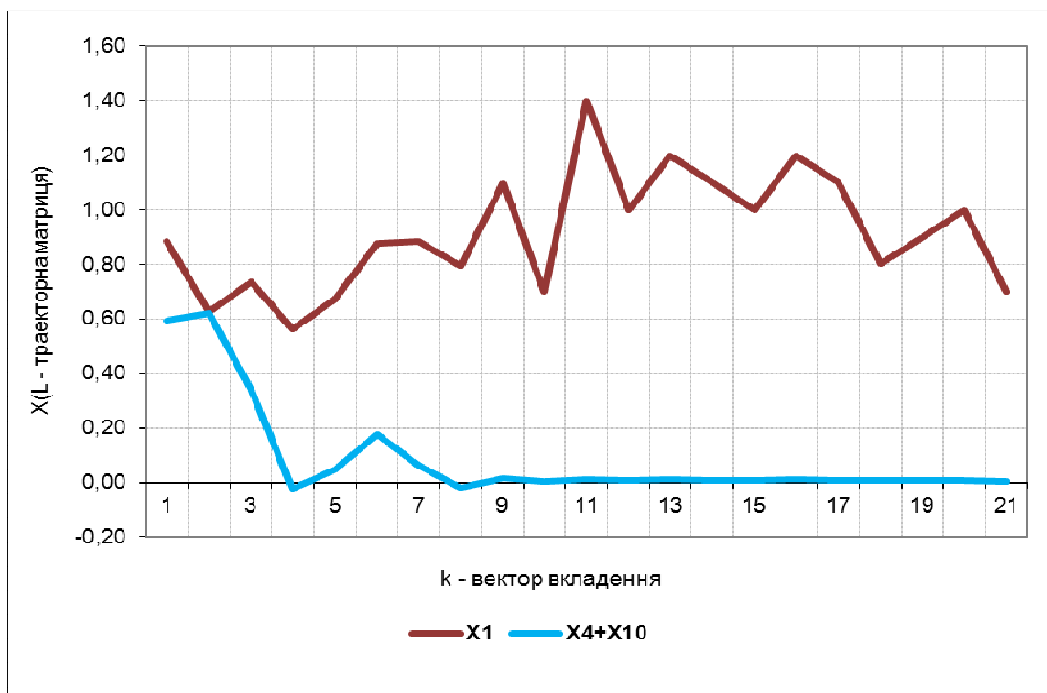


Рис. 4.7. Реалізація шумової компоненти

При моделюванні процесів транспортування шахтних вантажопотоків застосування даного методу дозволяє встановити необхідний обсяг допоміжних вантажів для підготовчих вибоїв вугільних шахт в умовах невизначеності, що у свою чергу скоротить простой при виконанні виробничих операцій.

### 4.3. Підвищення економічної ефективності при процесах транспортування шахтних вантажопотоків

Для вугільного підприємства за показник оптимальності використовують різні види витрат, які найбільш повно відповідають умовам вирішення відповідного питання чи проблеми. Найчастіше використовують:

- собівартість одиниці продукції  $C(C \rightarrow \min)$ ;
- 1 продуктивність  $P(P \rightarrow \min)$ ;
- 2 трудомісткість  $T(T \rightarrow \min)$ .

Необхідно відзначити, що продуктивність роботи гірничого підприємства визначається як економічними, так і трудовими витратами.

У роботі [95] виробничі процеси вугільної шахти представлені у вигляді ієрархічної системи. В загальному випадку математична модель за даних умов зображена у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} S_0(t) &: (X(t), Z_0(t)) \rightarrow Y_0(t) \\ \Gamma_0(t) &: X(t) \rightarrow Z_0(t) \end{aligned} \quad (4.1)$$

при

$$\Gamma_0^2(t) : (Z_0^1(t) : Z_0^2(t), \dots, Z_0^{r-1}(t), Z_0^{r+1}(t), \dots, Z_0^n(t)) \rightarrow Z_0^r(t);$$

$$S_i(t) : (Y_{i-1}(t) : Z_i(t)) \rightarrow Y_i(t), \quad i = 1, 2, 3;$$

$$\Gamma_i(t) : (Z_{i-1}(t) : Y_{i-1}(t)) \rightarrow Z_i(t);$$

$$\Gamma_i^r(t) : (Z_i^1(t) : Z_i^2(t), \dots, Z_i^{r-1}(t), Z_i^{r+1}(t), \dots, Z_i^n(t)) \rightarrow Z_i^r(t).$$

при

$$X(t) = \prod_{j=1}^{k_0} X_j(t);$$

$$Z_i(t) = \prod_{r=1}^n Z_i^r(t) = \prod_{r=1}^n \prod_{j=1}^{k_i} Z_{ij}^r(t);$$

$$Y_i(t) = \prod_{j=1}^{k_i} Y_{ij}(t),$$

де  $X(t)$  – безліч значень природних характеристик шахти в момент часу  $t$ ;

$j = 1, \dots, k_i$  – номер структурного елемента  $i$ -го рівня;

$S(t)$  – процес видобутку вугілля, що протікає в часі  $t$ ;

$Z_{ij}^r(t)$  – безліч характеристик  $r$ -ї функціональної підсистеми  $j$ -го структурного елемента  $i$ -го рівня шахти в момент часу  $t$ ;

$Y(t)$  – характеристика видаваної шахтою продукції (вугілля) у момент часу  $t$ ;

$r = 1, \dots, n$  – номер функціональної підсистеми;

$\Gamma_i(t)$  – параметри компонентів функціональних підсистем.

Оцінка якості функціонування шахти складається з трикомпонентної вектор-функції часу:

$$P\{t\} = \{D(t), T(t), C(t)\}, \quad (4.2)$$

де  $D(t)$  – видобуток вугілля на шахті;

$T(t)$  – трудомісткість видобутку 1 т вугілля;

$C(t)$  – вартісний показник на момент часу  $t$ .

У свою чергу, за допомогою оцінних функцій можуть бути задані й вирішені оптимізаційні задачі для багатьох значень змінних рівня  $Z_i$ .

Необхідно відзначити, що можливе використання як багатокритеріальних (усі три показники  $D, T, C$ ) параметрів, так і однокритеріальних параметрів – один із зазначених показників і при обмеженнях на два інших.

У роботі [96] вугільна шахта представлена у вигляді декількох підсистем, що складаються із входних фазових змінних, які впливають на критерій оптимальності. Математична модель процесів вугільної шахти представлена у вигляді графа  $G = (X, \Gamma) [0, t]$ , на якому визначена допустима безліч шляхів  $M_D(G) \subset M(G)$  і кожному шляху  $\mu_j \in M_D(G)$  відповідає наступна задача оптимізації:

$$I_j = \min_{\bar{y}} \int_0^t \Phi_j(S, y_1, y_2, y_3, y_4, t) dt. \quad (4.3)$$

Функція мети в розгорнутому виді має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \Phi_j = & \sum_{i=1}^n \varphi_i^j(y_1, y_2, y_3, y_4) + \sum_{i=1}^m f_i^j(y_1, y_2, y_3, y_4, t) + \\ & + \sum_{i=1}^k \psi_i^j(y_1, y_2, y_3, y_4, t) + \sum_{i=1}^t \omega_i^j(y_1, y_2, y_3, y_4, t) + \\ & + F^j(y_1, y_2, y_3, y_4, t) + R^j(y_1, y_2, y_3, y_4, t) \end{aligned} \quad (4.4)$$

де  $\sum_{i=1}^n \varphi_i^j(\bar{y})$  – сумарні витрати на проходку гірничих робіт;

$\sum_{i=1}^m f_i^j(\bar{y}, t)$  – сумарні витрати на підтримку гірничих виробок;



$\sum_{i=1}^k \psi_i^j(\bar{y}, t)$  – сумарні витрати на провітрювання гірничих виробок;

$\sum_{i=1}^l \varphi_i^j(\bar{y}, t)$  – сумарні витрати на транспортування корисної копалини, породи,

людей, устаткування, матеріалів;

$F^j(\bar{y}, t)$  – приведені капітальні витрати;

$R^j(\bar{y}, t)$  – сумарні витрати на матеріали й електроенергію;

$y_1$  – виробнича потужність шахти, т;

$y_2$  – довжина очисного вибою, м;

$y_3$  – розмір шахтного поля за простяганням, м;

$y_4$  – швидкість пасування вибою, м/доб.

Критерії оптимальності застосовуються у відповідних типах задач. Деяка безліч варіантів з наступним їх порівнянням і вибором найкращого є результатом задачі будь-якого типу [18, 97].

На сьогоднішній день як показники оптимальності в різних випадках використовують наступні показники [98]:

- 1) обсяг роботи транспорту;
- 2) тарифна плата за перевезення вантажу;
- 3) експлуатаційні витрати на транспортування вантажів;
- 4) строки доставки вантажів;
- 5) приведені витрати.

Критерії оптимізації можуть бути глобальними і локальними:

1 технологічні (наприклад, максимум продуктивності, мінімум часу протікання технологічного процесу, підтримка продуктивності не нижче встановленого рівня);

2 техніко-економічні (наприклад, мінімум собівартості, максимум продуктивності праці, максимум прибутку);

3 комбіновані (наприклад, мінімум приведених витрат, максимум прибутку по шахті або дільниці при забезпеченні показників якості вугілля й видобутку дільниць).

Як правило, при організації виробничих процесів шахти виконуються операції, які використовуються для відновлення нормального процесу виробництва. При цьому необхідно, щоб розроблені рішення відповідали приватним критеріям організації й управління виробничими процесами [98, 99]:

1 для очисних і підготовчих виробок – мінімум простоїв для оптимального завантаження добувних і прохідницьких машин;

2 для внутрішньошахтного транспорту і технологічного вугільного комплексу поверхні – мінімум простоїв вибійного обладнання;

3 для допоміжних процесів – мінімум простоїв основного устаткування

при мінімальних витратах на реалізацію допоміжних процесів (допоміжний транспорт, теплопостачання і т.д.)

Кожний з перерахованих вище критеріїв оптимальності може бути використаний для розв'язання конкретної задачі за певних умов [100 – 102].

У процесі дослідження й вивчення причин, що впливають на економічну оцінку підприємств вугільної промисловості, виявлено, що одним з факторів, що має несприятливий вплив, є надмірно високі витрати на транспортування вантажопотоків.

Запропоновані розрахунки в розділі 3.2 для визначення оптимального маршруту проходження локомотива дозволяють заощаджувати енергію при доставці вантажів, що у свою чергу впливає на економію витрат не тільки при процесах транспортування вантажопотоків, але й на підвищення економічної ефективності вугільної шахти у цілому.

Визначимо витрати, що витрачаються при транспортуванні вантажів:

$$C = E \cdot c, \quad (4.5)$$

де  $E$  – витрата енергії для доставки матеріалів у вибої, кВт•год (3.10);

$c$  – тарифна ставка на електроенергію (0,92 грн).

Оцінка економічної ефективності при процесі транспортування внутрішньошахтним транспортом допоміжних вантажопотоків становить:

$$E_{ef} = \frac{E}{E'}, \quad (4.6)$$

де  $E$  – витрата енергії для доставки матеріалів у вибої при меншому значенні довжини маршруту  $L$ , кВт•год;

$E'$  – витрата енергії для доставки матеріалів у вибої при більшому значенні довжини маршруту  $L$ , кВт•год.

На підставі математичних моделей і методів, розглянутих у розділах 2 і 3, при доставці матеріалів у вибої підготовчих виробок, нижче запропоновано розрахунки економічних показників схеми транспортування для вибоїв «23– 25– 27–26–28» і порівняльні характеристики розрахунку електроенергії та витрат при доставці допоміжних вантажопотоків схем транспортування «23– 25–27–26–28» та «23–26–28» (табл. 4.4, рис. 4.8 та 4.9).

Згідно з показника табл. 4.5, запропоновані для розрахунків шляху проходження локомотива математичні моделі дозволяють заощаджувати енергію локомотива приблизно в 1, 2 рази.

Таблиця 4.4

Розрахунки електроенергії й витрат при доставці допоміжних вантажопотоків схеми транспортування «23–25–27–26–28»

Найменування маршруту	L, м	E1, кВт•год (при L min)	C1, грн	E, кВт•год (при E min)	C, грн
23–25–27–28	15250	27,94	25,70	36,19	33,30
23–26–28	15050	28,55	26,26	43,95	40,43

У результаті розрахунків економічної ефективності встановлено, що застосування математичної моделі для знаходження оптимального шляху доставки необхідних матеріалів і обладнання із пристовбурного двору до вибоїв шахт або перекидання їх з одного вибою в інший з урахуванням мінімуму витрати енергії дозволяє значно знизити витрати при транспортуванні вантажів.

Виконано детальний аналіз динаміки зміни кількості допоміжних матеріалів і обладнання, яке використовується при роботі в підготовчих вибоях вугільних шахт. На основі аналізу виконано більш коректне прогнозування запасів матеріальних ресурсів, на відміну від інших методів, що, у свою чергу, дозволяє забезпечувати ефективне функціонування добувних ділянок вугільних шахт при виникненні випадкових екстремальних ситуацій.

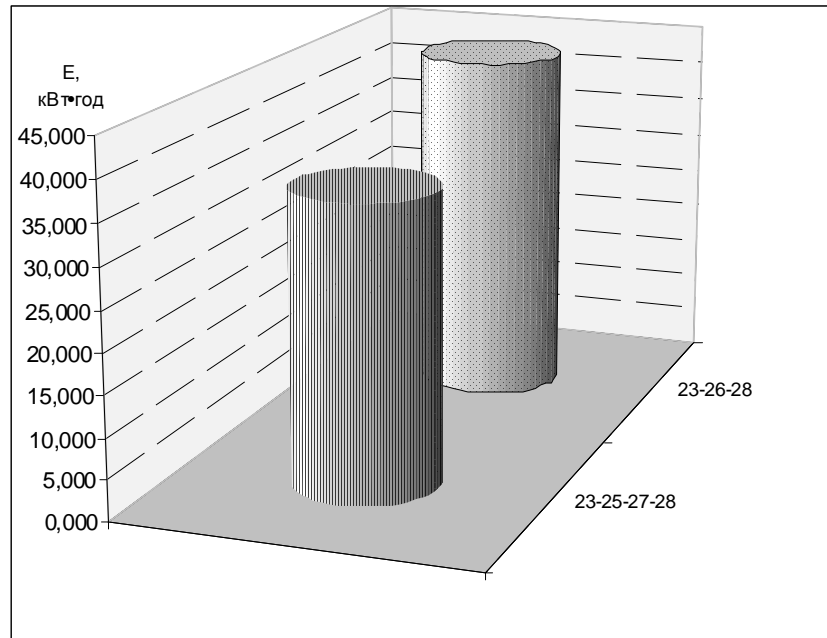


Рис. 4.8. Порівняльна характеристика витрати електроенергії для схем транспортування «23–25–27– 26– 28» та «23–26–28»

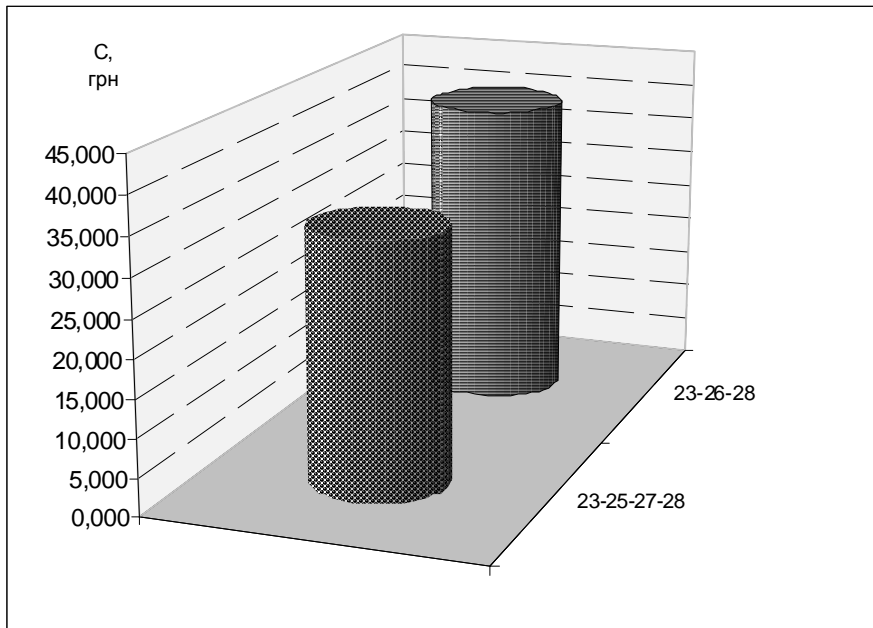


Рис. 4.9. Порівняльна характеристика витрати для схем транспортування «23– 25– 27– 26– 28» та «23–26–28»

Таким чином, у результаті обчислювальних експериментів встановлено, що на основі методу Флойда-Уоршелла математична модель визначення найкоротших шляхів за умови зміни характеристики траси й обсягів вантажів, що доставляються у підготовчі вибої вугільних шахт, дозволяє економити енергію локомотива майже в 1, 2 рази.

## ВИСНОВКИ

У монографії вирішена актуальна науково-практична задача підвищення ефективності роботи допоміжного внутрішньошахтного транспорту за допомогою моделювання елементів прийняття рішень для управління відповідними процесами транспортування.

Отримані в роботі результати досліджень мають важливе наукове й практичне значення:

1. Аналіз існуючих математичних моделей і методів доставки основних і допоміжних вантажопотоків вугільних шахт показав, що допоміжні вантажопотоки значно більше ніж основні піддані впливу гірничо-геологічних, гірничотехнічних і організаційних факторів. Математичні моделі й методи транспортування допоміжних вантажопотоків, які використовуються на теперішній час, є недостатніми без удосконалення теоретичних основ математичного моделювання й не завжди вчасно реагують на виникнення випадкових екстремальних ситуацій, які змінюють характеристики виробничого процесу.

2. Для підвищення ефективності роботи внутрішньошахтного транспорту розроблена математична модель обґрунтованого вибору послідовності обслуговування горизонтів вугільних шахт, яка дозволяє вибирати з можливих варіантів плану найкращий і найбільш відповідний потребам шахти. В основі запропонованої моделі розрахунків послідовності доставки допоміжних матеріалів і обладнання лежить метод аналізу ієрархій, при використанні якого здійснюється своєчасне транспортування допоміжних вантажопотоків на відповідні горизонти, що, у свою чергу, впливає на результативне виробництво основного вантажопотоку вугільної шахти.

3. Для прогнозування потреби необхідної кількості матеріалів і обладнання на базі використання методу «Гусениця -SSA» виконано детальний аналіз динаміки зміни кількості допоміжних матеріалів і обладнання, яке використовується при роботі в підготовчих вибоях для забезпечення безперебійного функціонування добувних дільниць вугільних шахт.

4. Удосконалена математична модель витрати енергетичних ресурсів, що забезпечують ефективну роботу внутрішньошахтного транспорту. Для цього була виконана модифікація методу Флойда-Уоршелла знаходження оптимальних шляхів за умови зміни характеристики траси й кількості вантажів, що доставляються, для заощадження енергії локомотива в 1, 2 рази.

5. Розроблені в роботі математичні моделі застосовуються для вдосконалення автоматизованої диспетчерської системи управління, яка використовується на вугільних підприємствах, при транспортуванні матеріалів і обладнання в підготовчі вибої вугільних шахт, що у свою чергу дозволяє заощаджувати енергетичні ресурси для доставки допоміжних вантажопотоків.

6. Рекомендації та результати роботи передані для використання у відділ

фізико-механічних основ гірничого транспорту ІГТМ НАН України при проведенні досліджень з створення високоефективних систем управління внутрішньошахтним транспортом; на ДП «Дзержинськвугілля» для вдосконалення автоматизованої системи диспетчерського управління. Розроблені автором методики побудови математичних моделей обґрунтування енергозберігаючих схем допоміжного транспорту й вибору маршруту обслуговування підготовчих вибоїв вугільних шахт матеріалами й устаткуванням використовуються при вивченні курсів «Транспортні системи гірничих підприємств» та «Транспортна логістика гірничих підприємств» у навчальному процесі Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет».

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Козина И.В. Графоаналитический метод оптимизации процессов формирования и управления вспомогательными грузопотоками угольных шахт/ Л.Н Ширин, В.В. Шумриков, И.В. Козина // Науковий вісник НГУ. – 2004. – №7.– С. 61 – 62.
2. Козина И.В. Оценка методов информационного сопровождения шахтных грузопотоков при отработке запасов угля шахт, объединенных в шахтоуправление / Л.Н Ширин, В.В. Шумриков, И.В. Козина // Вестник НТУ «ХПИ»: сб. науч. трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». – 2005. – №55. – С. 7 – 12.
3. Козина И.В. Координация вспомогательных грузопотоков в автоматизированных системах диспетчерского управления угольных шахт/ И.В. Козина // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. Праць. – Д.: Ін-т геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. – 2006. – Вип. 62. – С. 60 – 65.
4. Козина И.В. Модель функционирования транспортных средств и информационных потоков на угольных шахтах / И.В. Козина //Академічний вісник Криворізького територіального відділення Міжнародної академії комп'ютерних наук і систем.– 2006. – № 17 – 18. – С.7 – 8.
5. Козина И.В. Применение метода анализа иерархий для оперативной обработки информации о материальных потоках в забоях угольных шахт / И.В. Козина, В.И. Корсун // Системні технології: регіон: міжвуз. зб. наук. праць. – 2008. – Вип. 3(56). – Том 1.– С. 139 – 142.
6. Козина И.В. Оперативная обработка материальных и информационных потоков в забоях угольных шахт с использованием расширенного метода анализа иерархий / И.В. Козина // Зб. наук. праць НГУ. – 2009. – №33. – Том 1. – С. 135 – 140.
7. Козина И.В. Прогнозирование запасов материальных ресурсов в забоях угольных шахт с использованием метода «Гусеница»-SSA / И.В. Козина// Системні технології: регіон: міжвуз. зб. наук. праць. – 2010. – Вип. 2(67). – С. 175 – 179.
8. Козина И.В. Анализ и прогноз оперативной обработки материальных и информационных потоков в забоях угольных шахт с использованием метода «Гусеница» / И.В. Козина // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 4. – С. 110 – 113.
9. Козина И.В. Моделирование процессов доставки вспомогательных грузопотоков внутришахтного транспорта с учетом характеристики трассы / И.В. Козина // Горная электромеханика и автоматика: науч.-техн. зб. – Д.: НГУ. – 2011. – Вип.87. – С. 63 – 66.

10. Козина И.В. Применение комбинированных методов управления транспортно- технологическими подсистемами угольных шахт / И.В. Козина // Автоматика–2006: 13-а міжнар. конф. з автоматичного управління, 25 – 28 вересня 2006 р.: тези доп. – Вінниця. – С. 222.
11. Козина І.В. Координація матеріальних та інформаційних потоків вугільних шахт / А.Л. Ширін, І.В. Козіна, О.М. Полінський // Проблеми і перспективи інноваційного розвитку економіки України: міжнар. наук.-практич. конф., 24 – 26 травня 2007р.: тези доп. – Дніпропетровськ. – С. 159 – 160.
12. Козина И.В. Моделирование режимов транспортировки вспомогательных материалов и оборудования в подготовительные забои угольных шахт / И.В. Козина // Системний аналіз. Інформатика. Управління: III міжнар. наук.-практич. конф., 14 – 16 березня 2012 р.: тези доп. – Запоріжжя. – С. 148 – 149.
13. Научное обоснование производительности транспортно-технологических схем и параметров шахтного транспорта высокого технического уровня: отчет о НИР / Национальный горный университет; руководитель Л.Н. Ширин – № ГР 0105U000520. – Д.: НГУ, 2006. – 126 с.
14. Рудничный транспорт и подъем [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студентов горных специальностей/ под общей ред. проф. Н.Д. Мухопода. – Режим доступа:  
[http://donntu.edu.ua/russian/strukt/kafedrs/wgzt\\_1/strMUHOPAD/book3.htm](http://donntu.edu.ua/russian/strukt/kafedrs/wgzt_1/strMUHOPAD/book3.htm)
15. Прогрессивные технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1979. – 244 с.
16. Сысоева В.А. Исследование процесса формирования шахтных грузопотоков и разработка методов оптимизации технологических схем и параметров подземного транспорта угольных шахт: автореф. дис. на соискание ученой степени докт. техн. наук: спец. 05.15.02 "Подземная разработка месторождений"/ В.А. Сысоева. – М., 1974. – 41с.
17. Кариман С.А. Моделирование и оптимизация производственных процессов при добыче угля / С.А. Кариман, А.В. Брайцев, В.М. Шрамко. – М.: Наука, 1975. – 331с.
18. Алотин Л.М. Моделирование и расчет транспортных систем горных предприятий / Л.М. Алотин, П.Б. Степанов. – Алма-Ата: Наука, 1979. – 214 с.
19. Автоматизация и регулирование транспортных процессов на угольных предприятиях: сб. трудов/ Тр. ин-та. М., Недра, 1983, С. 95.
20. Борисенко Л.Д. Статистическое моделирование шахтных производственных процессов / Л.Д. Борисенко, Л.Н. Занина. – М.: Наука, 1982. – 102 с.
21. Корнеєв С.В. Основи теорії транспорту: навч. посіб. / С.В. Корнеєв, Л.Н. Ширін. – Алчевськ: ДонДТУ, 2011. – 353 с.



22. Акмаев А. Планирование добычи угля на шахтах на основе использования метода ограничений / А. Акмаев, И. Марушкевич, Р. Белозерцев // Энергетическая политика Украины. – 2005. – №1 – С.50-53.
23. Бурчаков А.С. Математическое моделирование в горной промышленности: Учебное пособие: / А.С. Бурчаков, В.В. Ливенцов. – М., 1967. Выпуск 1. – 110с.
24. Транспортно-складська логістика гірничих підприємств / під. ред. В.О. Будішевського, Л.Н. Ширіна. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – 415 с.
25. Особливості моделювання руху електричних транспортних засобів з врахуванням залежності навантаження від рельєфу місцевості [Електронний ресурс] / О. Б. Мокін, Б. І. Мокін // Наукові праці ВНТУ. – 2010. – № 1. Режим доступу: [http://www.nbuuv.gov.ua/e%2Djournals/VNTU/2010-1/uk/10mbidot\\_uk.pdf](http://www.nbuuv.gov.ua/e%2Djournals/VNTU/2010-1/uk/10mbidot_uk.pdf).
26. Мокін О. Б. Відносні моделі руху електричного транспортного засобу по горизонтальному прямолінійному відрізку колії / О. Б. Мокін, Б. І. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 2. – С. 20–24.
27. Мокін О. Б. Оптимізація руху порожнього електричного транспортного засобу по прямолінійній горизонтальній колії / О. Б. Мокін, Б. І. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 3. – С. 28 – 33.
28. Мокін О. Б. Оптимізація руху електромобіля по горизонтальному прямолінійному відрізку за критерієм мінімуму витрат енергії акумуляторної батареї/ О. Б. Мокін, Б. І. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 2. – С. 96 – 100.
29. Гольдин М.А. Кибернетика угольных шахт / М.А. Гольдин. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1969. – 58 с.
30. Крулькевич М.И. Оптимизация оперативного управления угольной шахтой / М.И. Крулькевич, К.Ф. Сапицкий. – М.: Недра, 1978. – 231 с.
31. Колганов Л.С. Оперативное планирование на шахтах в АСУ производственного объединения / Л.С. Колганов, Л.Л. Майзель, В.П. Соколов. – М.: Недра, 1980.
32. Пучков Л.А. Автоматизированные системы управления в горнодобывающей промышленности: учебник для вузов / Л.А. Пучков, Н.И. Федунец, Д.К. Потресов. – М.: Недра, 1987.
33. Решения HMI/SCADA – системы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.scada.com.ua/>
34. Спиваковский А. О. Рудничный транспорт / А. О. Спиваковский. – М.: 3 – е изд., 1958.
35. Системы подземного транспорта на угольных шахтах / под. ред. В.А. Пономаренко. – М.: Недра. 1975. – 309 с.
36. Бусленко Н.П. Математическое моделирование производственных процессов / Н.П. Бусленко.– М.: Наука, 1966. – 458 с.

37. Системы внутришахтного транспорта / под ред. В.Г. Шорина. – М.: Недра, 1977. – 335 с.
38. Пономаренко В.А. Определение затрат на содержание систем подземного транспорта угольных шахт Донбасса / В.А. Пономаренко, Е.В. Макарова.– Донецк: ДонУГИ, 1967. – 36 с.
39. Кузнецов Л.И. Анализ развития вспомогательного транспорта на отечественных и зарубежных угольных шахтах / Л.И. Кузнецов, Ф.М. Эйдзинзон: Обзор ЦНИЭУголь. – М., 1981.
40. Системы подземного транспорта на угольных шахтах / Под. ред. В.А. Пономаренко. – М.: Недра. 1975. – 309 с.
41. Владимирова Л.П. Прогнозирование и планирование в условиях рынка: учебное пособие / Л.П. Владимирова. – М., 2001. – 308 с.
42. Математические методы в планировании отраслей и предприятий / под ред. И. Г. Попова. – М.: Экономика, 1981. – 375 с.
43. Братченко Б.Ф. Рудничный транспорт и механизация вспомогательных работ. / Б.Ф. Братченко. – М.: Недра, 1978. – 423 с.
44. Омельченко И.Н. Моделирование логистико-ориентированного процесса управления организационно-экономической устойчивостью промышленного предприятия /И.Н. Омельченко // Вестник машиностроения. – 1997. – №2. – С. 42 – 46.
45. Чернобрывец Н.Т. Проблемы подземного транспорта / Н.Т. Чернобрывец // Уголь Украины. – 1980. – №12. – С.19 – 22.
46. Гойзман Э.И. Моделирование производственных процессов на шахтах / Э. И. Гойзман. – М.: Недра, 1972. – 190 с.
47. Экономико-математические методы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://emm.ostu.ru/lect/lect4.html>
48. Иванов В.М. Математическая статистика / В.М. Иванов, В.Н. Калинина, Л.А. Нешумова. – М.: Высшая школа, 1981. – 244 с.
49. Спицнадель В.Н. Основы системного анализа: учебное пособие / В.Н. Спицнадель. – М.: Бизнес – пресса, 2000. – 326с.
50. Кулешов А.А. Анализ Фурье [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.А. Кулешов, А.В. Лазарев. – Минск, 2003. – Режим доступа: [http://www.elbook.bsu.by/PRODUCTS/analisis\\_furie.html](http://www.elbook.bsu.by/PRODUCTS/analisis_furie.html)
51. Блаттер К. Фундаментальные дисциплины. Математика, Вейвлеты, вейвлет-анализ / К. Блаттер. – М., 2004. – 280 с.
52. Экономико-математические методы. [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://emm.ostu.ru/lect/lect4.html>
53. Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования / Е. М. Четыркин. – М.: Статистика, 1977. – 263 с.
54. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

55. Катренко А.В. Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації: навч. посібник/ А.В. Катренко – Львів: Новий світ. – 2000. – 424с.
56. Орлов И.А. Экспертные оценки. Электронное пособие [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aup.ru/books/m154/>
57. Давыдов Э.Г. Исследование операций: учебное пособие для студентов вузов / Э.Г. Давыдов – М.: Высшая школа, 1990. – 383 с.
58. Докунин А.В. Использование математических методов и вычислительной техники в горном деле / А.В. Докунин, В.О. Роальд, Э.Г. Саратовский. – М.: Недра, 1964. – 42 с.
59. Лейтес З.М. Методика установления оптимальных технологических схем подземного транспорта с помощью теории графов / З.М. Лейтес, В.А. Сыроева. – М., 1966. – 80 с.
60. Носов В.А. Комбинаторика и теория графов / В.А. Носов. – М.: Московский государственный институт электроники и математики, 1999. – 116 с
61. Лейтес З.М. Оптимизация технологических схем подземного транспорта на основе теории графов//Проблемы совершенствования технологических схем и создания новых средств рудничного транспорта/ З.М. Лейтес, В.А. Сыроева. – М.: Наука, 1967. –С.5 – 36.
62. Рабкин Е.Л., Фарфоровская Ю.Б. Дискретная математика. Булевы функции и элементы теории графов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dvo.sut.ru/libr/himath/w163rabk/index.htm>
63. Алгоритм Флойда – Уоршелла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/105825/>
64. Алгоритм поиска кратчайшего пути. [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.algolib.narod.ru/Graph/Path.html>
65. Алгоритм Флойда — Уоршелла для нахождения кратчайшего расстояния [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://urban-sanjoo.narod.ru/floyd.html>
66. Методы программирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hci.fenster.name/304y/lab5/>
67. Садовникова Н.А., Шмойлова Р.А. Анализ временных рядов и прогнозирование: учебное пособие./ Н.А. Садовникова, Р.А. Шмойлова – М.: Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, – 2001. – 67 с.
68. Метод главных компонент [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.chemometrics.ru/materials/textbooks/pca.htm#Ch2.1>
69. Дубров А.М. Обработка статистических данных методом главных компонент / А.М. Дубров – М.: Статистика, 1978 – 243 с.
70. Метод главных компонент (РСА) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://alglib.sources.ru/dataanalysis/principalcomponentsanalysis.php>

71. Множественный регрессионный анализ. Метод главных компонент [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ecocyb.narod.ru/513/MSM/msm3\\_3.htm](http://ecocyb.narod.ru/513/MSM/msm3_3.htm)
72. Главные компоненты временных рядов: метод Гусеница / под ред. Д.Л. Данилова и А.А. Жиглявского. – СПб: СПбГУ, 1997. – 300 с.
73. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница - SSA»: анализ временных рядов – учеб.пособие/ Н.Э. Голяндина. – СПб: СПбГУ, 2004. – 76 с.
74. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница - SSA»: прогноз временных рядов – учеб.пособие / Н.Э. Голяндина. – СПб: СПбГУ, 2004. – 76 с.
75. Кини Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р.Л. Кини, Х. Райфа. – М.: радио и связь, 1981. – 560 с.
76. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. 2-е изд. перераб. и доп. / О.И. Ларичев., - М.: Логос, 2002. – 392 с.
77. Подиновский В.В. О некорректности метода анализа иерархий [Электронный ресурс] / Подиновский В.В., Подиновская О.В.//: Проблемы управления. 2011. – №1. – С.8 – 13. Режим доступа: <http://cito-web.yspu.org/link1/metod/met140/node22.html>
78. Филипс Д. Методы анализа сетей: пер. с англ. / Д. Филипс, А. Гарсиа-Диас – М.: Мир, 1984. – 496 с.
79. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети: пер. с англ. / Т.Л. Саати.– М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 360с.
80. Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для вузів. 2-ге вид., перероб. та доп./ Г.Г. Півняк, В.М. Винославський, А.Я. Рибалко, Л.І. Несен / за ред. академіка НАН України Г.Г. Півняка. – Дніпропетровськ: НГА України, 2000. – 597 с.
81. Таран И.А. Математическая модель движения рудничного локомотива в условиях торможения/ И.А. Таран // Вибрации в технике и технологиях. 1999. – №3 (12). – С.47 – 49.
82. Нильва Э.Э. Горно-подготовительные работы на угольных шахтах / Э.Э. Нильва, И.Э. Цейтин– М.: Недра, 1981. – 280 с.
83. Кузнецов Б.А. Транспорт на горных предприятиях / под общ. ред. проф. Б.А. Кузнецова. –2-е изд. перераб. и доп. / Б.А. Кузнецов. – М.: Недра, 1976, – 552 с
84. Розрахунок шахтного локомотивного транспорту: навч. посіб./ О.О. Ренгевич, О.М.Коптовец, П.А. Дьячков та ін. – Д: Національний гірничий університет, 2007. – 83 с.
85. Біліченко М.Я. Зниження енергоспоживання на шахтному транспорті: монографія / М.Я. Біліченко, О.В. Денищенко. – Д: Національний гірничий університет, 2010. – 77 с. (російською мовою).

86. Выделение аддитивных компонент временного ряда на основе метода «Гусеница». [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.pdmi.ras.ru/theo/AutoSSA.html>. - 03.08.2003
87. Golyandina N. The "Caterpillar"-SSA method for analysis of time series with missing values [Электронный ресурс] / N. Golyandina, E. Osipov // Journal of Statistical Planning and Inference. – Volume 137, Issue 8, 1 August 2007, Pages 2642 – 2653. – Режим доступа: <http://www.gistatgroup.com/gus/books.html>
88. Метод «Гусеница-SSA» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gistatgroup.com/gus/books.html>
89. Бокс Дж. Анализ временных рядов, прогноз и управление: пер. с англ. под ред. В.Ф. Писаренко / Дж. Бокс, Г. Дженкинс Г. – М.: Мир, 1974. – кн. 1. – 406 с.
90. Гущин В.М., Железняк В.Ю., Гущин К.О. Прогнозирование материальных потоков предприятия на основе методов нечеткой логики / В.М. Гущин, В.Ю. Железняк, К.О. Гущин // Нейросетевые технологии и их применение: междунар. конф., 12 – 13 ноября 2003.
91. Згуровський М.З. Системний підхід до прогнозування проектних ризиків / М.З. Згуровський, Ш.Ш. Коваленко К. Кондрак // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – К., 2000. – №6. – С.53 – 62.
92. Stepanov D. SSA-based approaches to analysis and forecast of multidimensional time series [Электронный ресурс]: In: Proceedings of the 5th St.Petersburg Workshop on Simulation / D.Stepanov, N.Golyandina // June 26-July 2, 2005, St. Petersburg State University, St. Petersburg, pp. 293-298. – Режим доступа: <http://www.gistatgroup.com/gus/mssa2.pdf>
93. Alexandrov Th. Automatic extraction and forecast of time series cyclic components within the framework of SSA [Электронный ресурс]: In: Proceedings of the 5th St.Petersburg Workshop on Simulation / Th.Alexandrov, N.Golyandina // June 26-July 2, 2005, St. Petersburg State University, St. Petersburg, pp. 45–50. – Режим доступа: <http://www.gistatgroup.com/gus/genessa.pdf>
94. Современные аспекты моделирования маршрутов перевозки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gruzo-perevozki.com.ua/?tp=art&id=010>
95. Математические методы и вычислительная техника в горном деле: науч.сообщ./ Ин-т горн. дела им. А.А. Скочинского. – М., 1989. – 168 с.
96. Математическое моделирование в горном деле. Сб. трудов. – Алма-Ата: Наука, 1967. Т.24.
97. Выбор критерия оптимальности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.math.mrsu.ru/text/courses/e-learn/3.3.htm>
98. Классификация критериев оптимальности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rae.ru/monographs/57-2323>

99. Экономическая эффективность предприятия [Электронный ресурс]. – Режим доступа  
[http://www.loskutov.org/Ekonomika%20predpriyiy/Chapt\\_10.htm](http://www.loskutov.org/Ekonomika%20predpriyiy/Chapt_10.htm)
100. Моссаковский Я.В. Экономика горной промышленности: учебник для вузов / Я.В. Моссаковский – М.: Московский государственный горный университет, – 2004. – 527 с.
101. Экономическая эффективность производства на предприятии [Электронный ресурс]. – Режим доступа  
<http://cito-web.yspu.org/link1/metod/met140/node22.html>
102. Ильин А.И. Экономика предприятия. Краткий курс/ А.И. Ильин. – Минск: Новое знание, 2007. – 236 с.

Наукове видання

**Козіна Інна Валеріївна**

**ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ  
ДОПОМІЖНИМИ ВАНТАЖОПОТОКАМИ  
ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

Монографія

Друкується в авторській редакції.

Підп. до друку 25.11.2013. Формат 30x42/4.  
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 5,3.  
Обл.-вид. арк. 5,3. Тираж 300 пр. Зам. № .  
Підготовлено до друку та видруковано  
у Державному вищому навчальному закладі  
«Національний гірничий університет».  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру  
ДК № 1842 від 11.06.2004.  
45005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.