

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ AUTOMATION AND POWER ENGINEERING

УДК 533.6.011: 533.583.2

doi: <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-1-116-126>

В.Г. Гріньов  
А.О. Хорольський  
О.Р. Мамайкін

### ДЕКОМПОЗИЦІЙНИЙ ПІДХІД ПРИ ПОБУДОВІ СИСТЕМ ГЕНЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ У ВУГЛЕПРОМИСЛОВИХ РЕГІОНАХ

**Мета.** Розробити новий спосіб визначення оптимальних параметрів функціонування промислових зв'язків між вугільними шахтами, збагачувальними фабриками, електростанціями.

**Методи дослідження.** Проаналізовано сучасний стан із забезпечення вугільною продукцією суміжних галузей виробництва. Задача відновлення стабільності у вуглепромислових регіонах Донбасу може бути представлена у вигляді багатоступінної розподільчої задачі. Сутність задачі така: необхідно до кінця планового періоду в просторово роз'єднаних пунктах певного регіону відновити підприємства, які розглядаються як джерела енергоносіїв і як споживачі електроенергії, при цьому відомі можливі варіанти відновлення потенціалу шахт, а також відома максимально можлива їх потужність. Для вирішення цієї задачі застосовується декомпозиційний метод з подальшою графовою інтерпретацією.

**Результати.** В роботі вперше запропоновано підхід, який базується на заміні позитивного зворотного зв'язку (чим більше шахта видобуває вугілля, тим більше її необхідно електроенергії) двома негативними послідовними зв'язками (чим більше шахта видобуває вугілля, тим менше її невикористана потужність і чим менше невикористана потужність шахти, тим більше її потрібно електроенергії).

**Наукова новизна.** Встановлено, що кінцева ефективність промислових взаємозв'язків у вуглепромислових регіонах, характеризується співвідношенням потоків вхідних та вихідних ресурсів. Доведено, що ефективність технологічної схеми це інтегральний показник, який формується групою технологічних, експлуатаційних, економічних чинників в межах області раціонального проектування та залежить від функціональних зв'язків.

**Практична значимість.** Відображення на графах фактичних промислових взаємозв'язків та параметрів розробки вугільних родовищ дозволяє вирішувати задачу оптимізації процесу отримання, доставки електроенергії та випуску кінцевої продукції, окрім цього, мережеве представлення зв'язків слугує для оперативного управління станом галузі, розподілу ресурсів між споживачами. Застосування відповідного програмного забезпечення дозволяє запровадити описані підходи у виробництво.

**Ключові слова:** оптимізація параметрів, мережева модель, програмне забезпечення, ресурси, раціональне природокористування.

#### Вступ.

Здійснення заходів із відновлення роботи підприємств Донбасу і, насамперед, вугільної промисловості передбачає вирішення питань соціального характеру, які обумовлені:

- значною часткою витрат на відновлення пошкоджених війною державних шахт;
- великою різницею між фактичним фінансуванням та потребами галузі щодо підтримки виробничих потужностей;
- негативним впливом минулої реструктуризації на соціально-економічне становище шахтарських монопромислових міст, що проявляється у зростанні рівня безробіття, зниженні промислового виробництва та низькому рівні доходів населення цих міст.

Зазначимо, що у вуглепромислових регіонах Донбасу робота, як і раніше, залишається одним з основних невирішених питань, відіграє роль соціального чинника. Таким чином, державна підтримка повинна передбачати заходи зі стабілізації та поступового нарощування промислового потенціалу, що в свою чергу відобразиться на рівні зайнятості населення.

Пошук оптимального рішення ускладнений:

- детермінованим характером формування кінцевого рівня ефективності, тобто кожен елемент системи впливає на інші, наприклад, для видобутку вугілля необхідна електрична енергія, а для вироблення електричної енергії потрібне вугілля, при цьому в даній системі «електростанція-шахта» задіяні

вуглезбагачувальні фабрики, транспортні витрати та ін.;

- розмірністю задачі, методи перебору варіантів потребують значних часових витрат (часова складність  $2^N$ , де  $N$  – кількість об'єктів), не виключають вірогідність технічних помилок, окрім цього неінформативні, складні для сприйняття – представлення зв'язків мережевими моделями та подальше застосування алгоритмів оптимізації дозволяють уникнути наведених недоліків, а також підвищити розмірність задач.

Таким чином дослідження ефективності та встановлення закономірностей формування оптимальних просторових зв'язків між підприємствами з генерації енергії та підприємствами-споживачами є актуальною науково-технічною задачею.

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Для прийняття рішень застосовують критеріальні оцінки, методи теорії прийняття рішень суть яких полягає в розстановці найбільш значущих пріоритетів з подальшою оптимізацією параметрів. Базовий АНР (МАІ – метод аналізу ієрархій) метод розроблений Т. Сааті [Thomas Saaty] [1], в роботах М. Атаєї [M. Ataei] [2], С. Алпайя [S. Alpay] [3], М. Даскіна [M. Daskin] [4] описано застосування в гірничому виробництві. Однак, існує ряд труднощів: важливість і пріоритет критерію встановлює особа приймає рішення (ОПР) – для достовірного прийняття рішень повинна бути узгодженість між ОПР; велика вибірка і опитування не завжди гарантує правильний вибір, крім того, критерії вибору не завжди відповідають розв'язуваній задачі [5]. З огляду на специфіку виробництва енергії з вугілля були розроблені модифікації методу з урахуванням відхилень від моделі раціонального вибору (TODIM), а також відхилень від «ідеального» значення з наступною нормалізацією (Grey-АНР). Так само, набув поширення метод аналізу переваг (PROMETHEE), суть якого полягає в завданні функції переваги, порівняно варіантів і подальшому ранжируванні отриманих функцій переваги. Даний метод використовували Ванг Чен [Wang Chen] [6]

для вирішення завдань транспортування вугілля, Жанг Джіанпінг [Zhang Jianping] [7] для збалансування поставок матеріалів. Застосувати даний метод важко, тому що достовірно не відомі вагові коефіцієнти кожної групи параметрів (обладнання, технологічні параметри, техніко-економічні показники).

Особливу групу складають засоби математичного програмування. Залежно від характеру оптимізаційного параметра і його зміни в часі можуть бути використані методи лінійного, квадратичного, цілочисельного, геометричного програмування, які застосовуються в детермінованих моделях; також застосовують стохастичне програмування для імовірнісних моделей. Найбільш універсальним є динамічне програмування, тому що може бути використано в імовірнісних, детермінованих, а також динамічних моделях. Єдиним недоліком описаних підходів є те, що вони не можуть бути використані в інформаційних моделях. Апробації в гірничому виробництві, описаних підходів, присвячені роботи А. Морина [A. Morin] [8], А. Гайдара [A. Haidar] [9], М. Бразил [M. Brazil] [10], Д. Томаса [D. Thomas] [11], О. Озтаса [O. Oztas] [12], В.Г. Гриньова, В.І. Назимко [13], В.Н. Кухарева, В.І. Саллі. В роботах [14, 15] проведено комплексний аналіз методів математичного програмування, а в роботі [16] проаналізовані економіко-математичні методи і моделі в плануванні та управлінні.

#### **Постановка задачі.**

Для відновлення інфраструктури у вуглепромислових регіонах необхідно розробити наукові основи забезпечення стабілізації та нарощування промислового потенціалу шляхом формування стійких зв'язків між шахтами та суміжними підприємствами, для цього необхідно:

- описати зв'язки між шахтами, збагачувальними фабриками, електростанціями – для цього можуть бути застосовані матриці інцидентій;

- розділити сукупність зв'язків на ієрархії, тобто замінити позитивний зворотній зв'язок (чим більше видобуток – тим більше потрібно електроенергії) на два негативних послідовних (чим більше шахта

видобуває вугілля, тим менше її невикористана потужність і чим менше невикористана потужність шахти, тим більше їй потрібно електроенергії) – тобто застосувати метод декомпозиції;

- формалізувати локальні задачі із пошуку оптимальних зв'язків у виробництві шляхом графової інтерпретації; подальше застосування алгоритмів на мережевих моделях дозволить визначити найкращий варіант;

- запропоновувати систему підтримки прийняття рішень.

### Методи дослідження.

Відносно до ситуації відновлення порушеної війною соціальної стабільності та потенціалу вуглепромислових регіонів Донбасу слід розглянути багатоступеневу розподільну задачу. Сутність задачі така: необхідно до кінця планового періоду в просторово роз'єднаних пунктах певного регіону відновити підприємства, які розглядаються як джерела енергоносіїв і як споживачі електроенергії. Відомі можливі варіанти відновлення потенціалу шахт, а також відома максимально можлива їх потужність. Після цього використовуючи методи дискретної математики на мережах та графах вирішувати окремо кожен задачу, лише за цих умов можна знизити збитки, стабілізувати показники галузі та провести планування розвитку галузі у довгострокових перспективах.

Застосуємо декомпозиційний метод сутність якого полягає у виокремленні мети нижніх рівнів за ієрархією із мети верхнього рівня за ієрархією. В більш широкому трактування сутність методу полягає у визначенні основних факторів, які впливають на ефективність функціонування системи, після цього кожен із визначених факторів розкладається на менші чинники, тобто відбувається перехід від більшого до меншого, а досягнення кінцевої мети відбувається за рахунок аналізу та оптимізації параметрів на початкових етапах.

В нашому випадку в системі генерації енергії головні (за ієрархією) об'єкти – шахти, збагачувальні, фабрики, електростанції, а в межах кожного головного об'єкту існують свої чинники: витрати на

придбання обладнання, фонд заробітної плати, транспортування та ін., при цьому, кожен із чинників також складається із параметрів.

Введемо такі позначення:  $X_{li}^{2j}$  – обсяг поставок вугілля  $i$  –ї шахти на  $j$  –у електростанцію;  $X_{2j}^s$  – відпуск електроенергії з  $j$  –ї електростанції;  $s$  – му споживачеві;  $X_{2j}^{li}$  – невикористана потужність  $l_i$  –ї шахти;  $f_1$  – витрати на виробництво 1 тис. т вугілля на  $i$  – й шахті;  $f_2$  – витрати на виробництво 1 млн кВт-г електроенергії  $j$  – ї електростанції;  $u_i$  – витрати на транспортування 1т вугілля від  $l_i$  –ї шахти до  $j$  –ї електростанції;  $\lambda_i$  – втрати електроенергії і витрати її передачі від  $j$  –ї електростанції до  $s$  – го споживача;  $M_i, M_j, M_{2i}$  – максимально можлива потужність відповідно шахт, електростанцій і збагачувальних фабрик;  $D_s$  – попит  $s$  – го споживача;  $\gamma_i$  – потреба  $i$  –ї шахти в електроенергії;  $l_{1i}, l_{2i}$  – відповідно продуктивність праці на  $i$  –й шахті і збагачувальній фабриці;  $L_R$  – чисельність працездатного населення регіону.

Задача описується наступною системою співвідношень:

$$F = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} [f_1 l_i + u_{1i}^{2j} + \lambda_{1i}^{2j}] X_{li}^{2j} +$$

$$+ \sum_{j=1}^{n_2} \sum_{s=1}^{n_3} u_{2j}^s + \sum_{j=1}^{n_2} \sum_{i=1}^{n_1} u_{2j}^{li} X_{2j}^{li} = \min$$

за умов:

$$\sum_{j=1}^{n_2} X_{li}^{2j} + X_{1i} = M_{1i}$$

$$\sum_{i=1}^{n_1} \lambda_{1i}^{2j} X_{li}^{2j} + X_{2j} = M_{2j}$$

$$\sum_{s=1}^{n_3} X_{2j}^s + \sum_{i=1}^{n_1} X_{2j}^{li} + X_{2j} = M_{2j}$$

$$\sum_{j=1}^{n_2} \lambda_{2j}^s X_{2j}^s = D_s$$

$$\sum_{j=1}^{n_2} \lambda_{2j}^{1i} X_{2j}^{1i} = \gamma_i \sum_{j=1}^{n_2} X_{1i}^{2j}$$

$$\sum_{i=1}^{n_1} \frac{M_{1i}}{l_{1i}} + \sum_{i=1}^{n_2} \frac{M_{2i}}{l_{2i}} \leq L_R$$

представити як баланс між потоком вхідних ресурсів: фонд заробітної плати, допоміжні матеріали, витрати на транспортування та потоком вихідних ресурсів – об’єми видобутку, кількість генерованої електроенергії (рис. 1).

У відповідності до мети дослідження ефективність виробництва можна

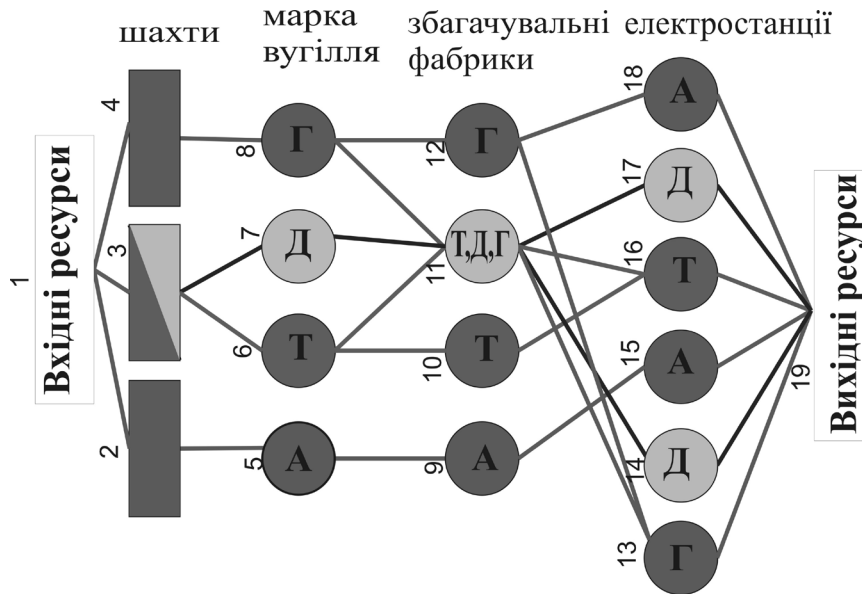


Рис. 1. Структура взаємозв’язків «вугілля – електроенергія»

Математичний сенс пошуку оптимального зв’язку «вугілля-електроенергія» полягає у знаходженні найкоротшого маршруту  $g$  у мережевій моделі  $G$ , яка складається з  $N=19$  вершин та  $M=27$  ребер, де  $P_c = (i; j)$  – відстань вершинами  $i$  та  $j$ , які відповідають об’єктам виробництва. При цьому, якщо зв’язок відсутній, то  $P_c = (i; j) = \infty$ . За необхідності небажаний зв’язок можна «обважити», тобто задати на порядок вищим ніж інші значення оптимізаційного параметру.

Означимо «1» – початкова вершина мережевої моделі, яка не має «ваги», «19» – кінцева вершина мережевої моделі, також не має «ваги»; «2–4» шахти з видобутку вугілля  $S1...S3$ ; «5–8» – витрати на видобуток зазначеної марки вугілля  $M1...M4$ , «9–12» – витрати на збагачення вугілля зазначеної марки  $V1...V4$ , «13–18» – витрати на генерацію енергії станцією для зазначеної

марки вугілля  $E1...E6$ . Тоді, оптимальний зв’язок буде відповідати найкоротшому маршруту від точки 1 до точки 19, при цьому  $g = (S_n + M_n + V_n + E_n) \rightarrow \min$ , тобто загальну ефективність процесу генерації енергії з вугілля формують шахтні витрати, пов’язані з видобутком вугілля, прохідницькими та допоміжними роботами, підтриманням життєдіяльності підприємства; витрати на транспортування та збагачування вугілля; витрати на доставку вугілля на збагачувальні фабрики та витрати на генерацію енергії, а також втрати в мережі.

**Викладення основного матеріалу (Результати дослідження).**

Після формування моделі балансу між підприємствами генеруючими енергію та споживачами вирішення задачі стабілізації зводиться до оптимізації зв’язків між підприємствами. Для цього необхідно:

- відобразити структуру відношень між підприємствами у вигляді впорядкованої структури – мережевої моделі; у якості вершин виступають об'єкти виробництва, а у якості відстані між вершинами значення оптимізаційного параметру;

- застосовуючи алгоритми оптимізації мережевих моделей знайти найкоротший маршрут, який буде відповідати оптимальному зв'язку між шахтами, збагачувальними фабриками, електростанціями;

- за потреби кожному рівню зв'язків «шахта-збагачувальна фабрика», «збагачувальна фабрика-електростанція» та ін. можна присвоювати окремий рівень «значущості» тим самим навантажувати ребра мережевої моделі у відповідності до пріоритетності.

При цьому процес оптимізації може відбуватись за декількома параметрами: витрати на транспортування, витрати на

оплату праці, витрати на придбання обладнання та модернізацію виробництва, тобто у залежності від ситуації у регіоні та економіці країни можуть вирішуватись задачі як стабілізації так і нарощування виробництва – тим самим досягається «гнучкість» управління та ефективність виробництва.

Для моделі балансу між підприємствами побудована матриця інцидентій (рис. 2), яка дозволяє сформулювати ряд важливих принципів стабілізації ситуації в конкретному регіоні. Суть цих принципів полягає в заміні позитивного зворотного зв'язку (чим більше шахта видобуває вугілля, тим більше їй необхідно електроенергії) двома негативними послідовними зв'язками (чим більше шахта видобуває вугілля, тим менше її невикористана потужність і чим менше невикористана потужність шахти, тим більше їй потрібно електроенергії).

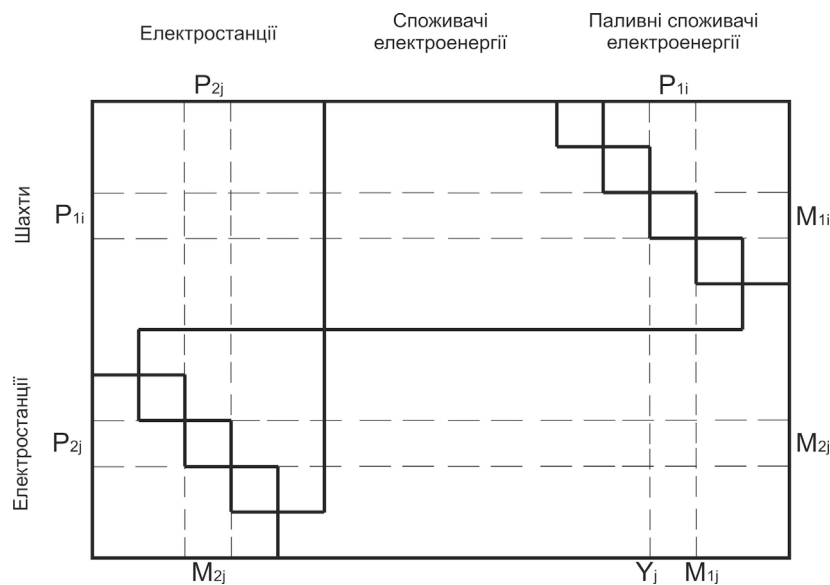


Рис. 2. Матриця інцидентій «шахти-електростанції»

У разі, якщо збагачувальні фабрики забезпечуються електроенергією з цих же електростанцій матриця інцидентій буде мати вигляд, як на рис. 3. Невикористана потужність цих фабрик повинна зіграти тут вже подвійну роль: по-перше, забезпечити відповідність між кількістю незбагаченого вугілля, що надходить на фабрику, і

збагаченого вугілля, що відвантажується з фабрики; по-друге, відобразити дійсну потребу фабрики в енергії. Рішення такого типу розподільчих задач з додатковими обмеженнями виду  $X_i = X_2$ , як правило, здійснюється декомпозиційними методами [16].

У відповідності до моделей зображених на рис. 1–3 було побудовано

фактичну структуру зв'язків вугілля-електроенергія в Донецькій області, а також «вугілля–кокс–метал» [17]. У представлених моделях відображено кількісне

співвідношення шахт  $S_n$  з видобутку вугілля марок  $M_n$ , збагачувальних фабрик  $V_n$  та електростанцій  $E_n$ .

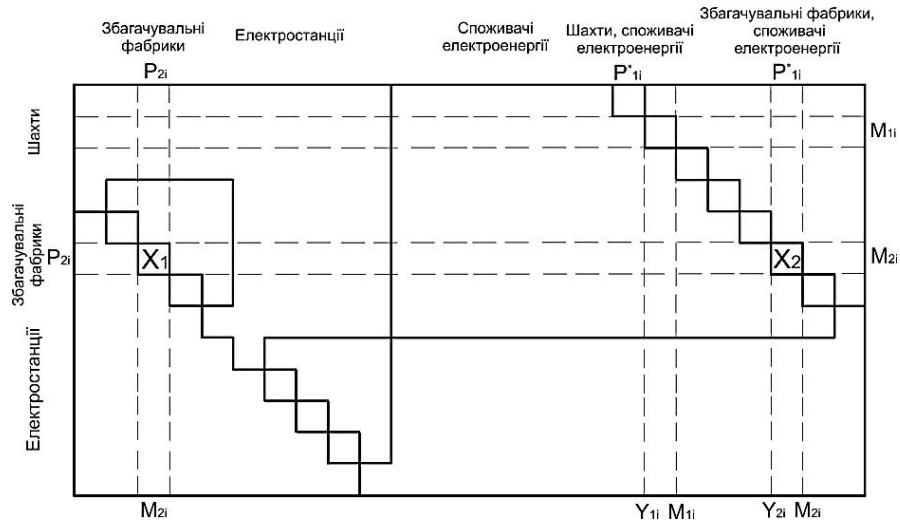


Рис. 3. Матриця інцидентів «шахти–збагачувальні фабрики–електростанції»

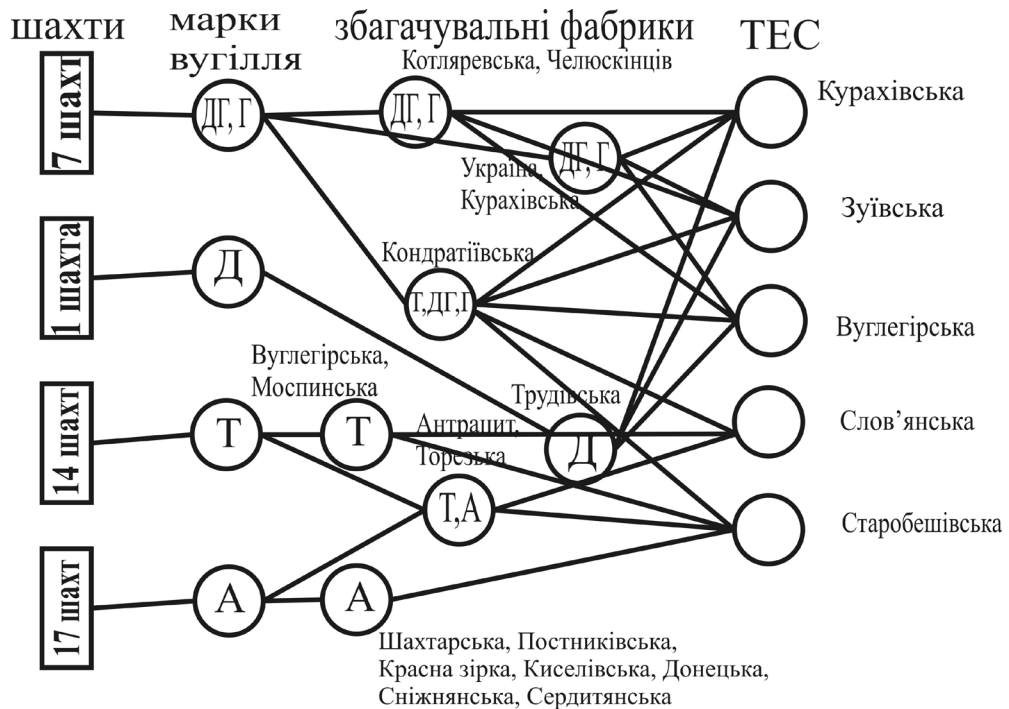


Рис. 4. Фактична структура взаємозв'язків «вугілля-електроенергія» в Донецькій області

Тоді для знаходження оптимальних зв'язків у системі «вугілля–електроенергія» необхідно пронумерувати кожен вершину, а ребрам мережевої моделі (відрізки, що з'єднують вершини) присвоїти значення параметру за яким слід оптимізувати мережеву модель. Для цього необхідно:

- означимо вершини мережевої моделі як «не зафарбовані», тобто відстань від першої вершини до інших не визначена; по мірі знаходження найкоротших маршрутів між вершинами вони будуть «зафарбовуватися», тобто будуть виключатися із подальших розрахунків;

- після цього слід перейти до пошуку найкоротшого маршруту між вершинами  $(i, j)$ , якому присвоюється значення  $d(x)$ , тобто найкоротший маршрут від точки  $i$  до точки  $j$  знайдено;

- покладемо  $d(i) = 0; d(x) = \infty$ , тобто якщо найкоротший маршрут між точками  $(i, j)$  знайдено, то довжина маршруту від точки  $j$ , яка відповідає порядковому номеру оптимальної вершини, до точки  $i$ , яка відповідає початковій вершині дорівнює  $d(x)$ , а до інших вершин (не оптимальних)  $d(x) = \infty$

- аналогічно визначимо відстань між іншими точками з урахуванням раніше визначеного найкоротшого маршруту  $d(x)$ :  $d(x) = \min\{d(x), d(y) + a(y, x)\}$ , де  $d(y)$  – остання вершина для, якої знайшли найкоротший маршрут,  $a(y, x)$  – значення параметру;

- при цьому коли порядковий номер вершини  $y$  до якої слід знайти оптимальний маршрут дорівнює  $y = t$ , де  $t$  – кількість вершин – розрахунки слід завершити, тобто отримали оптимальну структуру «вугільна–шахта–збагачувальна фабрика–електростанція» з найменшим значенням параметру, який слід мінімізувати.

Розглянуті в даній роботі ситуації та їх вирішення є інтерпретаціями вже відомих задач динамічного програмування [18, 19], проте, з розвитком інформаційних технологій вдається отримати нові алгоритми наближених і точних методів обчислень [20], а також істотно збільшити розмірність завдань.

### Обговорення результатів.

Наведена в роботі методологія є універсальною та може бути застосована не тільки при вирішенні задачі стабілізації стану промисловості у регіоні але і при організації транспортних перевезень між підприємствами, для зниження вартості на ремонт та обслуговування обладнання та оцінки екологічної шкоди від виробництва [21, 22] Однак, при застосуванні ручного перебору або методів лінійного програмування процес пошуку ускладнений великою розмірністю задач відповідно зростають часові витрати, також важко інтерпретувати результат із матричного представлення у зрозумілий для проектувальника вигляд [23, 24]. Саме тому в Інституті фізики гірничих процесів було розроблено відповідне програмне забезпечення (рис. 5), яке дозволяє автоматизувати процес пошуку оптимальних зв'язків, підвищити розмірність задач, інтерпретувати результати, створювати звіти [25].

Таким чином в роботі запропонована модель, яка враховує співвідношення між потоками вхідних та вихідних ресурсів у системі «вугілля–електроенергія» із застосуванням декомпозиційних методів. Подальше застосування методів на мережах та графах дозволяють знайти структуру виробництва вугілля та електроенергії з найменшими витратами.

### Висновки.

В статті описано новий спосіб визначення оптимальних параметрів функціонування промислових зв'язків між вугільними шахтами, збагачувальними фабриками, електростанціями, який полягає у співставленні між потоком вхідних ресурсів: фонд заробітної плати, допоміжні матеріали, витрати на транспортування та потоком вихідних ресурсів – об'єми видобутку, кількість генерованої електроенергії.

Встановлено закономірності формування оптимальних просторових зв'язків між підприємствами з генерації енергії та підприємствами-споживачами, які описані розробленою у роботі моделлю, при цьому, для спрощення, застосовані декомпозиційні методи, які полягають у

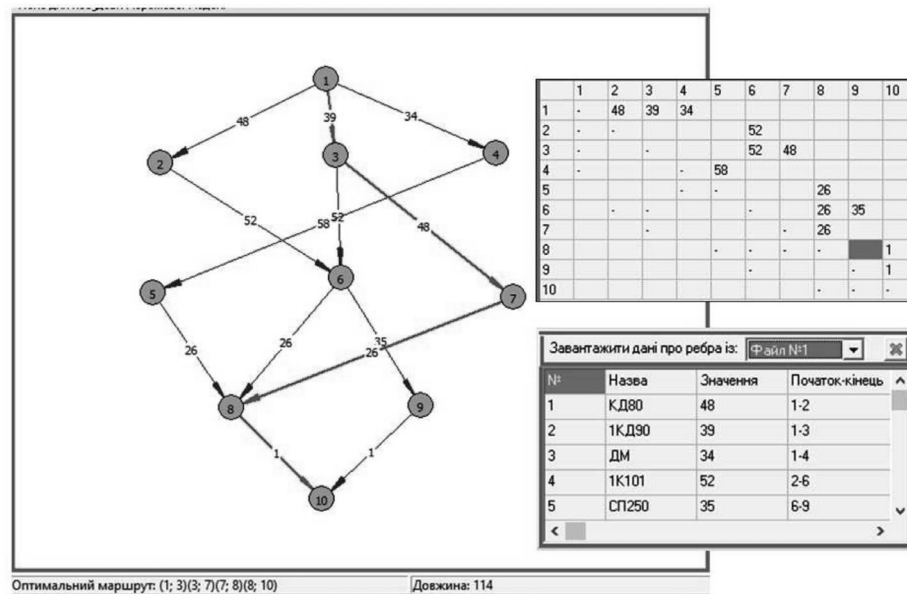


Рис. 5. Програма знаходження найкоротших маршрутів у мережевій моделі «GraphON.v1.2017»

заміні позитивного зворотного зв'язку (чим більше шахта видобуває вугілля, тим більше їй необхідно електроенергії) двома негативними послідовними зв'язками (чим більше шахта видобуває вугілля, тим менше її невикористана потужність і чим менше невикористана потужність шахти, тим більше їй потрібно електроенергії).

Запропоновано для пошуку оптимальних структур у системі «вугілля-електроенергія» застосовувати мережеві моделі та розроблено систему підтримки прийняття рішень, яка дозволяє запровадити описані методи у виробництво.

### Список літератури

1. Saaty, T., Shang, J. An innovative orders – of-magnitude approach to AHP-based Mutli-criteria decision making: Prioritizing divergent intangible humane acts. *European Journal of Operational Research*, 2011, 214(3), 703–715.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2011.05.019>
2. Ataei, M.; Jamshidi, M.; Sereshki, F., & Jalali I. S.M.E. Mining method selection by AHP approach. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2008, 108(12), 741–749.
3. Iphar, M., Alpay, S. A mobile application based on multi-criteria decision-making methods for underground mining method selection. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 2018, 126(3), 69–77.  
<https://doi.org/10.1080/17480930.2018.1467655>.
4. Daskin, M.S. *Network and discrete location: models, algorithms, and applications*. John Wiley & Sons, 2013.

<https://doi.org/10.1002/9781118537015>

5. Saaty, T. *Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors – The Analytic Hierarchy*. RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics), 2008, 102(2), 251–318.

6. Wang, Ch., Tu, Sh., Zhang, L., Yang, Q., Tu, H. Auxiliary transportation mode in a fully-mechanized face in a nearly horizontal thin coal seam. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2015, 25(6), 963–968.

<https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.09.013>

7. Opricovic, S., Tzeng, G.-H. Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European Journal of Operational Research*, 2007, 178(2), 514–529.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.01.020>

8. Morin, M.A. Underground mine design and planning: complexity and interdependencies. *Mineral Resources Engineering*, 2002, 11(2), 197–215.

9. Haidar A., Naoum S., Howes R., Tah J. Genetic Algorithms Application And Testing For Equipment Selection. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1999, 1, 32–38.

10. Brazil, M., Thomas, D.A., Weng, J.F. Cost Optimization for Underground Mining Networks. *Optimization and Engineering*, 2005, 6(2), 241–256.  
<https://doi.org/10.1007/s11081-005-6797-x>.

11. Brazil M., Thomas D.A., Weng J.F., Lee D.H. and Rubinstein J.H Cost optimization for underground mining networks. *Optimizat Eng*, 2005, 6, 241–256.

12. Bascetin A., Oztas O., Kanli A. EQS: a computer software using fuzzy logic for equipment selection in mining engineering. *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*. 2006, 106, 63–70.

13. Nazimko, V., Illiashov, M., Youshkov, E. Computer-aided mutly-object distribution system for



prompt project management. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 2014, 53.

14. Song Zh., Rinne M. and Wageningen A. Intelligent Scheduling for Underground Mobile Mining Equipment. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2013. 113, 889-897.  
<http://doi.org/10.1371/journal.pone.0131003>

15. Hrinov V.G. and Khorolskyi A.A. Improving the Process of Coal Extraction Based on the Parameter Optimization of Mining Equipment. *E3S Web of Conferences, Ukrainian School of Mining Engineering*, 2018, 60, 00017.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000017>

16. Fomychov, V., Mamaikin, O., Demchenko, Y., Prykhorchuk, O., & Jarosz, J. (2018). Analysis of the efficiency of geomechanical model of mine working based on computational and field studies. *Mining of Mineral Deposits*, 12(4), 46–55.  
<https://doi.org/10.15407/mining12.04.046>

17. Гринев В.Г., Калиущенко Е.П. Судьба украинского угля на фоне ситуации в Донбассе. Физико-технические проблемы горного производства, 2016, 18, 135–143.

18. Kellerer, H., Pferschy, U. and Pisinger, D. *Knapsack Problems – Springer Science+Business Media*, 2004. 548 p.  
<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-24777-7>

19. Fioroni, M., Santos, Letícia, C., Franzese, L., Seixas, J., Penna, B., Alkmim, G. Logistic evaluation of an underground mine using simulation. *Rem: Revista Escola de Minas*, 2014. 67(4), 447-454.  
<https://dx.doi.org/10.1590/037044672014670181>

20. Хорольський А.О., Гриньов В.Г. Системні принципи та оціночний критерій надійності при оптимізації технологічних схем вугільних родовищ. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: «Технічні науки», 2017, 80(2), 199–207.  
[https://doi.org/10.26642/tn-2017-2\(80\)-225-233](https://doi.org/10.26642/tn-2017-2(80)-225-233)

21. Karabyn V., Shtain B., Popovych V. Thermal regimes of spontaneous firing coal washing waste sites. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical sciences*, 2018, 429(3), 64–74.

22. Starodub Y., Karabyn V., Havrys A., Shainoga I., Samberg A. Flood risk assessment of Chervonograd mining-industrial district. *Proc. SPIE 10783, 107830P. Event SPIE. Remote Sensing, Berling, Germany (10 October 2018)*.  
<https://doi.org/10.1117/12.2501928>.

23. Imanberdieva N., Chukunkyzy, N., Severoğlu, Z., & Kulenbekov, Z. Ecology and Environmental Aspects of “Makmalzoloto” Gold Mining Area in Kyrgyzstan. In: *Vegetation of Central Asia and Environs*. Springer, Cham, 2018.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-99728-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99728-5_13).

24. Djibril, K.N.G., Clifford, T.B., Pierre, W., Magha, A., Kuma, C.J., Flore, T.D.J. Artisanal gold mining in Batouri area, East Cameroon: Impacts on the mining population and their environment. *Journal of Geology and Mining Research*, 2017, 9(1), 1–8.  
<https://doi.org/10.5897/JGMR2016.0263>

25. Гринев В.Г., Хорольський А.А. Обоснование параметров выбора комплектаций очистного оборудования с учетом области рациональной

эксплуатации. *Вести Донецького горного інституту*, 2017, 1(40), 139–144.

<https://doi.org/10.31474/1999-981x-2017-1-139-144>

## References

1. Saaty T. and Shang J. (2014) An innovative orders – of-magnitude approach to AHP-based Mutli-criteria decision making: Prioritizing divergent intangible humane acts, *European Journal of Operational Research*, 214(3), pp. 703-715.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2011.05.019>

2. Ataci, M.; Jamshidi, M.; Sereshki, F., & Jalali I. (2008). S.M.E. Mining method selection by AHP approach. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 108(12), 741–749.

3. Iphar, M., Alpay, S. (2018). A mobile application based on multi-criteria decision-making methods for underground mining method selection. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 126(3), 69–77.  
<https://doi.org/10.1080/17480930.2018.1467655>.

4. Daskin, M.S. (2013). *Network and discrete location: models, algorithms, and applications*. John Wiley & Sons, 2013.

<https://doi.org/10.1002/9781118537015>

5. Saaty, T. (2008). Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors – The Analytic Hierarchy. *RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics)*, 102(2), 251–318.

6. Wang, Ch., Tu, Sh., Zhang, L., Yang, Q., Tu, H. (2015). Auxiliary transportation mode in a fully-mechanized face in a nearly horizontal thin coal seam. *International Journal of Mining Science and Technology*, 25(6), 963-968.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.09.013>

7. Opricovic, S., Tzeng, G.-H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European Journal of Operational Research*, 178(2), 514–529. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.01.020>

8. Morin, M.A. (2002). Underground mine design and planning: complexity and interdependencies. *Mineral Resources Engineering*, 11(2), 197–215.

9. Haidar A., Naoum S., Howes R., Tah J. (1999). Genetic Algorithms Application And Testing For Equipment Selection. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1, 32–38.

10. Brazil, M., Thomas, D.A., Weng, J.F. (2005). Cost Optimization for Underground Mining Networks. *Optimization and Engineering*, 6(2), 241-256.  
<https://doi.org/10.1007/s11081-005-6797-x>.

11. Brazil M., Thomas D.A., Weng J.F., Lee D.H. and Rubinstein J.H (2005). Cost optimization for underground mining networks. *Optimizat Eng*, 6, 241–256.

12. Bascetin A., Oztas O., Kanli A. (2006). EQS: a computer software using fuzzy logic for equipment selection in mining engineering. *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 106, 63–70.

13. Nazimko, V., Illiashov, M., Youshkov, E. (2014). Computer-aided multi-object distribution system for prompt project management. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 53.

14. Song Zh., Rinne M. and Wageningen A. (2013). *Intelligent Scheduling for Underground Mobile*

Mining Equipment / The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 113, 889-897.

<http://doi.org/10.1371/journal.pone.0131003>

15. Hrinov V.G. and Khorolskiy A.A. Improving the Process of Coal Extraction Based on the Parameter Optimization of Mining Equipment. E3S Web of Conferences, Ukrainian School of Mining Engineering, 2018, 60. 00017.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000017>

16. Fomychov, V., Mamaikin, O., Demchenko, Y., Prykhorchuk, O., & Jarosz, J. (2018). Analysis of the efficiency of geomechanical model of mine working based on computational and field studies. Mining of Mineral Deposits, 12(4), 46–55.

<https://doi.org/10.15407/mining12.04.046>

17. Grinev, V.G. and Kaliushenko, E.P. (2016). *Sud'ba ukrainskogo uгля na fone situatsii v Donbasse* [The fate of Ukrainian coal against the backdrop of the situation in the Donbass], Physical and technical problems of mining, 18, 135–143.

18. Kellerer, H., Pferschy, U. and Pisinger, D. (2004). Knapsack Problems – Springer Science+Business Media. 548 p.

<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-24777-7>

19. Fioroni, M., Santos, Letícia, C., Franzese, L., Seixas, J., Penna, B., Alkmim, G. (2014). Logistic evaluation of an underground mine using simulation. Rem: Revista Escola de Minas, 67(4), 447-454.

<https://dx.doi.org/10.1590/037044672014670181>

20. Khorolskiy A.A., Grinev V.G. (2017). Systemni pryntsyipy ta otsinochni kryterii nadiynosti pry optyimizatsii tekhnolohichnykh skhem vuhilnykh rodovyshch. [System principles and evaluation criteria of reliability for optimization of technological parameters of coal deposits]. The Journal of Zhytomyr State

Technological University. Series: Engineering, 2 (80), 199–207 (in Ukrainian).

[https://doi.org/10.26642/tn-2017-2\(80\)-225-233](https://doi.org/10.26642/tn-2017-2(80)-225-233)

21. Karabyn V., Shtain B., Popovych V. (2018). Thermal regimes of spontaneous firing coal washing waste sites. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical sciences, 429(3), 64–74.

22. Starodub Y., Karabyn V., Havrys A., Shainoga I., Samberg A. (2018). Flood risk assessment of Chervonograd mining-industrial district. Proc. SPIE 10783, 107830P. Event SPIE. Remote Sensing, Berling, Germany (10 October 2018).

<https://doi.org/10.1117/12.2501928>

23. Imanberdieva N., Chukunzyzy, N., Severoğlu, Z., & Kulenbekov, Z. (2018). Ecology and Environmental Aspects of “Makmalzoloto” Gold Mining Area in Kyrgyzstan. In: Vegetation of Central Asia and Environs. Springer, Cham.

[https://doi.org/10.1007/978-3-319-99728-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99728-5_13)

24. Djibril, K.N.G., Clifford, T.B., Pierre, W., Magha, A., Kuma, C.J., Flore, T.D.J. (2017). Artisanal gold mining in Batouri area, East Cameroon: Impacts on the mining population and their environment. Journal of Geology and Mining Research, 9(1), 1–8.

<https://doi.org/10.5897/JGMR2016.0263>

25. Grinev V.G., Khorolskiy A.A. (2017). Obosnovanie parametrov vybora komplektacij ochistnogo oborudovaniya s uchetom oblasti racional'noj jekspluatatsii. [Ground of rational parameters of the mechanized mining equipment taking into account region of the rational exploitation]. Proceedings of the Donetsk Mining Institute, 40, 139–144 (in Russian)..

<https://doi.org/10.31474/1999-981x-2017-1-139-144>

Надійшла до редакції 20.02.2019

Рецензент д-р. техн. наук, проф. О.С. Хоменко.

**Грінюв Володимир Герасимович**, доктор технічних наук, професор, завідувач лабораторії проблем розробки родовищ корисних копалин, Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України (ІФГП НАНУ), Дніпро, Україна.

e-mail [grinevv@ukr.net](mailto:grinevv@ukr.net).

**Хорольський Андрій Олександрович**, кандидат технічних наук, науковий співробітник відділу управління станом гірничого масиву, Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України (ІФГП НАНУ), Дніпро, Україна.

e-mail [khoroalskiyaa@ukr.net](mailto:khoroalskiyaa@ukr.net).

**Мамайкін Олександр Рюрикович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри підземної розробки родовищ корисних копалин, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (НТУ «ДП»), Дніпро, Україна.

e-mail [mamaykin@yahoo.com](mailto:mamaykin@yahoo.com).

## ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЙ ПОДХОД ПРИ ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМ ГЕНЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ В УГЛЕПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНАХ

**Цель.** Разработать новый способ определения оптимальных параметров функционирования промышленных связей между угольными шахтами, обоганительными фабриками, электростанциями.

**Методы исследования.** Проанализировано современное состояние по обеспечению угольной продукцией смежных отраслей производства. Задача восстановления стабильности в углепромышленных регионах Донбасса может быть представлена в виде многоэтапной распределительной задачи. Сущность задачи такова: необходимо до конца планового периода в пространственно разобщенных пунктах определенного региона восстановить предприятия, которые рассматриваются как источники энергоносителей и как потребители электроэнергии, при этом известны возможные варианты восстановления потенциала шахт, а также известная максимально возможная их мощность. Для решения этой задачи применяется декомпозиционный метод с последующей графовой интерпретацией.

**Результаты.** В работе впервые предложен подход, основанный на замене положительной обратной связи (чем больше шахта добывает уголь, тем больше ему необходимо электроэнергии) двумя отрицательными

последовательными связями (чем больше шахта добывает уголь, тем меньше ее неиспользованная мощность и чем меньше неиспользованная мощность шахты, тем больше ему нужно электроэнергии).

**Научная новизна.** Установлено, что конечная эффективность промышленных взаимосвязей в углепромышленных регионах, характеризуется соотношением потоков входящих и исходящих ресурсов. Показано, что эффективность технологической схемы это интегральный показатель, который формируется группой технологических, эксплуатационных, экономических факторов в пределах области рационального проектирования и зависит от функциональных связей.

**Практическая значимость.** Отображение на графах фактических промышленных взаимосвязей и параметров разработки угольных месторождений позволяет решать задачу оптимизации процесса получения, транспортировки электроэнергии и выпуска конечной продукции, кроме этого, сетевое представление связей служит для оперативного управления состоянием отрасли, распределения ресурсов между потребителями. Применение соответствующего программного обеспечения позволяет ввести описанные подходы в производство.

**Ключевые слова:** оптимизация параметров, сетевая модель, программное обеспечение, ресурсы, рациональное природопользование.

**Гринев Владимир Герасимович**, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией проблем разработки месторождений полезных ископаемых, Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины (ИФГП НАНУ), Днепр, Украина.

e-mail [grinev@ukr.net](mailto:grinev@ukr.net).

**Хорольский Андрей Александрович**, кандидат технических наук, научный сотрудник отдела управления состоянием массива горных пород, Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины (ИФГП НАНУ), Днепр, Украина.

e-mail [khorolskiyaa@ukr.net](mailto:khorolskiyaa@ukr.net).

**Мамайкин Александр Рюрикович**, кандидат технических наук, доцент кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых, НТУ «Днепропетровская политехника» МОН Украины, Днепр, Украина.

e-mail [mamaykin@yahoo.com](mailto:mamaykin@yahoo.com).

#### DECOMPOSITIONAL APPROACH AT BUILDING GENERATING SYSTEMS ENERGY IN COAL-INDUSTRIAL REGIONS

**Purpose.** To develop a new method for determining the optimal parameters for the functioning of industrial relations between coal mines, concentration plants, and power plants.

**Methods.** Analyzed the current state of the provision of coal products related industries. The task of restoring stability in the coal-mining regions of Donbass can be presented as a multi-stage distribution task. The essence of the task is as follows: it is necessary before the end of the planning period to restore enterprises that are considered sources of energy and consumers of electricity at the spatially disconnected points of a certain region, with possible options for restoring the potential of mines, as well as their known maximum power. To solve this problem, a decomposition method is applied followed by graph interpretation.

**Findings.** The paper first proposed an approach based on replacing positive feedback (the more coal mines, the more electricity it needs) by two negative consecutive links (the more coal mines, the less its unused capacity and the less unused mine capacity, the more it needs electricity).

**Originality.** It has been established that the final efficiency of industrial interconnections in the coal-mining regions is characterized by the ratio of the flows of incoming and outgoing resources. It is shown that the efficiency of the technological scheme is an integral indicator, which is formed by a group of technological, operational, economic factors within the area of rational design and depends on functional relationships.

**Practical implication.** Mapping on graphs of actual industrial interconnections and development parameters of coal deposits allows solving the problem of optimizing the process of obtaining, transporting electricity and producing final products, in addition, the network view of the links serves for the operational management of the industry, distribution of resources among consumers. The use of appropriate software allows you to enter the described approaches in production.

**Keywords:** development and operation, parameter optimization, network model, software, subsurface resources management.

**Hrinov Volodymyr Herasymovych**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Head of laboratory, Institute for Physics of Mining Processes NAS of Ukraine (IPMP, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine.

e-mail [grinev@ukr.net](mailto:grinev@ukr.net).

**Khorolskyi Andrii Oleksandrovych**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Researcher, Institute for Physics of Mining Processes NAS of Ukraine (IPMP, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine.

e-mail [khorolskiyaa@ukr.net](mailto:khorolskiyaa@ukr.net).

**Mamaikin Oleksandr Riurykovych**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor of the Mining Department, Dnipro University of Technology (DUT), Dnipro, Ukraine.

e-mail [mamaykin@yahoo.com](mailto:mamaykin@yahoo.com).