

УПРАВЛІННЯ ВИКОРИСТАННЯМ ЗАПАСІВ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ В ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА ТОВАРНОГО КОНЦЕНТРАТУ

АФАНАСЬЄВ І. Є.

УДК 622.271.001.14

Афанасьев И. Е. Управление использованием запасов железорудной сировины в процессе производства товарного концентрата

Удосконалено методичний підхід до управління виробництвом залізорудного концентрату в контексті мінімізації собівартості збагачення наявних запасів ресурсів залізорудної сировини, що надходять на переробку підсистему гірничорудного підприємства «акумуляючий склад – збагачувальна фабрика». Розроблено структурно-логічний алгоритм оперативних дій операційного менеджменту гірничорудного підприємства в процесі виробництва концентрату, виходячи із завдань системи операційно-орієнтованого розподілу запасів залізорудної сировини з урахуванням ключових моментів стохастичної невизначеності параметрів виробничо-економічної діяльності підприємства. Практична реалізація запропонованого методичного підходу до селективного управління мінімізацією собівартості та приростом обсягів виробництва концентрату з урахуванням невизначеності параметрів процесів переробки запасів ресурсів залізорудної сировини сприяє забезпеченню зростання рівня рентабельності підприємства.

Ключові слова: управління, запаси, залізорудна сировина, концентрат, невизначеність, ризик

Рис.: 1. **Формул.:** 6. **Бібл.:** 8.

Афанасьев Игорь Евгеньевич – старший викладач, кафедра інформатики та інформаційних технологій, Криворізький національний університет (вул. XXII Партз'їзду, 11, Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., 50027, Україна)

УДК 622.271.001.14

UDC 622.271.001.14

Афанасьев И. Е. Управление использованием запасов железорудного сырья в процессе производства товарного концентрата

Усовершенствован методический подход к управлению производством железорудного концентрата в контексте минимизации себестоимости обогащения имеющихся запасов ресурсов железорудного сырья, поступающих на перерабатывающую подсистему горнорудного предприятия «аккумулярующий склад – обогатительная фабрика». Разработан структурно-логический алгоритм оперативных действий операционного менеджмента горнорудного предприятия в процессе производства концентрата, исходя из задач системы операционно-ориентированного распределения запасов железорудного сырья с учетом ключевых моментов стохастической неопределенности параметров производственно-экономической деятельности предприятия. Практическая реализация предложенного методического подхода к селективному управлению минимизацией себестоимости и приростом объемов производства концентрата с учетом неопределенности параметров процессов переработки запасов ресурсов железорудного сырья способствует обеспечению роста уровня рентабельности предприятия.

Ключевые слова: управление, запасы, железорудное сырье, концентрат, неопределенность, риск.

Рис.: 1. **Формул.:** 6. **Библ.:** 8.

Афанасьев Игорь Евгеньевич – старший преподаватель, кафедра информатики и информационных технологий, Криворожский национальный университет (ул. XXII Партсъезда, 11, Кривой Рог, Днепропетровская обл., 50027, Украина)

Afanasev I. Y. Managing the Use of Iron Ore in the Process of Production of Concentrate

The article improves a methodical approach to managing production of iron ore concentrate in the context of minimisation of the cost of dressing the existing resources of iron ore, which are delivered to the processing sub-system of the mining company «accumulating storehouse – dressing works». The article develops a structural and logical algorithm of operative actions of the operational management of a mining company in the process of production of the concentrate on the basis of tasks of the system of operational distribution of resources of iron ore with consideration of key moments of stochastic uncertainty of parameters of production and economic activity of the company. Practical realisation of the proposed methodical approach to selective management of minimisation of the cost and increase of volumes of production of the concentrate with consideration of uncertainty of parameters of the processes of processing resources of iron ore contributes to the growth of the level of company's profitability.

Key words: management, resources, iron ore, concentrate, uncertainty, risk.

Pic.: 1. **Formulae:** 6. **Bibl.:** 8.

Afanasev Igor Ye. – Senior Lecturer, Department of Computer Science and Information Technology, Kryvyi Rig National University (vul. XXII Partz'yizdu, 11, Kryvyi Rig, Dnipropetrovska obl., 50027, Ukraine)

Оцінка ефективності результатів виробничо-господарської діяльності ГРП повинна бути систематичною і здійснюватися регулярно на підґрунті статистичної звітності за певні періоди часу або ж по мірі необхідності в ній.

У цьому зв'язку особливого значення набуває забезпечення раціонального управління операційно-орієнтованим розподілом запасів ресурсів залізорудної сировини (ЗРС) на стикі переробної підсистеми ГРП «акумуляючий склад – збагачувальна фабрика» з урахуванням ризику, що дає можливість практично реалізувати методичні підходи до селективного управління мінімізацією собівартості та приростом обсягів ви-

робництва концентрату з урахуванням невизначеності параметрів процесів переробки запасів ресурсів ЗРС, спрямованого на забезпечення достатньо високого рівня рентабельності ГРП.

У процесі прогнозування розвитку гірничих робіт у кар'єрі за об'єкт планування приймається блок [7, с. 77], що обумовлюється технологічними особливостями підготовки й відпрацювання залізорудних родовищ. При цьому слід зазначити, що використання блоку як об'єкта планування обсягів виробництва концентрату наявних запасів ресурсів ЗРС має й певні недоліки. Зокрема, визначення вмісту заліза в масиві та видобутий руді в цілому по блоку або горизонту не дає змоги ві-

дображати місячну динаміку ключових техніко-економічних показників виробничо-господарської діяльності підприємства [5, с. 28 – 31], а середнє значення вмісту заліза по блоку не відповідає значенням вмісту заліза в його окремих частинах.

Також необхідно зауважити, що гірничо-геологічні умови, які характеризують блок, істотно відрізняються від умов відпрацьовування окремих його частин [3, с. 85; 6, с. 195 – 198].

Основною метою статті є вдосконалення управління виробництвом залізорудного концентрату в контексті мінімізації собівартості збагачення наявних запасів ресурсів ЗРС, що надходять на переробну підсистему ГРП «акумуляючий склад – збагачувальна фабрика».

Відповідно до мети головним завданням є розробка структурно-логічного алгоритму оперативних дій операційного менеджменту ГРП у процесі виробництва концентрату, виходячи із завдань системи операційно-орієнтованого розподілу (СООР) запасів ЗРС з урахуванням ключових моментів стохастичної невизначеності параметрів виробничо-економічної діяльності ГРП.

У попередженні та уникненні ризику невикористаних можливостей виробничих потужностей ГРП, на нашу думку, важливу роль відіграє достовірність результатів оптимізації процесів дооцінки експлуатаційних техніко-економічних параметрів запасів ресурсів ЗРС при їх операційно-орієнтованому розподілі на стику переробної підсистеми ГРП «акумуляючий склад – збагачувальна фабрика» [2, с. 153 – 155; 3, с. 85].

Для оцінки ефективності оперативних управлінських рішень у процесі операційно-орієнтованого розподілу запасів ЗРС відповідно до індивідуальних режимів дробильно-збагачувального обладнання (ДЗО) гірничорудного підприємства (ГРП) доцільно використовувати системний аналіз виробничо-економічних ситуацій, спрямований на одночасне вирішення таких основних завдань: класифікація виробничо-економічних ситуацій; інтерпретація поточної виробничо-економічної ситуації відповідно до сформованої класифікації; обґрунтування адекватності оперативних управлінських рішень щодо коригування відхилень від прогнозних техніко-економічних показників поточної ситуації [8, с. 8].

Крім статистики економічних результатів виробничо-господарської діяльності ГРП, у розрахунках використовуються числові характеристики рудопотоків, які визначаються в процесі ситуаційного управління наявними запасами ресурсів ЗРС.

Структурно-логічний алгоритм оперативних дій операційного менеджменту ГРП, виходячи із завдань системи операційно-орієнтованого розподілу (СООР) запасів ЗРС, наведено на рис. 1.

На підґрунті даних статистичної звітності виробничо-господарської діяльності ГРП визначаються спричинені факторами внутрішнього і зовнішнього середовища відхилення обсягів виробництва товарного концентрату замовленої якості від запланованих. Потім, за допомогою статистичного експерименту або оптимізаційної задачі, здійснюється прогноз економічних

результатів виробничо-господарської діяльності ГРП на майбутні періоди та розробляються оперативні управлінські рішення.

Якщо в процесі моделювання виявляється можливість коригування відхилень без додаткових оперативних дій операційного менеджменту ГРП, маємо ситуації:

- ✦ *ситуація 1* – техніко-економічні показники виробничо-господарської діяльності ГРП характеризуються як випадкові величини, розподілені за нормальним законом розподілу, та операційно-орієнтований розподіл запасів ресурсів ЗРС не відноситься до розряду проблемних задач;
- ✦ *ситуація 2* – операційно-орієнтований розподіл запасів ресурсів ЗРС відноситься до розряду проблемних задач незалежно від закону розподілу техніко-економічних показників виробничо-господарської діяльності ГРП.

Якщо в процесі моделювання виявляється можливість коригування відхилень за рахунок додаткових оперативних дій операційного менеджменту ГРП маємо таку ситуацію:

- ✦ *ситуація 3* – техніко-економічні показники виробничо-господарської діяльності ГРП характеризуються як випадкові величини, розподілені за довільним законом розподілу, та операційно-орієнтований розподіл запасів ресурсів ЗРС не відноситься до розряду проблемних задач.

Для ситуації 1 не виникають суттєві відхилення від прогнозних техніко-економічних показників поточної ситуації. Отже, її можна віднести до розряду безконфліктних, коли не потребується коригування оперативних управлінських рішень щодо операційно-орієнтованого розподілу запасів ресурсів ЗРС відповідно до індивідуальних режимів ДЗО.

Ситуація 2 належить до розряду проблемних, конфліктність якої підсилюється можливими прогнозними відхиленнями. Отже, для ситуації 2 оперативні управлінські рішення мають надто жорсткі обмеження для їх реалізації щодо коригування процесу операційно-орієнтованого розподілу запасів ресурсів ЗРС відповідно до індивідуальних режимів ДЗО на стику переробної підсистеми ГРП «акумуляючий склад – збагачувальна фабрика».

Для ситуації 3 виникають суттєві відхилення від прогнозних техніко-економічних показників поточної ситуації. Дану ситуацію можна характеризувати як конфліктну, але не проблемну. Для ситуації 3 розробляються рекомендаційні та оперативні управлінські рішення.

Безумовно, вирішення основних завдань системного аналізу виробничо-економічних ситуацій також здійснюється на підґрунті обробки статистичних даних про експлуатаційні техніко-економічні показники запасів ресурсів ЗРС, що надходять на склади-акумулятори ГРП та використанні в прогнозуванні довірчих інтервалів для цих показників.

Концептуально задачу про використання запасів ЗРС як ресурсу для виробництва залізорудного концентрату можна подати відповідною задачею лінійного програмування.

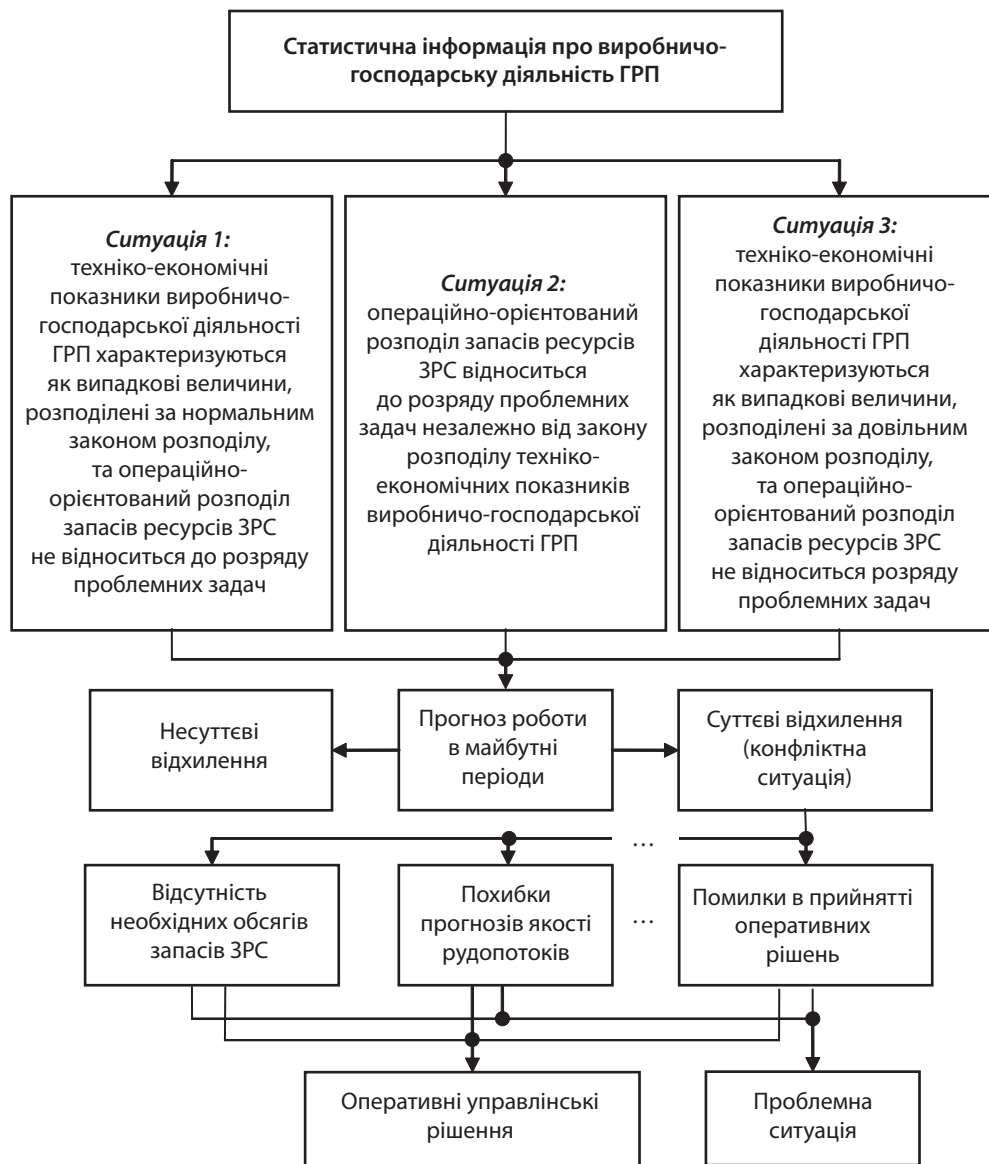


Рис. 1. Структурно-логічний алгоритм оперативних дій операційного менеджменту ГРП, виходячи із завдань СООР запасів ЗРС

Математичне формулювання задачі про використання запасів ЗРС має вигляд одноцільової задачі лінійного програмування. Цільовою функцією є функція (1), яка залежить від деяких сталих цін на виготовлену одиницю деякої продукції, що реалізується виробником на ринку у деякий момент часу:

$$F(Q, C) = c_1 q_1 + c_2 q_2 + \dots + c_j q_j + \dots + c_n q_n \rightarrow \max, \quad (1)$$

де $Q = (q_1, q_2, \dots, q_j, \dots, q_n)$ – план випуску товарного концентрату в задачі лінійного програмування операційно-орієнтованого розподілу запасів ресурсів ЗРС;

$C = (c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_n)$ – вектор цін реалізації одиниці j -х видів товарного концентрату.

Оскільки в задачі операційно-орієнтованого розподілу ресурсів обчислюється план роботи підприємства, то реалізація цього плану здійснюється протягом деякого часового періоду, у процесі якого оптові ціни реалізації товарного концентрату залежать та форму-

ються, як було зазначено вище, під впливом ключових факторів ринку.

У зв'язку з тим, що запаси ресурсів i -го виду ЗРС забезпечені підірваною гірничою масою, що як правило, не перевищують двох-, трьохтижневих обсягів видобутку з певним чином визначеної сукупності підготовлених до розробки екскаваторних блоків, виникає певна невизначеність щодо рівня гарантії забезпечення обсягами запасів ресурсів i -го виду ЗРС, необхідних для виконання обов'язкової програми виробництва концентрату, безумовно виникає ризик її невиконання.

Отже, обмеження задачі оптимізації щодо виробництва концентрату бажано записати у наступному загальному вигляді:

$$\psi(q, \omega) \leq w, \quad (2)$$

де ω – випадковий параметр.

Неможливість, а інколи і недоцільність вимог, щоб рішення поставленої задачі оптимізації задоволь-

няло обмеження (2) за будь-яких реалізацій випадкових параметрів ω , виникає ідея накладання дещо менш жорстких умов. Зокрема, беручи до уваги той факт, що приблизно в 30% змінних надходжень ЗРС на склад-акумулятор ГРП відхилення вмісту заліза в руді можуть перевищувати допустимі межі, додатково збільшує невизначеність при формуванні обсягів запасів ресурсів i -го виду ЗРС, призначених для їх переробки в циклі подрібнення й збагачення руди за індивідуальними режимами, наштовхує на розгляд нерівності (2), допустивши можливість її невиконання з певною ймовірністю:

$$P\{\psi(q, \omega) > w\} \leq \rho \quad (3)$$

або

$$P\{\psi(q, \omega) \leq w\} \geq 1 - \rho. \quad (4)$$

Ймовірнісна концепція гарантії реалізації плану досить добре відповідає ідеї внесення ризику щодо планування, де параметр ρ (частки одиниці) чисельно виражає величину ризику (природно, що у практичних розрахунках недопустимі великі значення ρ). Аналогічні модифікації доводиться здійснювати і стосовно функції цілі оптимального планування.

За вихідний об'єкт статистичного експерименту на підґрунті якого здійснюється прогнозування виходу концентрату з руд приймається сукупність окремих блоків кар'єру, де u – кількість блоків, $k = 1 + u$; δ – порядковий номер значення виходу концентрату (γ) замовленої якості ($\beta_j, j = 1 + n$) з руди якістю (α_δ), отриманого в результаті дослідження сукупності δ -х інтервалів свердловин блоків, $\delta = 1 + m_k$, з яких формуються певні комбінації рудопотоків $C_u^d = u! / (u-d)! d!$; d – кількість блоків, задіяних для формування певного рудопотоку.

Отже, для знаходження оптимального розв'язку необхідно розв'язати задачу лінійного програмування, що дасть можливість забезпечити мінімальні витрати на виробництво товарного концентрату за умови мінімально допустимих рівнів запасів ресурсів ЗРС з ризиком їх невиконання не більшим, ніж наперед задане значення ризику ρ .

Таким чином, задача про використання ресурсів за критерієм мінімізації витрат [1, с. 16-17] зводиться до такої задачі стохастичного програмування:

$$P(Q, S) = \sum_{j=1}^n s_j q_j \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$P\left\{ \sum_{j=1}^n \frac{1}{\gamma_{ij}} q_j \geq w_{i_{\min}} \right\} \geq 1 - \rho,$$

$$i = \overline{1, m}; \quad q_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n},$$

де $Q = (q_1, q_2, \dots, q_j, \dots, q_n)$ – план випуску товарного концентрату; $W = (w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_m)$ – запаси ресурсів i -го виду ЗРС; $S = (s_1, s_2, \dots, s_j, \dots, s_n)$ – вектор собівартості одиниці j -го виду товарного концентрату; $A = (1/\gamma_{ij})_{mm}$ – матриця витрат випуску товарного концентрату.

Припустимо, що мінімально допустимі сумарні потреби в рівнях запасів ресурсів ЗРС на складах-акумуляторах

ГРП є випадковими величинами $w_{i_{\min}}$, які розподілені в інтервалах $[w_i^{(H)}, w_i^{(E)}]$ та мають рівномірний розподіл, можна перейти до детермінованих обмежень:

$$\sum_{j=1}^n \frac{1}{\gamma_{ij}} q_j \geq w_{i_{\min}} = w_i^*, \quad i = \overline{1, m}; \quad q_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (6)$$

де $w_i^{(H)}, w_i^{(E)}$ – відповідно значення нижньої та верхньої межі; $w_{i_{\min}}$ – значення випадкової величини w_i^* , що задовольняє умові $P\{w_i^* \leq w_{i_{\min}}\} \geq 1 - \rho$.

Рішенням цієї детермінованої задачі лінійного програмування є оптимальні значення обсягів виробництва товарного концентрату: q_1, q_2, \dots, q_n .

ВИСНОВКИ

При прогнозуванні економічних результатів розробки залізорудних родовищ на підґрунті коригування операційно-орієнтованого розподілу запасів різнотипних ресурсів ЗРС, які надходять на виробничу підсистему ГРП «акумуляючий склад – збагачувальна фабрика» необхідно використовувати одномірні динамічні ряди, де основним джерелом вихідних даних при визначенні об'ємно-якісних техніко-економічних показників запасів ЗРС є інформаційна база геологорозвідувальних робіт, вибухових та розвідувально-експлуатаційних свердловин.

Однією з найскладніших проблем раціонального оперативного управління випуском концентрату шляхом формування розділених рудопотоків ГРП на підґрунті уточнення техніко-економічних показників запасів ЗРС є передбачення та реалізація майбутнього гнучкого розвитку підприємства шляхом впровадження ефективних управлінських рішень в умовах невизначеності параметрів морфологічної будови родовища.

Засобом мінімізації невизначеності повинен служити інструментарій оцінки адекватності прогнозування, а результати прогнозування у такому разі є науково обґрунтованими висновками про майбутні події, про перспективи розвитку виробничих процесів, про можливі наслідки оперативних управлінських рішень.

Практична реалізація запропонованого методичного підходу до селективного управління мінімізацією собівартості та приростом обсягів виробництва концентрату з урахуванням невизначеності параметрів процесів переробки запасів ресурсів залізорудної сировини сприяє забезпеченню зростання рівня рентабельності підприємства. ■

ЛІТЕРАТУРА

1. Афанасьєв І. Є. Підвищення ефективності гірничорудних підприємств шляхом удосконалення прогнозування резерву витрат / І. Є. Афанасьєв // Збірник наукових праць III Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та моделювання в економіці». – Черкаси, 23 – 25 квітня 2012. – С. 16 – 17.

2. Афанасьєв І. Є. Підвищення ефективності гірничорудних підприємств шляхом удосконалення прогнозування якісних показників залізної руди / І. Є. Афанасьєв // Вісник

Дніпропетровського університету. Серія «Економіка». – Дніпропетровськ, 2012. – Т. 20, Вип. 6/2. – № 10/1. – С. 152 – 158.

3. Економічна геологія родовищ залізистих кварцитів / [Рудько Г. І., Плотников О. В., Курило М. М., Радованов С. В.]. – К. : Вид-во «Академпрес», 2010. – 272 с.

4. **Іванов Н. І.** Планирование производства горно-рудных объединений и предприятий / Н. И. Иванов, О. П. Суслон, А. В. Ефремов. – М. : Недра, 1976. – 311 с.

5. Оптимальное планирование производства на рудниках / Н. И. Иванов, О. П. Суслон, А. В. Ефремов и др. – М. : Техніка, 1973. – 132 с.

6. **Плотников О. В.** Економічні оцінки залізородних родовищ у фінансових та інвестиційних проектах : монографія / О. В. Плотников. – Кривий Ріг : Мінерал, 2006. – 274 с.

7. Ситуационное регламентирование геотехнологий с разделенными рудо потоками : монографія / [С. Жуков, Н. Горлов, Ш. Фарси, Н. Буауджа]. – Кривой Рог : Минерал, 2004. – 210 с.

8. **Єріна А. М.** Статистичне моделювання та прогнозування: навчальний посібник / А. М. Єріна. – К. : КНЕУ, 2001. – 170 с.

REFERENCES

Afanasiev, I. Ie. "Pidvyshchennia efektyvnosti hirnychorudnykh pidpriemstv shliakhom udoskonalennia prohnouzuvannia rezervu vytrat" [Improving the efficiency of mining enterprises

by improving forecasting reserve costs]. *Informatsiini tekhnolohii ta modeliuвання v ekonomitsi*. Cherkasy: , 2012. 16-17.

Afanasiev, I. Ie. "Pidvyshchennia efektyvnosti hirnychorudnykh pidpriemstv shliakhom udoskonalennia prohnouzuvannia iakisnykh pokaznykiv zaliznoi rudy" [Improving the efficiency of mining enterprises by improving the prediction quality indicators of iron ore]. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu*, vol. 20, no. 10/1: 152-158.

Ivanov, N. I., Suslov, O. P., and Efremov, A. V. *Planirovanie proizvodstva gornorudnykh obedineniy i predpriiaty* [Production Planning mining associations and enterprises]. Moscow: Nedra, 1976.

Ivanov, N. I., Suslov, O. P., and Efremov, A. V. *Optimalnoe planirovanie proizvodstva na rudnikakh* [Optimal planning of production at the mines]. Moscow: Tekhnika, 1973.

Plotnykov, O. V. *Ekonomichni otsinky zalizorudnykh rodovyshch u finansovykh ta investytsiynykh proektakh* [Economic evaluation of iron ore deposits in financial and investment projects]. Kryvyi Rih: Mineral, 2006.

Rudko, H. I., Plotnikov, O. V., and Kurylo, M. M. *Ekonomichna heolohiia rodovyshch zalizistykh kvartzytiv* [Economic Geology ferruginous quartzite deposits.]. Kyiv: Akadempres, 2010.

Yerina, A. M. *Statystychnie modeliuвання ta prohnouzuvannia* [Statistical modeling and forecasting.]. Kyiv: KNEU, 2001.

Zhukov, S., Gorlov, N., and Farsi, Sh. *Situatsionnoe reglamentirovanie geotekhnologiy s razdelennymi rudo potokami* [Situational regulation Geotechnology with separated ore flows]. Krivoy Rog: Mineral, 2004.