

РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

И. В. Соколов, Ю. Г. Антипин, И. В. Никитин

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия

Аннотация: В рамках нового методологического подхода в исследовании переходных процессов при поэтапном технологическом развитии горнотехнической системы горного предприятия реализованы первые шаги по формированию методологии оценки эффективности переходных процессов при последовательной схеме комбинированной разработки глубокозалегающих рудных месторождений. Описан метод комплексного качественно-количественного анализа условий и факторов, вызывающих начало и действующих при реализации переходных процессов, включающий сбор, обобщение и интерпретацию данных на основе экспертной оценки и расчетно-аналитической работы. Предложен метод системного структурно-функционального анализа состояния горнотехнической системы горного предприятия в переходный период, основанный на изучении свойств ее подсистем и элементов, а также учете их взаимосвязи и взаимообусловленности, позволяющий прогнозировать основные параметры и технико-экономические показатели, определяющие эффективность переходных процессов. Разработана методика определения технико-экономических показателей и комплексных критериев оценки эффективности переходных процессов при комбинированной разработке рудных месторождений, учитывающая экономическую и социально-экологическую направленность развития горного производства. Методология оценки эффективности переходных процессов представляет собой совокупность предложенных методов анализа и методик оценки.

Ключевые слова: глубокозалегающее месторождение, комбинированная разработка, горнотехническая система, переходный процесс, переходная зона, методология, подземная геотехнология, вскрытие, очистная выемка.

Благодарность: Исследования выполнены в рамках государственного задания №075-00581-19-00 по теме №0405-2019-0005.

Для цитирования: Соколов И. В., Антипин Ю. Г., Никитин И. В. Развитие методологии оценки эффективности переходных процессов при комбинированной разработке рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5–1. – С. 77–87. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_77.

Efficiency estimation procedure of transition processes in hybrid open pit/ underground mining of metal ore deposits

I. V. Sokolov¹, Yu. G. Antipin¹, I. V. Nikitin¹

¹ Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract: Within the framework of a new methodological approach, consisting in the study of transition processes with the phased technological development of a geotechnical system of a mine, the first steps have been taken to form a methodology for the evaluation of effectiveness of transition processes in the sequential flowchart of hybrid open pit/underground mining of deep-seated ore deposits. The method of integrated qualitative and quantitative analysis of the conditions and factors of initiation and evolution of transition processes is described, including collection, generalization and interpretation of data based on the expert estimate and theoretical analysis. The method is proposed for the structural and functional system analysis of a geotechnical system of a mine during the transition period, based on the study into properties of its subsystems and elements, with regard to their correlation and interdependence. This method allows predicting the main parameters and technical and economic performance that determine effectiveness of transition processes. The procedure is developed for determining the main technical and economic indices and integrated criteria of effectiveness of transition processes in hybrid open pit/underground mining, including economic, social and ecological orientation of the mine production development. The methodology of efficiency evaluation of transition process is a set of the proposed analytical methods and estimation procedures.

Key words: deep-seated deposit, hybrid open pit/underground mining, geotechnical system, transition process, transition zone, methodology, underground geotechnology, accessing, stoping.

Acknowledgements: The study was carried out under State Contract No. 075-00581-19-00, Topic No. 0405-2019-0005.

For citation: Sokolov I. V., Antipin Yu. G., Nikitin I. V. Efficiency estimation procedure of transition processes in hybrid open pit/underground mining of metal ore deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–1):77–87. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_77.

Введение

Современная методология комплексного освоения георесурсов недр включает новое научное направление, возглавляемое член-корр. РАН В. Л. Яковлевым, состоящее в исследовании переходных процессов при поэтапном технологическом развитии горнотехнической системы (ГТС) горного предприятия [1]. Вместе с тем не до конца изучены остаются методы учета, анализа и оценки переходных процессов при комбинированной разработке глубокозалегающих

рудных месторождений, в частности, при освоении переходных зон (ПЗ) от открытых горных работ (ОГР) к подземным (ПГР). Особенностью освоения ПЗ подземным способом является необходимость всестороннего учета и управления специфическими факторами и условиями, сформированными на этапе отработки месторождения открытым способом, с целью обеспечения оптимальных условий для дальнейшего развития ПГР [2, 3].

Таким образом, формирование методологии оценки эффективности пере-

ходных процессов при освоении ПЗ от ОГР к ПГР на основе принципов комплексности и системности исследований является актуальной научной задачей.

Методология исследования

Методология оценки эффективности переходных процессов при комбинированной разработке рудных месторождений представляет собой совокупность методов анализа и методик оценки, предусматривающих:

- комплексный учет горно-геологических, горнотехнических, эколого-экономических факторов и условий, действующих в переходный период. Сущность учета заключается в установлении (фиксации) начального и конечного состояний и соответствующих им параметров, систематическом сборе и накоплении сведений о реализации переходных процессов, отражение этих сведений в учетных ведомостях [4];

- системное планирование качественных и количественных показателей горного предприятия в переходный период. Задача системного планирования состоит в преобразовании системы и ее внешней среды в направлении обеспечения таких показателей, которые при эффективном использовании ограниченных ресурсов приведут к достижению поставленных целей [5, 6].

Метод комплексного анализа условий и факторов, действующих при реализации переходных процессов

Стабильное состояние ГТС горного предприятия в переходный период предполагает динамическое равновесие этой системы, характеризующееся противодействием разнонаправленных и уравновешенных внешних и вну-

тренних воздействий [7]. Учет и управление влияющими факторами — один из основных путей достижения стабильного состояния ГТС.

Известны два основных метода сбора, обобщения и интерпретации данных: методы качественного и количественного анализа. Данные методы можно использовать как независимо друг от друга, так и совместно, поскольку они имеют одинаковые цели.

Предложен метод комплексного качественно-количественного анализа условий и факторов, вызывающих начало и действующих при реализации переходных процессов, включающий сбор, обобщение и интерпретацию данных на основе экспертного мнения и расчетно-аналитической работы. На первом этапе производится группирование факторов, сопровождающих переходные процессы, по сферам влияния (природные, технологические, экономические, экологические, социальные и т. д.) и типу среды (внешние и внутренние) и определение качественных границ допустимого их изменения, обуславливающих тип адаптации ГТС горного предприятия [8]. Центральной частью качественного анализа является постановка и решение следующих вопросов: число факторов, на которые предприятие обязано реагировать, степень их изменчивости, уровень влияния одного фактора на все остальные, какими факторами можно и необходимо управлять для достижения стабильного состояния ГТС горного предприятия и др. Основные группы факторов и границы допустимого их изменения в режиме микроадаптации, то есть за счет оперативного резерва предприятия, представлены в табл. 1. Факторы, выходящие по величине или интенсивности их изменения за установленные границы, обуславливают

Таблица 1

Факторы и качественные границы их изменения в режиме микроадаптации
Factors and quality borders of their change in the microadaptation mode

Факторы		Границы изменения
Внешние	Внешние экономические (рыночные)	В пределах резервных возможностей предприятия по выпуску товарной продукции
	Природные (горно-геологические)	В интервале колебаний, характерных для участка месторождения, не ниже кондиционных
	Экологические	В рамках нормативных требований экологической безопасности, характерных для месторождения
Внутренние	Технологические	В пределах технических и организационных возможностей технологии горных работ и характеристик применяемого оборудования
	Социальные	В рамках минимально необходимого кадрового состава и нормативных требований промышленной безопасности

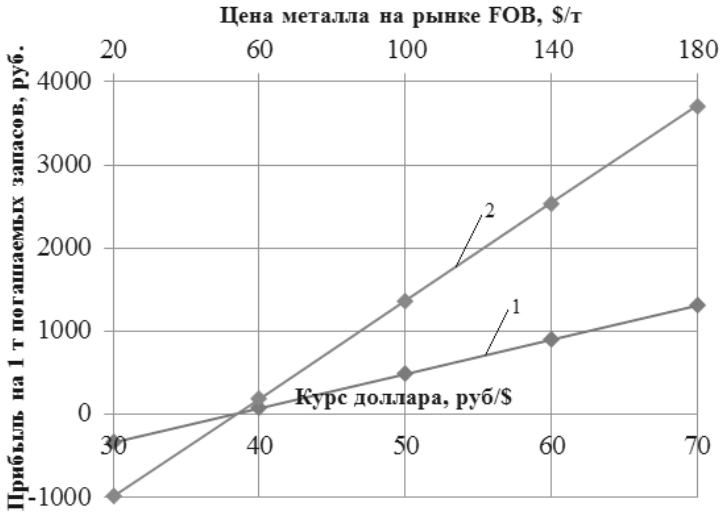


Рис. 1. Зависимость удельной прибыли от курса доллара (1) и цены металла на рынке FOB (2)
 Fig. 1. Dependence of the unit profit on the dollar exchange rate (1) and the price of metal on the FOB market (2)

режим макроадаптации — переход на качественно новый уровень производства.

На втором этапе выполняется количественная оценка факторов, определяющих макроадаптацию предприятия, путем установления и анализа зависимостей. На рис. 1 показана зависимость удельной прибыли пред-

приятия от наиболее значимых рыночных факторов — курса доллара и цены металла на рынке FOB (железного концентрата с содержанием железа 62 %). Видно, что освоение подкарьерных запасов подземным способом является убыточным при цене металла ниже 54–60 \$/т и курсе доллара ниже 36–40 руб./\$ при себестоимо-

сти добычи и обогащения руды 1530 руб./т. В таких условиях необходима реализация следующих макроадаптационных мероприятий: увеличение производственной мощности подземного рудника, техническое перевооружение процессов добычи, транспортирования и обогащения руды.

Метод системного анализа и методика расчета показателей горного предприятия в переходный период

В рамках системного подхода ГТС горного предприятия при переходе от ОГР к ПГР целесообразно представить в виде двух подсистем: вскрытие и извлечение (очистная выемка) запасов ПЗ, объединенных единой целью — восполнение выбывающих мощностей предприятия в результате исчерпания потенциала открытой геотехнологии и обеспечение дальнейшего его устойчивого развития с максимальным экономическим эффектом [9—11].

Подсистема вскрытия ПЗ — это совокупность подземных вскрывающих выработок в сочетании с технологией их проведения и крепления, обеспечивающих технически рациональный и экономически целесо-

образный доступ к части запасов ПГР и реализацию основной (подъем и транспортирование руды на поверхность) и вспомогательных (вентиляция, водоснабжение, водоотлив, доставка людей, материалов, оборудования и др.) функций в условиях близости карьера.

Подсистема извлечения (очистная выемка) ПЗ — это совокупность подземных подготовительно-нарезных и очистных выработок в сочетании с основными и вспомогательными технологическими процессами проходческих и очистных работ, обеспечивающих технически рациональное и экономически целесообразное извлечение части запасов ПГР в условиях близости карьера.

В свою очередь данные подсистемы состоят из взаимосвязанных конструктивных и технологических элементов с определенными свойствами, определяющими возможные состояния подсистем. Свойства ГТС могут быть объяснены способом функционирования на основе учета свойств подсистем и элементов, а также характера их взаимосвязи и взаимообусловленности. В этом заключена методологическая суть системного подхода.

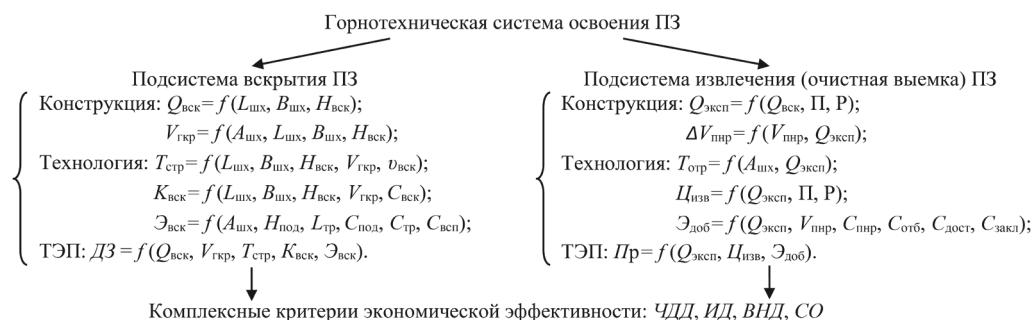


Рис. 2. Система основных параметров и технико-экономических показателей, определяющих эффективность переходных процессов при комбинированной разработке рудных месторождений

Fig. 2. The system of basic parameters and technical and economic indicators that determine the effectiveness of transition processes in the combined mining of ore deposits

Таблица 2
Структура и функциональный состав ГТС освоения ПЗ глубокозалегающих рудных месторождений
Structure and functional composition of the mining technical system for the mining of the deep-seated ore deposits

Горнотехническая система освоения ПЗ					
Подсистема вскрытие ПЗ			Подсистема извлечение (очистка вьюмка) ПЗ		
Конструктивные элементы	Технологические элементы		Конструктивные элементы	Технологические элементы	
	Проведение и крепление вскрывающих выработок	Подъем и транспорт руды		Подготовительно-нарезные работы	Буровзрывные работы
<p>Длина ($L_{вск}$), ширина ($B_{вск}$) шахтного поля. Шаг вскрытия ($H_{вск}$). Количество стволов (автосъездов) ($n_{ств}$) и рудоступов ($n_{рст}$) и угол их наклона ($\beta_{ств}$). Глубина (длина) ствол (автосъездов) ($H_{ств}$), квершлагов (штреков) ($L_{ств}$), рудоступов ($H_{рст}$). Площадь переносного сечения стволов (автосъездов) ($S_{ств}$).</p>	<p>Скорость ведения и крепления 1 пог. м ствол (автосъездов) ($V_{ств}$), квершлагов (штреков) ($V_{ств}$) и рудоступов ($V_{рст}$). Толщина бетонной крепи ($H_{бет}$). Производительность проходческих комплексов ($V_{пр}$). Стоимость ведения и крепления 1 м² ствол (автосъездов) ($C_{ств}$), квершлагов (штреков) ($C_{ств}$), рудоступов ($C_{рст}$) и камер ($C_{кам}$).</p>	<p>Высота подъема ($H_{под}$). Длина транспортирования ($L_{пр}$). Производительность подъемных машин ($P_{маш}$) и транспортных средств ($P_{тр}$). Среднегодовое понижение очистной выемки (V) по всей рудной площади (S_r). Объемный вес руды в массиве (γ_r). Стоимость подъема ($C_{под}$) и транспортирования ($C_{тр}$) 1 т добытой руды на поверхность.</p>	<p>Производительность горно-механического и вспомогательного оборудования ($P_{всп}$). Объем ($Q_{всп}$) и стоимость ($C_{всп}$) материалов, энергетических и трудовых ресурсов, потребляемых на вспомогательных процессах.</p>	<p>Длина ($L_{вск}$), ширина ($B_{вск}$) добычного блока (панели, камеры). Количество блоков ($N_{бл}$). Длина ($L_{нпр}$), площадь поперенного сечения ($S_{нпр}$) и суммарный объем ($V_{нпр}$) подготовительных выработок (наклонных съездов, вентиляционных, буровых и доставочных штреков (ортов), погрузочных заедлов, вентиляционных-восстающих и рудоспусков).</p>	<p>Производительность шахтного поля ($Q_{вск}$)</p>
Параметры вскрытия					
<p>Длина ($L_{вск}$), ширина ($B_{вск}$) шахтного поля. Шаг вскрытия ($H_{вск}$). Количество ствол (автосъездов) ($n_{ств}$) и рудоступов ($n_{рст}$) и угол их наклона ($\beta_{ств}$). Глубина (длина) ствол (автосъездов) ($H_{ств}$), квершлагов (штреков) ($L_{ств}$), рудоступов ($H_{рст}$). Площадь переносного сечения ствол (автосъездов) ($S_{ств}$).</p>	<p>Высота подъема ($H_{под}$). Длина транспортирования ($L_{пр}$). Производительность подъемных машин ($P_{маш}$) и транспортных средств ($P_{тр}$). Среднегодовое понижение очистной выемки (V) по всей рудной площади (S_r). Объемный вес руды в массиве (γ_r). Стоимость подъема ($C_{под}$) и транспортирования ($C_{тр}$) 1 т добытой руды на поверхность.</p>	<p>Производительность горно-механического и вспомогательного оборудования ($P_{всп}$). Объем ($Q_{всп}$) и стоимость ($C_{всп}$) материалов, энергетических и трудовых ресурсов, потребляемых на вспомогательных процессах.</p>	<p>Длина ($L_{вск}$), ширина ($B_{вск}$) добычного блока (панели, камеры). Количество блоков ($N_{бл}$). Длина ($L_{нпр}$), площадь поперенного сечения ($S_{нпр}$) и суммарный объем ($V_{нпр}$) подготовительных выработок (наклонных съездов, вентиляционных, буровых и доставочных штреков (ортов), погрузочных заедлов, вентиляционных-восстающих и рудоспусков).</p>	<p>Длина доставки ($L_{дест}$). Площадь поперенного сечения выпускной выработки ($S_{вып}$). Средний размер куска руды ($d_{рст}$). Производительность погрузочно-доставочных машин ($P_{достав}$). Стоимость процесса выпуска ($C_{вып}$) 1 м² ствол (автосъездов) ($C_{ств}$), квершлагов (штреков) ($C_{ств}$), рудоступов ($C_{рст}$) и камер ($C_{кам}$).</p>	<p>Полнота и качество извлечения руды</p>
Параметры системы разработки					
<p>Длина ($L_{вск}$), ширина ($B_{вск}$) шахтного поля. Шаг вскрытия ($H_{вск}$). Количество ствол (автосъездов) ($n_{ств}$) и рудоступов ($n_{рст}$) и угол их наклона ($\beta_{ств}$). Глубина (длина) ствол (автосъездов) ($H_{ств}$), квершлагов (штреков) ($L_{ств}$), рудоступов ($H_{рст}$). Площадь переносного сечения ствол (автосъездов) ($S_{ств}$).</p>	<p>Высота подъема ($H_{под}$). Длина транспортирования ($L_{пр}$). Производительность подъемных машин ($P_{маш}$) и транспортных средств ($P_{тр}$). Среднегодовое понижение очистной выемки (V) по всей рудной площади (S_r). Объемный вес руды в массиве (γ_r). Стоимость подъема ($C_{под}$) и транспортирования ($C_{тр}$) 1 т добытой руды на поверхность.</p>	<p>Производительность горно-механического и вспомогательного оборудования ($P_{всп}$). Объем ($Q_{всп}$) и стоимость ($C_{всп}$) материалов, энергетических и трудовых ресурсов, потребляемых на вспомогательных процессах.</p>	<p>Длина доставки ($L_{дест}$). Площадь поперенного сечения выпускной выработки ($S_{вып}$). Средний размер куска руды ($d_{рст}$). Производительность погрузочно-доставочных машин ($P_{достав}$). Стоимость процесса выпуска ($C_{вып}$) 1 м² ствол (автосъездов) ($C_{ств}$), квершлагов (штреков) ($C_{ств}$), рудоступов ($C_{рст}$) и камер ($C_{кам}$).</p>	<p>Полнота и качество извлечения руды</p>	
Вспомогательные технико-экономические показатели вскрытия					
<p>Срок ввода рудника в эксплуатацию ($T_{стр}$)</p>	<p>Годовая производственная мощность рудника (Ашт)</p>	<p>Эксплуатационные запасы шахтного поля ($Q_{вскп}$)</p>	<p>Вспомогательные технико-экономические показатели системы разработки</p>		
<p>Объем вскрываемых запасов шахтного поля ($Q_{вск}$)</p>	<p>Срок ввода рудника в эксплуатацию ($T_{стр}$)</p>	<p>Эксплуатационные запасы шахтного поля ($Q_{вскп}$)</p>	<p>Производительность труда по системе разработки ($\Gamma_{ср}$)</p>		
			<p>Срок обработки запасов шахтного поля ($T_{ср}$)</p>		

Окончание табл. 2

Горнотехническая система освоения ПЗ				Подсистема извлечение (считная вилетка) ПЗ					
Подсистема вскрытие ПЗ		Технологические элементы		Технологические элементы		Технологические элементы			
Конструктивные элементы	Проведение и крепление вскрышающих выработок	Подъем и транспорт руды	Вспомогательные процессы	Конструктивные элементы	Подготовительно-нарезные работы	Буроварывные работы	Выпуск и доставка руды	Погашение (закладка) выработанного пространства	Полнота и качество извлечения руды
$Q_{\text{вск}} = L_{\text{шк}} \cdot B_{\text{шк}} \cdot H_{\text{вск}} \cdot \gamma_{\text{р}}$	$T_{\text{ств}} = H_{\text{ств}} / v_{\text{ств}} + L_{\text{об}} / v_{\text{об}} + H_{\text{рс}} / v_{\text{рс}} + V_{\text{взм}} / v_{\text{взм}}$	$A_{\text{вск}} = K_1 K_2 K_3 K_4 S_1 \gamma_{\text{р}} (1 - \Pi) / (1 - P)$		$Q_{\text{экс}} = Q_{\text{вск}} (1 - \Pi) / (1 - P)$	$\Pi_{\text{сп}} = [Q_{\text{отб}} \gamma_{\text{р}} (1 - \Pi) / (1 - P)] / (t_{\text{пнр}} \cdot n_{\text{зв}} + t_{\text{дост}} \cdot n_{\text{зв}} + t_{\text{зак}} \cdot n_{\text{зв}})$				$T_{\text{отр}} = Q_{\text{экс}} / A_{\text{шк}}$
Объем горно-капитальных работ (Vгр)	Капитальные затраты на вскрытие (Квск)	Эксплуатационные затраты на вскрытие (Эвск)		Удельный объем ПНР на 1000 т добытой руды ($\Delta V_{\text{пнр}}$)	Эксплуатационные затраты на добычу и обогащение 1 т добытой руды (Эдоб)				Извлекаемая ценность 1 т добытой руды (Цзав)
$V_{\text{гр}} = n_{\text{ств}} \cdot H_{\text{ств}} \cdot S_{\text{ств}} \beta_{\text{ств}} + L_{\text{взм}} S_{\text{взм}} + H_{\text{рс}} S_{\text{рс}} + V_{\text{взм}}$	$K_{\text{вск}} = V C_{\text{ств}} + V C_{\text{кв}} + V C_{\text{рс}} + V_{\text{взм}} C_{\text{взм}}$	$\mathcal{E}_{\text{вск}} = (H_{\text{под}} C_{\text{под}} + L_{\text{тр}} C_{\text{тр}}) \cdot Q_{\text{вск}} (1 - \Pi) / ((1 - P) + Q_{\text{вск}} C_{\text{вск}})$		$\Delta V_{\text{пнр}} = 1000 V_{\text{пнр}} \cdot N_{\text{от}} / Q_{\text{экс}}$	$\mathcal{E}_{\text{доб}} = [\mathcal{E}_{\text{пнр}} + \mathcal{E}_{\text{отб}} + \mathcal{E}_{\text{дост}} + \mathcal{E}_{\text{тр}} + \mathcal{E}_{\text{зак}}] + \mathcal{E}_{\text{об}}$				$\Pi_{\text{зав}} = Z_{\text{конц}} \cdot \gamma_{\text{конц}}$
Основные оценочные технико-экономические показатели вскрытия				Основные оценочные технико-экономические показатели системы разработки					
Дисконтированные суммарные капитальные и эксплуатационные затраты на вскрытие (ДЗ)				Прибыль на 1 т добытой руды (Пр)					
$ДЗ = \sum_{t=1}^T (K_{\text{вск}} + \mathcal{E}_{\text{вск}}) \frac{1}{(1 + E)^t} \rightarrow \min$				$Пр = \Pi_{\text{зав}} - \mathcal{E}_{\text{доб}} \rightarrow \max$					
Комплексный критерий экономической эффективности									
Чистый дисконтированный доход, срок окупаемости капитальных вложений, индекс доходности, внутренняя норма доходности									
ЧДД, СО, ИД, ВНД									

Поскольку состояние ГТС в целом характеризуется определенным набором параметров и технико-экономических показателей, то изменение ГТС в переходный период можно оценить через соответствующее изменение параметров и показателей ее подсистем и их элементов, подверженных влиянию постоянных и специфических факторов [12].

Разработана структурно-функциональная схема (инвариантная модель), показывающая совокупность взаимосвязанных подсистем и элементов ГТС и устойчивых параллельно-последовательных связей между ними, обеспечивающих целостность системы и сохранность основных ее свойств при различных внешних и внутренних изменениях, и позволяющая получить необходимые представления о состоянии ГТС как объекта системного анализа (табл. 2). Для каждой подсистемы определены конструктивные и технологические параметры, предложена методика расчета вспомогательных и основных технико-экономических показателей и выбраны комплексные критерии экономической эффективности всей ГТС горного предприятия.

Общепринятыми критериями экономической эффективности являются: чистый дисконтированный доход (ЧДД), срок окупаемости инвестиций (СО), индекс доходности (ИД), внутренняя норма доходности (ВНД) [13, 14]. Принимая во внимание современную тенденцию экологизации горного производства в качестве главного оценочного показателя, целесообразно принять мультикритерий максимума ЧДД с учетом социально-экологических последствий [3, 15].

В результате изучения и преобразования структурно-функциональной схемы сформирована система параме-

тров и технико-экономических показателей, отражающих существенные свойства (характеристики) и связи (функции) основных элементов и определяющих эффективность ГТС освоения ПЗ глубокозалегающих рудных месторождений (рис. 2).

Заключение


В рамках методологического подхода в исследовании переходных процессов при поэтапном технологическом развитии ГТС горного предприятия предложена методология оценки эффективности переходных процессов при последовательной схеме комбинированной разработки глубокозалегающих рудных месторождений, включающая:

- метод комплексного качественно-количественного анализа условий и факторов, вызывающих начало и действующих при реализации переходных процессов, заключающийся в сборе, обобщении и интерпретации данных на основе экспертной оценки с применением расчетно-аналитических инструментов;

- метод системного структурно-функционального анализа состояния ГТС горного предприятия в переходный период, основанный на учете и изучении свойств ее подсистем и элементов и характера их взаимосвязи и взаимообусловленности, позволяющий прогнозировать основные параметры и технико-экономические показатели, определяющие эффективность переходных процессов;

- методику определения основных технико-экономических показателей и комплексных критериев оценки эффективности переходных процессов, учитывающих экономическую и социально-экологическую направленность развития горного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов — новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов. — Екатеринбург: УрО РАН, 2019. — 284 с.
2. Яковлев В. Л., Корнилков С. В., Соколов И. В. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / Под ред. член-корр. РАН В. Л. Яковлева. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2018. — 360 с.
3. Соколов И. В., Никитин И. В., Соломешн Ю. М. Моделирование и эколого-экономическая оценка геотехнологической стратегии освоения переходных зон рудных месторождений // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2020. — № 2. — С. 153–167. DOI: 10.25635/b7446–4481–7083-f.
4. Кириллов И. Н. Теоретические аспекты развития системы учетно-аналитического обеспечения управленческих решений на предприятии // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. 5: Экономика. — 2012. — № 2. — С. 170–176.
5. Зотова А. И. Системный подход к планированию деятельности предприятия // Бизнес в законе. Экономико-юридический журнал. — 2014. — № 2. — С. 28–32.
6. Navarra A., Grammatikopoulos T., Waters K. Incorporation of geometallurgical modelling into long-term production planning // Minerals Engineering. 2018, vol. 120, pp. 118–126.
7. Дорофеева В. В. Адаптация предприятий в конкурентной среде. Иркутск: БГУЭП, 2011. — 107 с.
8. Смирнов А. А., Никитин И. В. Обоснование типов и методов адаптации горно-технологической системы горного предприятия к изменяющимся условиям подземной разработки // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2019. — № 6. — С. 14–20.
9. Каплунов Д. Р., Юков В. А. О принципах перехода горнодобывающего предприятия к устойчивому экологически сбалансированному развитию // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2020. — № 3. — С. 74–86.
10. Francis X. D., Stephen D. K., Robert E. H. Sustainable development in Ghana gold mines: clarifying the stakeholders perspective // Journal of Sustainable Mining. 2019, vol. 18, no. 2, pp. 77–84.
11. King B., Goycoolea M., Newman A. Optimizing the open pit-to-underground mining transition // European Journal of Operational Research. 2017, vol. 257, no. 1, pp. 297–309.
12. Соколов И. В., Антипин Ю. Г., Смирнов А. А., Никитин И. В. Обоснование подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений с учетом особенностей переходных процессов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2020. — № 3–1. — С. 326–337.
13. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция). — М.: Экономика, 2000. — 424 с.
14. Методы и модели системного анализа. Оценка эффективности и инвестиционных проектов. Системная диагностика социально-экономических процессов // Труды Института системного анализа Российской академии наук. Том 61. Выпуск 3; ЛКИ. — М., 2011. — 122 с.
15. Sitorous F., Cilliers J. J., Brito-Parada P. R. Multi-criteria decision making for the choice problem in mining and mineral processing: Applications and trends // Expert Systems with Applications. 2019, vol. 121, pp. 393–417. 

REFERENCES

1. Yakovlev V. L. *Issledovanie perehodnyh processov novoe napravlenie v razvitií metodologii kompleksnogo osvoenija georesursov* [Research of transient processes a

new direction in the development of the methodology for the complex development of georesources], Ekaterinburg, UrO RAN, 2019, 284 p. [In Russ].

2. Yakovlev V. L., Kornilkov S. V., Sokolov I. V. *Innovacionnyj bazis strategii kompleksnogo osvoenija resursov mineral'nogo syr'ja* [Innovative basis of the strategy of complex development of mineral resources] Edited by corresponding member of RAS V. L. Yakovlev, Ekaterinburg, UrO RAN, 2018, 360 p. [In Russ].

3. Sokolov I. V., Nikitin I. V., Solomein Yu. M. Modeling and ecological and economic assessment of geotechnological strategy for the development of transition zones of ore deposits, *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2020, no. 2, pp. 153–167. DOI: 10.25635 / b7446–4481–7083-f. [In Russ].

4. Kirillov I. N. Theoretical aspects of the development of the system of accounting and analytical support of management decisions at the enterprise, *Vestnik Adygejskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. 5: Jekonomika*. 2012, no. 2, pp. 170–176. [In Russ].

5. Zotova A. I. A systematic approach to planning enterprise activities, *Biznes v zakone. Jekonomiko-juridicheskij zhurnal*. 2014, no. 2, pp. 28–32. [In Russ].

6. Navarra A., Grammatikopoulos T., Waters K. Incorporation of geometallurgical modelling into long-term production planning. *Minerals Engineering*. 2018, Vol. 120, pp. 118–126.

7. Dorofeeva V. V. *Adaptacija predprijatij v konkurentnoj srede* [Adapting enterprises in a competitive environment], Irkutsk, BGUJeP, 2011, 107 p. [In Russ].

8. Smirnov A. A., Nikitin I. V. Substantiation of types and methods of adaptation of the mining-technological system of a mining enterprise to the changing conditions of underground mining, *Izvestija vysshij uchebnyh zavedenij. Gornyj zhurnal*. 2019, no. 6, pp. 14–20. [In Russ].

9. Kaplunov D. R., Yukov V. A. About the principles of the transition of a mining enterprise to sustainable ecologically balanced development, *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 3. pp. 74–86. [In Russ].

10. Francis X. D., Stephen D. K., Robert E. H. Sustainable development in Ghana gold mines: clarifying the stakeholders perspective. *Journal of Sustainable Mining*. 2019, vol. 18, no. 2, pp. 77–84.

11. King B., Goycoolea M., Newman A. Optimizing the open pit-to-underground mining transition. *European Journal of Operational Research*. 2017, vol. 257, no. 1, pp. 297–309.

12. Sokolov I. V., Antipin Yu. G., Smirnov A. A., Nikitin I. V. Substantiation of underground geotechnology in the combined development of ore deposits, taking into account the peculiarities of transient processes. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 3–1, pp. 326–337. [In Russ].

13. *Metodicheskie rekomendacii po ocenke jeffektivnosti investicionnyh proektov (vtoraja redakcija)* [Methodological recommendations for assessing the effectiveness of investment projects (second edition)], Moscow, Jekonomika, 2000, 424 p. [In Russ].

14. *Metody i modeli sistemnogo analiza. Ocenka jeffektivnosti i investicionnyh proektov. Sistemnaja diagnostika social'no-jekonomicheskikh processov* [Systems analysis methods and models. Evaluation of efficiency and investment projects. System diagnostics of socio-economic processes], *Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossijskoj akademii nauk*. Vol. 61. Is. 3; Moscow, 2011, 122 p. [In Russ].

15. Sitorous F., Cilliers J. J., Brito-Parada P. R. Multi-criteria decision making for the choice problem in mining and mineral processing: Applications and trends. *Expert Systems with Applications*. 2019, vol. 121, pp. 393–417.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Соколов Игорь Владимирович*¹ — докт. техн. наук, действительный член Академии горных наук, директор, e-mail: geotech@igduran.ru;

*Антипин Юрий Георгиевич*¹ — канд. техн. наук, зав. лабораторией подземной геотехнологии;

*Никитин Игорь Владимирович*¹ — научный сотрудник лаборатории подземной геотехнологии;

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН), Екатеринбург, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Sokolov I. V.*¹, Dr. Sci. (Eng.), full member of the Academy of mining sciences, director;

*Antipin Yu. G.*¹, Cand. Sci. (Eng.), head of the laboratory of underground geotechnology;

*Nikitin I. V.*¹, research worker of the laboratory of underground geotechnology;

¹ Institute of Mining of the Ural branch of Russian Academy of Sciences (IM UB RAS), Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 25.12.2020; получена после рецензии 22.03.2021; принята к печати 10.04.2021.

Received by the editors 25.12.2020; received after the review 22.03.2021; accepted for printing 10.04.2021.

