

УДК 622.013.3 : 622.6]:004.9

Левин Евгений Львович

главный специалист
отдела открытых горных работ,
транспорта и генплана,
ОАО «Гипроруда»,
196247, г. Санкт-Петербург,
Ленинский пр., 151
e-mail: elevin@giproruda.ru

Сердюков Андрей Леонидович

генеральный директор,
ОАО «Гипроруда»
e-mail: info@giproruda.ru

Запорожец Владимир Юрьевич

кандидат технических наук,
главный инженер проектов,
ОАО «Гипроруда»
e-mail: info@giproruda.ru

Абросимова Галина Геннадьевна

начальник отдела открытых горных работ,
транспорта и генплана,
ОАО «Гипроруда»
e-mail: info@giproruda.ru

Кудряшов Владимир Сергеевич

главный горняк - заместитель начальника
отдела открытых горных работ,
транспорта и генплана,
ОАО «Гипроруда»
e-mail: info@giproruda.ru

**ИНФОРМАЦИОННО-РАСЧЕТНЫЙ
КОМПЛЕКС КОМПЬЮТЕРНЫХ
СРЕДСТВ ДИНАМИЧЕСКОГО
ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
И ПЛАНИРОВАНИЯ
ГОРНОТРАНСПОРТНЫХ РАБОТ
В КАРЬЕРЕ**

Аннотация:

Предложен набор информационно-расчетных средств динамического моделирования обработки карьера в условиях изменения экономической и горнотехнической ситуации, предназначенный для проектирования и планирования горнотранспортных работ на основе предлагаемой матричной модели открытых горных работ. Разработанная модель может стать дополнением к проектной документации.

Ключевые слова: карьер, границы, производственная мощность, динамическое компьютерное моделирование, автоматизированное проектирование

DOI: 10.18454/2313-1586.2016.02.098

Levin Eugene L.

Chief specialist of open pit mining,
transport and general layout design department,
OJSC «Giproruda»,
196247, St-Petersburg, 151 Leninsky avenue
e-mail: elevin@giproruda.ru

Serdukov Andrey L.

General director,
OJSC «Giproruda»
e-mail: info@giproruda.ru

Zaporozhez Vladimir Yu.

Candidate of technical sciences,
chief project engineer. OJSC «Giproruda»
e-mail: info@giproruda.ru

Abrosimova Galina G.

The head of Open pit mining,
transport and general layout design department,
OJSC «Giproruda»
e-mail: info@giproruda.ru

Kudryashov Vladimir S.

Chief mining engineer,
deputy head of open pit mining transport
and general layout design department,
OJSC «Giproruda»
e-mail: info@giproruda.ru

**COMPUTER AIDED MODEL FOR
DYNAMIC OPTIMAL OPEN PIT MINE
OPERATIONS DESIGN
AND SCHEDULING**

Abstract:

A computer-aided design model has been offered for pit mining dynamic modeling with changing economical and mine-engineering situation aimed at design and mining operations planning in terms of the proposed matrix model of open pit mining operations. The model could become a supplement to designing plans and specifications.

Key words: open pit, boundaries, output, dynamic computer modeling, computer-aided design

В ОАО «Гипроруда» разработан набор информационно-расчетных средств динамического компьютерного моделирования отработки карьера в условиях изменения экономической и горнотехнической ситуации, предназначенный для проектирования и планирования горнотранспортных работ (апробирован в Гипроруде при оптимизации параметров ряда крупных карьеров).

Изменение ситуации может быть обусловлено пересмотром границ, очередей отработки и мощности карьера и обогатительной фабрики (ОФ), падением (ростом) цен на производимую продукцию, заменой основного горнотранспортного оборудования, уточнением инженерно-геологических условий разработки, необходимостью ликвидации отставания вскрышных работ и др.

В рассматриваемом информационно-расчетном комплексе сделан акцент на повышение информационных возможностей пред- и постобработки исходных и промежуточных данных, используемых в системе автоматизированного проектирования и планирования. Применение стандартной СУБД MS Access с набором SQL-запросов и встроенными средствами разработки приложений позволило существенно расширить возможности известных горно-геологических пакетов программ оптимизации карьеров.

Оптимизация границ и календарного графика горнотранспортных работ выполняется на множестве однотипных таблиц в Excel, сформированных из матричной модели оптимизируемого карьера (приложения MS Access) по результатам моделирования месторождений и карьеров в комплексах Datamine, Micromine, Whittle, PitDelevel [1 – 2] и др.

Интерактивный набор объемов горной массы, руд и др. производится из объемов на горизонтах в прирезках между смежными оболочками. Стартовое состояние табл. 1 может быть сформировано в Whittle, PitDelevel и др. или на основе ранее разработанных планов горных работ. Используется метод вариантов при оценке границ и производственной мощности.

Контуры внутри карьера формируются из контуров оболочек. Под понятием «оболочка» карьера (Pit Schell в Whittle) понимается его поверхность (устойчивый борт карьера в варианте конечного контура), построенная в Whittle, PitDelevel и др. с учетом физико-механических свойств руд и пород, углов откосов уступов, ширины предохранительных и транспортных берм на горизонтах.

Ниже представлены матрицы интерактивного набора календарных графиков горнотранспортных работ в предварительно нарезанных оболочках карьера (табл. 1) и объемов нарезки горной массы в этих оболочках (табл. 2).

В строках табл. 1 зафиксированы отметки горизонтов, в столбцах – номера оболочек карьера, нарезанных в Whittle или PitDelevel. В каждой клетке таблицы интерактивно задается номер периода (пятилетка, год, квартал, месяц и т. п.). В частности, в табл. 1 зафиксированы номера лет отработки. После 10-го года набор календаря идет по пятилеткам.

Ячейки матрицы интерактивного набора и матричных моделей объемов привязаны через СУБД MS Access к наборам ячеек блочной модели месторождения, горизонтам, секторам (участкам), прирезкам между оболочками.

Матрицы интерактивного набора производственной мощности (табл. 1) и объемов горной массы (табл. 2) определяют основные нагрузки на горнотранспортный комплекс и необходимые темпы понижения горных работ на горизонтах, в секторах и участках карьера.

Одновременно формируется семейство матриц со структурой, аналогичной табл. 1, для фиксации расчетных объемов добычи разнородных руд и компонентов в них, транспортных работ, размеров площадок на горизонтах, фронтов работ и др. с разбивкой на участки и сектора карьера. В процессе интерактивного набора автоматически формируются также технико-экономические оценки добычи и переработки руд для принятия решения о порядке отработки карьера и его этапов (очередей). В технико-экономических

расчетах в части транспорта, выполняемых автоматически в Excel, одновременно с набором календарей, учитывается также расстояние откатки до заданных пунктов разгрузки пород в отвалы и руд на обогатительную фабрику.

Таблица 1

**Фрагмент матрицы интерактивного набора графика развития
производственной мощности и оптимизации границ карьера**

№№ оболочек / горизонты	3	4	5	6	7	8	9	10	13	16	19	23
205					1	2	2	2	15	20	20	25
190			1	1	1	2	2	2	15	20	20	25
175			1	1	1	3	3	3	20	20	25	25
160			1	1	1	3	3	3	20	20	25	25
145			1	1	1	3	3	3	20	20	25	25
130		1	1	1	1	3	3	4	20	25	25	25
115		1	1	1	1	4	4	4	20	25	25	30
100		1	1	1	1	4	4	5	20	25	25	30
85		1	1	1	1	5	5	5	20	25	25	30
70		1	1	2	2	5	5	6	20	25	25	30
55		1	1	2	2	5	5	6	20	25	30	30
40		1	1	3	3	6	6	6	20	25	30	30
25		1	1	3	3	6	6	6	20	25	30	30
10		1	1	3	4	6	6	6	20	25	30	30
-5		1	1	3	4	6	7	7	20	25	30	30
-20		1	1	4	4	7	7	7	20	30	30	35
-35	1	2	2	4	4	7	7	7	25	30	30	35
-50	1	2	2	4	4	8	8	8	25	30	30	35
-65	1	2	2	4	4	8	8	8	25	30	30	35
-80	1	2	2	4	4	8	8	8	25	30	30	35
-95	1	2	2	5	5	8	9	9	25	30	30	35
-110	1	2	2	5	5	9	9	9	25	30	30	35
-125	1	3	3	5	5	9	9	10	25	30	30	35
-140	1	3	3	7	7	10	10	10	25	30	30	35
-155	1	3	4	7	7	10	10	10	25	30	30	35
-170	2	4	5	7	9	15	15	15	25	35	35	40
-185	2	4	5	8	9	15	15	15	30	35	35	40
-200	3	6	6	9	15	15	15	15	30	35	35	40
-290	7	7	15	15	15	15	20	20	30	35	35	40
-395				20	20	20	25	25	30	35	40	45
-500						25	25	25	35	40	40	45
-545							25	30	35	40	40	45
-665									40	45	45	50
-755											45	50
-770											45	50
-905												50

Таблица 2

Фрагмент матричной модели горной массы в оболочках карьера

№№ оболочек / горизонты	3	4	5	6	7	8	9	10	13	16	19	23
205					0.3	0.8	1.4	2.5	2.6	4.5	5.3	2.7
190			0.1	0.2	0.3	1.6	1.6	3.8	2.6	4.3	5.3	3.0
175			0.2	0.4	0.9	1.6	2.4	3.6	2.9	4.6	5.5	2.6
160			0.2	0.4	0.7	1.7	2.2	4.2	3.1	4.4	5.7	3.3
145			0.1	0.3	0.7	1.5	2.4	3.9	3.2	4.4	5.3	2.8
130		0.2	0.3	0.3	0.8	1.8	2.2	4.4	3.1	4.2	5.5	3.1
115		0.2	0.6	0.5	0.6	2.3	2.3	4.3	2.8	4.4	5.3	2.8
100		0.4	0.5	0.8	1.3	2.1	2.9	3.8	3.0	4.3	5.3	2.6
85		0.3	0.7	1.2	1.7	2.4	2.5	4.2	2.7	4.3	4.9	3.2
70		0.2	0.3	0.9	1.6	2.3	3.0	3.5	2.8	4.4	5.0	2.6
55		0.1	0.3	1.1	1.2	2.5	2.8	4.4	2.7	4.0	4.9	2.7
40		0.0	0.1	0.8	1.1	2.0	3.2	4.2	3.0	4.0	4.9	2.2
25		0.1	0.1	0.9	1.9	2.4	3.2	4.8	3.1	3.9	4.8	3.0
10		0.1	0.1	0.8	1.5	2.4	3.2	4.4	2.8	4.0	4.7	2.6
-5		0.2	0.2	1.0	2.0	3.0	3.7	5.0	3.1	3.7	5.0	2.5
-20		0.1	0.3	1.1	1.8	2.8	3.9	4.6	2.9	3.6	4.5	2.2
-35	0.2	0.7	1.0	2.3	2.7	2.9	3.8	4.9	2.8	3.5	4.9	2.6
-50	0.5	1.0	1.3	3.2	3.0	3.1	3.9	4.5	2.8	3.4	4.5	2.4
-65	0.6	1.3	1.9	4.0	3.1	3.3	3.7	4.7	2.8	3.4	4.7	2.3
-80	0.6	1.3	2.1	4.5	3.2	3.1	3.8	4.3	2.7	3.4	4.4	2.4
-95	1.0	1.3	2.4	4.2	3.3	3.1	3.4	4.4	2.6	3.3	4.3	2.5
-110	1.0	1.3	2.7	4.5	3.3	3.2	3.7	4.0	2.4	3.3	4.0	2.3
-125	0.9	1.8	4.0	4.7	3.2	2.9	3.5	4.3	2.5	3.1	4.1	2.2
-140	1.3	2.8	4.6	5.3	2.8	3.0	3.6	3.9	2.4	3.1	3.9	2.2
-155	1.7	3.0	4.5	5.7	2.9	2.9	3.1	4.3	2.2	3.0	3.9	2.1
-170	2.2	2.7	4.7	6.1	3.1	2.8	3.2	4.0	2.4	3.0	4.0	2.1
-185	2.4	3.5	4.8	6.2	3.0	2.8	3.3	4.0	2.3	2.8	3.7	2.0
-200	2.5	3.0	5.3	6.3	3.0	2.8	3.2	3.9	2.3	2.8	4.0	2.0
-290	0.2	1.0	1.8	6.4	2.9	2.6	3.1	3.6	2.0	2.4	3.3	1.8
-395				1.3	1.6	2.7	2.4	3.0	1.8	2.3	2.8	1.2
-500						0.1	1.1	2.1	1.5	2.0	2.6	1.2
-545							0.1	1.4	1.4	1.7	2.3	1.0
-665									0.5	1.3	2.0	1.3
-755											1.4	0.7
-770											1.3	1.0
-905												0.1

Результаты интерактивного набора календарных графиков горнотранспортных работ немедленно отображаются в виде вышперечисленных таблиц и графиков (рис. 1 – 2), позволяющих оперативно рассмотреть варианты промежуточных или конечных границ развития мощности. При этом обеспечивается возможность экспресс-оценки коэффициентов запаса устойчивости (КЗУ) бортов карьера в промежуточных его положениях.

Неотъемлемой частью матричной модели является база данных с контурами оболочек на горизонтах на конец каждого этапа и планируемого периода.

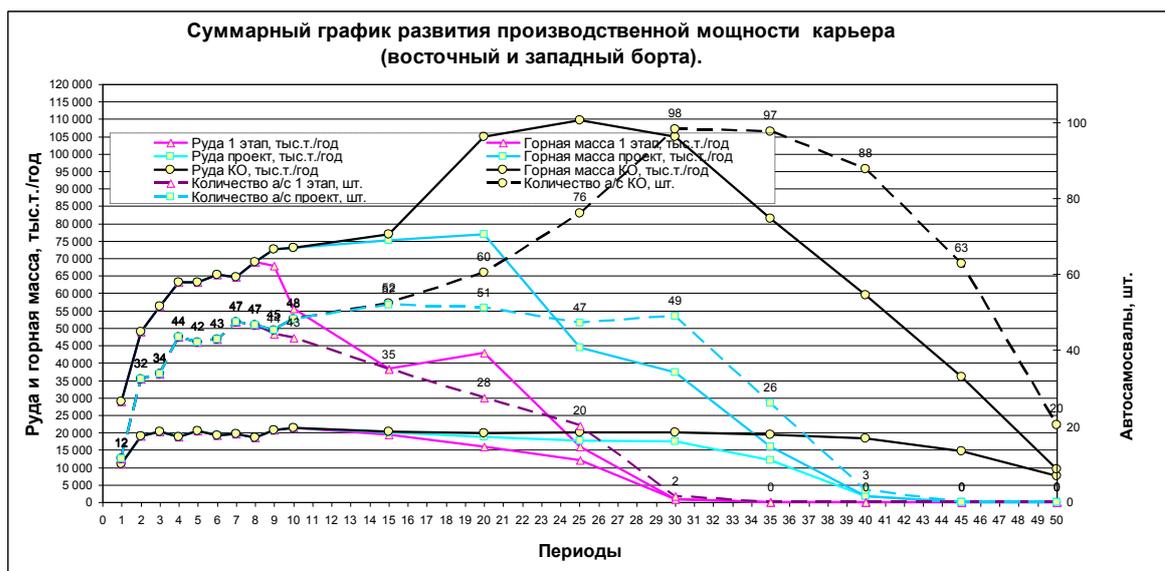


Рис. 1 – Графики развития производственной мощности в вариантах отработки этапа 1, проектного и оптимального контуров карьера

Из графиков (рис. 1) видно, что минимальный карьер (этап 1) может быть отработан примерно за 30 лет при добыче 20 млн т/год. При этом пиковое количество автосамосвалов (44 – 52 шт. при подъеме горной массы на поверхность) наблюдается с 4-го по 11-й гг. отработки. Карьер до проектной отметки дна может быть отработан примерно за 40 лет. Пиковое количество автосамосвалов (44 – 51 шт.) выявлено с 4-го по 30-й гг. отработки. Наиболее напряженным является календарный график отработки карьера до отметки оптимального карьера (КО, оптимальный по денежному потоку, срок отработки 50 лет). Пиковое количество автосамосвалов (52 – 98 шт.) имеет место с 15-го по 30-й гг. отработки.

Ниже на рис. 2 приведены графики изменения нарастающих объемов горной массы и отметок дна оптимального карьера по мере его отработки, позволяющие дополнительно оценить необходимость и техническую возможность изменения схемы вскрытия, ввода комплексов ЦПТ и (или) применения подземных выработок для доставки руд и пород на поверхность.

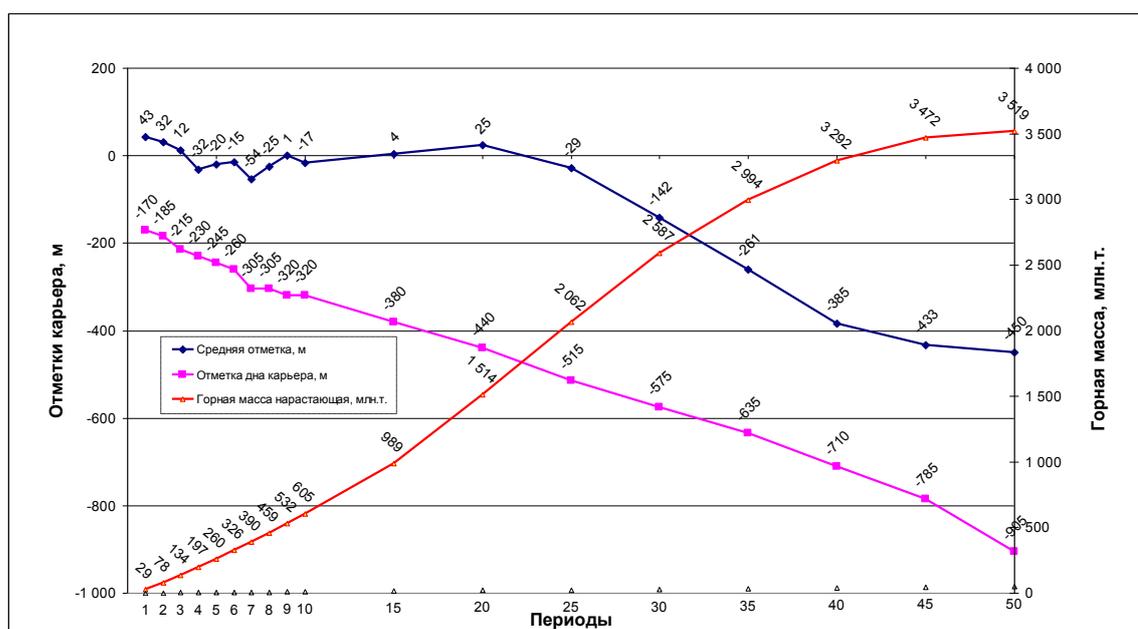


Рис. 2 – Графики изменения нарастающих объемов горной массы, отметки дна и средней отметки подъема горной массы по мере отработки оптимального карьера

На рис. 2 средняя отметка – это отметка, средневзвешенная по объемам, от которой горная масса поднимается на борт карьера до отметки +205 м, (табл. 1 – 2).

Из рис. 2 видно, что к 25-му периоду добывается более 50 % горной массы; карьер углубляется до отметки –515 м. При этом начинается значительный рост средневзвешенной высоты подъема и грузовой работы; темп углубки сохраняется на уровне 15 м/год до 45-го периода. Из анализа графиков рис. 1 – 2 напрашивается вывод о необходимости перехода на альтернативный способ подъема части горной массы не позднее 25-го года. Из рис. 1 видно, что расчетное количество автосамосвалов достигает 98 шт. в максимальном контуре карьера. Это может создать практически непреодолимые трудности при проветривании карьера глубиной свыше 1000 м (см. график «отметка дна карьера», рис. 2).

Анализ графиков рис. 1 – 2 и табл. 1 – 2 позволяет также выявить возможности плавного перехода от этапа к этапу без снижения добычи. При этом оцениваются необходимые темпы понижения горных работ в переходные периоды и горнотранспортные возможности обеспечения этих темпов. Возможности плавного перехода от этапа к этапу без снижения добычи при существенном изменении ТЭП в сценариях реализуются в матричной модели на ее Excel-таблицах интерактивным изменением табл. 1.

В процессе оптимизации границ и этапов отработки карьера может быть выполнена экспресс-оценка в 2D геомеханической обстановки в его бортах и дне для наиболее критичных по коэффициенту запаса устойчивости профилей с помощью разработанного для Excel приложения или по методике ВНИМИ. При снижении КЗУ ниже допустимого корректируется матричная модель (в MS Access) и продолжается интерактивный набор графика отработки карьера.

Подготовка исходных данных для расчетов КЗУ в Excel-приложении выполняется в соответствии с нормативными документами. Настройка этого приложения на конкретные горно-геологические условия выполняется с учетом поверхностей ослабления, исходного НДС массива горных пород, условий его зажима в дне карьера и прибортовом массиве, выявленных тектонических напряжений, пригрузки бортов.

Моделирование имевшихся ранее деформаций бортов позволяет решить обратную задачу определения характеристик массива горных пород и ослабленных зон в районе деформаций для уточнения параметров модели и последующего применения.

В модели экспресс-оценки геомеханической обстановки реализован метод конечных разностей на сетке блоков с заданными геомеханическими характеристиками. Напряжения и деформации определяются с учетом заданных ограничений и геомеханических свойств в каждой точке массива. Могут быть заданы дополнительные условия интегрирования напряжений по поверхностям ослабления и зажима горного массива и др., что приближает оценки НДС массива и КЗУ к результатам мониторинга массива и расчетным по утвержденной методике оценкам устойчивости бортов карьеров.

Возможные поверхности скольжения могут быть выявлены итерационным обнулением (уменьшением) сцепления и трения в смежных с находящимися в предельно напряженном состоянии точках.

Основные операции по обоснованию границ и графика развития производственной мощности карьера изложены ниже.

1) На подготовленной модели месторождения выполняется оконтуривание карьера (нарезка оболочек) в ПК Whittle или PitDelevel с предварительной оценкой его отработки в сценариях развития рыночной ситуации с учетом статических ограничений на подработку объектов поверхности.

2) Результаты, полученные в п. 1, импортируются в MS Access для последующего интерактивного матричного набора в Excel календарных графиков горнотранспортных работ с их оценкой. При этом карьерное пространство интерактивно разбивается на оболочки этапов, секторы и участки, прорабатываемые в календарных графиках отдельно и

путем их комбинирования. Регулируются в динамике углы бортов карьера в зонах структурных неоднородностей, имеющих опасное по устойчивости залегание. Перемоделирование карьера в Whittle не требуется.

3) П. 2 повторяется в вариантах производственной мощности карьера, его участков, секторов и блоков с учетом имеющихся статических и динамических ограничений на подработку поверхностных, карьерных и подземных выработок и объектов, мощностей обогатительной фабрики.

4) Формируется адаптированная к рыночным условиям информационно-расчетная модель месторождения и карьера, а также его участков. Эта модель готовится в форматах MS Access, Excel и экспортируется в Micromine, Surpac, Autocad и др.

5) На основе полученной информационно-расчетной модели дорабатывается оптимальный из рассмотренных в п.п. 2 – 4 вариант в соответствии с требованиями на разработку проектной документации.

Разбивка карьерного пространства на участки, оболочки (этапы), секторы, целики позволяет подробно оценивать в пространстве и во времени переходные между этапами объемы горнотранспортных работ, темпы понижения горных работ, углубки и др. В матричной модели карьера рассматриваются оптимизируемые контуры с размещенными на бортах транспортными коммуникациями. Увязка рассчитываемых на этапах объемов транспортирования с видом транспорта и зависящими от вида транспорта объемами карьера выполняется с помощью «фрезы» [1], запускаемой на матричной модели в задаваемой зоне оформления рудоспуска, перегрузочной площадки на ж.д. транспорт, портала откаточного тоннеля и т. п.

В результате моделирования фиксируются проектные решения по границам карьера и календарным графикам горнотранспортных работ в рассматриваемых сценариях развития рынка. При этом учитываются возможности нивелировки отставания вскрышных работ и ликвидации последствий деформаций бортов.

Увеличение эффективности отработки карьера обеспечивается выделением оболочек и этапов его отработки с отнесением значительных объемов вскрышных работ на более позднее время, формированием альтернативных схем вскрытия и транспорта горной массы, плавного изменения объемов работ между этапами (очередями) отработки карьера.

Сформированная адаптивная информационно-расчетная модель карьера может служить инструментом для дальнейшего текущего и перспективного планирования горнотранспортных работ.

Выводы и предложения:

– Разработанная матричная информационно-расчетная модель карьера – инструмент для разработки проектов и текущих планов горнотранспортных работ. Эта модель может быть предложена в качестве дополнения к проектной и плановой документации.

– Предлагаемая методика совместного определения динамических границ и производственной мощности карьера с учетом горнотранспортных работ может быть представлена как доступная технология при проектировании и планировании горных работ, изложенная в специальных методических рекомендациях и в новой редакции «Норм технологического проектирования горнодобывающих предприятий» [3], необходимость актуализации которых, несомненно, назрела.

Литература

1. Левин Е.Л. Оптимизация границ, направления развития и календарного графика горных работ при проектировании карьеров в системе PitDelevel / Е.Л. Левин // Компьютерные технологии при ведении открытых горных работ: сб. тр. Всероссийской научной конференции с международным участием, 23 – 26 сентября 2008 г. – Апатиты; СПб.: Реноме, 2009. - С. 99 – 103.

2. Особенности автоматизированного определения границ и рационального графика развития производственной мощности карьера / А.Л. Сердюков, А.В. Черепанов, Е.Л. Левин, В.В. Квитка // Информационные технологии в горном деле: сб. докладов Всероссийской научной конференции 12 - 14 октября 2011 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. - С. 104 - 109.

3. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий черной металлургии с открытым способом разработки / Министерство черной металлургии СССР. - Л., 1986. – 261 с.