© В.Н. Калмыков, И.Т. Слащилин, И.С. Белобородов, 2005

УДК 666.9

В.Н. Калмыков, И.Т. Слащилин, И.С. Белобородов

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СМЕШАННОГО ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТА И ДОМЕННОГО ГРАНУЛИРОВАННОГО ШЛАКА ОАО «СЕВЕРСТАЛЬ» В ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЯХ НА НЕФТЕТИТАНОВОЙ ШАХТЕ ЯРЕГСКОГО ГОРНО-ХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Семинар № 13

Ознакомление с практикой применения твердеющей закладки на отечественных и зарубежных предприятиях позволяет выявить тенденцию к все более широкому внедрению систем разработки с закладкой при эксплуатации ценных рудных месторождений и в сложных горно-геоло-гических условиях. Опыт рудников и расчеты показывают, что в условиях постоянного понижения горных работ до глубин 1000 м и более системы с монолитной закладкой являются экономически выгодными и единственно перспективными. В настоящее время появилась потребность в новых материалах и добавках, которые обеспечивали бы резкое снижение удельного расхода вяжущего, в частности, дорогостоящего цемента или переход на другие типы вяжущих.

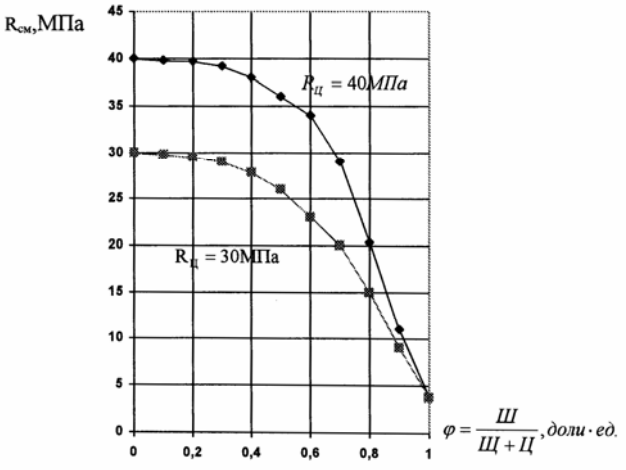
В монолитную закладку целесообразно применять дешевые материалы с низкой гидравлической активностью. Их активизируют путем помола и введения специальных добавок (цемента, щелочи и др.) Выбор конкретного вяжущего определяется его наличием, а также величиной затрат по статье "вяжущее" в себестоимости 1 м^3 закладки.

Для отработки нефтетитанового месторождения Ярегского горно-химического комплекса принято решение использовать для заполнения выработанного пространства твердеющие смеси, используя местную сырьевую базу.

Анализ сырьевой базы показал, что в качестве вяжущего целесообразно применять цемент и гранулированный доменный шлак, цемент может выступать в виде моновяжущего или активизатора шлаков, а заполнителя - хвосты обогащения, песок и щебень.

Для частичной замены цемента предполагается использовать доменный гранулированный шлак ОАО «Северсталь» г. Череповец. Химический состав его приведен в табл. 1.

Активность доменных гранулированных шлаков в большей мере зависит от тонины его помола. Критерием качества помола шлака является выход класса- 74 мкм (200 меш). Его называют граничной функцией, когда более крупный материал практически не обладает



Изменение активности смещан-ного вяжущего (Rсм) от коэффи-циента объемного наполнения смеси заменителем цемента (φ)

Таблица 1

Химический состав доменного гранулированного шлака ОАО «Северсталь»

Источник	Химический состав, %								
	SiO2	**CaO**	**AL2O3**	**MgO**	**MnO**	**FeO**	**S**	**TiO2**	**KK**
М.Н. Цыгалов [1]	39,7	39,1	8,7	11,8	0,36	0,52	0,55	-	1,39
Лаборатория Шлакопереработки ОАО «Северсталь»	38,7	39,0	9,7	11,2	0,21	0,33	0,89	1,36	1,42

Таблица 2

Вяжущая активность доменного гранулированного шлака ОАО «Северсталь»

Номер образца	Предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$, МПа	Площадь половины балочки, $см^2$	Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$, МПа
1	2,25	32	3,88
2	1,9	32	3,87
3	2,05	32	3,68
4	-	32	3,63
5	-	30	3,53
6	-	34	3,91
среднее	2,06	-	3,75

Таблица 3

Активность смешанного вяжущего на основе цемента и молотого гранулированного шлака ОАО «Северсталь» при общей массе связующих 400кг

Расход цемента, кг	Коэффициент наполнения φ	φ12φ+0,5	Активность смешанного вяжущего, МПа	
			М300	**М400**
40	0,9	0,304	8,5	11,5
60	0,85	0,1757	12	15
80	0,8	0,105	15	20
100	0,75	0,065	17	25
120	0,7	0,0418	20	29
140	0,65	0,028	21,8	32
160	0,6	0,0195	23	34
180	0,55	0,0143	25,2	35,2
200	0,5	0,011	26,3	36,5

Таблица 4

Характеристика исходных материалов

Наименование материала	Плотность, $т/м^3$	Водоудерживающая способность материалов, доли. ед.	Вяжущая активность материала R, МПа
Цемент	3,0-3,1	0,4-0,42	40
Гранулированный шлак	2,8	0,35	3,0
Песок	2,6-2,65	0,17	-
Хвосты обогащения	2,6-2,7	0,3	-
Щебень (Лыа- Ельский карьер)	2,6-2,65	0,18-0,2	-

гидравлической активностью и поступает в закладку как заполнитель.

По М.Н. Цыгалову и ГОСТу 3476-74 доменный гранулированный шлак ОАО «Северсталь» имеет модули основности Мо = =1,05-1,29 и активности Ма = 0,22-0,25 и относится к первому сорту [1].

Для получения фактической активности гранулированного шлака проба подвергалась сухому размолу до удельной поверхности 2500-3000 $см^2$, т.е. выход класса –0,08 составляет 80 %. Для испытаний были изготовлены образцы - балочки из раствора, состоящего из одной весовой части шлака и трех весовых час-

Таблица 5

Гранулометрический состав песка, хвостов обогащения и щебня

Класс крупности	Песок		Хвосты обогащения		Щебень	
					Лыа-Ельский карьер	
	Выход, г	Выход, %	Выход, г	Выход, %	Выход, г	Выход, %
+20	-	-	-	-	7,5	7,5
-20+10	1,5	1,5	-	-	50,5	50,5
-10+5	1	1	0,54	0,54	19,3	19,3
-5+3	1	1	2,58	2,58	10	10
-3+2	0,5	0,5	4,36	4,36	2	2
-2+1	2	2	14,68	14,68	4,2	4,2
-1+0,5	-	-	32,91	32,91	2	2
-0,5+0,25	78	78	35,8	35,8	4,15	4,15
-0,25+0,125	13,5	13,5	6,13	6,13	-	
-0,125+0,08	7	7	1,1	1,1	-	
-0,08+0	-	-	0,65	0,65	-	

тей вольского песка. Испытания проводились согласно ГОСТ 310.3-76. Результаты приведены в табл. 2.

Исходя из изложенного, при использовании передельных шлаков ОАО «Северсталь» для закладочных работ на шахте Ярегского горно-химического комплекса рекомендуется их активность принимать равной 3,0 МПа, т.к. на практике выход класса -74 мкм не превышает 70 %. В лабораторных условиях гранулированный шлак измельчался до тонины помола 80 %

Таблица 6

Химический состав песчаной фракции хвостов обогатительной фабрики

Наименование	TiO2	SiO2	CaO	FeO
Содержание, %	14,25	68,2	15,4	2,16

класса -74 мкм.

На Ярегском горно-химическом комплексе предполагается использовать цемент ОАО «Михайловцемент» марки 400, исходя из этого, в исследованиях по составам закладки его активность взята 40 МПа.

Активность смешанного вяжущего (Rсм) зависит от активности его составляющих, доли минеральной добавки в общем объеме смеси вяжущего оцениваемом коэффициентом объемного наполнения общего вяжущего - φ, в общем виде она описывается зависимостью

$$R_{см} = \frac{K_1}{K_2 + \varphi^{12\varphi+0,5}}, \qquad (1)$$

где коэффициенты K_1 = 3,33, K_2 = 0,11 - для цемента марки М300, и K_1 = 3,2432, K_2 = 0,081 - для цемента марки М400;

$$\varphi = \frac{Д}{Д + Ц}, \text{ доли ед.;}$$

$$K_1 = \frac{R_Ц \cdot R_д}{R_Ц - R_д}; \qquad (2)$$

$$K_2 = \frac{R_д}{R_Ц - R_д}; \qquad (3)$$

где Д и Ц – масса минеральной добавки (шлака) и цемента в общей массе смешанного вяжущего; Rц и Rд –активности цемента и его заполнителя (минеральной добавки-шлака) [2].

Результаты расчета активности смешанного вяжущего приведены в табл. 3.

На основе результатов расчета была построена зависимость изменения активности смещанного вяжущего от коэффициента объемного наполнения смеси заменителем цемента (рисунок).

При проектировании составов закладочных смесей для лабораторных испытаний принимались следующие характеристики составляющих компонентов табл. 4.

Далее рассчитывались объемы вяжущей минеральной добавки, цемента и заполнителя

$$Q_Д = 400 \cdot \varphi; \qquad (4)$$

$$Q_Ц = 400 \cdot (1 - \varphi); \qquad (5)$$

Таблица 7

Составы твердеющей закладочной смеси с использованием песка «Песчаного карьера»

№ состава	Расход компонентов, кг/м^3				Плотность смеси, т/м^3	Прочность образцов на сжатие (МПа) в возрасте, сут		
	Цемент М400	Доменный шлак	Песок	Вода		28	90	180
1	30	370	1190	400	1,99	1,28	1,73	2,00
2	40	360	1191	400	1,991	1,64	2,21	2,55
3	50	350	1191	400	1,991	1,67	2,25	2,60
4	60	340	1192	400	1,992	2,14	2,89	3,33
5	70	330	1192	400	1,992	2,57	3,46	4,00
6	80	320	1193	400	1,993	2,85	3,85	4,44
7	90	310	1194	400	1,994	3,35	4,52	5,22
8	100	300	1194	400	1,994	3,56	4,81	5,55
9	120	280	1196	400	1,996	4,13	5,58	6,44
10	140	260	1197	400	1,997	4,56	6,16	7,11
11	160	240	1198	400	1,998	4,85	6,54	7,55
12	180	220	1199	400	1,999	4,99	6,74	7,77
13	200	200	1200	400	2,0	5,20	7,02	8,11

Таблица 8

Составы твердеющей закладочной смеси с использованием хвостов обогащения

№ состава	Расход компонентов, кг/м^3				Плотность смеси, т/м^3	Прочность образцов на сжатие (МПа) в возрасте, сут.		
	Цемент М400	Доменный шлак	Хвосты обогащения	Вода		28	90	180
1	30	370	1236	350	1,986	1,11	1,50	1,73
2	40	360	1236	350	1,986	1,42	1,92	2,21
3	50	350	1237	350	1,987	1,67	2,25	2,60
4	60	340	1238	350	1,988	1,85	2,50	2,89
5	70	330	1238	350	1,988	2,22	3,00	3,46
6	80	320	1239	350	1,989	2,47	3,34	3,85
7	90	310	1240	350	1,990	2,90	3,92	4,52
8	100	300	1240	350	1,990	3,09	4,17	4,81
9	120	280	1242	350	1,992	3,58	4,84	5,58
10	140	260	1243	350	1,993	3,95	5,34	6,16
11	160	240	1244	350	1,994	4,20	5,67	6,54
12	180	220	1245	350	1,995	4,32	5,84	6,74
13	200	200	1247	350	1,997	4,51	6,09	7,02

$$\frac{Q_Ц}{\gamma_Ц}+\frac{Q_Д}{\gamma_Д}+\frac{Q_З}{\gamma_З}+B=1000. \qquad (6)$$

В качестве заполнителя для разработки рецептуры закладочных смесей были использованы следующие материалы:

-пески «Песчаного карьера»;

- хвосты обогатительной фабрики;

- щебень фракции 5-10 мм «Лыа-Ельского» карьера.

В лабораторных условиях был произведен рассев материалов. Результаты рассева приведены в табл. 5.

Щебень Лыа-Ельского карьера представлен вулканическими породами, пробы хвостов обогащения - песковой фракцией хвостов после разделения на гидроциклонах. Анализ их в лаборатории показал, что основная масса представлена оксидом кремния (табл. 6).

Для оценки возможности использования хвостов обогащения для закладочных работ были проведены исследования по определению

Таблица 9

Составы твердеющей закладочной смеси с использованием хвостов обогащения и щебня

№ состава	Расход компонентов, кг/м^3					Плотность смеси, т/м^3	Прочность образцов на сжатие (МПа) в возрасте, сут		
	Цемент М400	Доменный шлак	Хвосты обогащения	Щебень Лыа-Ельского карьера	Вода		28	90	180
1	30	370	896	300	400	1,996	1,15	1,56	1,8
2	40	360	897	300	400	1,997	1,47	1,99	2,3
3	50	350	898	300	400	1,998	1,67	2,25	2,6
4	60	340	899	300	400	1,999	1,92	2,60	3,0
5	70	330	900	300	400	2,0	2,31	3,12	3,6
6	80	320	901	300	400	2,0	2,57	3,46	4,0
7	90	310	902	300	400	2,0	3,01	4,07	4,7
8	100	300	903	300	400	2,0	3,21	4,33	5,0
9	120	280	905	300	400	2,0	3,72	5,02	5,8
10	140	260	906	300	400	2,0	4,10	5,54	6,4
11	160	240	908	300	400	2,0	4,36	5,89	6,8
12	180	220	910	300	400	2,01	4,49	6,06	7,0
13	200	200	912	300	400	2,01	4,68	6,32	7,3

Таблица 10

Составы твердеющей закладочной смеси с использованием песка и щебня

№ состава	Расход компонентов, кг/м^3					Плотность смеси, т/м3	Прочность образцов на сжатие (МПа) в возрасте, сут		
	Цемент М400	Доменный шлак	Пески карьера	Щебень Лыа-Ельского карьера	Вода		28	90	180
1	30	370	930	300	400	1,981	1,33	1,79	2,07
2	40	360	931	300	400	1,981	1,69	2,29	2,64
3	50	350	931	300	400	1,982	1,73	2,34	2,70
4	60	340	932	300	400	1,982	2,21	2,98	3,44
5	70	330	933	300	400	1,983	2,65	3,58	4,13
6	80	320	933	300	400	1,984	2,95	3,98	4,59
7	90	310	934	300	400	1,984	3,46	4,67	5,39
8	100	300	935	300	400	1,985	3,68	4,97	5,74
9	120	280	936	300	400	1,986	4,27	5,77	6,65
10	140	260	937	300	400	1,988	4,71	6,36	7,34
11	160	240	938	300	400	1,989	5,01	6,76	7,80
12	180	220	940	300	400	1,990	5,15	6,96	8,03
13	200	200	941	300	400	1,991	5,37	7,26	8,38

содержания органических примесей в заполнителе. Опыты проводились по п.12 ГОСТ 8735-88.

В целом, представленный материал заполнителей нейтрален и вполне пригоден для закладочных работ. Однако, отсутствие в каждом из них (особенно в песках хвостов обогащения и песчаного карьера) илистых фракций (0,14 мм) делает смеси трудно транспортабельными, так как погружение эталонного конуса в смесь менее 11-12 см.

Для оценки прочности были подготовлены образцы на основе цемента и гранулированных шлаков в формах ЗФК-100. Подвижность смеси оценивалась осадкой конуса СтройЦНИЛа, при исследованиях она принималась равной 10-13 см. Прочность закладки определенного состава определялась как среднее арифметическое

прочностей образцов в серии. За серию принимались три образца, изготавливаемые в форме ЗФК. Испытание на прочность производились на прессе в следующие сроки: через 28, 60 и 90 дней. Составы и результаты испытаний исследованных закладочных смесей приведены в таблицах 7-10.

На основе выполненных исследований по разработке составов закладочных смесей на основе смешанного вяжущего для нефтетитановой шахты Ярегского горно-химичес-кого комплекса установлено следующее:

- на базе используемых материалов возможно получение закладки с необходимой по горнотехническим условиям прочностью;

- в качестве заполнителя возможно применять хвосты обогащения класса +0,02 мм, пески «Песчаного карьера» и щебень карьера «Лыа-Ель» (фр.5-10 мм);

- активность гранулированного шлака $R_{шл}$ = 3,0 МПа;

- разработанные составы на основе смешанного вяжущего и различных заполнителей, отвечают требованиям технического задания по прочности закладки и срокам твердения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закладочные работы в шахтах: Справочник /Под ред. Бронникова Д.М., Цыгалова М.Н.. – М.: Недра, 1989 – 400 с.
2. Руководство по подбору составов закладочных смесей в лабораторных условиях. – Свердловск: Унипромедь, 1985. – 133 с.
3. *Слащилин И.Т.* Прогнозирование прочности твердеющей закладки на основе смешанного вяжущего /Тез. докл. X Всесоюзн. науч. конф. вузов СССР с участием научно-исследовательских институтов «Физические процессы горного производства». – М: МГИ, 1991. – с. 205-206.

Коротко об авторах

Калмыков В.Н., Слащилин И.Т., Белобородов И.С. – Магнитогорский государственный технический университет.

© В.В. Глотов, О.В. Метелева, Е.В. Маркелова, 2005

УДК 622.342.1

В.В. Глотов, О.В. Метелева, Е.В. Маркелова

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕЛКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Семинар № 13

Мировая практика последних лет свидетельствует о возросшем интересе к разработке мелких месторождений полезных ископаемых. За рубежом на долю рудников эксплуатирующих мелкие месторождения приходится около 80 % горно-рудных предприятий. В конце прошлого столетия малыми горными предприятиями в мире добывалось до 100 % бериллия, 90 % - флюорита, графита, ртути, 80 % - вольфрама, полевого шпата, 30 % - облицовочного камня, 12 % - железной руды,

11 % - свинца, цинка, 10 % - золота, серебра, кобальта [1].

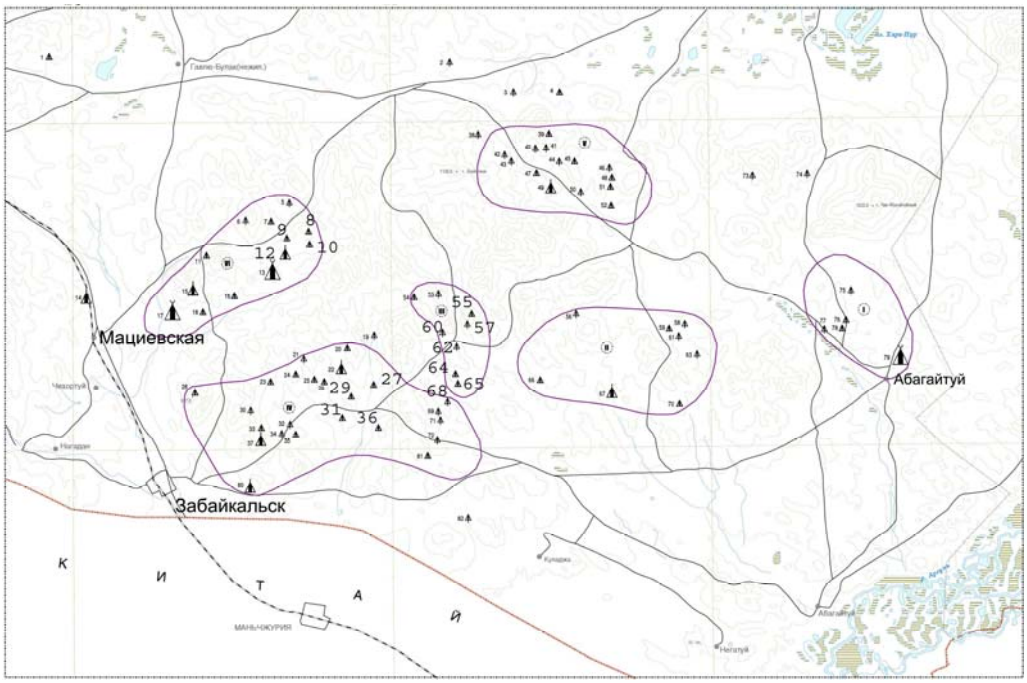
Многие зарубежные горные компании предпочитают в первую очередь финансировать проекты на отработку мелких по запасам и относительно богатых по содержанию месторождений.

Главные причины принятия подобных решений заключаются в следующем: экономятся денежные средства на разведку месторождений, существенно меньше капитальные вложения на строительство горного предприятия и быстрый срок окупаемости, минимум затрат на создание инфраструктуры, а также низкая степень риска невозврата инвестиций. Простота технологических решений по вскрытию и подготовки, ведению очистных работ, использованию передвижных обогатительных установок, технологии кучного выщелачивания создает дополнительные преимущества разработки мелких месторождений.

В России доля малого горного бизнеса остается незначительной (1-2 %) и заметно уступает по объему достигнутому в высокоразвитых (США, Канада, Австралия и др.) и развивающихся (Китай, Бразилия, Мексика, Колумбия и др.) странах (15-30 %). При колоссальном дефиците капитальных вложений в российской экономике и уникальных минерально-сырьевых ресурсах, освоение мелких месторождений позволит в кратчайшие сроки увеличить объемы добычи и переработки минерального сырья.

В пространстве мелкие месторождения расположены разобщенными группами. В пределах одного рудного узла может находиться до 15-20 мелких месторождений и рудопроявлений. Рудные тела (жилы, линзы, минерализованные зоны) имеют относительно простое строение и небольшую глубину распространения.

Разведаются месторождения поверхностными канавами, шурфами с минимальным объемом буровых работ. Оцениваются запасы до категории С2, в отдельных случаях – С1.



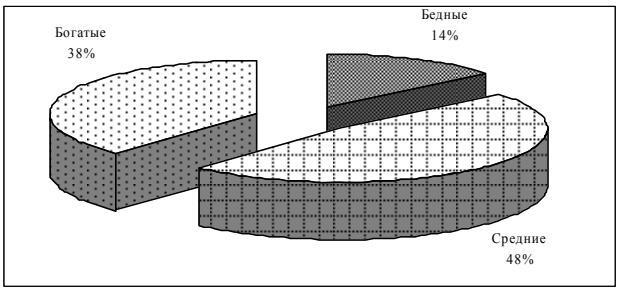


Рис. 2. Качественное распределение мелких флюоритовых месторождений Восточного Забайкалья

Перечисленные обстоятельства, на предпроектной стадии, требуют решения ряда методических задач, связанных с выполнением расчетов по определению основных горно-технологических параметров и обеспечению их высокой степени надежности.

Примером для решения подобных задач могут послужить мелкие флюоритовые месторождения Восточного Забайкалья, рассредоточенные в девяти рудных узлах: Бугутуро-Абагайтуйский, Калангуйский, Газимуро-заводский, Мотогорский, Кличкинский, Урулюнгуйский, Агинский, Усуглинский и Улунтуйский. Наиболее насыщенным является Бугутуро-Абагайтуйский, который на площади 900 км2 насчитывает 11 объектов мелких месторождений, 37 рудопроявлений и 34 точки минерализации (рис. 1).

Следует отметить, что по запасам плавикового шпата Россия занимает одно из ведущих мест в мире. Однако, качество руд значительно уступает зарубежным аналогам. В России нет ни одного крупного или уникального месторождения с высококачественными рудами, лишь 4 % разведанных запасов содержат свыше 50 % CaF2, тогда как среднее содержание флюорита в рудах Китая составляет 60-90 %, Мексики 45-85 %, Монголии 40-55 % и т.д. [2]

На этом фоне весьма привлекательно выглядят мелкие флюоритовые месторождения Восточного Забайкалья. Из 58 детально разведаны мелких месторождений только 14% балансирует на грани бедных (до 35 % CaF2), 48% мелких месторождений можно считать средними (от 35 до 50% CaF2) и 38 % относятся к богатым (свыше 50% CaF2) (рис. 2).

Вышеизложенные обстоятельства требуют срочного решения ряда методических задач связанных с выполнением расчетов по определению ряда горно-технологических параметров. Еще на стадии технико-экономического обоснования отработки мелких месторождений необходимо иметь экономико-математические модели для решения, как минимум, трех задач:

- определение рациональных объемов добычи полезного ископаемого из различных рудных тел, обеспечивающих минимальный срок окупаемости капитальных вложений;

Рис. 1. Схема расположения флюоритовых месторождений Бугутуро-Абагайтуйского рудного узла: 8 - Маршрутное, 9 - Зимнее, 10 - Канавное, 12 - Семилетнее месторождение, 27 - Восточно-Бугутурское, 29 - Южно-Бугутурское, 31 - Варнинское, 36 - Таринское, 55 - Капчилское, 57 - Рудопроявление № 6, 60 - Рудопроявление № 3, 62 - Рудопроявление № 5, 64 - Студенческое, 65 - Безымянное, 68 - Северо-Бугутурское

средние месторождения; рудопроявления; мелкие месторождения; пункты минерализации

- выбор оптимального размера шахтного поля, с позиции эффективности вовлечения в эксплуатацию отдаленных рудных тел и оценка степени риска;

- определение последовательности отработки мелких месторождений в пределах рудного поля.

$$ЧДД_{шх.п.} = \sum_{t=1}^{T_M}\sum_{n=1}^{N} = \frac{1}{(1+r)^t}\{\{(x_{пt}C_{Mпt}\varepsilon Ц + \frac{x_{пt}K_{экр.эо}}{Q_M} + \frac{K_{об}N_{обt}t_t}{100}) - [x_{пt}(C_{доб} + C_{пер} + C_{адм} +$$
$$+C_{пров} + C_{тр.подз}l_n + C_{тр.пов}l_{пов} + C_{поддер}\sum l_n)] - x_{пt}C_{Mпt}\varepsilon Ц(H_{доб} + H_{пр}) -$$
$$-\frac{x_{пt}0.02(K_{экр.эо} + K_{об})}{Q_M}\cdot(1-\frac{t_t}{T_M})\} - H_{приб}\{x_{пt}C_{Mпt}\varepsilon Ц - [x_{пt}(C_{доб} + C_{пер} + C_{адм} +$$
$$+C_{пров} + C_{тр.подз}l_n + C_{тр.пов}l_{пов} + C_{поддер}\sum l_n) - x_{пt}C_{Mпt}\varepsilon Ц\cdot(H_{доб} + H_{пр}) -$$
$$-\frac{x_{пt}0.02(K_{экр.эо} + K_{об})}{Q_M}\cdot(1-\frac{t_t}{T_M})\}\} - \sum_{t_c}^{T_c}\frac{K_{стр}}{(1+r)^{tc}} - \sum_{t_o}^{T_M}\frac{K_o}{(1+r)^{to}} \to \max; \quad (1)$$

За критерии эффективности приняты максимум чистого дисконтированного дохода от разработки мелкого месторождения и минимальный срок окупаемости капитальных вложений. Модель представлена целевой функцией и ограничениями к ней.

Целевая функция выбора рационального размера шахтного поля:

Ограничения:

$$1)\ \sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} x_{nt} \le A_{год}, \qquad (2)$$

$$2)\ x_{nt} \ge 0, \qquad (3)$$

$$3)\ \sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} x_{nt} \le Q_{ф}, \qquad (4)$$

$$4)\ \frac{C_{M1}x_{11} + C_{M2}x_{12} + \mathrm{K} + C_{Mn}x_{nt}}{x_{11} + x_{12} + \mathrm{K} + x_{nt}} \ge C_{\min} \qquad (5)$$

где *ЧДД шх.п.* - чистый дисконтированный доход от разработки мелкого месторождения, руб/год; *t* - порядковый номер года отработки мелкого месторождения, год; *ТМ* - срок отработки мелкого месторождения, лет; *n* - порядковый номер рудного тела; *N* - число рудных тел мелкого месторождения, шт.; *r* - ставка дисконта; *xnt* - годовой объем добычи руды из n-го рудного тела в t-ый год, т/год; *Смnt* - среднее содержание полезного компонента в эксплуатационных запасах n-го рудного тела разрабатываемого в t-ом году, дол.ед.; ε - коэффициент извлечения полезного компонента при обогащении руды, дол.ед.; *Ц* - цена за 1 т готовой продукции, руб/т; *Кгкр.зд* - капитальные затраты на выполнение горно-капитальных работ, строительство зданий и сооружений, руб; *QM* – эксплуатационные запасы мелкого месторождения, т; *Коб* - стоимость горно-технического оборудования, руб; *Ноб* - усредненная норма амортизации горно-технического оборудования, %; *Сдоб, Спер, Садм, Спров* - соответственно эксплуатационные затраты на добычу, переработку руды, административные расходы, проветривание шахты, руб/т; *Стр.подз, Стр.пов* - соответственно эксплуатационные затраты на подземный и поверхностный транспорт, руб/т.км; *Споддер* - эксплуатационные затраты на поддержание 1 метра горной выработки в год, руб/км, год; *ln,lнов*- соответственно расстояние транспортирования руды под землей и на поверхности, км; $\sum ln$ - суммарная протяженность поддерживаемых горных выработок в году, км; *Ндоб, Нпр* - соответственно ставка налога на добычу полезного ископаемого и прочие налоги от реализации продукции, дол.ед.; *Нприб* - ставка налога на прибыль, дол.ед.; *tc* - порядковый номер года строительства шахты, год; *Тс* - срок строительства шахты, лет; *Кстр* - капитальные затраты на строительство шахты, руб; *tд* - порядковый номер года дополнительных капитальных вложений на вскрытие отдаленных рудных тел, год; *Кд* - дополнительные капитальные затраты на вскрытие отдаленных рудных тел, руб; *Агод* - максимальная производительность шахты по горным возможностям, т/год; *Qф* - производственная мощность обогатительной фабрики, т/год; *Cmin* - минимальное промышленное содержание полезного компонента в руде, дол.ед.

Запасы месторождения и среднее содержание полезного компонента являются величинами случайными и степень их отклонения от параметров принятых в расчетах зависит от категории разведанности (преимущественно С1, С2), а также количества наблюдений в пределах участка недр. Вследствие этого имеет место риск не подтверждения геологических данных и в результате возможность ошибки подсчета *ЧДДшх.п.*.

Многочисленные исследования показывают, что ошибки подсчета запасов и среднего содержания подчиняются закону распределения близкому к нормальному. Воспользуемся стандартной программой MathCAD, в которую встроен ряд генераторов псевдослучайных чисел. Для этой цели приемлема функция *rnorm (M, μ, σ)* – вектор независимых случайных чисел, каждое из которых имеет нормальное распределение, где *M* – количество вырабатываемых случайных чисел, μ - математическое ожидание, σ - среднеквадратическое отклонение.

В зависимости от характеристики объекта возможны два способа моделирования случайных величин.

Первый способ. При помощи ошибки подсчета запасов определяется размах вариации содержания полезного компонента в пробе:

$$R = (\mu + P \cdot \mu) - (\mu - P \cdot \mu), \qquad (6)$$

где *R* – размах вариации; *P* – ошибка подсчета запасов; μ - математическое ожидание.

Для нормального распределения существует взаимосвязь между среднеквадратическим отклонением и числом наблюдений – вероятность попадания случайной величины в интервал $\mu \pm 3\sigma$ равна 0,997, отсюда $R \approx 6\sigma$. Определив среднеквадратическое отклонение (σ) и подставив значение математического ожидания в функцию *rnorm (M, μ, σ)* генерируем случайную величину.

Второй способ. Имеет более высокую надежность, однако для его применения потребуется накопить большой объем статистической информации по сопоставлению результатов

Таблица 1

Рациональные объемы добычи руды по объектам

Наименование рудных тел	Объемы добычи из рудных тел по годам, тыс.т.								Итого по рудному телу, тыс.т.
	1	2	3	4	5	6-13	14	15	
Семилетнее месторождение									
Рудное тело № 1				44,6	50,0	50,0	42,4		537,0
Рудное тело № 2	50,0	50,0	50,0	5,4					155,4
Рудное тело № 3							7,6	6,6	14,2
Итого:	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	6,6	706,6
Студенческо-Безымянное месторождение									
Жила № 2	2,1								2,1
Жила № 4	2,5								2,5
Апофиза жилы № 4	0,7								0,7
Жила № 6	2,1								2,1
Жила № 8	0,6								0,6
Жила № 10	0,6								0,6
Итого:	8,6								8,6
Рудопроявление № 3 и Южное									
Западная ветвь	32,5	3,5							36,0
Восточная ветвь		12,5							12,5
Западная жила		8,3							8,3
Итого:	32,5	24,3							56,8
Южно-Бугутурское месторождение									
Южно-БугутурскоеI	28,0	32,5	32,5	32,5	25,3				150,8
Южно-БугутурскоеII	2,9								2,9
Варнинское	1,6								1,6
Итого:	32,5	32,5	32,5	32,5	25,3				155,3
Всего:	123,6	106,8	82,5	82,5	75,3	50,0	50,0	6,6	927,2

Таблица 2

Принадлежность отдаленных рудных тел к мелкому месторождению

Наименование мелких месторождений	Наименование отдаленных рудных тел	Значение ЧДД, руб		Принадлежность рудных тел к мелкому месторождению
		μ	μ - Р·μ	
Семилетнее	Зимнее	520232	-98249	Входит
	Канавное	-704146	-	Не входит
	Маршрутное	-886466	-	Не входит
Рудопроявление № 3 и Южное	Рудопроявление № 5	2804388	-2984509	Входит
	Капчилское	4916064	212044	Входит
	Рудопроявление № 6	290557	-848914	Входит
Студенческо-Безымянное	Северо-Бугутурское	2833323	-11101349	Входит
	Рудопроявление № 5	2242584	-3546314	Целесообразно отрабатывать с Рудопроявления № 3
Южно-Бугутурское	Таринское	-520313	-	Не входит
	Восточно - Бугутурское	3001379	-4493573	Входит

разведки и эксплуатации мелких месторождений со сходными горно-геологическими условиями. Сопоставление результатов отражается коэффициентом достоверности *(Кд)*.

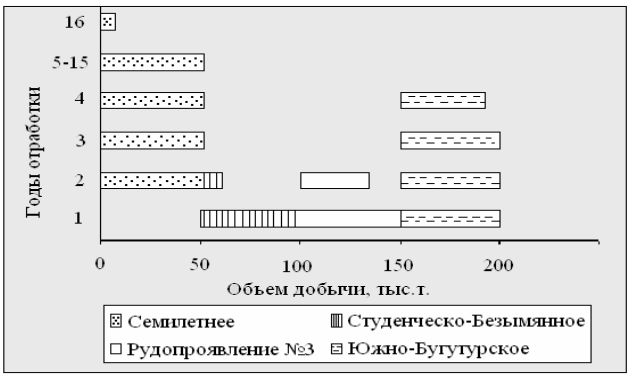


Рис. 3. График отработки мелких месторождений Бугутуро-Абагайтуйского рудного узла

$$K_д = \frac{C_э}{C_р}, \qquad (7)$$

где *Сэ и Ср* – соответственно, показатели (среднее содержание, запасы руды) полученные по результатам отработки рудного тела и по данным разведки.

Подставляя в функцию *rnorm (M, μ, σ)* среднеарифметическое и среднеквадратическое отклонения *Кд* можно также смоделировать его случайную величину.

Рассматриваемые экономико-математические модели опробированы на мелких флюоритовых месторождениях Бугутуро-Абагайтуйского рудного узла (рис. 1).

Рудные тела месторождения представлены жилами мощностью от 0,3 до 3 м, углы падения крутые, глубина залегания до 300-400 м, рельеф местности мелкосопочный, нагорную часть (40-50 м) предполагалось вскрыть штольнями, нижнюю часть слепыми клетевыми стволами, в отдельных случаях спиральными съездами. Система разработки с магазинированием руды. Переработка руды на передвижных обогатительных установках.

Результаты моделирования представлены в табл. 1, 2 и на рис. 3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Noetstaller R.* Small-scale Mining // World Bank Technical Paper, №75, Industry and Finance Series. Washington. 1987. Vol. 23. p. 74

2. *Анферов В.Е., Московец И.А., Фатьянов А.И., Федоров В.П.* Флюоритовые месторождения Восточного Забайкалья. // В кн. Вещественный состав и обогащение руд и россыпей Восточного Забайкалья. Чита, Поиск, 2001 г.

Коротко об авторах

Глотов Валерий Васильевич – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой, Читинский государственный университет.

Метелева Ольга Викторовна, Маркелова Евгения Викторовна - Читинский государственный университет.