

УДК 622.272

*В.В. Лобанов, Е.В. Целлер, Ю.В. Мищенко,
М.К. Сороченко, А.П. Филатов*

**ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ
ЗАМОРАЖИВАНИЯ МАССИВА ПОДМЕРЗЛОТНОГО
ВОДОНОСНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ПРОХОДКЕ
КЛЕТЕВОГО СТВОЛА РУДНИКА «МИР»**

Семинар № 13

Согласно рабочему проекту на проходку стволов рудника «Мир» спецспособом [1], предусмотрено замораживание пород в пределах подмерзлотного водоносного комплекса. При определении режима и параметров замораживающего комплекса исходили из опыта выполнения аналогичных работ на руднике «Интернациональный», на котором при температуре хладонносителя около -30°C породы водоносного комплекса были в течение примерно 2 лет проморожены до $-15\div-17^{\circ}\text{C}$, сформирован ледогрунтовый цилиндр вокруг ствола, что дало возможность обеспечить проходку в «сухих» условиях.

По проекту способом оценки сомкнутости льдопородных цилиндров вокруг замораживающих скважин является радиоакустическое прозвучивание. В качестве характеристики достаточности промороженности массива на основании лабораторных данных закладывали температуру -25°C . Природные рассолы замерзают при температуре -6°C . В условиях трудностей с доведением мощности замораживающей системы до проектной, которые могли сорвать сроки пуска рудника в эксплуатацию, потребовалось провести более тщательную оценку горно-технических условий проходки клетевого ствола.

Для дополнительной оценки возможности получения существенного защитного эффекта в период активного замораживания проведен аналитический расчет процесса вымораживания единичного объема природного рассола с минерализацией 100 г/л. Для расчета использован справочный материал по температурам замерзания рассолов.

Исследованы две расчетные схемы промораживания единичного объема рассола с минерализацией, близкой к природной:

- *в первой схеме* вымораживание происходит с одновременной концентрацией остаточного рассола;

- *во второй схеме* вымораживание на каждом шаге температурной ступени происходит со сменой остаточного рассола на исходный.

Как представляется, именно в рамках первой схемы обосновывалось изменение волновых характеристик в процессе замораживания пород в проектом методе контроля.

Вторая схема более соответствует реальным процессам замораживания околоствольного массива, что определяется следующими обстоятельствами:

- нерегулярностью расположения профилей скважин в контуре замораживания (расстояния между ними $0,5\div 3,5$ м), что не допускает одномоментное замораживание массива по периметру ствола с оттеснением остаточного рассола внутрь контура замораживания с последующим концентрированием;

- остающиеся непромороженные «окна» приводят к оттоку остаточного рассола за счет плотностной конвекции и создания избыточного давления при образовании льда;

- близко функционирующий карьер, как мощная дрена, обеспечивает отток остаточного рассола из околоствольного массива;

- небольшая площадь контура замораживания может обеспечить достаточно быстрый вынос остаточного рассола во внешнюю среду, даже с учетом протампонируемости околоствольного массива.

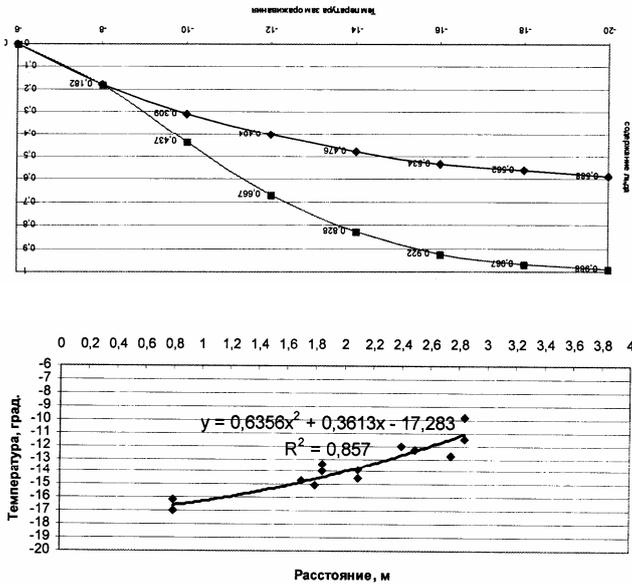


Рис. 1. Количество льда в единичном объеме при замораживании рассолов метегеро-ичерского водоносного комплекса (минерализация -100 г/л). Верхний график - формирование льда в природном рассоле, нижний график - формирование льда в остаточном рассоле

Рис. 2. Зависимость температуры горного массива от расстояния до замораживающих скважин (по данным термометрии по состоянию на 17.12.2003г.)

Результаты аналитического расчета представлены на рис. 1.

Из рис. 1 следует, что в первой схеме вымораживания приближение температуры к -20°C и дальнейшее понижение ее выводит количество льда на асимптоту с содержанием его в единичном объеме в пределах 60%.

Во второй схеме при температуре -20°C рассол выморозился на 99%. Очевидно, что в массиве пород, обладающих более высокой теплопроводностью и содержащих рассолов в единичном объеме примерно на порядок меньше, процесс ускоренного вымораживания вполне реален.

Анализ температурных кривых, полученных на температурных скважинах, расположенных вблизи ствола, показал, что в интервале многолетнемерзлых пород природный лед в массиве является изолятором для распространения холодной волны. Однако, в интервале водоносного комплекса зафиксировано последовательное снижение температуры, как фактор установившейся устойчивой работы замораживающей системы вследствие мероприятий по выводу замораживающей станции на проектный режим работы.

Специальный анализ данных температурных наблюдений заключался в том, что для различных глубин определена серия соотношений расстояний от температурных скважин до ближайших замораживающих колонок и

температур на этих же глубинах. Двумерное «облако» соотношений и корреляционная кривая соответствующая их распределению по состоянию на 17.12.2003 г. представлена на рис. 2.

Анализ верхней расчетной кривой (рис. 1), отвечающей фактическим условиям промораживания массива в интервале водоносного комплекса, показывает, что при температуре -15°C вымораживается почти 90% единичного объема рассолов. В реальном массиве в единице объема содержание рассолов примерно на порядок меньше. Эффективная пористость массива с учетом трещиноватости не превышает 5%, при этом, основная трещиноватость залечена глинистым буровым раствором. Количество остающейся незамороженной воды оценивается величиной, на два по-

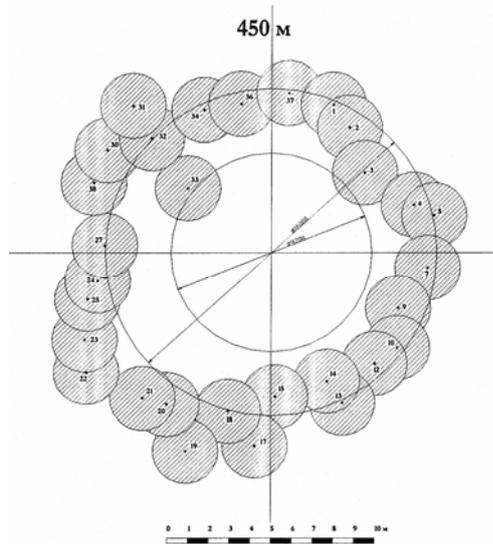


Рис. 3

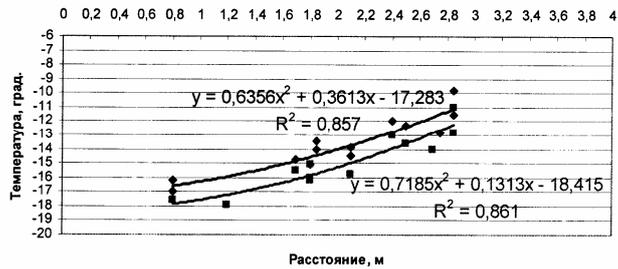


Рис. 4. Зависимость температуры горного массива от расстояния до замораживающих скважин (по данным термометрии по состоянию на 17.12.2003г. и 6.01.2004г.

рядка меньше исходного содержания. Интерпретируя остаточное содержание воды как остаточную пористость массива, можно утверждать, что массив в фильтрационном плане становится при такой температуре непроницаемым (пористость меньше 0,05 %).

Согласно корреляционной зависимости на рис. 2, расстояние от замораживающей колонки, на которой температура массива снизилась до -15°C составляет примерно 1,65 м. На рис. 3 с полученным радиусом отстроен контур замораживания массива на глубине расположения основного коллектора. Внешняя большая окружность соответствует контуру устьев замораживающих скважин, внутренняя окружность - контуру ствола в проходке.

Как видно, контур замораживания сомкнут, что соответствовало фактически наблюдаемому отсутствию водопритоков на этот период.

Проведенное в начале 2004 года обследование клетового ствола глубиной 450 м и данные температурных замеров (температуры за 6.01.2004 г.) позволили существенно уточнить сложившуюся ситуацию вокруг этой выработки. Отмечены наледные процессы на стенках ствола при температурах в околоствольном пространстве с учетом утепляющего действия проветривания забоя выработки не ниже -11°C , что подтвердило обоснованность принятой граничной температуры эффективного промораживания массива -15°C , по которой отстраивался контур промораживания.

По результатам новых температурных замеров построена корреляционная зависимость температур массива от расстояния до замораживающих колонок. Она представлена на рис. 4 совместно с предыдущей зависимостью.

Отметим, что коэффициент корреляции новой зависимости несколько больше, чем у предыдущей.

По этой зависимости определен радиус границы с температурой -15°C , составивший примерно 2,05 м. Исходя из данной величины

радиуса, отстроен контур промороженности массива вокруг клетового ствола на глубине 450 м, представленный на рис. 5.

Контур промораживания массива закономерно увеличился по сравнению с предыдущим шагом (он представлен зеленым цветом).

Приведенные материалы наряду с гидроисследованиями дали основания утверждать о замкнутости льдопородной завесы и выполнении ею защитных функций, зафиксировали нарастание ее толщины по мере продолжения работы замораживающей системы и подтвердили возможность проходки ствола до подошвы водоносного комплекса.

Представленные результаты научнометодического сопровождения работ по проходке клетового ствола сократили период строительства за счет времени активного замораживания. Полученный опыт используется при проходке скипового ствола, что позволяет рассчитывать на ввод рудника «Мир» в экс-

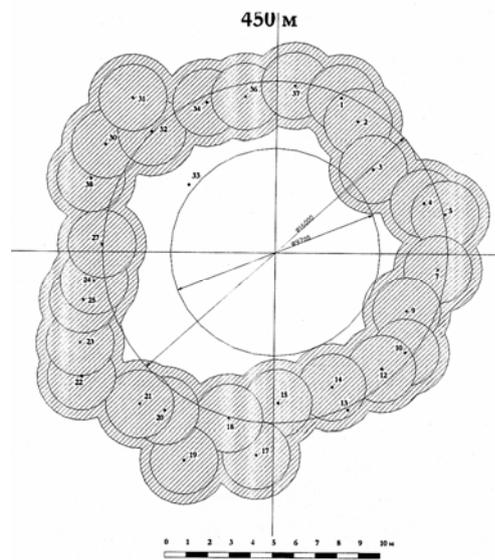


Рис. 5

плуатацию в запланированные АК «АЛРОСА» сроки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пояснительная записка к проекту проходки специальным способом стволов КС и СС рудника «Мир» АК «АЛРОСА». ДГУП «Шахтспецстройпроект», Скумс И.Н., Лежнев А.В., Москва, 2002 г.

Коротко об авторах

Лобанов Виктор Владимирович, Целлер Елена Витальевна, Мищенко Юлия Вадимовна, Сороченко Максим Константинович – институт «Якутнипроалмаз».
Филатов Александр Павлович – кандидат технических наук, АК «АЛРОСА».



© В.В. Виноградова, Т.В. Сидорова,
2005

УДК 622.272

В.В. Виноградова, Т.В. Сидорова

СБАЛАНСИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАК ИНСТРУМЕНТАРИЙ СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ ОАО «ОЛЕНЕГОРСКИЙ ГОК»

Семинар № 13

В данной работе исследована возможность реализации системы Balanced Scorecard (BSC)¹ на ОАО «Оленегорский ГОК» (ОАО «ОЛКОН»), одном из крупных железорудных предприятий северо-запада РФ.

Совершенствование методов и повышение эффективности управления бизнес-процессами на горном предприятии (маркетинг, производство, реализация, система информации, логистика, управление качеством, персонал и т.д.), своевременная оценка эффективности проводимых преобразований с применением современных методов позволяют раскрыть дополнительные конкурентные преимущества и повы-

сить инвестиционную привлекательность компании. Спецификой горнодобывающей отрасли является то, что базовым в бизнес-процессах горного предприятия является процесс воспроизводства минерально-сырьевой базы.

Необходимо отметить, что в такой капиталоемкой отрасли, как горная промышленность, максимизация стоимости компании приобретает особое значение не столько для того, чтобы сделать компанию привлекательной в глазах инвестора, как это происходит на небольших предприятиях, сколько для аккумуляции финансовых ресурсов. Так, горнодобывающее предприятие постоянно нуждается в сырьевой базе для поддержания стабильной производственной мощности. Это требует вовлечения в разработку запасов, ранее не учтенных, позволяющих продлить срок службы предприятия, а

¹Kaplan R.S., Norton D.P. The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action. – Boston (Ma., USA): Harvard Business School Press, 1996

также запасов, становящихся кондиционными при общем росте уровня затрат со временем (сюда относится, например, прирезка запасов на глубинах, ранее считавшихся лежащими за пределом отработки). Нельзя также забывать о том, что исчерпание запасов уже отрабатываемых месторождений требует подготовки новых ресурсов данного полезного ископаемого, что требует, в частности, приобретения лицензии на освоение нового месторождения.

Итоговая динамика использования минеральных ресурсов формируется в результате противостояния двух тенденций: истощения лучшей части запасов и противостоящих ему активных управленческих мер. Экономические (текущие) интересы предприятия диктуют условия, где главной целью является получение прибыли (выборочный порядок отработки запасов, который может, в конечном счете, оказаться неэффективным и привести к необоснованным их потерям), это отражают текущие показатели, такие как прибыль, рентабельность и т.д. Стратегические же цели, такие как воспроизводство минерально-сырьевой базы, продление срока службы предприятия должны быть отражены в иной системе показателей. Для реального управления такой системой одним из главных требований является постоянная увязка стратегических и оперативно-тактических целей горного предприятия.

Разработка новой стратегической системы управления для крупных экономически и социально значимых предприятий, финансовое состояние которых оказывает значительное влияние на экономику региона (как, в частности, ОАО «Оленегорский ГОК») является чрезвычайно актуальной.

Первые модели измерения и оценки результатов деятельности предприятий были разработаны в 1920-е годы и впоследствии использовались во всех странах с рыночной экономикой, были довольно простыми для расчета и строились исключительно из финансовых показателей (например, мультипликативная модель Дюпона). В 1970-90-х годах появились другие концепции оценки стоимости и эффективности работы предприятий, среди которых наиболее популярной в последние годы является Balanced Scorecard (BSC). Наиболее приемлем, по нашему мнению, пере-

вод этого термина как «Сбалансированная система показателей эффективности».

Нами был исследован вопрос о возможности применения системы BSC в условиях ОАО «Оленегорский ГОК». Потенциал (Perspectives) предприятия в сбалансированной системе показателей эффективности представлен четырьмя блоками:

- **Финансовый потенциал**, отражающий эффективность компании с точки зрения отдачи на вложенный капитал (The Financial Perspective);
- **Потенциал потребительских запросов**, оценивающий полезность товаров и услуг компаний с точки зрения конечных потребителей (The Customer Perspective);
- **Потенциал внутренней операционной эффективности**, оценивающий эффективность организации внутрифирменных процессов (The Business Process Perspective);
- **Кадровый потенциал (потенциал инноваций и обучения)**, показывающий способность организации к восприятию новых идей, ее гибкость, ориентацию на постоянные улучшения (The Learning and Growth perspective).

Д. Нортоном и Р.Капланом, авторами концепции, было также отмечено, что базовая система может быть и должна быть изменена, расширена или дополнена новыми составляющими, в зависимости от особенностей предприятия, для которого она разрабатывается. Адаптация модели BSC для горного предприятия выполнена в настоящей работе.

Авторами была разработана базовая система показателей для ОАО «Оленегорский ГОК» по шести потенциалам. Нами выявлено, что на горных предприятиях, имеющих стратегическое значение для национальной экономики или градообразующих (как в частности, ОАО «Оленегорский ГОК»), в систему включаются дополнительные потенциалы – взаимодействие с внешней средой и воспроизводственный потенциал, первый из которых будет отражать региональные особенности и конъюнктуру, а второй – обеспечивать достижение (и отражать степень приближения к нему) стратегической цели – воспроизводства минерально-сырьевой базы.

С целью решения актуальной для предприятия проблемы повышения эффективности управления нами разработаны показатели для ОАО «Оленегорский ГОК» (табл. 1).

По мере того, как изменяется конъюнктура, оперативно-тактические интересы предприятия, происходит корректировка не только целевых значений показателей, возможно и изменение самого их набора.

Внедрение системы BSC поэтапно предпо-

лагает: определение необходимых стратегических направлений (Perspectives); построение причинно-следственных связей между ними (Cause & Effect Linkage); определение наилучших показателей, характеризующих выбранное направление (Measures); определение целевых значений показателей (Targets); разработку планов стратегий, направленных на достижение целевых значений показателей (Initiatives); определение ответственных за достижение

Таблица 1
Применение системы показателей для ОАО «Оленегорский ГОК»

Составляющая (Perspectives)	Показатели, характеризующие составляющие базисный потенциал (Measures)
Финансовый потенциал	1. EVA
	2. Рентабельность (общая рентабельность предприятия, чистая рентабельность предприятия, чистая рентабельность собственного капитала, рентабельность продаж)
	3. Показатели эффективности управления (чистая прибыль на рубль оборота, прибыль от реализации продукции на рубль оборота, общая прибыль на рубль оборота)
	4. Оценка деловой активности (общая капиталоотдача (фондоотдача), оборачиваемость всех оборотных активов, оборачиваемость дебиторской задолженности, оборачиваемость кредиторской задолженности, сроки оборота кредиторской и дебиторской задолженностей)
	5. Оценка рыночной устойчивости (соотношение собственных и заемных средств, обеспеченность запасов и затрат собственными источниками формирования и т.д.)
Потенциал потребительских запросов (виды продукции и каналы сбыта)	1. Доля рынка (%), занимаемая организацией
	2. Увеличение объема продаж у постоянных потребителей
	3. Количество новых потребителей и общий объем продаж, на них приходящийся
	4. Средняя выручка в расчете на одного потребителя
	5. Количество потребителей, которые были удовлетворены качеством продукции (суперконцентрата)
Кадровый потенциал (потенциал инноваций и обучения)	1. Производительность труда персонала
	2. Мотивация (вовлечение работников в работу организации, поддержка со стороны руководства)
	3. Текучесть кадров
	4. Работники, которые по своим квалификационным качествам могут занять ключевые позиции (резерв на замещение вакантной должности)
	5. Информационные технологии (уровень внедрения АСУТП, КИС)
Потенциал внутренней операционной эффективности	1. Сумма выручки (прогноз, %) в результате внедрения нового продукта (диверсификация, безотходность)
	2. Сумма выручки (прогноз, %) в результате привлечения нового потребителя
	3. Качество доставки (сроки, претензии по качеству доставки)
Взаимодействие с внешней средой	1. Взаимоотношения с ОАО «Северсталь» (владелец контрольного пакета акций предприятия, главный потребитель основного вида продукции)
	2. Взаимоотношения с местной, областной администрацией (бюджетообразующее предприятие, гос. регулирование, гос. поддержка и т.д.)
	3. Взаимоотношения с органами федеральной администрации
Воспроизводственный потенциал	1. Повышение качества основного вида товарной продукции (комплексное использование)
	2. Внедрение новых эффективных методов разработки
	3. Включение в разработку забалансовых запасов (доработка)
	4. Подготовка новых месторождений (финансирование геологоразведочных работ и приобретение лицензии на право разработки полезного ископаемого)

Таблица 2
ТЭП и аналитические коэффициенты для ОАО «Оленегорский ГОК»

Показатель	1998	1999	2000	2001
Чистая прибыль, тыс. руб.	-9185	4634	27894	54647
Инвестированный капитал, тыс. руб.	929999	1004053	1059134	1182603
Объем реализации, тыс. т	9749,6	10189	10477	10688,3
Балансовая прибыль, тыс. руб.	-415	49493	112056	137088
Себестоимость, тыс. руб.	499978	779314	1350958	1515721
Плата за пользование кредитными ресурсами, тыс. руб.	2832,6	1050	1602	1398
Кредитные ресурсы, тыс. руб.	9442	3500	84482,86	145772
WACC*, доли ед.	0,00213	0,000732	0,01675	0,028104
EVA, тыс. руб.	-11122,498	3972,5	10705,86	24734,58
Операционный рычаг (ОР)	0	10,44757	8,233658	7,633933
Финансовый рычаг (ФР)	0,128	1,0217	1,014504	1,010303
Стоимостной рычаг (СР)	0,2111	0,2805	0,6843	0,5659
Рычаг по EVA (P _{EVA})	0	2,930134	5,715976	4,364244

*т.к. ОАО «Оленегорский ГОК» не выплачивает дивиденды по акциям (стоимость собственных источников равна 0), при расчете WACC учитывалась только стоимость заемных средств: $WACC = \frac{K}{IC} (1 - H) K_p$, где

H – налог на прибыль, K – привлеченные заемные средства, K_p – ставка % по кредиту.

целевых значений показателей и оценку имеющихся в их распоряжении ресурсов.

Для взаимоувязки стратегических и оперативно-тактических целей требуется **конечный ориентир, т.е. базовый показатель, по которому измеряется успешность реализации стратегии и эффективность функционирования предприятия.** По нашему мнению, таким показателем в структуре BSC может стать экономическая добавленная стоимость (Economic Value Added, EVA).

Концепции BSC и EVA возникли почти одновременно и сегодня признаны одними из самых популярных концепций в мире бизнес-процессов. BSC и EVA одинаково хорошо совместимы с процессами планирования и бюджетирования, могут применяться как на корпоративном уровне, так и на уровне структурных подразделений.

На практике эффективность комбинирования BSC и EVA тоже подтверждена: эти инструменты используют вместе с конца 90-х гг. такие компании как AT&T Canada² и Boots Pls в Великобритании.

Преимущество BSC состоит в ее целостности и системности, EVA имеет другое преимущество – точность и количественное выражение.

Показатель EVA рассчитывается как:

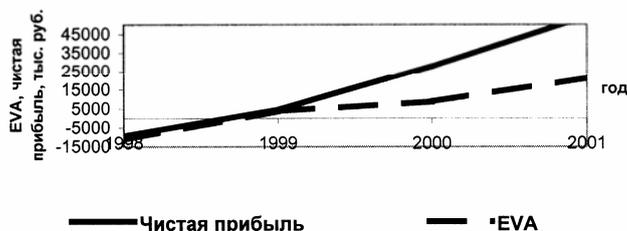
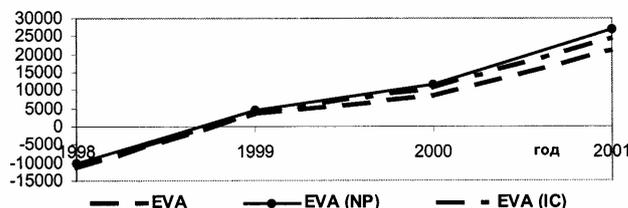


Рис. 1. Динамика EVA и чистой прибыли по ОАО «Оленегорский ГОК»

Рис. 2. Чувствительность EVA к изменению чистой прибыли и инвестированного капитала для ОАО «Оленегорский ГОК»





	1999	2000	2001	
Плата за пользование кредитными ресурсами, тыс. руб.	10105,44	18802,53	1602	2904,6
Кредитные ресурсы, тыс. руб.	27312	69639	74328	14523
WACC*, доли ед.	0.00235	0.00298	0.00558	0.00098
EVA, тыс. руб.	232982.232	641254.23	374139.1	342715.43
Операционный рычаг (OP)	1,88178	1,500159	2,461672	5,251548
Финансовый рычаг (ФР)	1,030613	1,020525	1,002897	1,006431
Стоимостной рычаг (СР)	0,2700	0,2433	0,2476	0,2401
Рычаг по EVA (P _{EVA})	0,52364	0,372438	0,611217	1,26908

Плата за пользование кредитными ресурсами,

тыс. руб.

Кредитные ресурсы, тыс. руб.

WACC*, доли ед.

EVA, тыс. руб.

Операционный рычаг (OP)

Финансовый рычаг (ФР)

Стоимостной рычаг (СР)

Рычаг по EVA (P_{EVA})

*Расчет WACC выполнен аналогично, т.к. ОАО «Михайловский ГОК» также не выплачивает дивиденды ни по привилегированным, ни по обыкновенным акциям

$$EVA = NP - WACC \cdot IC, \quad (1)$$

где NP – чистая прибыль, IC – инвестированный в предприятие капитал, WACC – средне-взвешенная цена капитала.

Концепция EVA позволяет количественно оценить отдачу от вложенного капитала в конкретной «точке инвестирования», количественно характеризуя процесс создания добавочной стоимости. Показатель EVA отражает оценку эффективности деятельности предприятия через определение того, насколько возросла его рыночная стоимость, а для горного предприятия EVA является одним из источников капитала (таких как уставный капитал, добавочный капитал, резервный капитал). По сути своей EVA – аналог рентного капитала – накопленных средств, которые впоследствии могут быть использованы для достижения стратегической цели воспроизводства минерально-сырьевой базы (приобретения лицензии).

Нами было произведено исследование чувствительности EVA по чистой прибыли и выявлены закономерности в их изменении для ОАО «Оленегорский ГОК», один из вариантов динамики EVA и чистой прибыли представлен на графике.

В табл. 2 представлены показатели, характеризующие деятельность ОАО «Оленегорский ГОК» за ряд лет.

Особый интерес представляет решение за-

дачи прогнозирования финансовых показателей деятельности горного предприятия. Количественно взаимосвязь между показателями, указывающая на возможность на возможности воздействия на изменение показателей в нужном направлении, устанавливается с использованием показателей эластичности (рычага).

Экономический смысл операционного рычага в том, что он показывает степень чувствительности прибыли к изменению объема реализации:

$$OP = \frac{\frac{\Delta \Pi}{\Pi}}{\frac{\Delta Q}{Q}} = \frac{P - VC}{\Pi},$$

где Π – прибыль от реализации продукции, Q – объем производства, P – выручка от реализации, VC – переменные затраты.

Финансовый рычаг используется как показатель финансового риска.

$$FR = \frac{\frac{\Delta ЧП}{ЧП}}{\frac{\Delta \Pi}{\Pi}} = \frac{\Pi}{\Pi - Kp},$$

где ЧП – чистая прибыль, Kp – плата за пользование кредитными ресурсами.

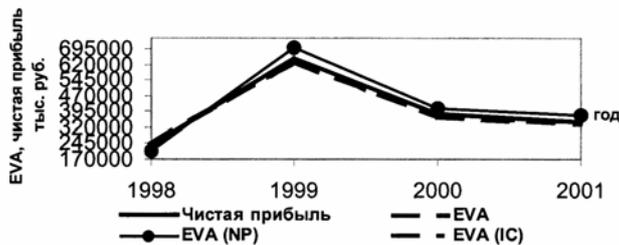
Стоимостной рычаг, как показали исследования, отражает закономерность изменения EVA в зависимости от изменения чистой прибыли:

² данные компании AT&T Canada, Balanced Scorecard Collaborative)

$$CP = \frac{\Delta EVA / EVA}{\Delta ЧП / ЧП}$$

где EVA – экономическая добавленная стоимость.

Таким образом, используя все три рычага, получим P_{EVA} – показатель, отражающий степень чувствительности EVA к изменению объема производства:



$$OP \cdot \Phi P \cdot CP = \frac{\Delta EVA / EVA}{\Delta Q / Q} = P_{EVA}$$

Допустим, что $P_{EVA} = 3$, тогда изменение объема производства на 1% приводит к росту EVA на 3%. Но может возникнуть и ситуация, когда например, $OP = 1,2$, $\Phi P = 1,2$, $CP = 0,6$, в этом случае значение $P_{EVA} = 0,864$ (меньше 1), и в этом случае даже 20% рост объема производства приведет лишь к 17,2% росту эконо-

Рис. 3. Динамика EVA и чистой прибыли по ОАО «Михайловский ГОК»

Рис. 4. Чувствительность EVA к изменению чистой прибыли и инвестированного капитала для ОАО «Михайловский ГОК»

мической добавленной стоимости или росту рыночной стоимости предприятия.

В работе были выполнены аналогичные расчеты и для ОАО «Михайловский ГОК» - железорудного предприятия района КМА, финансовое состояние которого на данный момент стабильно (табл. 3).

Заметно, что с точки зрения EVA, отражающей стратегические цели предприятия, деятельность ОАО «Михайловский ГОК» не столь эффективна, как об этом говорят текущие показатели прибыли, рентабельности и т.д.

Вопрос практической реализации BSC приводит к необходимости эффективной организации анализа и сбора данных. Это можно сделать при помощи корпоративных информационных систем. Существует специализированное программное обеспечение в составе корпоративных информационных систем, сертифицированное Balanced Scorecard Collaborative, поддерживающее технологию BSC, на практике же система может быть реализована даже с помощью MS EXCEL.

Коротко об авторах

Виноградова В.В., Сидорова Т.В. – Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова (технический университет).



© Г.А. Катков, 2005

УДК 622.272.831

Г.А. Катков

ХАРАКТЕР ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЛЬДОПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В КРИОЛИТОЗОНЕ

Значительная часть месторождений полезных ископаемых сосредоточена в северных и северо-восточных регионах России. Технология разработки этих месторождений базируется на использовании специфических условий залегания горных пород и климатических особенностях криолитозоны. С геомеханических позиций эффективным является применение в качестве несущих конструкций (целиков, закладки) льдопородных массивов, обладающих длительной прочностью.

Исследования по определению прочностных свойств льдопородных массивов показали, что криогенная текстура их характеризуется формой, величиной и расположением ледяных включений в мерзлых породах.

Степень льдистости горного массива определяется соотношением объемов льда и породы. При объеме льда более 40 % от общего объема массива, последний считается сильнольдыстым. Размеры ледяных прослоек в мерзлых породах изменяются в довольно широком диапазоне. При толщине ледяных прослоек менее 0,5 м лед рассматривается как включение и является текстурообразующим. При значительных размерах прослоек льда (линзах, пластах) массив рассматривается как льдопородный.

При проектировании криогенных конструкций наиболее важными являются такие свойства льдопородного массива, как упругость, пластичность и вязкость. Эти показатели характеризуют деформирование элементов конструкции с учетом величины и времени их нагружения.

Одной из наиболее важных характеристик льдопородного массива является прочность на сжатие (растяжение). От этих показателей зависит сопротивление материала разрушению и развитию значительных пластических деформаций, приводящих к потере устойчивости всей конструкции. Следует заметить, что в этом процессе большую роль играют прочностные характеристики льда и их изменения в зависимости от скорости нагружения и скорости деформации (рис. 1). Как видно из рисунка, прочность льда на одноосное сжатие резко падает при увеличении скорости нагружения и деформации.

При оценке устойчивости криогенных конструкций необходимо учитывать и такой показатель материала, как сопротивление сдвигу. Исследования показали, что для льда и льдопородного массива возможно применение теории Кулона. В этом случае коэффициент сдвига определяется по значениям сопротивления материала сжатию и растяжению:

$$K_c = \frac{(R_{сж} - R_p)}{2\sqrt{R_{сж} R_p}}$$

Уравнение сдвига позволяет построить паспорта прочности материала и определить разрушающие напряжения.

Для описания процессов деформирования льдопородных массивов во времени могут быть применены различные теории нелинейного течения твердых тел [1-3]. Специфические особенности льда и льдопородного массива не позволяют в полной мере применять к ним общие законы деформирования горных пород во времени. Поэтому рассмотрение вопросов реологии этих материалов основывается на некоторых гипотезах и данных

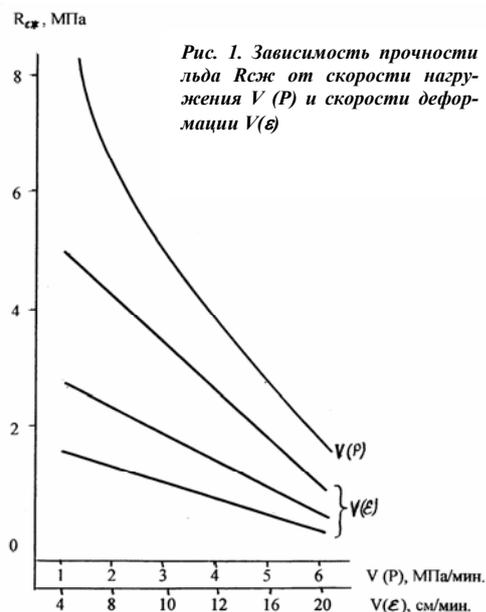


Рис. 2. Кривые ползучести льдопородного массива ($L = 0,4$; $T = -3 \text{ }^\circ\text{C}$)

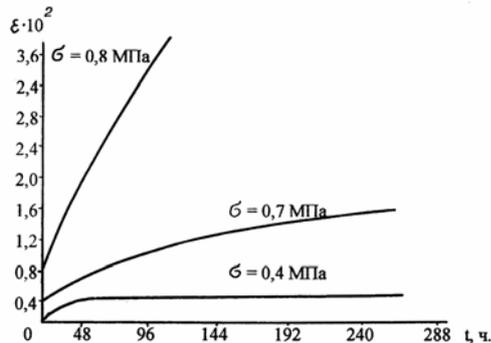
экспериментальных исследований

При построении уравнения состояния любого реального тела исходят из двух основных зависимостей: деформации от времени при постоянном напряжении и напряжения от времени при постоянной деформации. В первом случае рассматривается явление ползучести материала, а во втором рассматривается явление релаксации.

Развитие деформаций льдопородного массива включает несколько стадий: стадию первичной, неустановившейся ползучести; стадию вторичной, условно установившейся ползучести с минимальной скоростью течения и стадию ползучести с постоянной наибольшей скоростью течения. Ползучесть льдопородного массива во многом зависит от показателя льдистости L (соотношения твердых породных включений и льда) и величины нагрузки (напряжения σ). На рис. 2 приведены кривые ползучести льдопородного массива при температуре $-3 \text{ }^\circ\text{C}$, льдистости $L = 0,4$ и нагрузках от $0,4$ до $0,8$ МПа.

Характерной особенностью льда и льдопородных сред является практически линейная зависимость между приращениями деформаций и приращениями напряжений в любой момент времени, что указывает на проявление линейной ползучести.

Изложенные положения о деформировании сплошных сред в большей степени справедливы для льда и льдопесчаных массивов. При наличии в массиве достаточно крупных породных включений возможно рассмотрение его деформирования как дискретной среды с различными условиями связи твердых породных включений и льда. В этом случае к дискретным телам применимы лишь



уравнения равновесия и не применимы уравнения совместности деформаций.

Важным этапом в оценке несущей способности криогенных конструкций является рассмотрение характера их разрушения. Хрупкое поведение материала связано с его существенно упругой реакцией, когда деформация хрупкого образца однородна вплоть до момента разрушения.

Характер реакции материала на внешнюю нагрузку во многом определяется температурой и скоростью нагружения. При изменении этих параметров может происходить постепенный переход из одного типа разрушения в другой (например, хрупко-вязкий).

При использовании льдопородного массива в качестве охранных сооружений (междукамерных и барьерных целиков, закладки выработанного пространства) при подземной разработке месторождений полезных ископаемых в условиях многолетней мерзлоты необходимо учитывать физико-механические свойства и характер деформирования массива, сложенного из двух компонентов – льда и горной породы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Общее мерзлотоведение (геокриология), под редакцией В.А. Кудрявцева, – М.: изд-во МГУ, 1978.
2. Вялов С.С., Докучаев В.В., Шейнкман Д.Р. Подземные льды и сильнольдистые грунты как основания сооружений. Л.; Стройиздат, 1976.

3. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. – М.: Высшая школа, 1973.

Коротко об авторах

Катков Геннадий Алексеевич – профессор, доктор технических наук, Московский государственный открытый университет.



© И.Г. Ивановский, В.Н. Макишин,
2005

УДК 622.445

И.Г. Ивановский, В.Н. Макишин

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ПРОВЕТРИВАНИЯ
ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Семинар № 13

Улучшение условий проветривания горных предприятий является одной из важных задач горного производства. Решение этой задачи может быть осуществлено на основе обобщения опыта работы систем проветривания и получения аналитических зависимостей, позволяющих установить рациональные параметры этих систем.

Сотрудниками кафедры Разработки месторождений полезных ископаемых Горного института ДВГУ в течение 10 лет проводились исследования систем проветривания на полиметаллических рудниках Николаевском, Втором Советском, Приморском, Верхнем и Садовом ОАО ГМК (Горно-металлургический комплекс) "Дальполиметалл" и вольфрамово-медном Восточном ОАО "Приморский ГОК" в Приморском крае. Работы на каждом руднике выполнялись в различные времена года, что позволило провести анализ эффективности работы главных вентиляционных установок рудников в условиях летних и зимних

температур, близких к максимальным для климатических условий рудоносных районов.

Приборные воздушно-депресссионные съемки осуществлялись в соответствии с методическими указаниями, утвержденными Госгортехнадзором [1-3].

Анализ существующего распределения поступающего в рудники воздуха проводился с учетом расположения технологических камер, поддерживаемых выработок, подготовительных и очистных забоев в пределах шахтных полей. Оценивалась эффективность распределения свежего воздуха с помощью существующих на рудниках вентиляционных устройств (шлюзов, дверей, перемычек и другого). По результатам анализа были получены графики фактической обеспеченности рудников свежим воздухом в зависимости от их годовой производительности (позиция 1 на рис.1, а, б, в).

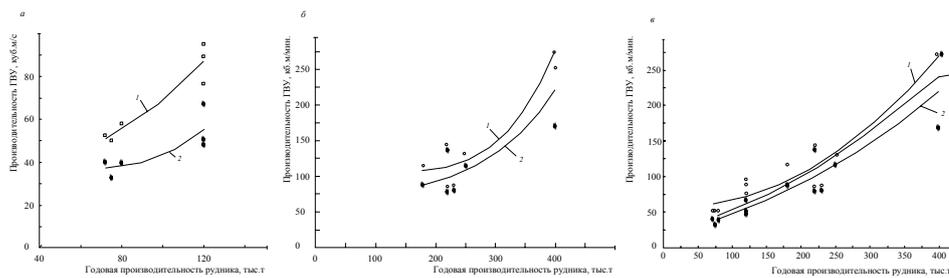


Рис. 1. Графики зависимости производительности главных вентиляционных установок от годовой производительности рудников в Приморском крае: а – рудники, не использующие при добыче руды самоходного оборудования; б – рудники, использующие в подземных выработках ПДМ; в – обобщенные данные по рудникам; 1-3 – графики, полученные: 1 – по фактическим данным; 2 – по теоретическим данным; 3 – по эмпирической формуле

- - данные теоретических расчетов
- о - фактические данные

На основе имеющихся данных о транспортной и вентиляционной системах рудников, распределении забоев в пределах шахтных полей, расходе ВВ при ведении подго-товительных и очистных работ была определена теоретическая потребность горных предприятий в свежем воздухе. Графики расчетной обеспеченности свежим воздухом выработок в зависимости от годовой производительности рудников приведены на рис. 1, а, б, в, позиция 2.

В результате выполненных исследований было установлено, что фактическая обеспеченность рудников Приморского края свежим воздухом составляла от 104,5 до 132,5 % от потребности. При этом большие значения резерва свежего воздуха имели рудники с короткими транспортными и воздухоподающими выработками (штольнями) и не использующие в подземных выработках самоходного оборудования.

На основе имеющихся фактических и расчетных данных была получена эмпирическая формула, позволяющая оперативно определить необходимое количество воздуха для ведения горных работ для рудников Приморского края с производительностью 75-400 тыс. т руды в год:

$$Q = 24,5 + 0,027 \cdot A^{1,5}, \text{ м}^3/\text{мин.},$$

где A - годовая производительность рудника, тыс. т.

График функции, построенный по этой формуле, приведен на рис. 1, в, позиция 3. Как видно из рисунка, эмпирические данные находятся в области между графиков, полученных

при обработке теоретических и фактических данных. Коэффициент корреляции относительно теоретических расчетов составил от 2 до 15 %, что позволяет сделать вывод о достаточной достоверности полученных результатов.

Анализ результатов депрессионных съемок, выполненных на рудниках Приморского края, позволил установить зависимость полного напора, создаваемого главной вентиляционной установкой при работе на шахтную сеть, от годовой производительности предприятия (рис. 2, позиция 1).

На основании практических данных была получена эмпирическая формула, позволяющая определить полный напор, создаваемый главным вентилятором, для рудников с производительностью до 400 тыс. т руды в год:

$$H = 900 + 0,27 \cdot A^{1,5}, \text{ Па.}$$

Зная годовую производительность предприятия, можно определить необходимую производительность и напор главного вентилятора. Это позволит выбрать режим работы главной вентиляционной установки горного предприятия, близкий к оптимальному, что позволит существенно снизить затраты на проветривание горных выработок.

Существенное влияние на обеспеченность горных предприятий свежим воздухом и экономическую эффективность работы вентиляционной установки оказывает месторасположение и герметичность вентиляционных устройств (шлюзов, дверей, перемычек и т.д.).

Выполненные замеры и последующий анализ распределения свежего воздуха по подземным выработкам показали, что потери воздуха непосредственно в вентиляционных установках рудников Приморского края изменяются от 1,7 до 10,8 м³/с, что составляет от 1,8 до 7,7 % от производительности ГВУ. Величина утечек во многом определяется герметичностью здания главного вентилятора, а также в значительной степени сопротивлением воздухоподающей штольни. Чем больше длина воздухоподающей

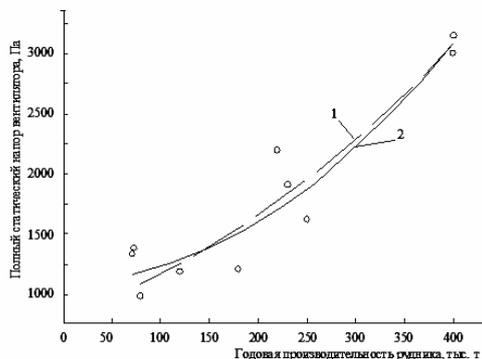


Рис. 2. Графики зависимости необходимого напора главного вентилятора от годовой производительности рудников: 1 – по эмпирической формуле; 2 – по фактическим данным

транспортной выработки, тем больше ее аэродинамическое сопротивление и тем больше будет величина утечек на ГВУ. Так, воздухоподающие капитальные штольни имеют следующие технологические параметры: на руднике Восточный – длина 3500 м, сечение 12,5 м²; Второй Советский – 1000 м и 12,5 м²; Приморский – 500 м и 7,5 м²; Садовый – 500 м и 11,2 м²; Верхний – 500 м и 13,5 м² соответственно. Установлено, что наибольшие утечки на ГВУ имеет рудник Восточный – 7,7 % от производительности главного вентилятора. На рудниках Верхний, Второй Советский Садовый и Приморский доля этого вида потерь свежего воздуха изменяется в среднем по предприятиям от 3,0 до 4,9 %. На руднике Николаевский применен всасывающий способ проветривания. В этих условиях утечки свежего воздуха на ГВУ не зависят от аэродинамического сопротивления шахтной сети и являются минимальными – 1,8-2,6 % от производительности главного вентилятора.

Другими источниками потерь являются утечки свежего воздуха через вентиляционные сооружения на устьях транспортных и вспомога-

тельных выработок, через отработанные очистные камеры и блоки. Было установлено, что на рудниках Приморского края величины сверхнормативных утечек составляют в среднем от 6,5 до 16,0 % от величины количества воздуха, поступающего в рудник. Уменьшить эти потери возможно путем рационального размещения вентиляционных устройств и повышения их герметичности. Кроме того, в связи с постоянным перемещением горных работ, требуется производить изоляцию отработанных камер и производить перераспределение воздуха в целом по руднику.

Известно, что на большинстве горнодобывающих предприятий расходы на проветривание составляют около 5 % от затрат на добычу полезных ископаемых [4]. При этом большая часть этих затрат приходится на электроэнергию. Было установлено, что при сохранении на длительный период времени режимов работы главных вентиляторов рудников постоянными и при отсутствии управления в распределении свежего воздуха по подземным выработкам перерасход электроэнергии составил бы от 4,5 до 24,2 % или 1,1-3,45 кВт·ч на одну тонну добытой руды. Это приводит к увеличению себестоимости добычи руды на 0,5-1,5 %. Поэтому исследование вентиляционных систем горных предприятий имеет большое практическое значение, а внедрение результатов исследований позволяет существенно снизить энергоёмкость горного производства и уменьшить эксплуатационные затраты на добычу руды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Ф.А., Милетич А.Ф., Эстрейманн В.З. Инструментальные средства и методы депрессионных съемок шахт. - М.: Недра, 1974.
2. Временная инструкция по расчету количества воздуха, необходимого для проветривания рудных шахт. - М.: Минцветмет СССР, 1983.
3. Методические указания (пособие) по производству воздушно-депрессионных съемок и обработки их

результатов на рудниках цветной металлургии СССР. - Свердловск: 1980.

4. Ивановский И.Г. Проектирование проветривания и калориферных установок шахт. Учебное пособие. (Гриф Минобразования РФ) – Владивосток: изд-во ДВГУ, 2000. – 107

Коротко об авторах

Ивановский И.Г., Макишин В.Н. – Горный институт Дальневосточный государственный технический университет (ДВПИ им. В.В. Куйбышева).

© Н.Г. Валиев, А.Н. Хайдарш
2005

Н.Г. Валиев, А.Н. Хайдаршин

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ ОСНОВАНИЯ ШТАБЕЛЯ ПРИ КУЧНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ

Семинар № 13

Основание штабеля (кучи) для выщелачивания должно обеспечить эффективный сбор продуктивного раствора и полную гидроизоляцию от окружающих пород. Наиболее ответственной частью в экологическом аспекте является создание водонепроницаемого основания. В настоящее время нет специальных нормативных материалов для КВ, поэтому при сооружении гидроизоляции порядок и правила строительства основаны на требованиях СНиП 2.01.28-85 и СН 551-82. Согласно этим требованиям в случае присутствия в растворах токсичных веществ в количестве, превышающем ПДК, противофильтрационный экран должен быть комбинированным или двухслойным. На рис. 1. приводятся типовые конструкции экранов накопителей токсичных растворов.

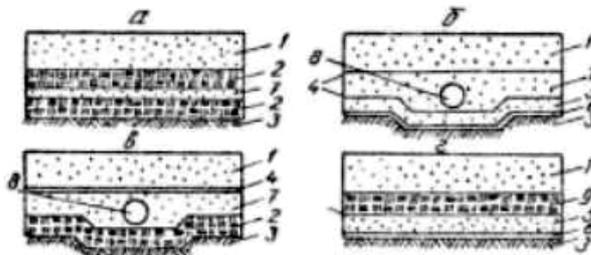
Двухслойный экран представляет собой два непрерывных слоя из малопроницаемого материала (уплотненного глинистого грунта, полимерной пленки), разделенных дренажным слоем из сильно проницаемого грунта (песка, гравийно-песчаной смеси). Сверху укладывают защитный слой из местного грунта. Профильтовавшаяся через верхний слой жидкость перехватывается дренажом и отводится к насосной станции, перекачивающей ее обратно в накопитель. В этих условиях снижается напор, действующий на нижний малопроницаемый

слой (градиент снижается до величины, близкой к единице), следовательно, резко уменьшаются фильтрационные утечки. Толщина слоев из малопроницаемого грунта 50-60 см, а дренажного слоя 30-40 см.

Комбинированный экран представляет собой слой из полиэтиленовой пленки или асфальтобетона (асфальтополимербетона), покрытый сверху слоем из малопроницаемого глинистого грунта. Сверху укладывается защитный слой из местного фунта. В комбинированном экране обеспечивается совместная работа полимерной пленки или слоя из асфальтобетона с глинистым слоем, что обеспечивает эффективность и надежность работы экрана на весь срок его службы. Экран этого типа даже в случае проколов пленки или образования трещин в слое из асфальтобетонного покрытия сохраняет свою эффективность и может рассматриваться практически как непроницаемый.

Глинистые грунты (суглинки, глины), предназначенные для устройства экрана, должны удовлетворять требованиям СНиП П-53-73 и обладать надлежащей стойкостью против агрессивного действия производственного раствора. Коэффициент фильтрации глинистого грунта может существенно измениться в результате физических, химических и физико-химических процессов, происходящих при долговременной фильтрации через него рас-

Рис. 1. Конструкции экранов накопителей токсичных растворов: а - двухслойный глинистый экран; б - двухслойный пленочный экран; в - двухслойный глинисто-пленочный экран; г - комбинированный экран; 1 - защитный грунтовый слой, 2 - уплотненный слой глинистого грунта; 3 - грунт основания; 4 - полимерная пленка; 5 - подстилающий слой; 6 - слой грунта основания, обработанный гербицидами; 7 - дренажный слой; 8 - дренажная труба; 9 - слой глинистого грунта



твор. Степень его изменения зависит от свойств грунта, состава и свойств фильтрующей жидкости и др.

Значение коэффициента фильтрации глинистого материала экрана должно быть не выше $1 \cdot 10^{-7}$ см/с ($1 \cdot 10^{-4}$ м/сут). Грунты должны поддаваться разработке и уплотнению строительными механизмами. В ряде случаев уплотнение грунта до $\rho_{\text{сух}} = 1,55 \div 1,70$ г/см³ обеспечивает требуемые противofильтрационные качества. Толщину грушевого экрана рекомендуется принимать в пределах до 0,60-0,75 м.

Конструкция одноразового водонепроницаемого основания предусматривает следующие виды работ:

- снятие растительного слоя и планирование участка под углом $2 \div 7^\circ$ в направлении сборников растворов;
- обработку участка гербицидами для исключения появления растительности;
- укладывание слоя глины с коэффициентом фильтрации менее 10^{-4} м/сут;
- обвалование участка этой же глиной на высоту 0,85-1,0 м (вместо обваловки возможно ограживание бетонной перемычкой);
- участок и обваловка закрываются пленочным покрытием толщиной 0,5 мм;
- на пленку отсыпается вручную слой песка толщиной 150 мм;
- на песок насыпается защитно-дренажный слой из песчано-гравийного материала (крупность частиц более 0,5 мм без глинистых фракций) толщиной 700 мм;
- на расстоянии 3-5 м от основания проходится водосборная канава (траншея) для отвода ливневых вод.

В ряде случаев ниже основания сооружается контрольный гравийно-песчаный слой толщиной 150-300 мм, который служит для индикации протечек основания, или укладывается дренажная труба.

Часть основания ниже полиэтиленовой пленки называют подстилающим слоем. По правилам устройства противofильтрационных систем с использованием пленочных элементов формирование подстилающего слоя должно опережать работы по укладке и сварке в полевых условиях рулонов (полотнищ) полиэтиленовой пленки не более чем на двухсменный объем этих работ.

Подготовленная поверхность подстилающего слоя должна быть очищена от предметов и включений, способных повредить пленочный экран. После подготовки подстилающего слоя проезд по нему автотранспорта и механизмов запрещается.

Строительство пленочного противofильтрационного устройства целесообразно проводить по схеме, предусматривающей предварительное соединение рулонов пленки в укрупненные (до 6-9 м шириной) полотнища в специально приспособленном помещении.

Пленка, доставленная к месту укладки а рулонах или полотнищах, свободно, без напряжения укладывается на подстилающем слое. Их настилка разрешается при скорости ветра, не превышающей 5 м/с. Необходимо одновременно с укладкой производить пригрузку полотнищ. На гребне контурных дамб края пленки заводятся в траншею глубиной 0,3 м, шириной 0,7 м и засыпаются глиной. Надпленочный защитный слой формируется с опережением дренажного слоя.

Для площадок многоразового применения предложены следующие типы оснований:

- на спланированный участок укладывается слой бетонных плит (толщиной 0.1-0.2 м), покрываемых слоем кислотоустойчивого битумного асфальта (толщиной 0.1-0.2 м), поверх укладывается подушка из песчано-галечной смеси, в которой размещают дренажные трубы;
- на руднике «Блюберд» (США) на поверхности предварительно спланированной площадки укладывается слой бетона толщиной 0,1 м, на бетон укладываются пластиковые дренажные трубы с перфорацией и засыпаются буферным слоем гравия;
- на предприятиях штата Аризона (США) на очищенную площадку отсыпается слой песка толщиной 0.25 м, который покрывают полиэтиленовой пленкой, поверх пленки отсыпается еще один слой песка толщиной 0,3 м и укладываются асбоцементные трубы с перфорированной поверхностью (диаметр отверстий 13 мм) для сбора продуктивных растворов, трубы сверху закрываются деревянными щитами;
- на руднике «Агнью-Лейк» (Канада) площадку покрывают полиэтиленовой пленкой, поверх которой отсыпается слой песка и гравия толщиной 0.45 м.

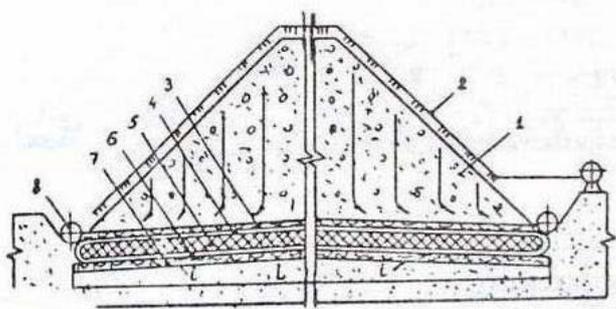


Рис. 2. Схема расположения многослойного основания при кучном выщелачивании: 1 – штабель руды; 2 – система орошения; 3, 7 – геотекстильный материал; 4, 6 – гидроизолирующий слой; 5 – герметик; 8 – коллектор сбора раствора

Нашло применение асфальтовое основание, иногда двухслойное (фирма «Голд Филдс Майнин») два слоя асфальта (180 мм) с резиновой прокладкой посредине или один слой гидравлического асфальта (51 мм).

Надежность конструкции оснований из глины, полиэтиленовой пленки, песчано-гравийного материала, несмотря на имеющийся опыт эксплуатации, вызывает сомнения у природоохранных организаций. Имеется большая вероятность появления трещин, разрывов, отверстий появляющихся от механических и температурных воздействий, неравномерной сжимаемости и осадки основания при формировании штабеля. Предложена конструкция гидроизолирующего основания, включающая слои синтетических волокнистых полимеров. Достоинства синтетических волокнистых полимеров - высокая степень деформации на растяжение, контактное взаимодействие, сжатие.

В комбинированных экранах широко используется геомембрана.

Основной частью всех изготовленных в промышленности геомембран являются полимеры. Они могут быть классифицированы на термопластики (например, поливинилхлорид), кристаллические термопластики (высокоплотный полиэтилен), термопластичные эластомеры (гипалон) и эластомеры (бутиловая резина). Для усиления геомембран используют тканые материалы, называемые «скрим».

Геомембраны устойчивы по отношению к цианидам, что повышает их долговечность. Первым материалом для экранов были поливинилхлориды (ПВХ) с толщиной 0.5-1 мм; они соединяются сваркой в растворителе. Их недостаток - низкое сопротивление ультрафиолетовому воздействию, поэтому их используют только в местах, где они надежно защищены. По последним сведениям, ПВХ как противотрансционный экран успешно конкурируют

с высокоплотным полиэтиленом. В последующем стали использовать хлорсульфинированный полиэтилен (гипалон), содержащий для увеличения сопротивления на разрыв специальную ткань. Гипалон более устойчив к ультрафиолетовому излучению. Полосы этого материала толщиной 1 мм соединяют сваркой в растворителе. Широкое распространение в КВ золота в последние годы получил высокоплотный полиэтилен (ВПП). Толщина полос – 0,5-2,5 мм. Они соединяются горячей экструзией. ВПП устойчив к ультрафиолетовому излучению, не требует упрочняющей спецткани. Кроме листовых и мембранных экранов доступны напыляемые синтетические материалы. Они состоят из тканевой основы, на которую наносится до заданной толщины нефтепроизводный материал. Получается пленка толщиной до 25 мм. Товарное название этих покрытий – «Шеврон индустриал мембрана» и «Эйрли Ойл Компани». Также в качестве экранов применяют асфальт и гидроасфальтобетон, особенно для площадок повторного использования. Они хорошо выдерживают нагрузку от строительных механизмов. Хотя первоначальные затраты здесь велики, стоимость в расчете на 1 т руды будет ниже, чем при других геомембранных покрытиях на площадках постоянного использования.

Гидронепроницаемое основание является одной из главных частей штабеля и предназначено для предотвращения потерь рабочих и продуктивных растворов и обеспечения мероприятий по охране окружающей среды от загрязнения. В настоящее время систематизированы типы площадок КВ и оснований, применяемых на зарубежных геотехнологических предприятиях. Основанием для площадок КВ служит слой гравия, дробленой руды, смеси глин и шламовой фракции хвостов ЗИФ, бентонитовых глин и других материалов. Площадка с целью обеспечения стока растворов планируется так, что ее основание наклонено в направлении сборников под углом 2-7°. Мощ-

ность слоя основания от 100-450 до 600 мм. На основание укладывается гидронепроницаемое покрытие.

Основными элементами площадки, определяющими в конечном итоге затраты на строительство, экологическую безопасность реализации проекта и эффективность сбора продуктивных растворов, является гидроизолирующий и дренажный слой.

При выборе конструкции и материалов для гидроизолирующего слоя учитывают его устойчивость к действию выщелачивающих растворов, а также к статической нагрузке, создаваемой штабелем, и к локальным динамическим нагрузкам от оборудования при отсыпке и формировании штабеля.

При укладке гидроизолирующего слоя из глинистого материала обязательно проводится контроль его влажности и плотности, а после укладки - водопроницаемости (определение коэффициента фильтрации методом налива).

Увеличение водопроводимости глиняного слоя гидроизолирующего основания в процессе эксплуатации связано с его разрушением, основными причинами которого являются:

1. Неравномерная усадка основания площадки, вызывающая локализованное растрескивание глинистого слоя.

2. Уменьшение влажности глиняного слоя, приводящее к образованию микротрещин.

3. Увеличение коэффициента фильтрации слоя из-за химических реакций между глинистыми минералами и выщелачивающим раствором.

Первый тип разрушения (неравномерная усадка) может быть уменьшен тщательной планировкой и уплотнением основания под штабель. Глины обладают высокой пластичностью в случае уплотнения при оптимальной влажности и могут сопротивляться напряжениям, возникающим при усадке. Однако большие напряжения при усадке и растяжении приводят к образованию трещин.

Образование трещин при высушивании глиняного слоя может быть предотвращено путем поддержания его оптимального влагосодержания при уплотнении. При коротком промежутке времени между сооружением гидроизолирующего слоя и отсыпкой штабеля поверхность глины может регулярно опрыскиваться водой. В случае длительного промежут-

ка времени наилучшим способом является засыпка поверхности глины слоем песка или руды толщиной не менее 20 см.

Возможность разрушения гидроизолирующего слоя из-за химического взаимодействия с выщелачивающим раствором обычно определяется на стадии лабораторных испытаний по определению пригодности глин для сооружения гидроизолирующего слоя.

Для его предотвращения необходимо строго придерживаться рекомендаций по применению глинистых материалов для сооружения гидроизолирующего основания, установленных в результате специальных лабораторных испытаний.

На основании вышеописанного основание штабеля рекомендуется выполнять в виде многослойного экрана, включающего следующие основные элементы:

- Нижний гидроизолирующий слой – глина, укладываемая на природные породы (суглинки, супеси, глины, пески), поверхность которых предварительно планируется. Поверхности глинистого экрана придается окончательная форма и уклоны. Укладка глины производится слоями по 0,2–0,3 мм с увлажнением и обязательным укатыванием.

- Второй гидроизолирующий слой – термосветостабилизированная полиэтиленовая пленка толщиной 1 мм («внахлест» в половину ширины полотна в сторону уклона или на сварке).

- На пленку укладывается дренажно-контрольный слой (гравий или крупнозернистый песок) толщиной 25 см, в котором расположены контрольные трубы для обнаружения утечки технологических растворов.

- Третий гидроизолирующий слой – бикроэласт толщиной 4 мм в один слой. Стыки между лентами свариваются, порядок укладки снизу вверх против уклона.

- Сверху бикроэласта укладывается дренажный слой (гравий толщиной 25 см), для сбора продуктивных растворов, в котором проложены дренажные трубы.

Проектируемая конструкция гидроизоляционного основания обеспечивает надежную защиту от возможного просачивания технологических растворов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Водолазов Л.И., Дробаденко В.П.* Геотехнология. Кучное выщелачивание бедного минерального сырья – Учебное пособие. 1999. 300 с.
2. *Хохряков А.В., Крушинин Н.Я., Солобоев И.С.* Кучное выщелачивание золота. Основы технологии и экологической безопасности – Учебное пособие. Екатеринбург, 2002. - 168 с.
3. *Багазеев В.К., Валиев Н.Г., Кравченко А.П.* Процессы открытых горных работ: геотехнология добычи золота – Учебное пособие. Екатеринбург, 2001. – 110 с.
4. *Воробьев А.Е., Чекушина Т.В.* Извлечение золота методами физико-химической геотехнологии. 1999. 45 с.
5. Инструкция по проектированию и строительству противодиффузионных устройств из полиэтиленовой пленки для искусственных водоемов – М.: Недра, 1983.
6. *Минеев Г.Г., Пушичко О.А.* Кучное выщелачивание золота из руд различного состава. Горный журнал, 1998. - №5. 66 с.

Коротко об авторах

Валиев Н.Г., Хайдаршин А.Н. – Уральская государственная горно-геологическая академия.



© Е.П. Апросимова, 2005

УДК 622.272

Е.П. Апросимова

МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ УСТЬЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ

Семинар № 13

По данным 1995-1998 годов в Российской Федерации в среднем доля подземных рудников в обеспечении минеральным сырьем составляет всего 20÷30 %, но, если учесть, что подземным способом добываются, как правило, более богатые руды, фактическая роль подземной добычи в минерально-сырьевом обеспечении значительно выше [1]. Известно, что в России на сегодня около 90 % добычи алмазов производится в республике Саха (Якутия), на территории которой открыто более 800 кимберлитовых тел, 13 из которых рассматриваются как промышленные месторождения. В сочетании с разработкой существующих и вводом в эксплуатацию новых месторождений добычу алмазов в республике планируется до 2007 года поддерживать на уровне 10 млн карат/год [2, 3, 4].

Вследствие отработки запасов полезных ископаемых наиболее благоприятных для открытых горных работ, а так же в связи с серьезными экологическими проблемами роль подземного и комбинированного способов разработки месторождений существенно возрастает.

Кимберлитовые месторождения республики Якутии находятся в зоне распространения многолетней мерзлоты, в связи, с чем эффективность устойчивости надшахтных сооружений определяется, прежде всего, успешным решением использования многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований.

Устойчивость надшахтных сооружений криолитозоны, в том числе копров, в большей степени определяется сохранением температурного поля устья стволов. Специфика проблемы состоит в том, что тепловой режим оснований фундаментов определяется не столько

условиями на дневной поверхности, сколько теплообменом «нагретого» шахтного воздуха со стенками капитальной вертикальной выработки, ствола, и массива окружающих горных пород. Это требует исследования совместной работы, по крайней мере, двух отдельных объектов - оснований фундаментов зданий и ствола. Или, говоря иначе, требует предупреждающего мониторинга температурного поля оснований околовольных надшахтных сооружений в зоне распространения многолетней мерзлоты. В данном случае «мониторинг» употребляется в латинском смысловом прочтении – предостережение [5].

Успешное решение данной задачи позволит выработать теоретические основы и принципы сохранения устойчивости надшахтных сооружений и может стать предпосылкой для разработки нормативов при проектировании и обеспечении эффективной эксплуатации надшахтных сооружений, например, копров.

Исследовательские работы по оптимизации сохранения устойчивости оснований копров алмазных рудников Якутии на основе математического моделирования выполнялись в конце 90-х годов в лаборатории геомеханики многолетнемерзлых горных пород (ГМГП) ИГДС СО РАН. Решение задачи потребовало проведения массовых вычислительных экспериментов. Результаты вычислительных работ использованы при проектировании замораживающего комплекса термометрических систем на клетевом стволе рудника «Интернациональный».

Вследствие освоения территории в области расположения копра был видоизменен грунтовый состав основания фундаментов или, говоря иначе, устьевой части ствола. В целом в районе надшахтного сооружения по литологическому строению и физическим характеристикам грунтов основания, с учетом температурного режима в разрезе исследованной площадки было выделено шесть инженерно-геологических слоев.

Изучение материалов натуральных наблюдений выявило, что температурный режим грунтов был осложнен, поэтому температура грунтов на глубине 15 м изменялась от минус 1,3 до минус 2,4 °С.

Анализ измерений показал, что вследствие понижения температуры начала замерзания до минус 0,8÷4,8 °С (из-за засоления грунтов) судить о состоянии пород по температурным замерам сложно. Так как грунты и при отрицательных температурах могли быть как в твер-

домерзлом, пластично-мерзлом так и в талом состоянии. На время проведения изысканий температура начала замерзания зафиксирована на отметке ниже минус 1,1 °С. При пересчете в форме гипотатических солей NaCl и KCl температура начала замерзания растворов этих солей составила –3 °С.

На основе анализа представленных данных был сделан вывод: для прогноза несущей способности свай фундаментов оснований шатрового копра наиболее существенным результатом является то, что грунты основания вследствие неравномерной засоленности до глубины 70 м находятся в твер-домерзлом, талом и пластично-мерзлом состоянии.

Оговоримся, что основные представления о состоянии многолетнемерзлых пород были сформулированы в 50-х годах XX столетия. Исходными положениями послужили обобщения результатов многолетних лабораторных и полевых исследований Н.А. Цытовича, экспериментов А.Е. Федосова, И.Н. Вотякова, З.А. Нерсеровой и др. Тем не менее, процессы тепло - и массопереноса в горных породах при протекании в них фазовых переходов сложны и до конца не изучены. Данное положение объясняется сложностью физической природы и механизмов переноса тепла и вещества при фазовых переносах вызванных многообразием физико-механических и теплофизических свойств горных пород.

В настоящее время разработано множество математических моделей, описывающих процесс промерзания - протаивания многолетнемерзлых горных пород. В большей степени оценка несущей способности и выбор оптимальных параметров, в частности свай оснований фундаментов надшахтных сооружений, базируется на знании температурного поля в местах их расположения. В нашем случае для «описания» состояния пород устьевой части ствола, массива, использовалась наиболее простая математическая модель процесса промерзания-протаивания классической задачи Стефана, которая описывается уравнениями

$$c\rho_T \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_T \frac{\partial T}{\partial x} \right), T > T\Phi; \quad (1)$$

$$c\rho_M \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_M \frac{\partial T}{\partial x} \right), T < T\Phi, \quad (2)$$

с условиями на подвижной границе

$$\lambda_M \frac{\partial T}{\partial x} - \lambda_T \frac{\partial T}{\partial x} = L\rho_0 (W_0 - W_{ик}(T_\phi)) \frac{\partial \xi}{\partial t}, \quad (3)$$

$$T(\xi(t), t) = T_\phi, \quad (4)$$

Эту задачу можно представить в “слабой” постановке путем введения эффективной теплоемкости [6, 7]:

$$\delta(\eta) = \begin{cases} \infty & \eta = 0 \\ 0 & \eta \neq 0 \end{cases},$$

удовлетворяющей условию

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(\eta) d\eta = 1$$

$$(c\rho(T)) + D\delta(T - T_\phi) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right); \quad (5)$$

где $\delta(T - T_\phi)$ - δ функция Дирака

$$D = L\rho_0(W_0 - W_{ик}(T_\phi));$$

$$\lambda(T) = \begin{cases} \lambda_T, T > T_\phi, \\ \lambda_M, T < T_\phi; \end{cases}$$

$$c\rho(T) = \begin{cases} c\rho_T, T > T_\phi, \\ c\rho_M, T < T_\phi. \end{cases}$$

При решении прикладных задач в рамках принятой математической модели часто возникает необходимость учета влияния различных факторов, определенных конкретными практическими условиями. В горном деле к наиболее часто встречающимся можно отнести следующие факторы:

- солнечную радиацию (лучистую энергию солнца при открытой разработке месторождений);
- наличие некоторого слоя на поверхности массива горных пород (крепь в подземных выработках, теплоизоляция);
- использование охлаждающих устройств.

Для определения динамики изменения температуры массива многолетнемерзлых горных пород вследствие теплообмена с атмосферой необходимо знать поток тепла в этот массив. В [8, 9] отмечается, что тепловой поток в массив можно определить по уравнению теплового баланса на поверхности массива с атмосферой:

$$qT = QC(1-A) + Ia - III + \alpha T(TB - T) - LE, \quad (6)$$

где QC - суммарная солнечная радиация; A - альbedo поверхности; Ia - противозлучение атмосферы; III - излучение поверхности пород; LE - затраты тепла на испарение (конденсацию); αT - коэффициент теплообмена пород с

воздухом; TB, T - температуры воздуха и пород на поверхности; qT - тепловой поток в породу.

QC удовлетворительно описывается гармоническим законом, а A - кусочно-постоянной функцией.

Имеем

$$TB = a\tau + b\tau \sin(c\pi + d\tau),$$

$$QC = a\gamma + b\gamma \sin(c\pi + d\gamma); \quad (7)$$

$$A(T_B) = \begin{cases} A_o, T_B > 0, \\ A, T_B < 0. \end{cases} \quad (8)$$

При этом $c\tau = c\gamma$. В инженерных расчетах обычно TB линейно зависит от QC , то есть $d\tau = d\gamma$. Коэффициенты в (7) и (8) определяются из экспериментальных данных привязанных к конкретному месту.

При моделировании некоторого слоя на поверхности теплообмена (крепь, теплоизоляция) возможны два варианта:

- а) через термическое сопротивление [10]

$$a^* = \frac{1}{\frac{1}{a} + \frac{\delta}{\lambda_{из}}} \text{ - в декартовых координатах,}$$

$$a^* = \frac{1}{\frac{1}{a} + \frac{R_0}{\lambda_{из}} \ln \left(\frac{R_0}{R_0 - \delta} \right)} \text{ - в декартовых коор-}$$

динатах,

где a, a^* - истинный и приведенные коэффициенты теплообмена; δ - толщина слоя теплоизоляции; $\lambda_{из}$ - коэффициент теплопроводности материала теплоизоляции; R_0 - радиус поверхности, на которой находится слой изоляции, например радиус вертикального ствола.

б) введением в математическую модель дополнительного слоя с теплофизическими характеристиками теплоизоляции.

Первый вариант применяется в случаях, когда толщина слоя теплоизоляции пренебрежимо мала с размерами расчетной области. В других случаях предпочтителен второй вариант.

При строительстве и введении горных работ в районах с многолетнемерзлыми горными породами часто применяются охлаждающие устройства. В виду того, что радиус охлаждающего устройства (ОУ) мал по сравнению с размерами расчетной области, ОУ можно представить в математической модели в виде точечного стока тепла:

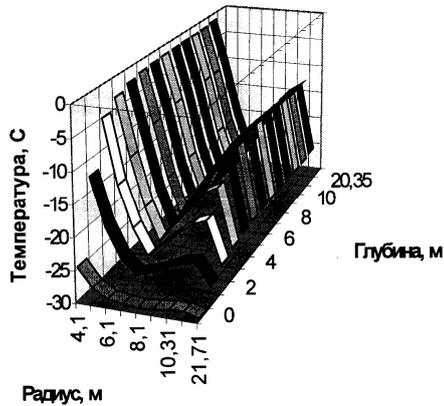


Рис. 1. Расчетная область

$$(c\rho(T) + D\delta(T - T_0)) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \alpha_k (T - T_k) \delta(x - x_k) \quad (9)$$

где α_k - коэффициент теплоотдачи ОУ; x_k - координата месторасположения ОУ; T_k - температура хладагента в ОУ. Заметим, что в данном случае формула стока тепла приведена в декартовых координатах.

Решение нашей задачи связано с разработкой математической модели теплообмена ствола с массивом при произвольном расположении охлаждающих установок. Она предполагает решение двумерной задачи типа Стефана с n точечным стоком тепла в полярных координатах [10, 11, 12]:

$$\begin{aligned} [c\rho(T) + D\delta(T - T_0)] \frac{\partial T}{\partial t} = \\ = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda(T) r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + \\ + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{Q}{r} \delta(r - r_i) \delta(\varphi - \varphi_i); \quad (r, \varphi) \in \Omega, \quad t > 0 \end{aligned} \quad (10)$$

где $c\rho$ и λ - теплоемкость и коэффициент теплопроводности пород массива соответственно; Q - мощность отбора тепла на охлаждающих установках (ОУ); n - количество ОУ; r_i , φ_i - координаты i -го ОУ; Ω - область решения, представляющая собой круг.

С учетом представления параметров, граничных условий и области решения, задача численно решается методом суммарной аппроксимации, при этом рассматриваются одномерные задачи (два подбора одномерных задач) на каждом временном шаге.

Основное достоинство применяемой модели простота и малое количество эмпирических данных. В основе идеи лежит адаптация наи-

более разработанных и относительно простых математических моделей к конкретным условиям, когда наилучшим образом описывается некоторый объем натуральных данных, характерных для поставленной прикладной задачи.

Для решения задачи в начале были проведены расчеты теплообмена ствола с массивом при произвольном расположении охлаждающих установок (ОУ) в горизонтальном сечении. На основании полученных результатов был сделан выбор местоположения охлаждающих устройств.

Результатов численного эксперимента математической модели теплообмена в горизонтальном сечении, основанной на численной модели теплообмена ствола с массивом при произвольном расположении охлаждающих установок (ОУ) и решении двумерной задачи типа Стефана с n точечными стоками тепла в полярных координатах [11], для мониторинга устойчивости копров оказалось недостаточно. Поскольку необходимо рассматривать тепловое влияние ствола, ОУ, с учетом влияния дневной поверхности. Для определения распределения температур расчетной области в вертикальной плоскости применили программу "MIRSYPH" [2, 12].

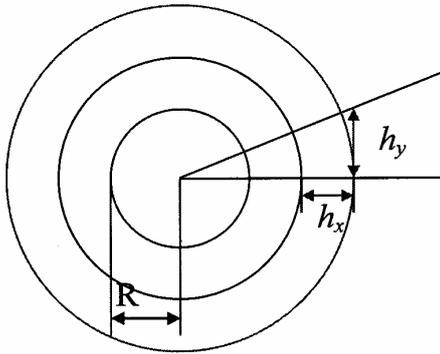
$$\begin{aligned} [c\rho(T) + D\delta(T - T_0)] \frac{\partial T}{\partial t} = \\ = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda(T) r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \\ + Q\delta(r - R_k)G(H_k - z); \quad (r, z) \in \Omega, \quad t > 0 \end{aligned} \quad (11)$$

В данной программе учитывается H_k глубина охлаждающих скважин, H_i глубина теплоизолированной части ствола, α_B коэффициент теплообмена воздуха с дневной поверхностью, qC поток солнечной радиации в массив, D скрытая теплота фазового перехода горных пород. Следует заметить, что при расчетах значения величин теплоемкостей принимаются объемными.

В [14] показано, что qC можно записать следующим образом

$$qC = (1 - A)Q_C + I_a - I_n - LE, \quad (11)$$

где A - альbedo поверхности, Q_C - суммарная солнечная радиация, I_a - излучение атмосферы, I_n - излучение поверхности Земли, LE - затраты тепла на испарение. Так как для описания



QC достаточно хорошо подходит синусоидальный закон, а для A кусочно-постоянная функция, а для остальных величин уравнения (1) подбор конкретной функции описания составляет определенную трудность, qC моделировался следующим образом

$$q_c = (1 - A)(A_q + B_q \sin(\omega_q t + \varphi_q)), \quad (12)$$

где A_q , B_q определялись посредством адаптации математической модели симплексным методом [15] по известной глубине сезонного протаивания.

Приведем в качестве примера результат расчета температурного поля основания шатрового копра в вертикальной плоскости.

С учетом специфики работы программы "MIRSYPH" во время расчета, принималось, что расстояние от центра ствола до первого ряда охлаждающих устройств (вокруг ствола) равно 7 м. От центра ствола до второго ряда ОУ (для ног копра) 21 м, в тоже время между ОУ в ряду 2 м. Отметим, что остальные параметры были идентичны принятым при расчете горизонтальной составляющей, а именно, начальная температура пород -1.8 °C, температура фазового перехода -4.8 °C, среднегодовая температура воздуха -7.4 °C, амплитуда годовых колебаний 24.1 °C, температура воздуха в стволе зимой 5 °C, температура замораживающей жидкости -20.0 °C, температура включения-выключения термосифонов -8 °C, начало промораживания - октябрь.

Графический файл итогов расчета приведен на рис. 2. Исследование выявило, что в конце расчета, на 1205 сутки, независимо от типа ОУ в районе устьевой части ствола образуется мерзлое поле, температура которой на расстоя-

Рис. 2. Распределение температур в конце счета относительно оси ствола по радиусу и глубине (вокруг ствола и ног копра воздушные ОУ)

нии 1 м от крепи ствола варьирует от -25 °C на поверхности земли и до -5 °C на глубине $4 \div 6.5$ м.

Расчеты были сделаны для пяти различных схем замораживания. Для всех схем замораживания характерно, что на больших глубинах (с 6.5 м до 20,35 м) в "околоствольном пространстве", на расстоянии 4.1 м, от центра ствола, наблюдаются температуры, значение которых постоянны и близки к -2.5 °C.

Результаты исследования показали, что применение прикладных программ улучшило качество опережающего прогноза температурного поля основания околоствольных надшахтных сооружений в вертикальной плоскости. Это объясняется некоторой новизной подхода. С учетом инженерных требований в данной математической модели:

- был введен учет изменения расстояния (шага) между охлаждающими устройствами (ОУ);
- запас устойчивости определялся на основе применения принципа возможных отключений отдельных ОУ;
- в отличие от известных численных моделей изучено совместное тепловое влияние произвольно расположенных охлаждающих устройств и ствола.

Исходя из общих требований методологии использования численных моделей, которая ставит неизменным условием решение тестовых задач, были проведены тестовые вычислительные эксперименты. Итоги тестовых расчетов свидетельствуют о достаточно устойчивой работе математической модели и адекватном прослеживании влияния конкретных ОУ. Кроме того, разработанный комплекс и наличие продуманной методики проведения вычислительных экспериментов позволили оперативно выполнить анализ различных вариантов схем замораживания основания и сделать сравнение результатов с полученными ранее натурными данными. Можно констатировать, что разработана методика оптимизации схем и параметров замораживающего комплекса и появилась возможность предупреждающего мониторинга температурного поля оснований околоствольных надшахтных сооружений, в частности, температурного поля устья верти-

кальных стволов в криолитозоне. Что, безусловно, существенно для решения проблем технологии отработки и проектирования подземной разработки рудных, в том числе алмазных, месторождений.

В завершение замечу, исследования по данной тематике не завершены. Но сами прикладные программы можно использовать при преподавании в ВУЗе таких дисциплин, как теплофизика, шахтное и подземное строительство, отдельных разделов прикладной математики.

Предугадывая возможности развития теоретических исследований на основе прикладных программ с совмещением практических наблюдений, целесообразно использовать для этого естественную лабораторию, существующие стволы. Это может стать основой формирования новой ступени в сближении науки и образования. Как показывает опыт Университетов Арктики, данный тандем является основным принципом повышения качества образования и, следовательно, уровня подготовки специалиста ведущих институтов зарубежья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Камбэфор А. Инъекция грунтов. - М.: Энергия, 1971. - 33 с.
2. Aprosimova E.P., Mordovskoy C.D., Izaxon V.U. Forecast of the temperature field in the basis of the foundations of surface buildings of the diamond mines// "4th International Symposium on Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development", 9-12 August, 1998: Abstract - Boston, Massachusetts, USA, 1998.
3. Recent history //Mining Journal - 1996. - V.- 327.- №8405, Suppl. - C.2.
4. Russia //Mining Journal - 1996. - V.- 327.- №8405, Suppl. - C.6-7.
5. Малый словарь русского языка. - М.: М20 Дрофа; Русский язык, 1999. - 960с.
6. Будаков Б.М., Соловьев Е.Н., Успенский А.Б. Разностный метод сглаживанием коэффициентов для решения задач Стефана// Журн. вычисл. математики и мат. физики. - 1964. - Т. 5, №5. - С. 828÷840.
7. Теплофизические свойства горных пород. - М.: Изд-во МГУ, 1984. - 204с.
8. Павлов А.В. Расчет и регулирование мерзлотного режима почвы. - Новосибирск: Наука, 1980. - 240 с.
9. Павлов А.В., Оловин Б.А. Искусственное оттаивание мерзлых пород теплом солнечной радиации при разработке россыпей. - Новосибирск: Наука СО, 1974. - 182 с.
10. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник/ Под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 560с.
11. Слепцов В.И., Мордовской С.Д., Изаксон В.Ю. Математическое моделирование теплообменных процессов в многолетнемерзлых горных породах. - Новосибирск: Недра, 1996. - 99с.
12. Aprosimova E.P., Mordovskoy C.D., Izaxon V.U. The forecast of the head-frame foundation and mouth parts of a underground diamond mine shaft stability// Вторая Межд. конф. по математическому моделированию, ЯГУ им.М.К. Аммосова, 14-17 июня, 1997: Тезисы докл. - Якутск, Россия, 1997 - С. 115-117.
13. Буланин Н.Ф., Казаков Ю.Н. Результаты исследований несущей способности буронабивных свай в Красноярске// Основания и фундаменты при строительстве в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. Вып.45/Красноярск. ПромстройНИИпроект - Красноярск: 1978 - С.139÷146.
14. Капдунов Д.Р., Ломоносов Г.Г. Основные проблемы освоения недр при подземной разработке рудных месторождений// Горный журнал. - 1999. - №1. -С.42÷45.
15. Павлов А.В. Расчет и регулирование мерзлотного режима почвы. - Новосибирск: Наука, 1980. - 240 с.

Коротко об авторах

Апросимова Екатерина Петровна – кандидат технических наук, доцент кафедры горных машин горного факультета ЯГУ.

