© С.Ю. Приходько, Р.М. Таранец, 2007

УДК 622.831

С.Ю. Приходько, Р.М. Таранец

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭВОЛЮЦИИ ГОРНОГО МАССИВА ПОД ВЛИЯНИЕМ ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ СИЛ

Семинар № 11

Предложена математическая модель горного массива, позволяющая изучать динамику его эволюции и производить количественные расчеты напряженно-деформирован-ного состояния массива, а также использовать их для прогнозирования газодинамических явлений в угольных шахтах. Рассматривается влияние внешнего потенциала (гравитационное воздействие внешних источников) и внутреннего потенциала Земли, которые воздействуют на земную кору и формируют напряженные состояния в горном массиве.

В последние годы определен новый аспект в интерпретации геофизических полей, а именно – их изучение в качестве экологического фактора. Методика исследований сводится к установлению всего спектра пространственно-временных величин физических полей Земли, к выявлению корреляционных зависимостей между ними, а также поиску механизмов их взаимосвязи и взаимовлияния. Математические модели горного массива, которые используются в горной геомеханике, являются в основном качественными и не дают количественной оценки геофизических процессов. Решение на количественном уровне проблем геофизической экологии является актуальным вопросом совре-менной науки и для этого необходим новый подход к построению математических моделей.

В работе [1] рассмотрена модель упругих деформаций земной коры, которая при условии постоянства объема в нутационной системе координат (нутационная система координат – система отсчета, определенным образом связанная с инерциальной системой отсчета) для вертикального смещения имеет следующий вид :

$$h'' = \mu / \rho \, \Delta h + f_{x3}, \qquad (1)$$

где $f_{x3} = \partial f / \partial x_3$, $h = h(t, x_1, x_2, x_3)$, $h'' = \partial h^2 / \partial t^2$,

параметры среды: μ – параметр Ламе, ρ - плотность; h - вертикальное смещение; f - суммарный потенциал.

Пусть V_e – внешний, а V_i – внутренний суммарные потенциалы действующие на горный массив.

Согласно [2] имеет место следующее соотношение

$$h = V_e / g, \qquad (2)$$

где g – потенциал силы тяжести.

Предположим, что g является функцией от внешнего потенциала, т.е. $g = c_1(V_i)^{\alpha}$, а внутренний потенциал имеет вид $V_i = c_2 g$.

Исходя из этих предположений, в силу (2) получаем:

$h = V_e / (c_1 (V_e)^{\alpha}) = (V_e)^{1-\alpha} / c_1$, откуда

$V_e = c_1^{1/(1-\alpha)} h^{1/(1-\alpha)} = c_3 h^{1/(1-\alpha)}$,

$V_i = c_2 V_e^{\alpha} = c_2 (c_3 h^{1/(1-\alpha)})^{\alpha} = c_4 h^{\alpha/(1-\alpha)}$.

Таким образом

$$V_e = c_3 h^{1/(1-\alpha)},\ V_i = c_4 h^{\alpha/(1-\alpha)}. \qquad (3)$$

Учитывая (1) и (3) в конечном итоге приходим к следующему модельному уравнению:

$$h'' = \mu/\rho\Delta h + (c_4 h^{\alpha/(1-\alpha)} - c_3 h^{1/(1-\alpha)})_{x3}. \qquad (4)$$

Данное уравнение учитывает зависимость вертикального смещения h, а следовательно и напряжения в горном массиве, от влияния внешнего и внутреннего сумарных потенциалов, как функций от h. Это и выражает основную суть нашей гипотезы.

Исходя из анализа эмпирических данных о вариациях силы тяжести, вытекает, что при увеличении внешнего потенциала изменение *g* не может иметь, например, экспоненциального роста. Поэтому в рассматриваемой модели, как мы полагаем, значение α находится в интервале (0,1).

Результаты численных расчетов начально-граничной задачи для уравнения (4) позволят определить вариации вертикальных смещений горного массива и на базе этого – вариации напряженности горного массива. В следствие этого, полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования газодинамических явлений в угольных шахтах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Морис Г., Мюллер А.* Вращение Земли: теория и наблюдения.– К.: Надра,1992.– 365 с.
2. *Мельхиор П.* Земные приливы. – М.: Мир, 1988.– 246 с.

Коротко об авторах

Приходько Сергей Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры природоохранной деятельности Донецкого национального технического университета,

Таранец Роман Михайлович – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник института прикладной математики и механики НАН Украины, г. Донецк.

Д И С С Е Р Т А Ц И И

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
БРАТЫГИН Евгений	Разработка вибрационной транспортирующей машины с импульсным резонанс-	05.05.06	к.т.н.

Владимирович	ным приводом		

© В.В. Арзамасцева, 2007

УДК 502/504

В.В. Арзамасцева

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ПОДЗЕМНОМ ХРАНЕНИИ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В РЕЗЕРВУАРАХ ШАХТНОГО ТИПА НА СЕВЕРЕ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Семинар № 11

Научно-технический прогресс - основа концепции ускорения социально-экономического развития общества. Неизбежным следствием научно-технического прогресса является не только улучшение качества жизни человека, защищенность его от многих природных факторов, но и резко возрастающие антропогенные нагрузки на объекты окружающей среды и, в первую очередь, на ее наиболее уязвимый компонент — биосферу.

Характерным примером отрицательного антропогенного воздействия на природную среду результатов хозяйственной деятельности в нашей стране может служить нефтегазодобывающая промышленность. Известно, что сформировавшемуся в последнее время нефтегазовому комплексу отводится ведущая роль в топливно-энергетическом балансе страны. При нынешних темпах развития производительных сил и освоения углеводородных ресурсов вопросы охраны окружающей среды приобретают особую остроту и социальную значимость. В силу специфических особенностей ведения горных работ нефтегазодобывающая отрасль относится к числу отраслей-загрязнителей природной среды. Как показывает практика, геохимический техногенез свойственен всем этапам освоения месторождений углеводородов — от бурения до введения в эксплуатацию, а также на протяжении всего периода эксплуатации.

При освоении газоконденсатных и нефтяных месторождений, расположенных в регионах распространения многолетнемерзлых пород, возникает потребность создания резервуарных парков для хранения жидкого топли-ва, продуктов добычи и переработки. Так, на севере Тюменской области на Бованенковском, Харасавэйском и Ямбургском месторождениях предпо-лагается хранение стабильного конденсата, а на Ново-Портовском месторождении - нефти, что связано со строительством резервуарных парков большого объема.

Разрабатываемые и осваиваемые газовые месторождения Севера Тюменской области расположены в пределах Ямало-Ненецкого автономного округа, значительная часть которого, находится за полярным кругом. В ландшафтном отношении район представляет собой тундру и лесотундру.

Климат региона характеризуется продолжительной суровой зимой и коротким прохладным летом. Среднегодовая температура воздуха от -3÷ -4 °С на юге (г. Ноябрьск) до -8 ÷ -10°С на севере (пос. Ямбург), что обусловливает существо-

вание многолетнемерзлых пород (ММП).

В настоящий момент существуют два вида хранения жидких углеводородов, это традиционно применяемые наземные хранилища и разработанные ООО «Подземгазпром» подземные хранилища (ПХ) шахтного типа.

Подземные хранилища имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с наземными резервуарами, поэтому в мировой практике, при наличии благоприятных геологических условий, предпочтение отдается подземному способу хранения.

В нашей стране накоплен многолетний опыт строительства и эксплуатации подземных хранилищ в многолетнемерзлых породах.

На Северо-востоке России более 20 лет успешно эксплуатировались шахтные резервуары суммарным объемом более 200 тыс. м^3, предназначенные для хранения дизтоплива, завозимого танкерами в навигационный период на Шмидтовскую нефтебазу и Полярнинский горно-обогатительный комбинат.

Имеющийся опыт показал, что шахтные резервуары пожаробезопасны вследствие недостатка кислорода в парофазном пространстве.

Высокий потенциал использования подземных хранилищ (ПХ) для хранения стабильного конденсата, нефти и нефтепродуктов, сжиженных углеводородных газов определяется экономическими и экологическими преимуществами по сравнению с другими способами хранения. Уменьшается площадь отводимых земельных участков, сокращаются потери нефтепродуктов, сохраняются товарные качества продукта, допустимые сроки хранения углеводородов в подземных резервуарах больше, чем в наземных, не нарушается поверхностный покров тундры, исключаются проблемы коррозии и периодической зачистки резервуаров, резко снижается пожароопасность и повышается безопасность обслуживающего персонала и населения (табл. 1, 2, 3) [1].

До 50 % потерь углеводородов происходит за счет испарения их из наземных резервуаров хранения ввиду негерметичности последних.

ООО «Подземгазпром» были выполнены расчеты выбросов паров загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от подземного и наземного резервуаров, для нефти и стабильного конденсата [2].

Сравнительный анализ полученных данных показал, что при хранении 25 тыс. м^3 стабильного конденсата в подземном хранилище годовое количество выбросов паров в 5 раз меньше, чем при хранении стабильного конденсата того же объема в наземном резервуаре.

Сравнение максимальных и валовых выбросов паров стабильного конденсата приведены в табл. 4.

Проведенный расчет выбросов по индивидуальным компонентам (ароматическим углеводородам) нефти, поступающих в атмосферу из резервуаров равного объема (V = 20000 м^3) показал, что количество выбросов при хранении в подземном хранилище в 4 раза ниже, чем при хранении в наземном резервуаре (табл. 5).

По программе, УПРЗА ЭКОЛОГ, версия 2.55 Copyright © 1990-2000 ФИРМА «ИНТЕГРАЛ», был выполнен расчет площади рассеивания вредных веществ в атмосферу при хранении жидких углеводородов в наземном и подземном резервуарах (рис. 1).

При выбросе паров из подземного резервуара концентрация загрязняющих веществ равная 1 ПДК достигается на расстоянии 367 м от источника выброса,

Таблица 1

Показатели надежности резервуаров

Подземные резервуары	Наземные резервуары
• Срок службы 50 лет • Первый визуальный контроль выработки-емкости через 10 лет • Последующий периодический контроль - через каждые 5 лет эксплуатации.	• Срок службы - до 15–20 лет • Первый отказ - через 3–8 лет. • Текущий и капитальный ремонты в течение срока службы проводятся в среднем в 3 раза чаще по сравнению с подземными резервуарами.

Таблица 2

Площади, занимаемые хранилищами нефтепродуктов

Вместимость хранилища, тыс. м^3	Площади отчуждаемых земель, га	
	Наземные резервуары	Подземные резервуары
50	30	20

Таблица 3

Потери автобензинов в резервуарах различных типов при хранении в течение года

Тип Типы хранилищ	Потери, кг/т	
	Зима	Лето
Наземные резервуары	2,6	3,0
Подземные резервуары. Выдача в трубопровод:		
• через буферные резервуары	0,52	0,82
• без буферных резервуаров	0,02	0,02

Таблица 4

Выбросы паров стабильного конденсата из резервуаров

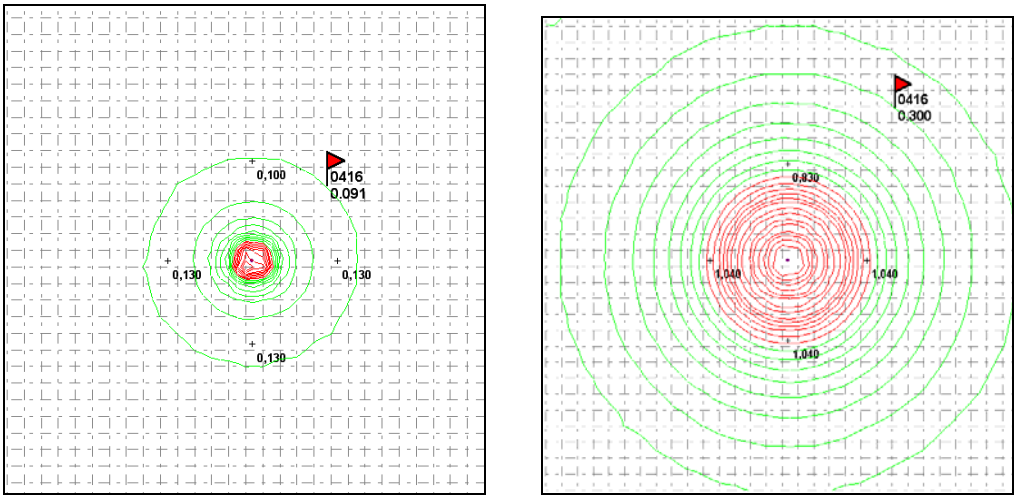
Параметр	Тип резервуара	
	Наземный	Подземный
Интервал температуры жидкости при хранении, (°С)	-26°÷ +25°	-15°÷ -5°
Максимальные выбросы паров СК, М (г/с)	26,29	1,992
Годовые выбросы паров СК, G (т/год)	40,88	6,298
Объем резервуара, Vp (м^3)	25000	25000

Таблица 5

Выбросы паров нефти из резервуаров

Определяемый параметр	Тип резервуара	Индивидуальные компоненты (углеводороды ароматические)	
		бензол	толуол
Максимальные выбросы паров жидкости М (г/с)	наземный	12,015	3,309
	подземный	4,54	1,175

а при выбросе из наземного резервуара того же объема на расстоянии 1167 м.



(а) (б)

Результаты расчета рассеивания углеводородов C_6 –C_{10} для подземных (а) и наземных (б) хранилищ. Концентрация в долях ПДК.

Сетка 200х200 м

Эксплуатационная надежность и экологическая безопасность ПХ обеспечивается: прочностью и устойчивостью выработок-емкостей; их герметичностью - изолированностью от грунтовых и поверхностных вод и от атмосферного воздуха; постоянством термобарических условий в резервуаре; сейсмической устойчивостью; минимальным риском при нештатных ситуациях. Поэтому, при хранении углеводородов в резервуарах шахтного типа, в многолетне мерзлых породах Севера Тюменской области, снижаются деградационные воздействия на окружающую среду.

Для обеспечения экологической безопасности при строительстве и эксплуатации подземных хранилищ жидких углеводородов на Севере Тюменской области было рассмотрено воздействие подземных хранилищ шахтного типа на отдельные среды природного комплекса; на атмосферу, водную среду, геологическую составляющую, почвенный комплекс и объекты флоры и фауны.

ООО «Подземгазпром» были разработаны инженерно-технические природоохранные мероприятия, обеспечивающие экологическую безопасность подземного хранения жидких углеводородов на Севере Тюменской области.

Основными инженерно-техническими мероприятиями по снижению техногенного воздействия на геологическую среду являются: формирование устойчивых горных выработок, объемно-планировочные решения, включающие в себя площадное и глубинное расположение выработок – емкостей, поддержание температурного режима в процессе строительства и эксплуатации, создание теплоизоляционных и гидроизоляционных экранов и перемычек.

Комплекс почвоохранных мероприятий включает, ведение процесса строительства в зимний период, захоронение или утилизацию мерзлого грунта, извлекаемого в процессе строительства (например, использование песка для строи-

тельства дорог), рациональное размещение наземных сооружений и коммуникаций, рекультивацию земель, нарушенных в процессе строительства.

Мероприятия по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу включают: герметизацию подземных выработок-емкостей, установку дыхательных клапанов на вентиляционных скважинах, контроль за параметрами хранения жидких углеводородов, применение депрессорных присадок для транспортировки продукта, что уменьшает содержание вводимых летучих фракций (1 %) по сравнению с разбавлением нефти стабильным конденсатом (15-20 %), автоматическое или дистанционное управление запорной арматурой и насосными агрегатами.

Мероприятия по предотвращению и снижению техногенного воздействия на водную среду включают: многоразовое использование воды при создании ледяной облицовки, сбор в летний период сточных вод, образующихся в процессе производственной деятельности и хозяйственно-бытового функционирования, контроль за качеством воды, удаляемой из подземного резервуара, вывоз промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод на действующие КОС.

Для охраны растительного и животного мира на Севере Тюменской области предусматривается проведение максимального объема строительных работ в зимний период, первоочередное строительство сети автодорог, ограждение площадок и сооружений, исключение выполнения строительно-монтажных работ в период весеннего гнездования; рекультивация участков краткосрочной аренды с нарушениями почвенно-растительного покрова; максимальное сокращение выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, опасных для растительности и животного мира; сохранение естественных мест гнездования птиц, путей миграции диких животных; проведение противопожарных мероприятий; запрещение сброса загрязняющих веществ в водоемы; хранение нефтепродуктов в герметичных емкостях; освещение площадок и сооружений; устройство ограждения площадок.

Предлагаемые инженерно-технические мероприятия обеспечивающие экологическую безопасность при строительстве и эксплуатации подземных резервуаров шахтного типа на Севере Тюменской области позволяют минимизировать техногенное воздействие на окружающую среду. При условии соблюдения природоохранных мероприятий и качественной рекультивации остаточного воздействия строительных работ, деградация окружающей среды незначительна и происходит вследствие нерегламентированных действий и аварийных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Полуостров* Ямал (инженерно-геологический очерк), под ред. В.Т. Трофимова. – Издательство Московского Университета, 1975 г.

2. “*Методические* указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров” (Разработан Казанским управлением «Оргнефтехимзаводы», г.Казань).

Коротко об авторах

Арзамасцева В.В. – ООО «Продземгазпром».

© В.В. Киселев, Ю.А. Хохолов,

М.В. Каймонов, 2007

УДК 504.064.47

В.В. Киселев, Ю.А. Хохолов, М.В. Каймонов

*МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОЗВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ МОГИЛЬНИКОВ ТВЕРДЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В ОТРАБОТАННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ КРИОЛИТОЗОНЫ**

Семинар № 11

Начиная с середины 20 века в результате интенсификации промышленного производства и высокой потребностью в металлах резко возросли объемы добываемых и перерабатываемых полезных ископаемых, в том числе и в северных регионах России (включая Республику Саха (Якутия)). В результате деятельности горнодобывающих и перерабатывающих предприятий на дневной поверхности были размещены добытые из под земли пустые породы, полезные ископаемые. В связи с этим произошло глобальное перераспределение естественных радионуклидов, содержащихся в горных массивах, рудных телах, россыпях и т.д., и их прогрессирующие накопление в отвалах пород, хвостах обогатительных фабрик, отвалах промышленных установок и т.д., что привело к существенному радиационному загрязнению отдельных территорий.

Как известно, качественная и количественная оценка радиационного воздействия возможна только на основе приборных показаний, т.к. у человека отсутствует (как, впрочем, и у других живых организмов) специальный орган. Для человека нет «ощущения радиации», но есть умозрительное и информационное по своей природе представление о ней. Необходимо отметить, что такое представление сформировалось сравнительно недавно и люди работающие на горных предприятиях стали осознавать вред радиационного облучения естественными радионуклидами, содержащимися в геологических пробах, кернах, шлихах, руде и т.д., некоторые из которых не используются и могут быть отнесены к твердым радиоактивным отходам (ТРАО) и должны быть в соответствии с действующим законодательством захоронены.

В соответствии с разработанной ИГДС концепцией обеспечения радиационной безопасности Республики Саха (Якутия), территория которой находится в зоне сплошной многолетней мерзлоты [1], для решения этих вопросов рекомендовано использование горных технологий возведения ледопородных целиков и выработанного пространства рудников пригодных к повторному использованию, действующих, отработанных и законсерви-

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, код проекта №05-08-50083

рованных рудников и шахт [2-4].

Высокая надежность подземного захоронения ТРАО обеспечивается:

- стабильным отрицательным температурным режимом горных выработок;
- надежной изоляцией от природных и техногенных катастроф, внешних поверхностных воздействий;
- относительно высокой герметичностью подземного пространства;
- отсутствием притока подземных вод и, следовательно, возможности миграции радионуклидов за пределы могильника.

Институтом в этих целях был разработан бесконтейнерный подземный способ захоронения применительно к климатическим условиям криолитозоны [5].

Для обеспечения высокой скорости возведения подземного могильника в течение зимнего периода, а так же его надежности необходимо строгое соблюдение технологических параметров укладки единичных слоев, а так же их проморозка естественным (атмосферным) холодом.

Технология строительства подземного могильника (ПМ) ТРАО включает послойную отсыпку радиационно загрязненного комковатого мерзлого грунта, уплотнение слоев грунта, заполнение пустот между комьев водой, поочередное промораживание слоев естественным холодом. Сооружение к моменту окончания его возведения должно быть проморожено до температуры минус 5-10 °С.

Предварительными исследованиями [3] установлено, что охлаждение льдопородной закладки до минус 4 °С обеспечивает ее прочность до 4 МПа, а при температуре ниже минус 4 °С может достигать 6-10 МПа. Эти характеристики искусственных массивов из льдопородной закладки являются достаточными для обеспечения безопасности и эффективности проведения закладочных работ на весь период их выполнения.

Для определения температурного поля закладочного массива и вокруг подземной выработки разработана математическая модель теплообмена рудничного воздуха с возводимой льдопородной закладкой и окружающим массивом горных пород, которая учитывает все основные факторы: влажность (льдистость) ТРАО, толщину слоя, годовой ход наружной температуры воздуха и т.д. Принято, что сечение выработки имеет форму прямоугольника. В силу симметричности области рассматривается ее половина. Схема расчета приведена на рисунке.

Примем следующие упрощающие допущения:

- теплообмен на поверхности слоя закладочного массива (ЗМ) ТРАО, стенке и потолочине горной выработки с рудничным воздухом определяется по закону Ньютона с коэффициентом конвективного тепло-обмена α;
- теплообмен на границе соприкосновения вновь укладываемого слоя и ранее уложенного ЗМ ТРАО подчиняется условию идеального теплового контакта;
- промежуток времени, затрачиваемый на отсыпку слоя ЗМ ТРАО, не учитывается, т.е. считается, что каждый слой появляется мгновенно в момент начала этого промежутка;
- начальная температура вновь укладываемого слоя принимается равной +1 °С;
- очередной слой отсыпается после того, как температура предыдущего слоя понизится до значения –5 °С.

Процесс распространения тепла в массиве горных пород с учетом фазовых

переходов влаги описывается следующим уравнением [6, 7]:

$$\left[C(T)+L_{ф}\cdot W\cdot\rho\cdot\delta(T-T^{*})\right]\frac{\partial T}{\partial t}=$$
$$=\frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial y}\right],$$
$$C(T)=\begin{cases}c_1\cdot\rho_1; & T<T^{*};\\ c_2\cdot\rho_2; & T>T^{*};\end{cases}\quad \lambda(T)= \tag{1}$$
$$=\begin{cases}\lambda_1; & T<T^{*};\\ \lambda_2; & T>T^{*};\end{cases}$$

где $L_ф$ - скрытая теплота плавления (замерзания) льда (воды), Дж/кг; W - влажность пород, доли единиц; ρ - плотность воды, кг/м^3; T^* - температура фазовых переходов влаги, °С; c_1, ρ_1, λ_1 (c_2, ρ_2, λ_2) - удельная теплоемкость (Дж/(кг·К)), плотность (кг/м^3) и коэффициент теплопро-водности (Вт/(м·К)) соответственно для мерзлых (талых) пород; $\delta(T-T^*)$ - функция Дирака.

Фазовые переходы учитываются с помощью δ-функция Дирака.

На границе выработки задается граничное условие III рода:

$$\lambda\frac{\partial T}{\partial x}=\alpha_1\left(T-T_в\right),\quad x,y\in\Gamma_5,\Gamma_7, \tag{2}$$

$$\lambda\frac{\partial T}{\partial y}=\alpha_2\left(T-T_в\right),\quad x,y\in\Gamma_6, \tag{3}$$

где α_1, α_2 - коэффициент теплообмена воздуха с горными породами, Вт/(м^2·К).

На внешних границах области Γ_2, Γ_3 и Γ_4 задается граничное условие I рода:

$$T=T_e,\ x,y\in\Gamma_2,\Gamma_3 \text{ и } \Gamma_4. \tag{4}$$

На границе Γ_1 в силу симметричности задается граничное условие II рода:

$$\frac{\partial T}{\partial y}=0,\ x,y\in\Gamma_1. \tag{5}$$

Для решения двухмерной задачи теплообмена (1) с граничными условиями (2)-(5) применим метод суммарной аппроксимации [7], который сводит исходную задачу к последовательности одномерных задач. На каждом временном слое решается последовательность одномерных задач. Для решения одномерной задачи промерзания-протаивания в подстановке вида (1) используются численные методы сквозного счета со сглаживанием коэффициентов.

Двумерная область заменяется дискретной областью $W_x \times W_y$. Причем шаг сетки по направлению W_y задается таким образом, чтобы в каждый вновь отсыпаемый слой ЗМ ТРАО попадало не менее десяти узлов сетки. Система разностных уравнений решается последовательно методом простой итерации с применением метода прогонки [7].

На основе разработанных программ для ПЭВМ были проведены численные эксперименты по расчету послойного намораживания ЗМ ТРАО в подземной горной выработке при следующих исходных данных: место расположения рудника – Мирнинский улус Республики Саха (Якутия); высота выработки 5 м; ширина выработки 10 м; удельная теплоемкость мерзлых ТРАО 840 Дж/(кг·К); удельная теплоемкость талых ТРАО 940 Дж/(кг·К); плотность ТРАО 2000 кг/м^3; коэффициент теплопроводности мерзлых ТРАО 2,4 Вт/(м·К); коэффициент теплопроводности талых ТРАО 1,5 Вт/(м·К); естественная температура массива горных пород минус 5 °С; влажность массива горных пород постоянная и равна 10 %. Исследовались способы возведения ЗМ ТРАО при различной влажности: 10 %, 15 % и 20 %; толщине слоя: 0,3 м, 0,45 м и 0,6 м; начальной температуре слоя +1 °С; включающие послойную отсыпку и полное промораживание каждого слоя до температуры минус 5 °С. Измене-

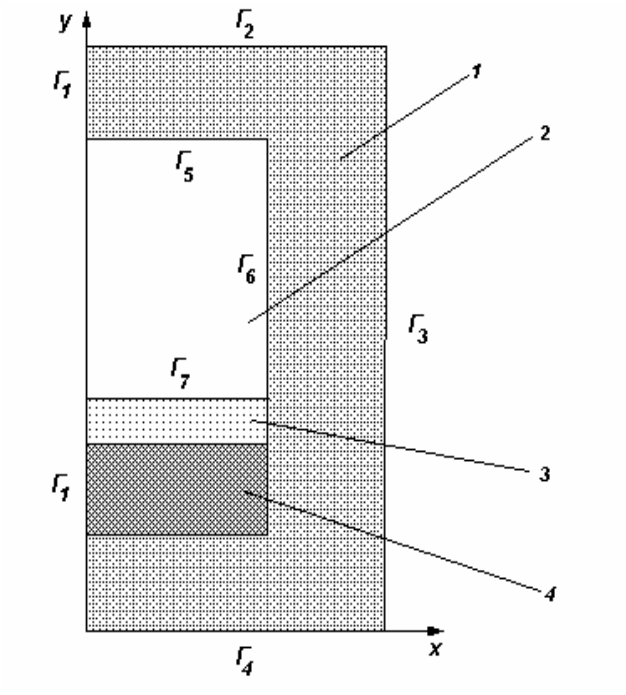


Схема формирования льдопородного массива ТРАО в подземной горной выработке: *1* - массив горной породы; *2* - выработанное пространство; *3* - слой замораживаемых ТРАО; *4* - мерзлые (замороженные) ТРАО

ние температуры рудничного воздуха в подземной горной выработке принималось в диапазоне от минус 7 °С до минус 25 °С.

Анализ результатов расчетов показал следующее:

1. Для эффективного промораживания слоя ЗМ ТРАО требуется, чтобы температура рудничного воздуха $T_{возд}$ была не выше минус 15 °С.

2. Для полного промерзания слоя толщиной 0,3 м требуется в среднем не менее 1,5 суток, а при толщине слоя 0,6 м - не менее 3 суток.

3. Полное промораживание ЗМ ТРАО высотой 5 м при толщине слоя 0,3 м и температуре рудничного воздуха минус 25 °С произойдет за полтора месяца, а при температуре рудничного воздуха минус 10 °С - за более чем пять месяцев.

4. Основная часть времени (более 1/4) затрачивается на проморозку последнего слоя ЗМ ТРАО, который промерзает в основном за счет аккумулированного холода в потолочине горной выработке.

5. Для ускорения проморозки последнего слоя рекомендуется провести специальные мероприятия для аккумуляция холода в потолочине и предпоследнем слое ЗМ ТРАО.

Предлагаемая технология укладки ТРАО в подземный могильник, рекомендуемые мероприятия по защите ПМ от неблагоприятных факторов в состоянии обеспечить его долговременную устойчивость, а, следовательно, надежную изоляцию радионуклидов на срок не менее 100 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Киселев В.В., Бурцев И.С.* Ликвидация последствий аварийных подземных ядерных взрывов в зоне многолетней мерзлоты. - Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1999. - 145 с.

2. *Кадастр* подземных выработок на территории РС (Я), пригодных к повторному использованию для целей, не связанных с горным производством (ИГДС СО РАН, ГКЧС РС

(Я), Якутский округ Гостехнадзора России) - М: ГУП ЦПП. - 1998. - 56 с.

3. *Необутов Г.П., Гринев В.Г.* Разработка рудных месторождений с использованием замораживаемой закладки в условиях многолетней мерзлоты. - Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1997. - 104 с.

4. *Мамонов А.Ф.* Взаимодействие вмещающих пород с закладочным массивом на россыпных шахтах Севера. - Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН,1999. - 154 с.

5. Патент РФ № 2263985 «Подземный бесконтейнерный способ захоронения твердых источников радиоактивного излучения в отработанных подземных горных выработках криолитозоны» / Киселев В.В., Хохолов Ю.А., Каймонов М.В.; заявитель и патентообладатель ИГДС СО РАН. - Заявл. 11.08.2003; Опубл. 10.11.2005 // Изобретения. Полезные модели. – 2005. - № 31. – 4.3. – С. 630.

6. *Тихонов А.М., Самарский А.А.* Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1977. - 736 с.

7. *Самарский А.А.* Теория разностных схем. - М.: Наука, 1983. - 616 с.

Коротко об авторах

Киселев Валерий Васильевич – старший научный сотрудник, кандидат технических наук,
Хохолов Юрий Аркадьевич – старший научный сотрудник, кандидат технических наук,
Каймонов Михаил Васильевич – младший научный сотрудник,

ИГДС СО РАН.

Д И С С Е Р Т А Ц И И

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ			
КОРТИНА Сусанна Борисовна	Эффективность иностранных инвестиций и управление инвестиционным потенциалом горно-металлургического предприятия	08.00.05	к.э.н.