© Д.Е. Соловьев, 2008

УДК 622.234.3:622.28

Д.Е. Соловьев

РАСЧЕТ НЕРАВНОМЕРНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ПРИ ЗНАКОПЕРЕМЕННОМ ТЕПЛОВОМ РЕЖИМЕ В ГОРНОЙ ВЫРАБОТКЕ КРИОЛИТОЗОНЫ

Предложена методика расчета параметров теплоизоляции по длине выработки, основанная на интегральном методе Гудмена.

Семинар № 4

Обеспечение устойчивости капитальных горных выработок, рассчитанных на долговременную эксплуатацию с естественным (знакопеременным) тепловым режимом, имеет большое значение для обеспечения безопасности и эффективности работы горнодобывающих предприятий, ведущих разработку месторождений полезных ископаемых подземным способом в северных регионах в круглогодичном режиме.

Эти требования могут быть обеспечены при анализе формируемого температурного поля вмещающего массива, влияющего на его устойчивость. В условиях многолетней мерзлоты из-за знакопеременного характера температуры поступающего воздуха горные породы вокруг выработки подвергаются в результате теплообмена с вентиляционным потоком, циклическим температурным воздействиям. Это приводит к уменьшению их прочности и, соответственно, к увеличению нагрузки на крепь. Одним из эффективных способов сохранения устойчивости горных выработок, пройденных в мерзлых породах, при поступлении воздуха с положительной температурой является пассивная теплоизоляция поверхности горных выработок [1-4]. Применение теплоизоляции позволяет стабилизировать температурное поле массива горных пород вокруг выработок, сохранить мерзлое состояние пород или уменьшить глубину протаи-вания до значений, при которых нагрузка на крепь не превысит ее несущую способность. Нанесение теплоизоляционного слоя в горных выработках постоянной толщины без учета эффекта понижения температуры воздуха по длине выработки в летний период эксплуатации экономически невыгодно, т.к. приводит к ненужному перерасходу материалов и увеличению объемов работ [3,4]. Таким образом по длине горной выработки рационально возведение теплоизоляции переменной толщины с максимальным значением в устьевой части, где оттайка горных пород максимальна, что позволяет не только уменьшить ореолы протаивания вокруг выработки, но и обеспечить снижение нагрузки на крепь.

ИФТПС СО РАН [4] разработана методика расчета параметров теплоизоляции по длине выработки, которая основана на интегральном методе Гудмена. Температура поступающего воздуха в данной методике является постоянной величиной. Параметры теплоизоляции выбираются в зависимости от начальной температуры горных пород вокруг выработки и продолжительности ее проветривания при постоянной температуре поступающего воздуха. Методика не учитывает годовые колебания температуры поступающего наружного воздуха и ее знакопеременный характер. При

круглогодичной эксплуатации горных выработок для расчета параметров теплоизоляции необходимо кроме этого учитывать запасы холода, накопленные породами в зимний период. Вышеназванные недостатки позволяют сделать заключение о необходимости разработки более совершенной методики для определения температурного поля вокруг выработок. В этих целях была разработана двухмерная математическая модель теплообмена рудничного воздуха с окружающим массивом горных пород в условиях знакопеременного температурного режима эксплуатации горных выработок. За основу взята модель, разработанная лабораторией горной теплофизики ИГДС СО РАН[5,6].

Разработана компьютерная программа «Расчет неравномерной теплоизоляции при знакопеременном тепловом режиме в горной выработке криолитозоны», позволяющая рассчитать требуемую толщину теплоизоляции по длине горной выработки при заданной максимально допустимой глубине протаивания пород. Программа написана на языке Object Pascal в среде программирования Delphi, что дает возможность интерактивного ввода теплофизических характеристик и вывода графиков распределения толщины теплоизоляции, а также глубины протаивания пород по длине горной выработки. Расчет глубины протаивания может осуществляться в 2-х вариантах: первый – с наличием теплоизоляции, и второй – без теплоизоляции. Рассчитанные данные могут быть распечатаны на принтере либо сохранены в отдельный файл. На рис. 1 представлен внешний вид программы.

При теплоизоляции поверхности горных выработок можно использовать, как уже говорилось ранее, равномерную толщину теплоизоляции по всей длине выработки, так и неравномерную. Для случая неравномерной теплоизоляции разработан алгоритм определения требуемой толщины, при которой глубина протаивания породного массива не превышает предельного значения по всей длине выработки. Суть алгоритма состоит в том, что толщина теплоизоляции $\delta_{из}(x_i)$ находится последовательно в каждом узле сетки, начиная с первого узла. При этом поиск очередного приближения толщины теплоизоляции в текущем узле производится методом «дихотомии». Найдя значение толщины изоляции в текущем узле, мы присваиваем его следующему узлу и выполняем расчет температурного поля массива горных пород окружающих выработку. Если полученное значение глубины протаивания удовлетворяет требуемым условиям, то переходим к следующему узлу и присваиваем ему значение толщины теплоизоляции найденное на предыдущем узле, в противном случае используя метод «дихотомии» находим очередное приближение толщины теплоизоляции. Поиск прекращается только в том случае, если толщина теплоизоляции рассчитана для всех узлов сетки.

По разработанной методике проведены численные расчеты при следующих исходных данных: длина выработки 2000 м; площадь сечения выработки 10 м^2; горные выработки эксплуатируются круглогодично с естественным тепловым режимом, минимальная зимняя температура наружного воздуха -50 ^{0}С, максимальная летняя температура +25 ^{0}С; расходы воздуха 5,10 и 15 м^3/с; материал теплоизоляции – набрызгбетон с легким наполнителем, коэффициент теплопроводности теплоизоляции 0,6 Вт/(м·К); удельная теплоемкость мерзлых пород 800 Дж/(кг·К); удельная теплоемкость талых пород 850 Дж/(кг·К); коэффициент теплопроводности мерз-

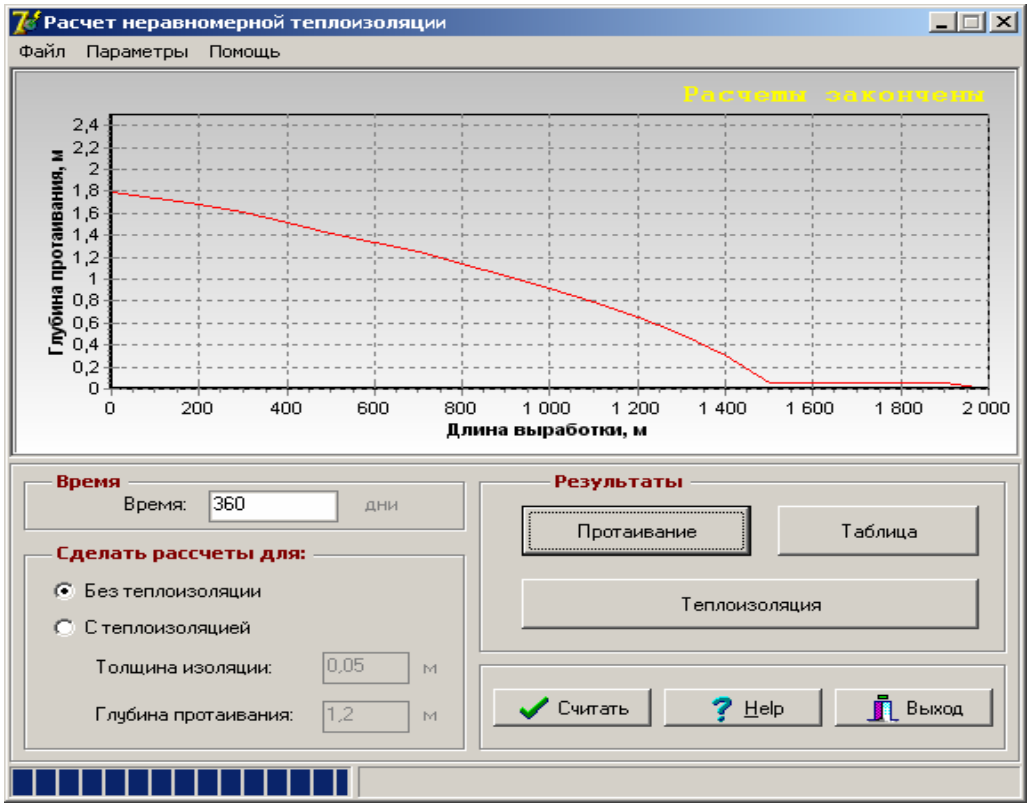

Рис. 1. Внешний вид программы

лых пород 2,2 Вт/(м·К); коэффициент теплопроводности талых пород 2 Вт/(м·К); суммарная весовая влажность пород ω = 0,3.

Расчет толщины теплоизоляции осуществляется с учетом зимней эксплуатации выработки, когда происходит аккумулирование холода окружающими горными породами. Результаты расчетов при различных расходах воздуха приведены на рис. 2, 3 и 4, где показаны зависимости максимальной глубины протаивания пород по длине выработки при различных значениях толщины теплоизоляции. Как видно из графиков без теплоизоляции глубина протаивания пород
вокруг горной выработки достигает 1,8 м, что намного превышает допустимую предельную глубину протаивания массива осадочных горных пород. При использовании равномерной и неравномерной теплоизоляции глубина протаивания не превышает предельную заданную глубину 1,2 м, но при этом расход материалов для возведения теплоизоляции с постоянной толщиной больше по сравнению с вариантом переменной толщины.

На рис. 5 показаны рассчитанные значения толщины теплоизоляции в выработке, при которых глубина протаивания не превышает заданной (допустимой) глубины 1,2 м. При расходе воздуха 5 м³/с длина теплоизолированного участка составила 300 м, при расходе воздуха 15 м³/с – 600 м, а при 20 м³/с – 900 м.

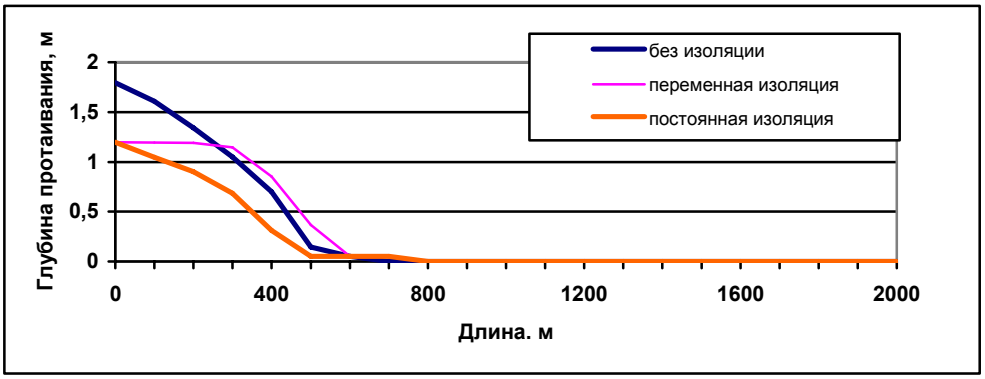

Рис. 2. Изменение глубины протаивания пород по длине выработки при различной толщине теплоизоляции. Расход воздуха Q=5 м³/с

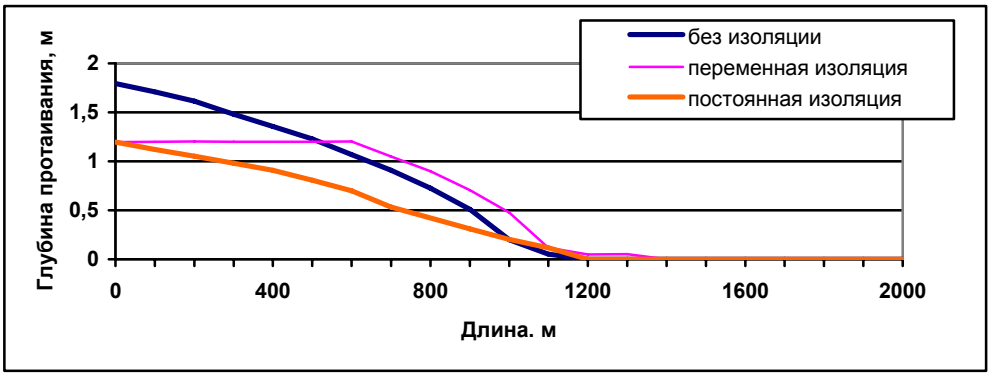

Рис. 3. Изменение глубины протаивания пород по длине выработки при различной толщине теплоизоляции. Расход воздуха Q=10 м³/с

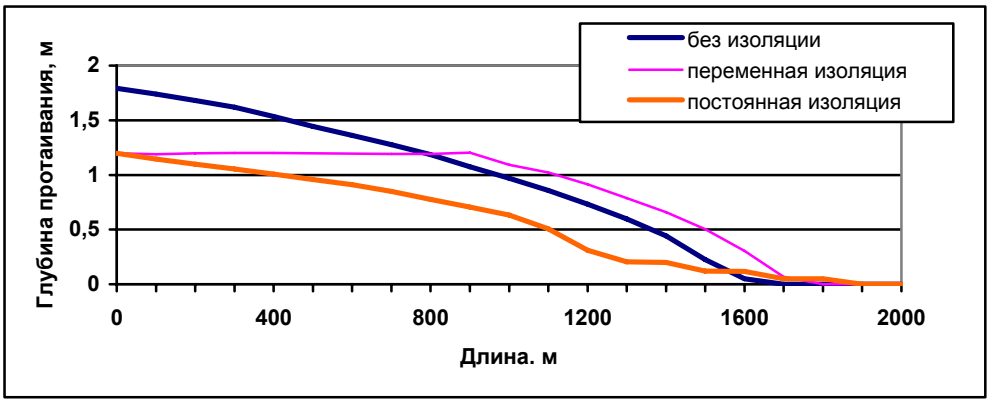

Рис. 4. Изменение глубины протаивания пород по длине выработки при различной толщине теплоизоляции. Расход воздуха Q=15 м³/с

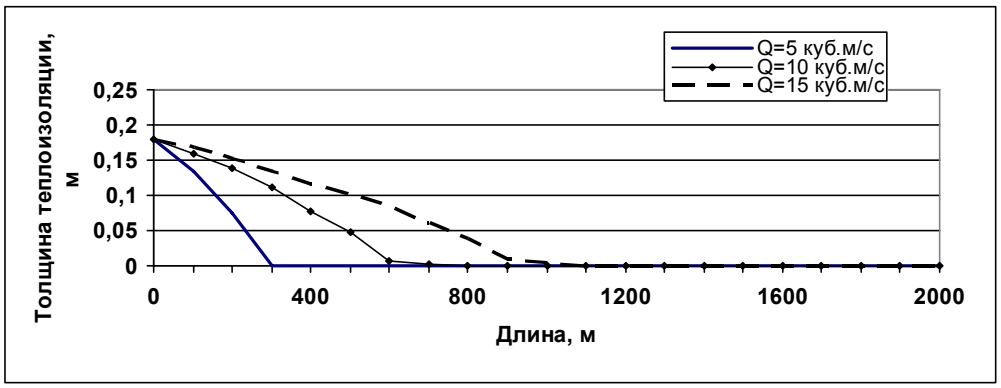

Рис. 5. Распределение толщины теплоизоляции по длине горной выработки при различных значениях расхода воздуха

При этом толщина теплоизоляции в устье выработки примерно равна 0,18 м у всех вариантов.

Таким образом, разработанная методика позволяет сделать необходимый расчет для выбора параметров неравномерной теплоизоляции при знакопеременном тепловом режиме в горной выработке криолитозоны и для экономного использования теплоизоляционных материалов целесообразно использовать вариант возведения переменной толщины теплоизоляции по длине горной выработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Изаксон, В.Ю.* Расчет крепи горных выработок в многолетней мерзлоте./ В.Ю.Изаксон, Е.Е. Петров, А.В. Самохин. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1988. – 124 с.

2. *Галкин, А.Ф.* Набрызгбетонная теплозащитная крепь [Текст] / А.Ф. Галкин, В.В. Киселев, А.С. Курилко, Рос. акад. наук, Сиб. отделение, Ин-т горного дела Севера. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. - 164 с.

3. *Авксентьев, И.В.* Теплоизоляция горных выработок в условиях многолетней мерзлоты [Текст] / И.В. Авксентьев, В.Н. Скуба, Акад. наук СССР, Сиб. отделение, Якут. филиал, Ин-т горного дела Севера. - Новосибирск: Наука,1984. - 176 с.

4. *Попов Ф.С.* Вычислительные методы инженерной геокриологии [Текст] / Ф.С. Попов, Рос. акад. наук, Сиб. отделение, Ин-т физ.-тех. проблем Севера. – Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1995. – 136 с.

5. *Хохолов, Ю.А.* Математическое моделирование процессов теплообмена в подземных выработках криолитозоны [Текст] / Ю.А. Хохолов // Горный информ.-аналит. бюллетень. Тематическое приложение «Аэрология». - 2005. - С. 101-110.

6. *Курилко А.С.* Математическая модель для расчета количества циклов замораживания-оттаивания горных пород в выработках криолитозоны [Текст] / А.С. Курилко, Ю.А. Хохолов, Д.Е. Соловьев // Горный информ.-аналит. бюллетень. Тематическое приложение «Физика горных пород». - 2006. - С. 211-220.

Коротко об авторе

Соловьев Д.Е.– аспирант, Институт горного дела Севера им. Н.В.Черского СО РАН.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 4 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. *С.А. Гончаров.*