

УДК 622.272

Д.Е. Соловьев, Ю.А. Хохолов

ПРОГНОЗ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РУДНИКА С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

Семинар № 3

При строительстве и эксплуатации рудников и шахт в условиях криолитозоны, прежде всего, необходимо учитывать тепловой режим, который в определяющей степени влияет на эффективность и безопасность ведения горных работ. Как известно, на температурный режим выработок рудника влияние оказывает ряд факторов, из которых наибольшее значение имеют природные климатические условия района, наличие многолетнемерзлых пород и параметры вентиляции.

Прогноз теплового режима рудника с учетом этих факторов, а также динамики развития горных работ является весьма сложной задачей, требующей разработки специальных программ для ЭВМ на основе современных численных методов. Для её решения в лаборатории горной теплофизики ИГДС СО РАН разработан программный комплекс, позволяющий рассчитать воздухораспределение и тепловой режим сети горных выработок криолитозоны с учетом интенсивности теплообмена воздушной струи с окружающим массивом пород и фазовых переходов влаги в них, а также нестационарности сети горных выработок (изменчивости во времени числа выработок и их соединений).

В основу данного программного комплекса заложены следующие методики:

- расчета воздухораспределения в вентиляционной сети с учетом напорных характеристик вентиляторов и геодезических отметок узлов сети, которая использует I и II законы Кирхгофа для вентиляционных сетей и основана на решении следующей системы уравнений [1, 2]:

$$\sum_{j=0}^m a_{ij} \cdot q_j \cdot \frac{\rho_j}{\rho_c} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n-1, \quad (1)$$

$$\sum_{j=0}^m \tilde{s}_{ij} \frac{\rho_c}{\rho_j} r_j q_j^2 = \sum_{j=1}^m \varepsilon_{ij} \frac{\rho_j}{\rho_c} h_{vj} + g \sum \rho_i \Delta z_i, \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, m - n + 1$$

$$h_e = g \sum_{j \in f} \rho_j \cdot \Delta z; \quad \Delta z = z_n - z_k, \quad (3)$$

$$h_b = a_0 + a_1 q_1 + a_2 q_2^2$$

- расчета теплового режима в сети горных выработок криолитозоны, которая позволяет рассчитать температурный режим и ореолы протаивания во всех выработках сети, и учитывает нестационарное взаимовлияние процессов воздухораспределения и теплообмена в выработках сети с учетом фазовых переходов влаги в горных породах [3].

Алгоритм совместного решения задач заключается в следующем. Сначала задается начальное распределение температур воздуха в выработках и в массиве вмещающих горных пород во всех ветвях вентиляционной системы. При заданных температурах

воздуха решается задача воздухораспределения, т.е. определяются расходы воздуха в каждой выработке сети. Далее, исходя из топологической информации, определяется порядок расчета температуры воздуха по ветвям. Расчет начинается с воздухоподающих выработок сети. Температура воздуха на входе в выработку является уже известной величиной (т.е. входящие ветви в узел, с которого начинается выработка, уже прошли через процедуру расчета температуры воздуха). Согласно порядку проводится процедура расчета температуры воздуха в выработках сети. Температура воздуха на выходе из узла T_B рассчитывается с учетом расходов и температур воздуха всех входящих ветвей по формуле:

$$T_B = \frac{\sum_{j \in F} q_j \cdot T_{kj}}{\sum_{j \in F} q_j}, \quad (4)$$

где q_j , T_{kj} - соответственно, расход и температура воздуха на конце j -й выработки, $\text{м}^3/\text{с}$ и $^{\circ}\text{C}$; F - множество входящих ветвей в заданный узел сети.

Далее, используя рассчитанное распределение температур воздуха в сети, уточняется перераспределение расхода воздуха в сети путем решения задачи воздухораспределения.

Таким образом, на каждом шаге по времени решаются последовательно 2 задачи: задача воздухораспределения и тепловая задача.

Методика совместного расчета вентиляционного и теплового режимов сети горных выработок модифицирована для случая, когда в сеть добавляются новые ветви или из сети удаляются отдельные ветви, т.е. когда имеет место нестационарность сети горных выработок. Добавление новых ветвей в корне изменяет состояние сети, количество ветвей, узлов и

независимых циклов, в то же время необходимо «запомнить» температурное поле вокруг выработок сети. Весь период работы рудника разбит на этапы, каждый из которых включает отработку нового блока, в сеть включаются новые выработки, а в конце этапа выключаются отдельные выработки.

Программа реализована на языке Object Pascal в визуальной среде программирования Delphi (рис. 1) и предоставляет пользователю следующие возможности: интерактивный ввод теплофизических характеристик горных пород, информации о топологии вентиляционной сети, просмотр рассчитанных данных в табличном виде и их распечатку в соответствующем виде на принтере, а также графический просмотр всей сети в двух и трехмерном режиме. Дружественный интерфейс программы позволяет быстро моделировать вентиляционные сети.

В качестве примера рассмотрим тепловой режим алмазодобывающего рудника Накынского поля. В предпроектных проработках на вскрытие и отработку алмазных трубок «Нюрбинская» и «Ботубинская» Накынского поля подземным способом рассмотрено несколько вариантов, где отмечено, что на различных стадиях строительства и последующей эксплуатации рудников, температурный режим будет различным.

Рассмотрим один из вариантов расчета температурного режима единого подземного рудника, со вскрытием двух месторождений с одной основной промплощадки, располагаемой посредине между двух месторождений. Схема вентиляции рудника приведена на рис. 2. Всего на месторождениях тр. «Ботубинская» и тр. «Нюрбинская» необходимо отработать 12 блоков, поэтому весь период работы единого рудника разбит на 12 этапов.

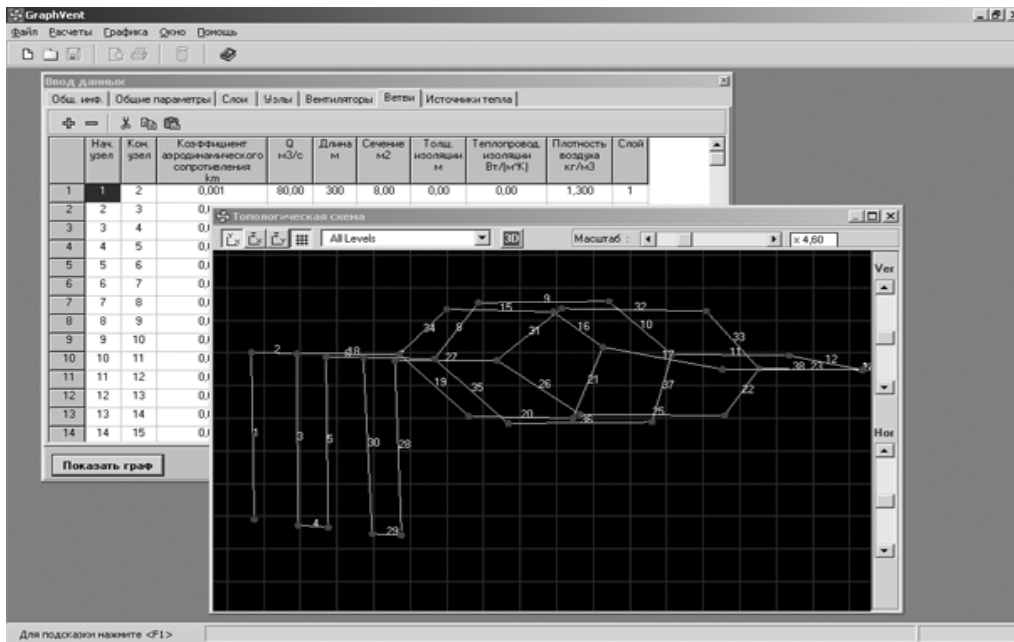


Рис. 1. Рабочее окно программы

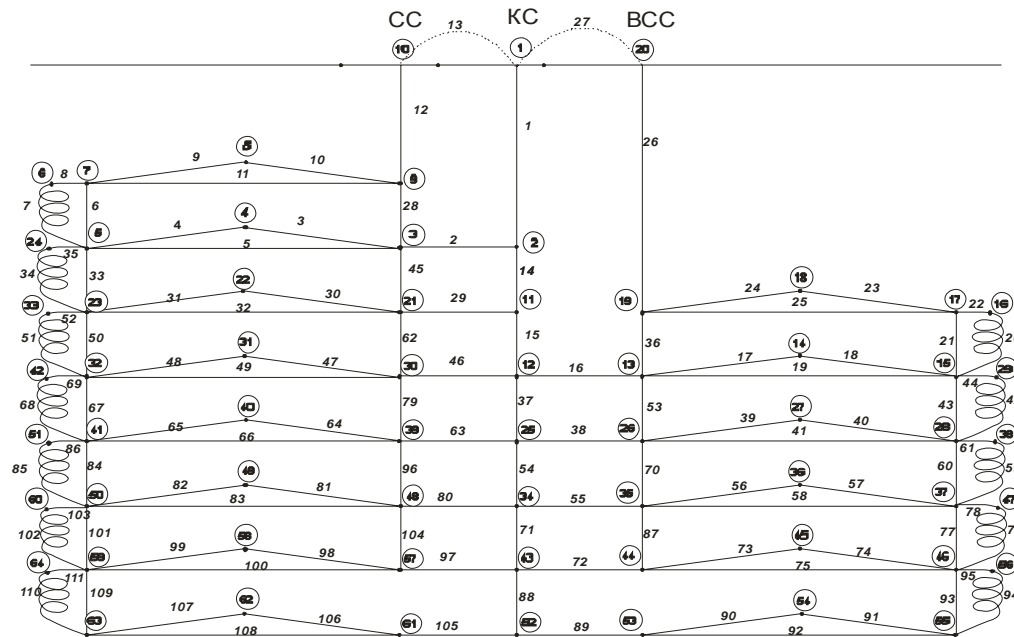


Рис. 2. Схема вентиляции единого подземного рудника

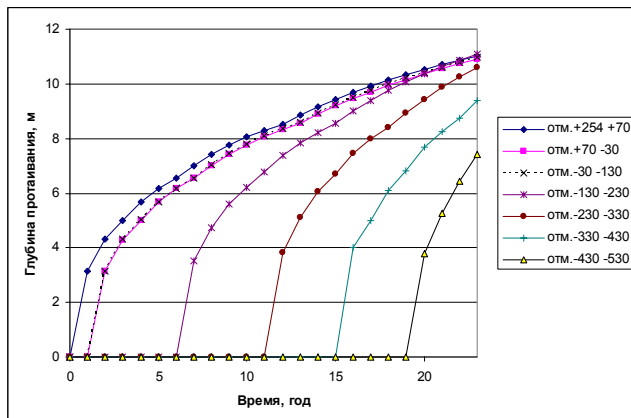


Рис. 3. Динамика глубины протаивания КС

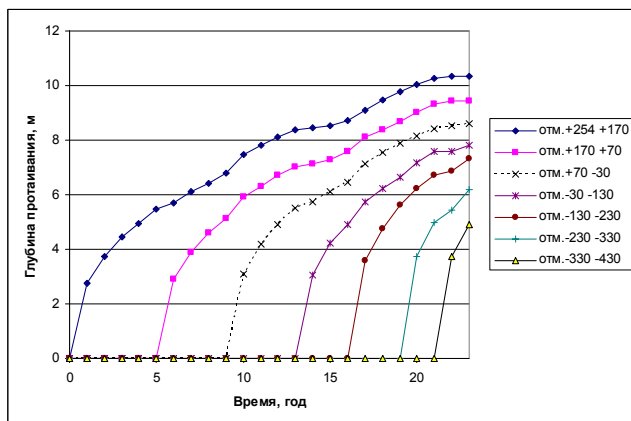


Рис. 4. Динамика глубины протаивания СС

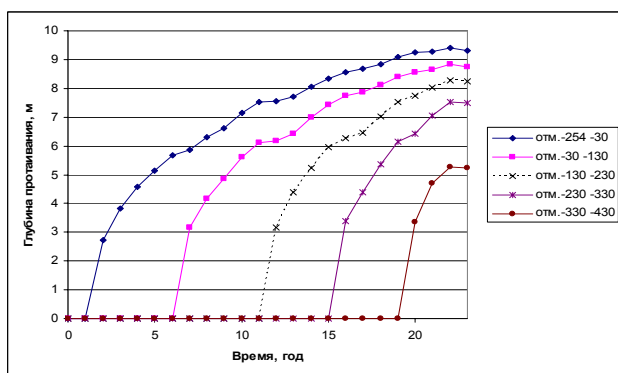


Рис. 5. Динамика глубины протаивания ВСС

В начале каждого этапа появляются новые ветви и узлы вентиляционной сети, а в конце этапа закрываются отдельные ветви, что приводит к прекращению движения воздуха по выработкам данного блока.

Проветривание горных работ будет осуществляться по центральной схеме проветривания. Свежий воздух (одновременно для 2-х месторождений) будет подаваться по клетевому стволу (КС) основной промплощадки рудника. Часть, подаваемого в рудник свежего воздуха будет распределяться в горные выработки тр. «Ботубинская», с выдачей исходящей струи по скиповому стволу (СС) основной промплощадки рудника, а другая часть будет подаваться в горные выработки тр. «Нюрбинская», с выдачей исходящей струи через вспомогательный скиповый ствол (ВСС).

Вентиляционная сеть выработок рудника состоит из 111 ветвей и 64 узлов, следовательно, количество независимых циклов равно $k = 111 - 64 + 1 = 48$. Выходы на поверхность соединены фиктивными ветвями с узлом 1 с нулевыми аэродинамическими сопротивлениями (ветви 13 и 27). Температура атмосферного воздуха задается периодической функцией по формуле:

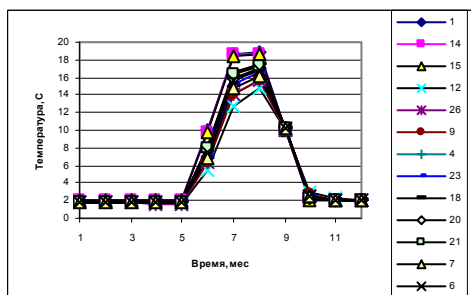


Рис. 6. Динамика температур воздуха в выработках в 5 год эксплуатации

$$T_B = \frac{T_z - T_l}{2} \times \sin \frac{\pi [720(M-1) + \tau + 1800]}{4320} + \frac{T_z - T_l}{2}, \quad (5)$$

где T_z – минимальная зимняя температура, $^{\circ}\text{C}$; T_l – максимальная летняя температура, $^{\circ}\text{C}$; M – порядковый номер месяца, $M=1,2,\dots,12$.

По проекту в руднике будет обеспечиваться постоянный положительный температурный режим (не менее $+2^{\circ}\text{C}$ на воздухоподаче ствола КС), поэтому, как только наружная температура воздуха стане ниже $+2^{\circ}\text{C}$, включается калорифер, который поддержит температуру поступающего воздуха на заданном уровне.

Были так же рассчитаны глубины протаивания пород вокруг выработок, температуры воздуха в каждой выработке. Отдельные результаты интенсивному протаиванию мерзлых пород вокруг выработок, что отрицательно сказывается на их устойчивости.

Следует отметить, что при нерегулируемом тепловом режиме рудника в выработках температура воздуха в зимний период будет отрицательной,

расчета приведены на рис. 3–5. Поскольку в выработках поддерживается положительный температурный режим и расходы воздуха достаточно большие, происходит прогрессирующее протаивание окружающих мерзлых горных пород. Значения глубины протаивания зависят от периода эксплуатации выработок, так за 23 года максимальная глубина протаивания вокруг КС на отметке $(+254 - +70 \text{ м})$ составляет 11 м, на отметке $(-230 - -330 \text{ м})$ – 10,5 м, на отметке $(-330 - -430 \text{ м})$ – 9 м, на отметке $(-430 - -530 \text{ м})$ – 7,5 м. Наиболее интенсивное протаивание происходит в первые годы. Значения глубины протаивания вокруг СС и ВСС ниже чем глубины протаивания вокруг КС.

На рис. 6 приведены расчетные значения изменения температур воздуха в выработках рудника на 5 год эксплуатации.

Из графиков видно, что в зимний период температура воздуха равна примерно $+2^{\circ}\text{C}$, т.к. стабильность температуры обеспечивается калорифером, а в летний период за счет поступления атмосферного тепла воздух нагревается до $+18^{\circ}\text{C}$.

Поддержание круглогодичного положительного температурного режима в выработках рудника позволяет улучшить санитарно-гигиенические условия труда горнорабочих, а также обеспечить приемлемые условия для работы машин механизмов. В тоже время положительная температура воздуха в горных выработках приводит к

и протаивание горных пород происходит только в устьевых частях воздухоподающих выработок в летний период. С позиций геомеханики их мерзлое состояние повышает устойчивость, однако отрицательная температура воздуха ухудшает условия труда рабочих и создает определен-

ные трудности при эксплуатации машин и механизмов.

Результаты проведенных исследований позволили сделать прогноз теплового режима рудника, который необходим для оценки геомеханического состояния горных выработок и обоснования основных параметров производственных процессов.

Таким образом, разработанный программный комплекс обеспечивает объективную оценку состояния вентиляционного и теплового режимов во всех выработках сети рудника с учетом ее нестационарности, что важно для повышения эффективности и безопасности ведения горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов Ф.А.* Воздухораспределение в вентиляционных сетях шахт /Ф.А. Абрамов, Р.Б. Тян, В.Я. Потемкин. - Киев: Наукова думка, 1971. – 136 с.

2. *Ушаков К.З.* Аэрология горных предприятий/К.З. Ушаков, А.С. Бурчаков, Л.А. Пучков, И.И. Медведев; под ред.

К.З.Ушакова.-Изд. 3-е, перераб. и доп. - - М.: Недра, 1987. – 421 с.

3. *Хохолов Ю.А.* Совместное решение задач воздухораспределения и теплового режима в сети горных выработок криолитозоны [Текст] / Ю.А. Хохолов // Горный информ.-аналит. бюллетень. – 2003. - № 7. – С. 70-72.

ГИАБ

Коротко об авторах

Соловьев Д.Е. – аспирант,

Хохолов Ю.А. – доктор технических наук, вед. научный сотрудник,

Институт горного дела Севера им. Н.В.Черского СО РАН.



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
АМХА Бетемариям Гезму	Совершенствование методики расчета пылегазовых выбросов в атмосферу при взрывных работах на карьерах	25.00.36	к.т.н.
УГОЛЬНИ- КОВ Александр Владимирович	Оптимизация режимов работы рудничных пневматических сетей при транспортировании сжатого воздуха	05.05.06	к.т.н.