

УДК 622.41

**А.В. Зайцев, А.А. Селянина**

**A.V. Zaitsev, A.A. Selyanina**

Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет, Пермь, Россия

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЛЩИНЫ ТЕПЛОВЫРАВНИВАЮЩЕЙ РУБАШКИ НА 4 СОЛИГОРСКОМ РУДНИКЕ**

## **INVESTIGATION OF THE THICKNESS OF THE HEAT-LEVELING JACKET AT THE 4 SOLIGORSKY MINE**

Представлены результаты моделирования теплофизических процессов на калийном руднике Старобинского месторождения калийных солей. На основе теплофизической модели была рассчитана область температур пород.

**Ключевые слова:** измерение параметров теплового поля, геотермия, тепловыравнивающая рубашка, температура непо потревоженного массива

The article presents the results of modeling of thermophysical processes in the potash mine at Starobinskiy potassium salt deposit. The area of rocks temperature was calculated on the basis of thermophysical model

**Keywords:** thermal measurement, geothermy, heat-leveling jacket, temperature of undisturbed array

### **Введение**

Температура горных пород определяется тремя источниками: теплом, получаемым от Солнца, которое непосредственно влияет только на земную поверхность; тепловым потоком, идущим из недр Земли, и радиоактивным распадом в толще. Тепловые свойства горных пород характеризуются теплофизическими параметрами.

В результате тепло- и массообменных процессов в рудничном воздухе создаётся особое метеорологическое состояние. Воздух, поступающий в шахту зимой, охлаждает стенки воздухоподающих выработок, а сам нагревается; летом наоборот – воздух охлаждается, а стенки выработок нагреваются. Теплообмен наиболее интенсивно происходит в воздухоподающих выработках и на некотором расстоянии от их устья затухает, а температура воздуха становится близкой к температуре горных пород. Слой породы, температура которого

меняется в течение года, называется тепловыравнивающей рубашкой или оболочкой [1].

Для того чтобы просчитать развитие тепловых условий, необходимо составить тепловую модель, учитывающую температуру воздуха в выработках, и другие параметры.

Чтобы определить температуру нетронутого породного массива, с поверхности бурятся скважины. Измерения проводятся с помощью скважинных или донных термометров.

Согласно требованиям «Правил промышленной безопасности ...» [2], температура воздуха в действующих выработках калийных рудников не должна превышать +26 °С. При температуре воздуха свыше 26 °С необходимо его охлаждение или мероприятия, предусматривающие режим работы персонала с перерывами на отдых в специально оборудованных местах с температурой воздуха не выше 26 °С [3].

Цель исследования: на основе модели определить и выявить закономерности нахождения величины тепловыравнивающей рубашки в массиве горных пород в зависимости от заданных условий.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- изучить особенности формирования температурного поля на 4-м РУ;
- изучить теплофизические параметры и методы их измерения;
- построить модель теплового процесса в программе «Аэросеть», с учетом заданных параметров;
- промоделировать ситуации;
- проанализировать полученные результаты.

По результатам натуральных измерений построены карты геотермии 3-го горизонта рудника (рис. 1). Пласты на 4-м РУ расположены под углом, поэтому тепловой поток также располагается под углом. Отсюда следует, что температура в пределах пласта различная.

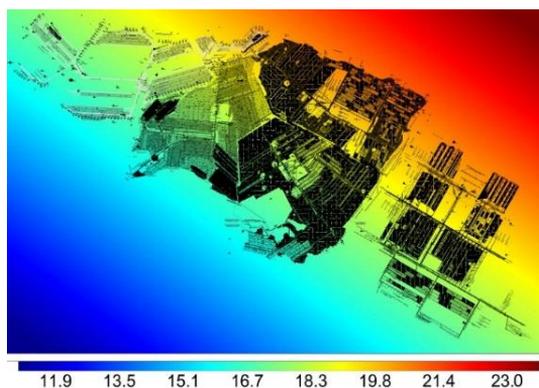


Рис. 1. Карта геотермии горизонтов 4-го РУ

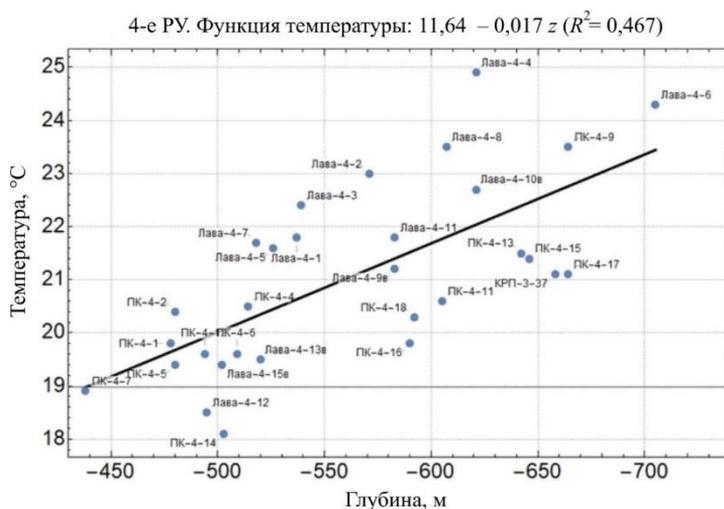


Рис. 2. График линейной аппроксимации температуры массива в зависимости от глубины

На рис. 2 представлен график линейной аппроксимации, на котором видна зависимость температуры массива от глубины на различных комплексах комбайнов.

Температуры массива, полученные на очистных комплексах лав, имеют более высокие значения в сравнении с подготовительными комплексами проходческих комбайнов при одинаковой глубине [4].

### Моделирование с описанием методики

Моделирование теплового процесса в массиве горных пород происходит при помощи выбора воображаемого (гипотетического) цилиндра, ограниченного неким радиусом, ось которого совпадает с осью выработки. Его выбор происходит так, чтобы удовлетворялось условие: на этом расстоянии от выработки температура горного массива из-за теплообмена испытывает настолько малые колебания, которыми можно пренебречь. Этот радиус называется радиусом тепловыравнивающей рубашки.

Исследования проводились в программе «Аэросеть». Были промоделированы лавы длиной 1000 м и поперечным сечением  $10 \text{ м}^2$  на 4 РУ на 2-м и 3-м калийных горизонтах, в которых температуры горных пород 18 и 22 °С, с разными режимами проветривания – 15, 25 и 35 °С температуры поступающего воздуха, с разными расходами воздуха – 10, 5 и 2,5  $\text{м}^3/\text{с}$ . Исследуемая горная порода – галит, с соответствующими теплофизическими параметрами: теплоемкость, плотность, теплопроводность.

Вначале производился расчет для условий при температуре горных пород 18 °С с изменением параметров входящего воздуха и расходов, далее

применялась та же технология, но для горных пород с температурой 22 °С. Изменения толщины тепловыравнивающей рубашки регистрировались в определенный период времени, а именно в периоды 1, 6, 12 месяцев, 2, 3, 4, 5 лет. В программе необходимо было промоделировать заданные условия и на графике проследить, при какой длине скважины температура массива будет отличаться от начальной на 0,1 °С. Измерения взяты в начале выработки, на смещении 0 %.

На рис. 3 представлена модель, созданная в программе «Аэросеть» и отражающая изменение температуры с течением времени в породе при определенном режиме проветривания. На рисунке видно, при какой глубине шпура регистрируется температура непо потревоженного массива.

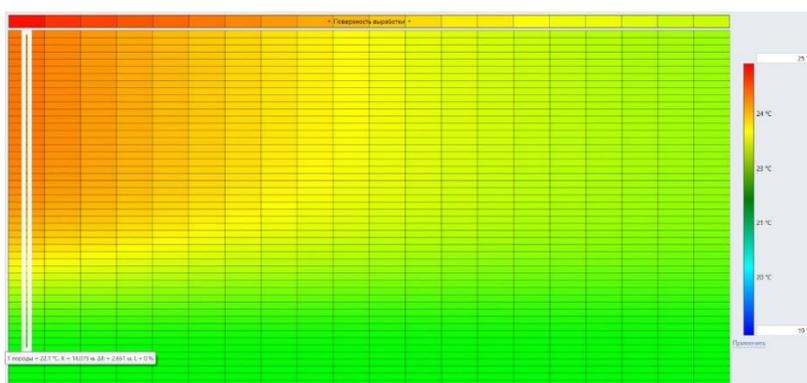


Рис. 3. Модель теплораспределения внутри породы

В ходе исследования получены следующие результаты, которые представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Результаты первого исследования изменения температуры в породе в течение времени

Температура горных пород, °С	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /с	Температура входящего воздуха, °С	Время, дни	Радиус, м	Температура, °С
18	10; 5; 2,5	15	30	7,414	17,9
			180	14,079	
			360	19,951	
			720	26,248	
			1080	31,522	
			1440	34,415	
			1800	34,415	

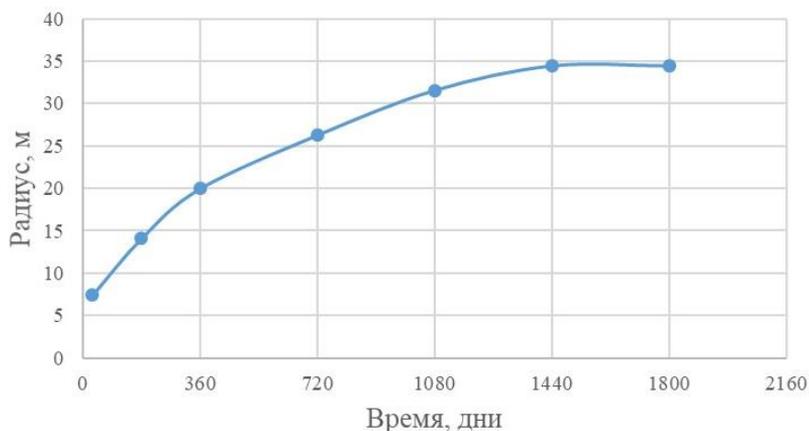


Рис. 4. График зависимости толщины тепловыравнивающей рубашки в зависимости от условий с течением времени

Температура непо потревоженного массива регистрируется на глубине шпура, равной 5,2 м, по истечении 15 дней.

Таблица 2

Результаты второго исследования изменения температуры в породе в течение времени

Температура горных пород, С	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /с	Температура входящего воздуха, С	Время, дни	Радиус, м	Температура, С
22	10; 5; 2,5	35	30	6,914	22,1
			180	14,079	
			360	19,951	
			720	26,248	
			1080	31,522	
			1440	34,415	
			1800	34,415	

Температура непо потревоженного массива регистрируется на глубине шпура, равной 5,2 м, по истечении 7 дней.

На графике (см. рис. 4) видно, что с течением времени толщина тепловыравнивающей рубашки монотонно возрастает.

### Заключение

В ходе исследования были сделаны следующие выводы. Величина расхода воздуха не влияет на величину радиуса тепловыравнивающей рубашки.

С течением времени толщина тепловыравнивающей рубашки возрастает по экспоненциальному закону (монотонно возрастает).

При любых входящих параметрах (при любой рассматриваемой температуре массива, температуре воздуха, расходе) с какого-то момента времени зона влияния становится большой, длина шпуров становится тоже больше.

В лавах ведется работа комбайновых комплексов и конвейерных линий, а это приводит к значительным тепловыделениям и дополнительному нагреву массива, ведется интенсивное проветривание, поэтому там производить температурную съемку не следует. На этапе подготовки, когда процесс проветривания идет не в полной мере и влияние на результаты измерений не оказывается, съемка будет отражать наиболее достоверные результаты. В итоге не будет завышенных измерений геотермии.

### Список литературы

1. Способ измерения температуры массива горных пород: пат. СССР. – № 1402665 заявл. 15.09.1986: опубл. 15.05.1988 / Гурьянов Л.В.; заявитель Институт технической теплофизики АН УССР. – 5 с.: ил.
2. Николаев А.В., Алыменко Н.И. Применение системы кондиционирования воздуха с учетом тепловых депрессий, действующих между стволами // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 12. – С. 12–15.
3. Правила промышленной безопасности при разработке подземным способом соляных месторождений Республики Беларусь. – Солигорск, 2014.
4. Натурные исследования факторов проветривания рабочих зон рудника 4 РУ: отчет о НИР / Горный. ин-т Урал. отд-ния РАН; рук. А.В. Зайцев. – Пермь, 2021. – 68 с.

### Сведения об авторах

Научный руководитель **Зайцев Артём Вячеславович** – доктор технических наук, профессор, горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, artem.v.zaitsev@yandex.ru

**Селянина Анна Александровна** – студентка, горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Получена:** 19.09.2022

**Одобрена:** 08.11.2022

**Принята к публикации:** 09.12.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Зайцев, А.В. Исследование толщины тепловыравнивающей рубашки на 4 Солигорском руднике / А.В. Зайцев, А.А. Селянина // Журнал магистров. – 2022. – № 2. – С. 40–46.

Please cite this article in English as: Zaitsev A.V., Selyanina A.A. Investigation of the thickness of the heat-leveling jacket at the 4 soligorsky mine. *Master's journal*, 2022, no. 2, pp. 40-46.