

*А. И. Чанышев<sup>1</sup>, Л. В. Городилов<sup>1,2</sup>, Д. В. Степанов<sup>1</sup>*

## **Определение теплового состояния породного массива от действия сосредоточенного подземного источника**

<sup>1</sup>Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация  
E-mail: a.i.chanyshev@gmail.com

**Аннотация.** Приведены результаты отработки методики измерения температуры на поверхности массива с внутренним сосредоточенным источником тепла на мраморном блоке. В качестве источника тепла использован тепловой элемент спирального типа, который размещали в центре блока. На верхней грани в плоскости, перпендикулярной оси источника тепла и проходящей через центр блока, сверлили два ряда отверстий диаметром 3 мм и глубиной 1,5 и 7 мм, в которых размещали датчики температуры - термопарами. Измерение осуществляли прибором “Термодат-22М5”, к которому возможно подключение до 24 каналов с термопарами.

**Ключевые слова:** методика измерения температуры, горный массив, источник тепла, тепловое поле

*A. I. Chanyshev<sup>1</sup>, L. V. Gorodilov<sup>1,2</sup>, D. V. Stepanov<sup>1</sup>, and A. I. Pershin<sup>1</sup>*

## **Determination of the thermal state of the rock mass from the action of a concentrated underground source**

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russian Federation  
E-mail: a.i.chanyshev@gmail.com

**Abstract.** The results of the development of a technique for measuring temperature on the surface of a mass with an internal concentrated heat source on a marble block are presented. A spiral-type thermal element was used as a heat source, which was placed in the center of the block. Two rows of holes with a diameter of 3 mm and a depth of 1.5 and 7 mm were drilled on the upper face in a plane perpendicular to the axis of the heat source and passing through the center of the block, in which temperature sensors (thermocouples) were placed. The measurement was carried out with the “Thermodat-22M5”, to which up to 24 thermocouple terminals can be connected.

**Keywords:** temperature measurement technique, mountain range, heat source, thermal field

### ***Введение***

В горном деле существуют классы задач, в которых решающее значение имеет температура и ее распределение. К ним относятся прежде всего задачи терморазрушения, когда за счет локального нагрева происходит механическое разрушение поверхностного слоя массива пород. Другой класс задач — определение зон оттаивания или промерзания массива пород в результате климатического или иного воздействия, что важно ввиду зависимости свойств среды (прежде всего прочностных) от этих событий.

Для того чтобы знать тепловое состояние массива пород, необходимо прибегнуть к решению уравнения теплопроводности [1–3]. Если геометрия всей области определена, известны источники тепла, их интенсивность, расположение, то тогда «работают» классические постановки. Известны методы и приемы решения подобных задач, которые описаны в многочисленных учебниках, монографиях, например в [4].

Однако для решения таких задач более удобным оказывается использование не “классических” постановок, а постановок задач Коши [5]. Для экспериментальной проверки предложенного в [5] подхода необходимы измерения температуры на поверхности массива. В настоящей работе представлена методика и результаты таких измерений для случая, когда в массиве расположен внутренний сосредоточенный источник тепла.

### *Методика экспериментов, материалы*

Для проведения эксперимента в качестве материала выбран блок из природного мрамора (рис. 1) размером 1870×950×830 мм, на который наносилась разметка. В теле блока были просверлены технологические отверстия для размещения источника тепла и датчиков температуры (термопар). Характеристики блока приведены в таблице 1.

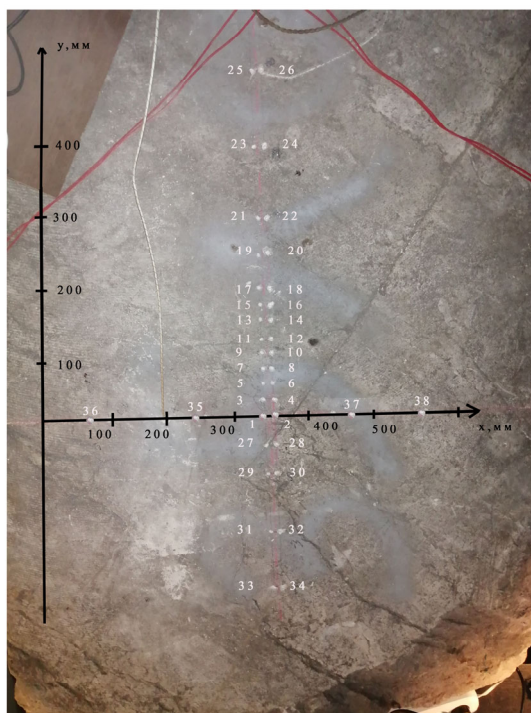


Рис. 1. Схема технологических отверстий для размещения источника тепла и датчиков температуры

Центральная ось отверстия под тепловой источник параллельна линии 36-38 и проходит на глубине 300 мм. Сосредоточенный тепловой источник имеет координату 350 мм по оси “х” и 0 по оси “у” и находится на глубине 105 мм.

Технические характеристики газобетонного блока марки «Сибит»

Характеристика	Значение”
Твердость по шкале Мооса	4
Прочность на сжатие, МПа	200
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2800
Ширина, мм	1000
Длина, мм	2000
Высота, мм	1000
Теплоемкость, Дж/(кг·°С)	880
Теплопроводность, Вт/м·°С	2.9

На рис. 2 представлена фотография стенда, на котором отрабатывалась методика. В качестве источника тепла использовали тэн спирального типа мощностью 450 Вт с габаритными размерами 50x50x50 мм, который размещали в центре отверстия диаметром 52 мм и подключался к сети 220 В через лабораторный автотрансформатор, что позволяла регулировать его мощность. Отверстие для источника тепла перекрывалось заглушками цилиндрической формы из мрамора и герметизировалось асбестовым шнуром диаметром 1 мм. Измерение температуры в глубине и на поверхности блока производили с помощью прибора «Термодат-22М5», к которому возможно подключение до 24 каналов с термопарами (термопары ТД701В), сигналы от которых подавались к аналого-цифровому преобразователю и далее на персональный компьютер. Точность

При включении тэна происходил нагрев блока и выход его теплового поля в стационарный режим, после чего производили регистрацию показаний датчиков температуры.

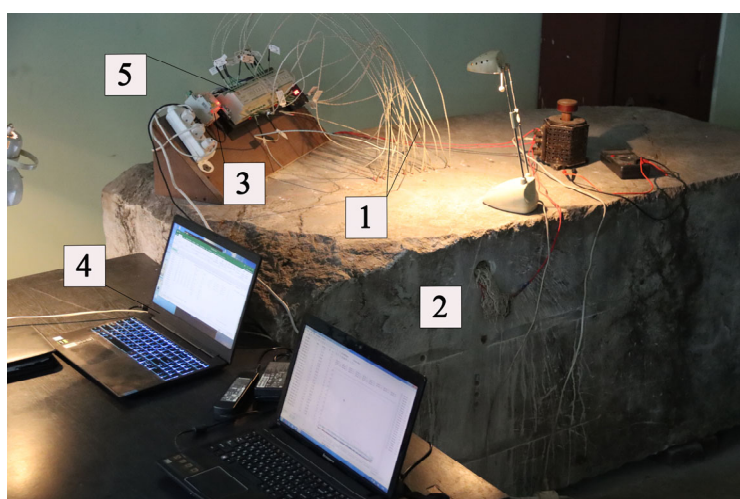


Рис. 2. Процесс измерения температуры с помощью прибора “Термодат-22М5”:  
 1 — датчики ТД701В с проводами подключения; 2 — мраморный блок; 3 — аналого-цифровой преобразователь; 4 — персональный компьютер; 5 — прибор “Термодат-22М5”

Для обеспечения тождественности показаний датчиков-термопар была проведена корректировка их характеристик по двум опорным точкам. За первую точку взята температура тающего льда (датчики помещали в емкость с тающим льдом), за вторую - температура окружающей среды. По результатам измерений с помощью программного обеспечения прибора «Термодат-22М5» вручную вносились корректирующие коэффициенты для каждого датчика, что позволяло обеспечить идентичность измерений.

### *Результаты опытов, их обсуждение*

Стационарным режимом считали состояние теплового поля блока, при котором показания датчиков температуры в течении 0.5 часа изменялись не более чем на 1.5 градуса. При заданной схеме эксперимента и тепловом источнике время достижения стационарного теплового режима составляет не менее 5 ч.

Результаты одного из опытов по измерению температуры представлены в таблицах 2, 3: в табл. 2 представлена динамика роста температуры у источника тепла и над источником на расстоянии от поверхности 6.5 мм, в табл. 3 показания температуры в точках вблизи поверхности блока. На рис. 3 представлены графики измерений температуры на поверхности блока.

*ТАБЛИЦА 2*

Результаты измерений температуры до вхождения в стационарный тепловой режим

Время, мин	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Температура у источника, град.	19.1	123.4	138.2	143.6	146.8	147.0	149.4	151.0	152.7	153.9	153.7
Температура при за- глублении на 7 мм	19.0	30.5	34.7	37.5	39.3	41.4	42.2	43.2	44.0	44.8	45.5

*ТАБЛИЦА 3*

Результаты измерения температуры вблизи поверхности

Номер точки измерения (с заглублением 7 мм)	Температура, град	Номер точки измерения (с заглублением 1.5 мм)	Температура, град
1	45.5	2	40.1
3	43.5	4	36.2
5	39.7	6	34.3
7	35.1	8	30.4
9	31.9	10	22.6
11	27.8	12	24.0
13	25.7	14	22.1
15	24.1	16	21.3
17	22.4	18	23.2
19	19.5	20	19.1
21	18.2	22	17.2
23	15.6	24	15.0
25	15.9	26	15.0

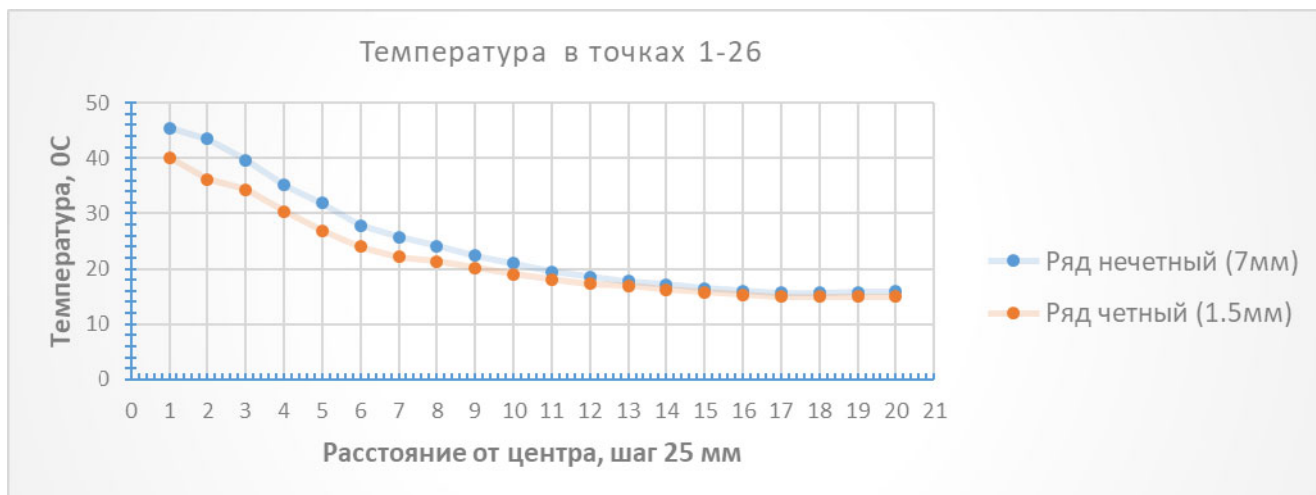


Рис. 3. Зависимости температуры в °С (по оси ординат) от расстояния до плоскости, через которую проходит ось отверстия под источник тепла на поверхности блока в см (по оси абсцисс)

### Заключение

Отработана методика измерений температуры на поверхности массива с внутренним сосредоточенным источником тепла с использованием прибора “Термодат-22М5”. Повышение надежности и точности измерений возможно при совершенствовании процедуры измерения температуры и применении термопар с более высоким классом точности.

Дальнейшее развитие исследований будет направлено на совершенствование методики и на ее сравнение с теоретическими результатами для подтверждения возможности анализа теплового поля в массиве по получаемым данным.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. — М.: Наука, 1977. — 799 с. [Tikhonov, A.N. and Samarsky, A. A. Equations of Mathematical Physics. — Moscow: Nauka, 1977, 799 p.]
2. Курант Р. Уравнения с частными производными. — М.: Мир, 1964. — 830 с. [Courant, R. Partial Differential Equations. — Moscow: Mir, 1964, 830 p.]
3. Владимиров В. С. Уравнения математической физики. — М.: Наука, 1971. — 512 с. [Vladimirov, V.S. Equations of Mathematical Physics. — Moscow: Nauka, 1988, 512 p.]
4. Haberman R. Elementary applied partial differential equations, New Jersey: A Paramount Communications Company Englewood Cliffs, 1987, 568 p.
5. Chanyshv A. I. A method to determine the body thermal state // J. Min. Sci., 2012, vol. 48, no. 4, pp. 660–668.

© А. И. Чанышев, Л. В. Городилов, Д. В. Степанов, 2024