

УДК 622.413

А.Ю. Прокопов, С.В. Боршевский, К.В. Кулинич

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ВОЗДУХОПОДАЮЩИХ СТВОЛОВ ШАХТ ДОНБАССА

Приведены результаты исследований по прогнозированию термонапряженного состояния стволов шахт.

Ключевые слова: тепловой режим стволов шахт, сезонные колебания температуры, воздухоподающие стволы.

Семинар № 4

**A.J. Prokopov, S.V. Borschevsky,
K.V. Kulinich**

RESEARCH OF THERMAL MODE OF AIR FEEDING MINE SHAFTS OF DONBASS MINES

Results of researches on forecasting of a thermotension of mine shafts are resulted.

Key words: thermal mode of mines shafts, daily temperature fluctuations, ventilating stream.

Тепловой режим стволов шахт характеризуется изменением температуры воздуха в стволе по его глубине в течение суток и года и изменением температуры горных пород, окружающих крепь по глубине ствола и в радиальном направлении.

Тепловое взаимодействие массива, окружающего вертикальный ствол, с воздухом, движущимся по нему при наличии разности температур, представляет собой сложный нестационарный процесс, зависящий от многих факторов. Основными из них являются форма и площадь поперечного сечения ствола, температура, теплофизические свойства и скорость движения воздуха, вид и состояние поверхности крепи, омываемой воздушным потоком, строение вмещающего породного массива, характер изменения во времени температуры

поступающего воздуха, влажностного режима в стволе и др.

Температура атмосферного воздуха, поступающего для проветривания шахт и рудников, изменяется в течение года от максимальных значений в летние месяцы до минимальных зимой. При этом характер изменения температуры поступающего воздуха определяется как метеорологическими условиями района расположения шахт и рудников, так и различными мероприятиями по его подогреву или охлаждению перед подачей в стволы. Наиболее типичным для широкого диапазона условий является гармонический [1] или приведенный к нему [2] закон изменения температуры рудничного воздуха.

Температурные изменения в стволах в ряде случаев являются причинами образования трещин в крепи стволов, нарушения узлов заделки и ухудшения напряженно-деформированного состояния жесткой армировки.

Прогнозирование термонапряженного состояния стволов можно разделить на 2 вида исследований. Первый из них относится к выяснению температурного режима и других факторов условий работы стволов (влажность воздуха, обводненность,

Рис. 1. Электронный термометр с датчиком

литологический состав пересеканных пород, физико-механические и теплофизические свойства окружающих пород) и установлению зависимостей, позволяющих в любой момент времени определить величины этих параметров. Второй вид исследований должен быть направлен на изучение влияния тепловых характеристик вертикальных стволов на напряженно-деформированное состояние их крепи и армировки.

С целью исследования влияния сезонных и суточных колебаний температуры воздуха (на поверхности и различных глубинах в стволах) на напряженно-деформированное состояние жесткой армировки вертикальных стволов была собрана информация о температурах наружного воздуха и вентиляционной струи в воздухоподающих стволах.

Данные о сезонных и суточных колебаниях температур были получены в результате проведенных наблюдений на ряде стволов шахт Восточного и Украинского Донбасса.

Исследование сезонных колебаний температуры. Измерения температуры воздуха проводились с помощью прошедшего предварительную тарировку электронного термометра Mistral модели WX600TG (рис. 1) в течение всего года 2-3 раза в месяц. Точность измерения температуры данным прибором составляет $0,1^{\circ}\text{C}$.

Для измерений выбирались характерные пункты по глубине ствола, в частности 1-й замер производился на



нулевой отметке в устье ствола, затем в верхней части ствола, наиболее подверженной температурным колебаниям – через каждые 20 м до отметки -100 м, затем через каждые 100 м до горизонта околоствольного двора, и последний замер – на сопряжении ствола с околоствольным двором.

Для определения правильного места измерения температур воздуха на сопряжении околоствольного двора перед началом исследований проводились измерения температур в 10 точках по сечению сопряжения.

При замерах температуры воздуха по глубине ствола термометр устанавливался на расстоянии $\sqrt{R_0}$ от стенки, где R_0 – радиус ствола в свету, так как на этом расстоянии, согласно исследованиям [1] наблюдается наиболее близкая к средней температуре вентиляционной струи температура воздуха.

На ряде исследуемых стволов (вспомогательный, вентиляционный №1, вентиляционный №2 шахты им. М.П. Чиха; воздухоподающие №1 и №2 шах-

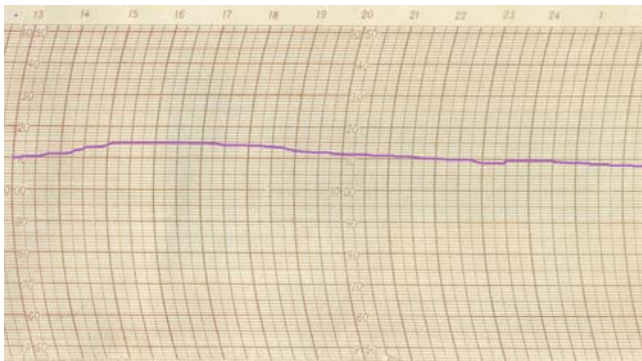


Рис. 2. График зависимости температуры воздуха в устье ствола от времени, полученный с помощью суточного термографа

ты «Красноармейская-Западная №1» и др.) замеры на расстоянии R_0 от крепи производились с людских клеток или клетки аварийно-ремонтного подъема (инспекторской клетки).

На каждой из вышеуказанных глубин замеры проводились 3-5 раз в разных точках, после чего рассчитывалось их среднее арифметическое значение.

Исследование суточных температурных колебаний. Изменение температуры движущегося по стволу воздуха во времени определялось с помощью суточного и недельного термографов с продолжительностью одного оборота барабана часового механизма за 176 ч, которые встраиваются в специальные кожухи. Термографы устанавливались в надшахтном здании, на отметке -20 м, на сопряжении ствола с околоствольным двором и в середине ствола по глубине в лестничном отделении или крепились к расстрелам на расстоянии $\sqrt{R_0}$ от стенки.

Начальная температура при установке термографа определялась по показаниям электронного термометра.

В результате проведенных замеров были получены графики зависимости температуры от времени, по которым определялись максимальные, минимальные значения температур и су-

точная амплитуда их колебаний. Пример такого графика, построенного суточным термографом, приведен на рис. 2.

Для вывода зависимости температуры воздуха в стволах со свежей струей от глубины использованы результаты замеров, проведенных в вертикальных стволах ЗАО «Шахта им. Чиха», шахты «Обуховская №1», шахты «Красноармейская-Западная №1». Кроме того, использованы результаты аналогичных замеров, проведенных в Донбассе в 80-х гг. XX в. проф. М.М. Вяльцевым [1].

Тепловые параметры вентиляционной струи в воздухоподающих стволах зависят в первую очередь от температуры поступающего в шахту воздуха, его сезонных и суточных колебаний.

При движении воздуха вниз по стволу происходит весьма сложный процесс изменения его параметров в результате действия целого ряда факторов (адиабатическое сжатие воздуха при его опускании, наличие влаги и ее испарение, теплообмен между воздухом и крепью и т.д.), взаимно влияющих друг на друга.

При опускании воздуха в шахтном стволе он в результате самокомпрессии нагревается примерно на 1°C через каждые 100 м. Следовательно, уравнение для определения температуры воздуха при выходе его из шахтного ствола в выработки околоствольного двора при адиабатическом сжатии воздуха имеет вид

$$t_1 = t_0 + H/100,$$

где t_0 – температура воздуха в устье ствола, °С; H — глубина шахтного ствола, м.

С увеличением глубины ствола температура горных пород обычно повышается. Если эта температура выше температуры поступающего воздуха, то между горной породой и воздухом будет происходить теплообмен, в результате которого опускающийся в ствол воздух будет дополнительно нагреваться.

Температура наружного воздуха, поступающего в ствол шахты, изменяется в довольно широких пределах в течение года и даже суток. По данным метеорологических станций, средняя температура по месяцам за последние 30 лет в некоторых районах Восточного Донбасса характеризуется данными, приведенными в табл. 1.

По этой же таблице может быть принята среднегодовая температура воздуха для некоторых районов Восточного Донбасса.

Характер периодического изменения температуры поступающего воздуха в шахту в течение года может быть принят в виде гармонического и выражен в заданный момент времени в виде уравнения

$$t_b = t'_b \pm W \cos \frac{2\pi\tau}{365},$$

где t'_b – среднегодовая температура наружного воздуха, °С; W – максимальное отклонение температуры от ее среднего значения, °С; τ – время от начала распространения волны, когда температура воздуха равна $t_b + W$, сут.

Максимальные отклонения температуры в отдельные месяцы от ее среднегодового значения для шахт Восточного Донбасса достигают $\pm 15^\circ\text{C}$. Самыми холодными месяцами в году являются январь, февраль, а самыми теплыми – июль, август.

Максимальные и минимальные температуры воздуха в Шахтинском районе Донбасса в период 1977-85 [1] и 1999-2006 гг., [3], приведены в табл. 2.

Таблица 1

Среднемесячные и среднегодовые температуры районов Восточного Донбасса

Район	Среднемесячная температура, °С					
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь
Каменский	-6,3	-7,4	-1,1	8,5	16,8	19,6
Константиновский	-6	-7,3	-0,5	9,6	16,9	20,7
Цимлянский	-6,8	-7,8	-0,8	9,5	17	20,3
Шахтинский	-7,9	-5,1	-0,63	8,7	16,2	20,6

Продолжение табл. 1

Район	Среднемесячная температура, °С						Среднегодовая температура, °С
	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	
Каменский	23,2	22,1	15,7	9,2	2,4	-4,7	8,5
Константиновский	23,4	22,4	16,9	9,7	2,3	-4,4	8,6
Цимлянский	23,5	22,1	16,6	9,3	1,8	-5,4	8,3
Шахтинский	23,1	21,6	16,3	7,1	2	-4,2	8,3

Таблица 2

Максимумы, минимумы и амплитуды температур в Шахтинском районе Донбасса

Год	$T_{\min}, ^\circ\text{C}$	$T_{\max}, ^\circ\text{C}$	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	Год	$T_{\min}, ^\circ\text{C}$	$T_{\max}, ^\circ\text{C}$	$\Delta T, ^\circ\text{C}$
1977	-28,1	+35,5	63,6	1999	-19,5	+37,0	56,5
1978	-24,4	+37,3	61,7	2000	-18,2	+35,4	53,6
1979	-27,4	+35,5	62,9	2001	-20,3	+38,4	58,7
1980	-29,2	+37,3	66,5	2002	-27,1	+37,2	64,3
1981	-25,2	+36,4	61,6	2003	-22,8	+34,0	56,8
1982	-30,4	+33,5	63,9	2004	-14,6	+32,5	47,1
1983	-18,8	+39,0	57,8	2005	-20,3	+34,7	55,0
1984	-25,1	+37,3	62,4	2006	-29,6	+40,1	69,7
1985	-27,9	+32,5	60,4				

Результаты исследований тепловых параметров вентиляционной струи по глубине ствола, проводившихся путем непосредственных измерений температуры в воздухоподающих и вспомогательных стволах, приведены в табл. 3 и показаны на графике (рис. 3).

Показатели амплитуды годовых колебаний и отклонения температур от среднегодовой на различных глубинах представлены в табл. 4.

Как показывают исследования, температура воздуха в воздухоподающих

стволах при соблюдении требований ПБ к тепловому режиму изменяется в течение года в широких пределах: от 2,5 до 23 °С. Наибольшая разность температур между самым жарким месяцем и наиболее холодным по горизонтали меняется от 19,5 до 11°С, причем с глубиной эта разность падает. Также отмечены небольшие изменения температуры по глубине ствола, достигающие в холодные месяцы года 2°С и более, а в теплые месяцы – до 1°С на каждые 100 м глубины ствола, причем с глубиной эти изменения уменьшаются.

Таблица 3

Значения среднемесячных температур воздуха в стволах Восточного Донбасса

Месяц	Среднемесячная температура воздуха, °С, на глубине				
	0 м	20 м	100 м	350 м	700 м
Январь	-7,9	5,2	4,8	4,9	5,9
Февраль	-5,1	4,8	5,7	5,8	8,8
Март	1,6	5	6,5	8,5	11,3
Апрель	8,7	10,1	10,9	11,8	13,1
Май	16,2	15,4	14,9	15,1	15,3
Июнь	20,6	20,4	19,5	17,8	16,3
Июль	23,1	21,9	21	18,5	16,8
Август	20,8	20,3	19,6	18,1	16,5
Сентябрь	16,3	15,8	16,4	15,4	15,6
Октябрь	7,1	9,0	10,9	11,8	13,2
Ноябрь	2	5,2	6,8	8,6	11,7
Декабрь	-4,2	2,5	4,3	5,8	8,8

Таблица 4

Характеристики теплового режима воздухоподающих стволов

Характеристика	Значения показателя, °С, на глубине				
	0 м	20 м	100 м	350 м	700 м
Среднегодовая температура	8,3	11,3	11,7	11,8	13
Годовая амплитуда колебаний температуры	31	19,4	16,7	13,6	10,9
Максимальные отклонения среднемесячных температур от среднегодовой	16,2	10,6	9,3	6,9	7,1

Исследования и непосредственные замеры температуры в стволах показали, что в течение мая-сентября до глубины 250 м породы нагреваются, а ниже этой глубины охлаждаются под действием температуры движущегося по ним воздуха. В остальные месяцы по всей глубине крепь и породы охлаждаются движущейся струей.

Аналогичные результаты получены при исследовании температурного режима воздухоподающих стволов шахт Центрального Донбасса. Например, в воздухоподающем стволе № 1 шахты «Красноармейская-Западная» № 1 в течение года температура воздуха изменяется по гармоническому закону с уменьшающейся по глубине амплитудой от 7 до 4 °С. В течение теплых месяцев (с мая по август) происходит нагревание пород струей воздуха в сред-

нем до глубины 250 – 270 м, в остальные – охлаждение до указанной глубины. На большей глубине – охлаждение в течение всего года, следовательно, температура в воздухоподающих стволах изменяется, как и на поверхности, по гармоническому закону, но с меньшей амплитудой, уменьшающейся с глубиной ствола, от 10°С у поверхности земли до 4°С на глубине 700 м.

Кроме сезонных колебаний в воздухоподающих стволах отмечаются суточные колебания температуры, результаты замеров которой приведены в табл. 5.

По данным табл. 5 построим поле корреляции (рис. 4) и найдем зависимость суточной амплитуды температур $\Delta T_{\text{сут}}$ от глубины ствола H .

Для каждой серии проведенных опытов построим линии тренда (рис. 4). Все они наилучшим образом описываются экспоненциальной зависимостью с отрицательным показателем степени. Построив среднюю линию тренда, определим вид зависимости амплитуды суточных температурных колебаний $\Delta T_{\text{сут}}$ от глубины ствола H . Для условий Российского Донбасса эта зависимость имеет вид

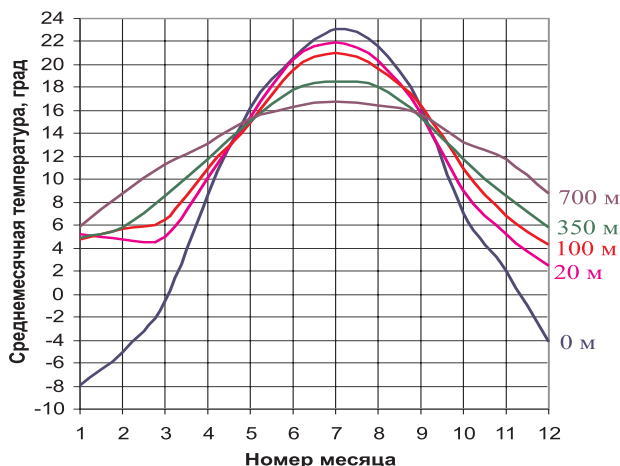


Рис. 3. Изменение температуры воздуха в течение года по глубине ствола:

Таблица 5

Результаты замера суточных колебаний температур в стволах Восточного Донбасса

№ замера	Минимальная T_{\min} , максимальная T_{\max} температура воздуха и ее суточная амплитуда ΔT , °С, на глубине														
	0 м (надшахтное здание)			20 м			100 м			350 м			700 м		
	T_{\min}	T_{\max}	ΔT	T_{\min}	T_{\max}	ΔT	T_{\min}	T_{\max}	ΔT	T_{\min}	T_{\max}	ΔT	T_{\min}	T_{\max}	ΔT
1	-10,5	1,5	12	-1,5	4,3	5,8	1,2	4,7	3,5	4,2	4,5	0,3	5,9	6,0	0,1
2	-4,0	3,3	7,3	-0,3	5,1	4,7	1,5	5,1	3,6	5,5	5,9	0,4	8,8	9,0	0,2
3	0,5	8,6	8,1	1,8	5,7	3,9	2,4	5,0	2,6	7,3	8,0	0,7	10,8	11,2	0,4
4	4,6	8,7	4,1	5,9	9,1	3,2	8,9	10,7	1,8	11,6	11,8	0,2	13,0	13,1	0,1
5	5,5	16,2	10,7	9,8	15,4	5,6	11,1	14,9	3,8	14,3	15,1	0,8	15,0	15,3	0,3
6	13,6	20,6	7,0	15,5	20,4	4,9	17,0	19,5	2,5	17,5	17,8	0,3	16,2	16,3	0,1
7	15,5	20,8	5,3	17,1	20,3	3,2	18,1	19,6	1,5	17,9	18,1	0,2	16,4	16,5	0,1
8	2,0	9,2	7,2	5,2	9,8	4,6	6,8	10,1	3,3	10,6	11,0	0,4	11,7	11,9	0,2
Средняя амплитуда колебаний $\Delta T_{\text{ср}}$					4,5			2,8			0,4			0,2	

$$\Delta T_{\text{сут}} = 5,08 e^{-0,0052H}$$

Как видно из рис. 4, колебания температуры в течение суток в воздухоподающих стволах Восточного Донбасса достигают 5°C и более. С глубиной эти колебания уменьшаются и уже на глубине 300-350 м почти прекращаются. Быстрое выравни-

вание суточных параметров воздуха в стволе может быть объяснено, в основном, теплообменом с горными породами, которые при суточных изменениях температуры интенсивно воспринимают и отдают тепло.

На основании приведенных исследований можно сделать следующие выводы:

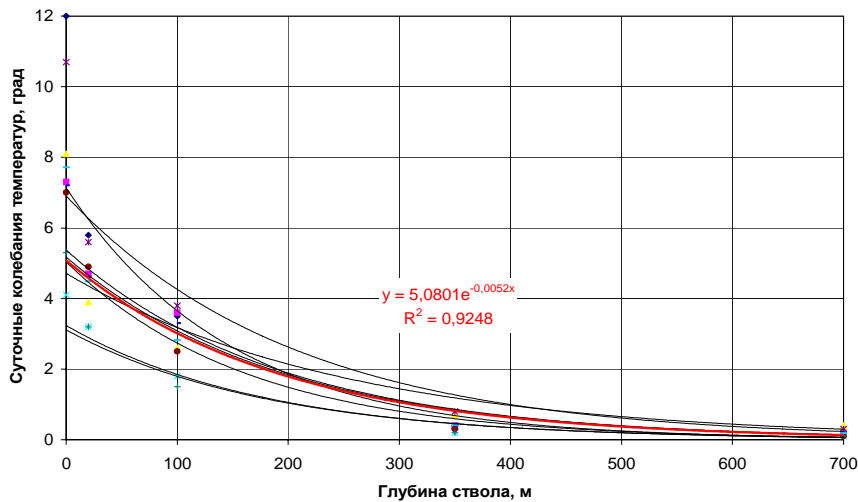


Рис. 4. Поле корреляции и линии тренда для каждой серии опытов по исследованию зависимости $\Delta T_{\text{сут}} = f(H)$

1. Тепловые параметры вентиляционной струи в воздухоподающих стволах зависят в первую очередь от температуры поступающего в шахту воздуха, его сезонных и суточных колебаний.

2. Температура воздуха в воздухоподающих стволах Донбасса при соблюдении требований ПБ к тепловому режиму изменяется в течение года в широких пределах: от 2,5 до 23°C.

3. При тепловых расчетах воздухоподающих стволов необходимо учитывать суточные колебания температур, которые достигают 4 – 5°C и более и распространяются до глубины 300 – 350 м.


4. Амплитуда суточных колебаний температуры воздуха уменьшается с глубиной по экспоненциальному закону.

5. Калориферное хозяйство шахт играет важную роль в тепловом режиме стволов и поэтому требует особого внимания, так как интенсивное обмерзание стволов в зимний период до глубины 100 – 120 м и выше не только ухудшает температурный режим стволов и затрудняет передвижение подъемных сосудов по стволу, но и отрицательно сказывается на состоянии крепи и армировки на этих участках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вяльцев М.М.* Прогноз и регулирование термонапряженного состояния горных выработок. – М.: Недра, 1988. – 200 с.

2. *Дядькин Ю.Д., Шувалов Ю.В., Гендлер С.Г.* Тепловые процессы в горных выработках. – Л.: Изд-во ЛПИ, 1978. – 104 с.

3. *Архив погодных условий.* – <http://meteo.infospace.ru>. 

Коротко об авторах

Прокопов А.Ю. – кандидат технических наук, доцент, заместитель директора Шахтинского института Южно-Российского государственного технического университета по образовательной и научной деятельности, доцент кафедры «Подземное, промышленное, гражданское строительство и строительные материалы», г. Шахты, Россия, prokоров72@rambler.ru.

Боршевский С.В. – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительство шахт и подземных сооружений» Донецкого Национального технического университета, г. Донецк, Украина bsv@mine.dgtu.donetsk.ua.

Кулинич К.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подземное, промышленное, гражданское строительство и строительные материалы» Шахтинского института Южно-Российского государственного технического университета, г. Шахты, Россия, ngty@novoch.ru

