

УДК 622.25 (06)

**А.А. Богомазов, М.А. Голодов**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА  
ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ И ЕГО ВЛИЯНИЕ  
НА ЖЁСТКУЮ АРМИРОВКУ**

*Произведены измерения температуры воздушной струи в различных частях ствола и на различных глубинах. Выполнены расчёты удлинения расстрелов и проводников в зависимости от температуры, и построены графики. Найдена зависимость суточной амплитуды колебания температур от глубины ствола. Получены сплайн-функции зависимости амплитуд среднемесячных и экстремальных температур от глубины ствола.*

*Ключевые слова: ствол, глубина, колебания, амплитуда.*

---

**Т**емпературный 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 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 или приведенный к нему 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.

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 были проведены измерения температуры наружного воздуха и вентиляционной струи в вертикальных стволах различного назначения (вспомогательный, вентиляционный №1, вентиляционный №2 шахты им. М.П. Чиха; воздухоподающие №1 и №2 шахты «Красноармейская-Западная №1» и др.).

Таблица 1

**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

Таблица 2

**Экстремальные температуры воздуха, зафиксированные в воздухоподающих и вспомогательных стволах Донбасса**

Характеристика	Значения показателя, °С, на глубине				
	0 м	20 м	100 м	350 м	700 м
Зафиксированный минимум температур <sup>1</sup> , °С	-14	-6,2	-3,6	0	4,5
Зафиксированный максимум температур <sup>2</sup> , °С	36	25,5	24,2	23,5	25,1
Амплитуда, °С	50	31,7	27,8	23,5	20,6

*Примечания:* <sup>1</sup> — аварийный тепловой режим, обмерзание ствола до глубины 350 м.  
<sup>2</sup> — замеры произведены в августе 2006 г. в период аномальной жары (до +40,1 °С), установившейся в Донбассе.

В результате проведенных замеров были получены графики зависимости температуры от времени, по которым определялись максимальные, минимальные значения температур и суточная амплитуда их 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 горными породами и т.д.), взаимно влияющих друг на друга.

Воздух опускаясь в шахтном стволе, в результате самокомпрессии нагревается примерно на 1 °С через каждые 100 м. Следовательно, уравнение для определения температуры воздуха при выходе его из шахтного ствола в выработке околоствольного двора при адиабатическом сжатии воздуха имеет вид

$$t_1 = t_0 + H/100, \quad (1)$$

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 стволе воздух будет дополнительно нагреваться.

Температура наружного воздуха, поступающего в ствол шахты, изменяется в довольно широких пределах в течение года и даже суток. 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

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

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

Результаты исследований тепловых параметров вентиляционной струи по глубине ствола, проводившихся путем непосредственных измерений температуры в воздухоподающих и вспомогательных стволах. Показатели амплитуды годовых колебаний и отклонения температур от среднегодовой на различных глубинах представлены в табл. 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.

Кроме сезонных колебаний в воздухоподающих стволах отмечаются суточные колебания температуры. При проведении натурных измерений по полученным данным построено поле корреляции и найдена зависимость суточной амплитуды температур  $\Delta T_{\text{сут}}$  от глубины ствола  $H$ .

$$\Delta T_{\text{сут}} = 5,08 e^{-0,0052H} \dots \quad (3)$$

По данным исследований видно, что Донбасс характеризуется существенными колебаниями температуры воздуха в течение года. Сезонная амплитуда температур в некоторые годы достигала 64—69 °С, что существенно сказывалось на тепловом режиме воздухоподающих стволов, надежности работы калориферов и всего подъемно-стволового комплекса. В табл. 2 приведены значения зафиксированных минимумов (замеры производились в январе, в том числе и при нарушениях теплового режима) и максимумов (в июле, августе) температур, которые встретились при наблюдении за температурным режимом в стволах Донбасса в период 1995-2006 гг.

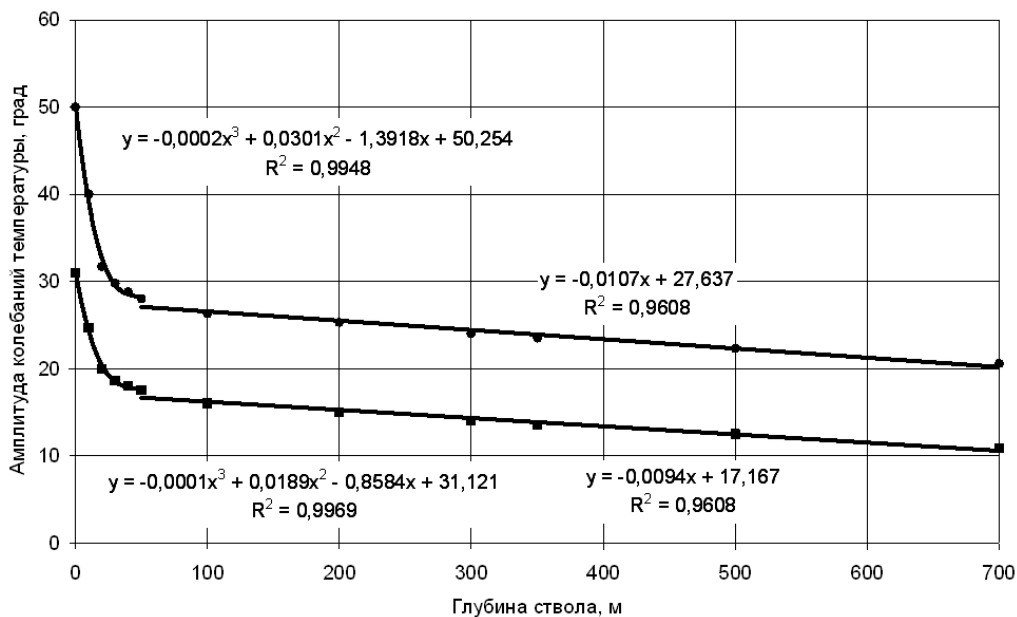
Как следует из табл. 2 экстремальные температурные колебания существенно превосходят средние (табл. 1), поэтому температурные нагрузки на конструкции армировки должны учитывать возможность возникновения подобных аномальных тепловых режимов.

Произведем сравнение и найдем зависимости амплитуд средних и экстремальных температур от глубины ствола (рис. 1).

Исследования показывают, что амплитуды колебаний температуры (как средних значений, так и экстремальных) резко и нелинейно снижаются на первых 50 м от устья ствола, после чего снижение становится более медленным и линейным. В общем виде зависимости  $\Delta T_{\text{cp}} = f(H)$  и  $\Delta T_{\text{э}} = f(H)$  могут быть выражены в виде сплайн-функций, состоящих из полинома 3-го порядка (на отрезке 0 — 50 м) и линейной функции (в интервале свыше 50 м):

– для амплитуд, рассчитанных по среднемесячным температурам

$$\Delta T_{\text{cp}} = \begin{cases} -1 \cdot 10^{-4} H^3 + 1,9 \cdot 10^{-2} H^2 - 0,858H + 31,12, & \forall H \in [0,50]; \\ -9,4 \cdot 10^{-3} H + 17,17, & \forall H \in (50, 1000). \end{cases} \quad (6)$$



**Рис. 1. Графики зависимости амплитуд среднemesячных  $\Delta T_{cp}$  и экстремальных  $\Delta T_s$  температур от глубины ствола  $H$**

– для амплитуд, рассчитанных по экстремальным (пиковым) температурам:

$$\Delta T_s = \begin{cases} -2 \cdot 10^{-4} H^3 + 3 \cdot 10^{-2} H^2 - 1,392H + 50,25, & \forall H \in [0,50]; \\ -1,07 \cdot 10^{-2} H + 27,6, & \forall H \in (50, 1000). \end{cases} \quad (7)$$

Полученные зависимости с высокой степенью точности отражают результаты исследований, коэффициент корреляции для уравнений (6) и (7) находится в пределах  $R^2 = 0,96 - 0,99$ .

Как видно из исследований тепловые параметры вентиляционной струи в воздухоподающих стволах зависят в первую очередь от температуры поступающего в шахту воздуха, его сезонных и суточных колебаний. 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 °С. При возникновении аварий в работе калориферов нарушается тепловой режим, при этом в стволах наблюдаются отрицательные температуры (от -14°С на нулевой раме до 0°С на глубине 350-400 м). В этих случаях зафиксировано обледенение крепи стволов до глубины 200 м (в Российском Донбассе) и до 400 м (в Украинском Донбассе).

Следовательно, на жесткую армировку воздухоподающих стволов оказывают влияние сезонные перепады температур, которые вызывают изменение длины расстрелов и проводников. Удлинение (укорочение) расстрелов при экстремальных температурных перепадах может достигать 5,5 мм, а проводников — 7,5 мм. Величиной возможного изменения длины элементов армировки определяется необходимый температурный зазор на стыках проводников или дополнительная величина податливости расстрелов.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Прокопов А.Ю.* Дифференцированный подход к проектированию армировки шахтного ствола // Научно-технические проблемы шахтного строительства: Сб. науч. тр. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск, 2000. — С. 98-103.

2. *Прокопов А.Ю., Прокопова М.В., Богомазов А.А.* Комбинированное использование анкерных конструкций для крепления элементов армировки и упрочнения бетонной крепи ствола // Изв. вузов. Сев.-Кавк.

регион. Техн. науки. — 2006. — Спец. выпуск. Совершенствование техники и технологии угледобычи. — С. 63 — 66.

3. *Исследование* влияния температурных колебаний на состояние жесткой армировки воздухоподающих стволов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Издательство Московского государственного горного университета. № 11 - 2009 — с 310. **ТИАБ**

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Богомазов Александр Александрович* — кандидат технических наук, доцент, sbog@rambler.ru,

*Голодов Максим Александрович* — кандидат технических наук, доцент Шахтинский институт (филиал) Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института).



---

## ГОРНАЯ КНИГА



### Маркетинг в горной промышленности

В.А. Бурчаков

2013 г.

272 с.

ISBN: 978-5-98672-339-6

UDK: 622.013:65.012.2

Приведены базовые положения современного маркетинга и методы его использования на современных предприятиях горной промышленности. Рассмотрены теоретические и методологические вопросы по организации маркетинговых исследований, проведению сегментации рынка, позиционированию производимой продукции, ценообразованию и т.д. Изложен круг проблем, определяющих маркетинг горно-добывающих предприятий, методы его реализации на рынке горной промышленности, конкурентоспособность горных предприятий, дан анализ тенденций и перспектив развития мирового рынка угля и углеэкспорта.

*Бурчаков В.А.* — профессор кафедры «Экономика и планирование горного производства» Московского государственного горного университета.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 080100 «Экономика» (профиль «Экономика и планирование горного производства»).