

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левин Л.Ю. Теоретические и технологические основы ресурсосберегающих систем воздухоподготовки рудников: дис. ... д.т.н.: 25.00.20: защищена 29.04.10 / Левин Лев Юрьевич. – Пермь, 2010. – 275 с.
2. Левин Л.Ю., Казаков Б.П. Использование газовых теплогенераторов в системах обогрева воздухоподающих стволов калийных рудников // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2008. – № 10. – С. 55-59.
3. Левин Л.Ю., Ключин Ю.А. Исследование и пути решения характерных проблем работы вентиляторных систем воздухоподготовки на примере главной системы воздухоподготовки рудника «Мир». // Вестник ПНИПУ: Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – № 3. – С. 138-142.
4. Рязанов В.И., Щелоков А.В. Сравнительная характеристика газовых воздухонагревателей смешительного типа // Молодежь и XXI век – 2018: Материалы VIII Междунар. молодежной науч. конф. – 2018. – Т. 5. – С. 231-234.
5. Бородавкин Д.А., Зайцев А.В. Анализ эффективности применения газовых калориферов прямого нагрева в условиях шахт и рудников // Горное эхо. – 2020. – № 2 (79). – С. 95-99. – DOI: 10.7242/echo.2020.2.19.
6. Величковский В.Т., Маликов Ю. К., Троицкая Н.А., Беленькая М.А., Сергеева Н.В., Широкова О.В., Кашанский С.В., Слышкина Т.В., Симонова О.В., Зыкова В.А. Гигиеническая оценка использования прямого подогрева воздуха, подаваемого в шахту // Гигиена и санитария – 2011. – № 4. – С. 41-45.
7. Методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлах производительностью до 30 т/ч: утв. Госкомитетом СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды 5.08.1985 г. – М., 1985. – 24 с.
8. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час: утв. Госкомитетом РФ по охране окружающей среды 9.07.1999 г. – М., 1999. – 76 с.
9. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: утв. гл. сан. врачом РФ 28.01.2021; зарегистрированы в Минюсте РФ 29.01.2021, № 62296. – С. 1025.

УДК 622.253

DOI:10.7242/echo.2023.4.18

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕДОПОРОДНОГО ОГРАЖДЕНИЯ ИЛИ ЕГО РАЗМОРАЖИВАНИЯ НА ОСНОВЕ МНОГОВАРИАНТНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.В. Пугин, А.В. Богомялков, К.М. Агеева  
*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Разработка основных технических решений для проекта на искусственное замораживание и размораживание горных пород при строительстве шахтных стволов предусматривает расчеты для определения рационального режима работы замораживающего комплекса. Данная задача неразрывно связана с определением требуемой холодопроизводительности замораживающей станции и напрямую влияет на выбор холодильного (нагревательного) оборудования. В статье описывается подход к решению указанных задач, основанный на многовариантном численном математическом моделировании процессов теплопереноса в искусственно замораживаемом или размораживаемом массиве горных пород. Теплофизическое моделирование производится в программном комплексе «FrozenWall». Предлагаемый подход позволяет в разумные сроки определить параметры режима работы холодильного оборудования или нагревательного оборудования, наилучшего с точки зрения достижения целей всего комплекса строительных работ с минимизацией затрат.

**Ключевые слова:** искусственное замораживание, размораживание, ледопородное ограждение, проектирование, многовариантное моделирование, рациональный режим.

Разработка технических решений для проекта на замораживание и последующее размораживание горных пород все больше требует применения современных методов теплофизического моделирования и численных математических расчетов. Одной из

важнейших задач проектирования является выбор рационального режима работы замораживающего комплекса.

Данная статья описывает методику выбора режима, обеспечивающего максимальную энергоэффективность применяемой технологической схемы в комплексе с остальными видами строительных работ и корректное определение параметров холодильного (нагревательного) оборудования [1, 2]. Под рациональным здесь понимается режим, позволяющий в течение заданного временного периода достичь требуемых для безопасной проходки параметров ЛПО при наименьших энергозатратах на работу замораживающего комплекса.

Согласно [3] холодопроизводительность замораживающей станции следует вычислять по формуле:

$$Q_n = S\alpha_n, \quad (1)$$

где  $S$  – общая площадь внешних поверхностей замораживающих колонок,  $m^2$ ;  $\alpha_n$  – коэффициент тепловосприятости от грунтов к наружной поверхности замораживающей колонки,  $ккал/(m^2 \cdot ч)$ . При этом коэффициент  $\alpha_n$  определяется эмпирически и имеет нестационарный характер. Составителями документа приводятся его справочные величины, которые следует применять в расчете на заданную (минимальную) температуру хладоносителя.

На самом деле данная формула отражает не столько требуемую холодопроизводительность замораживающей станции, сколько теплопоглощающую способность самих замораживающих колонок, то есть их способность отводить тепло от массива при замораживании или передавать его породе при нагревании. Данная формула в развернутом виде присутствует и в инструкции [4]:

$$W_{зк} = \frac{\pi d H n k}{860}, \text{ кВт}; \quad (2)$$

где  $d$  – внешний диаметр трубы замораживающей колонки,  $m$ ;  $H$  – рабочая длина трубы замораживающей колонки,  $m$ ;  $n$  – количество замораживающих колонок;  $k = \alpha_n$ ; но ее значение не является решающим, а сопоставляется со значением холодильной мощности, рассчитанной из количества теплоты, которое необходимо отвести от пород в процессе замораживания исходя из их теплофизических и влажностных характеристик.

Например, расчетная величина теплопоглощающей способности 36 замораживающих колонок с внешним диаметром 0,146  $m$  и глубиной 200  $m$  при минимальной температуре хладоносителя  $-30^\circ C$  (при  $k = 400$   $ккал/(m^2 \cdot ч)$ ) составит:

$$W_{зк} = \frac{3,14 \cdot 0,146 \cdot 200 \cdot 36 \cdot 375}{860} = 1439 \text{ кВт}. \quad (3)$$

Допустим количество теплоты, которое требуется отвести из массива горных пород для формирования ледопородного ограждения (ЛПО) с учетом издержек на охлаждение массива за его пределами составляет 7 000 000 МДж. Тогда средняя холодопроизводительность замораживающей станции, необходимая для формирования ЛПО в четырехмесячный срок (120 суток) составит:

$$W_{зам} = \frac{0,0116 \cdot 7\,000\,000}{120} = 677 \text{ кВт}. \quad (4)$$

Максимальная же, или так называемая, пиковая холодопроизводительность будет зависеть от выбранного режима работы замораживающего комплекса, но не превысит величину  $W_{ЗК}$ , которая ограничивает возможности системы замораживания.

Закладываемая в проект в качестве требуемой холодопроизводительности величина  $W_{ЗК} = 1439$  кВт впоследствии с большой вероятностью окажется избыточной. Подобранный под данный параметр холодильное оборудование на этапе поддержания ЛПО будет работать непродуктивно либо частично простаивать, увеличивая затраты на величину аренды и обслуживания. Формирование ЛПО при этом произойдет в более короткие сроки, суммарные энергозатраты будут высокими, а подготовка к проходке еще не будет завершена.

Величины  $W_{зам} = 677$  кВт может оказаться недостаточно в период пиковых нагрузок, что увеличит сроки формирования ЛПО и приведет к невыполнению плана производства работ. Упрощенный подход, использующий простые аналитические формулы и интегральные оценки, ограничивает возможности дальнейшей рационализации режима.

Ранее в работах [5, 6] описывался программный комплекс «FrozenWall» [7], позволяющий выполнять детальное численное моделирование процессов теплопереноса при искусственном замораживании горных пород. Разработанное программное обеспечение рассматривалось в аспекте термометрического контроля формирования и состояния ЛПО на участке строительства вертикального шахтного ствола.

Возможности программы позволяют использовать ее на этапе разработки основных технических решений для проекта на замораживание горных пород, в том числе для выбора режима работы замораживающего комплекса. Начальная теплофизическая модель, созданная на основе геологических сведений и параметризованная по данным лабораторных испытаний горных пород с участка строительства ствола, позволяет выполнить многовариантное численное моделирование теплораспределения в замораживаемом массиве с оценкой динамики формирования ЛПО.

Встроенный модуль «С/Н-Power» позволяет при заданном графике изменения температур прямого потока и расхода хладоносителя в рассольной сети вычислить суммарное количество теплоты, отобранное замораживающими колонками из массива за единицу времени, на заданный момент времени с начала замораживания, т.е. величину, эквивалентную холодильной мощности «нетто»  $W_{netto}$ . В данном случае «нетто» означает, что эта величина не учитывает теплопритоки в рассольную сеть от работающего насосного оборудования, внешней среды и другие возможные потери мощности холодильного оборудования.

Режим работы замораживающей станции определяется начальной  $T_0$  и минимальной (рабочей)  $T_{min}$  температурой, функцией  $T = T(\tau)$  изменения температуры прямого потока хладоносителя со временем  $\tau$  и его расходом  $q$ . Данные параметры являются входными для решения задачи выбора режима. При проектировании понижение температуры хладоносителя чаще всего задается функцией  $T(\tau)$  вида:

$$T(\tau) = \begin{cases} T_0 + \Delta T \tau, & \text{при } 0 < \tau < \tau_1 \\ T_{min}, & \text{при } \tau_1 \leq \tau < \tau_2 \end{cases} \quad (5)$$

вследствие ее простоты, где  $\tau_1$  – момент выхода на режим активного замораживания, т.е. достижения рабочей температуры  $T_{min}$ ;  $\tau_2$  – момент перехода на режим поддержания ЛПО;  $\Delta T(\tau) = Const$  – декремент изменения температуры за единицу времени.

В процессе многовариантного моделирования рассматривается конечное число  $P = N \times M$  режимов, описывающихся различными комбинациями параметров  $T_{min} = \{T_{1min}, T_{2min}, \dots, T_{Nmin}\}$  и  $\Delta T = \{\Delta T_1, \Delta T_2, \dots, \Delta T_M\}$ . Величина  $T_0$  определяется естественной температурой массива в интервале замораживания горных пород и поэтому не входит в число варьируемых параметров.

Диапазон изменения минимальной температуры хладоносителя определяется исходя из условий замораживания: геотермии, температуры внешней среды, криогидратной точки хладоносителя, минерализации подземных вод, скорости их фильтрации через область формирования ЛПО. Величина  $\Delta T$  напрямую определяет затраты холодильной мощности в различные моменты формирования ЛПО.

Предположим, что фильтрация подземных вод отсутствует, их минерализация незначительна, а максимальная естественная температура массива не превышает  $+20^\circ\text{C}$ . На начальном этапе для упрощения целесообразно рассмотреть два значения  $T_{min}$ , например,  $T_{min} = \{-20, -30\}$  ( $^\circ\text{C}$ ) и два значения  $\Delta T = \{\frac{1}{2}, 1\}$  ( $^\circ\text{C}/\text{сутки}$ ). Таким образом, потребуется промоделировать четыре режима работы замораживающей станции, чтобы понять, какой из них наиболее энергоэффективен.

Основным критерием выбора рационального режима является одновременное соблюдение следующих условий:

- 1) по времени – в расчетный срок (120 суток) обеспечивается достижение минимально требуемой толщины и температуры ЛПО во всех в интервале замораживания;
- 2) по энергоэффективности – пиковое значение «холодильной мощности» замораживающих колонок, рассчитанное в ПО «FrozenWall» минимально.

При необходимости дальнейшей рационализации следует рассмотреть другие пары значений  $T_{min}$  и  $\Delta T$  в окрестности ранее выбранных, что и называется многовариантным моделированием.

Предположим, что путем небольшого числа последовательных приближений определен режим, соответствующий обоим критериям и дающий пиковое значение  $W_{netto} = 1000$  кВт. Для получения  $W_{brutto}$  документ [3] рекомендует использовать запас на потери холода в рассольной сети в диапазоне от 1% до 1,5%  $W_{netto}$ , т.е.  $W_{brutto} = 1,015 \cdot W_{netto}$ . В различной проектной документации ранее авторами встречалась величина коэффициента потерь холодильной мощности вплоть до 1,2, т.е.  $W_{brutto} = 1,2 \cdot W_{netto}$ , возможно обусловленная конструктивными особенностями выбранного холодильного оборудования, теплоизоляции рассолопроводов, жаркими климатическими условиями и иными факторами, обеспечивающими повышенные теплопритоки в рассольную сеть. В любом случае вопрос о допустимом диапазоне величины данного коэффициента требует дополнительной, в том числе экспериментальной, проработки.

В документе [4] рекомендуется применять коэффициент 1,2, однако опыт показывает, что определяемая им величина запаса должна учитывать на какой сезон (время года) приходится пиковая нагрузка на холодильное или нагревательное оборудование. Если активная стадия искусственного замораживания производится в зимний период, характеризующийся существенно отрицательными средними температурами внешней среды, и применяемое оборудование работает с высоким коэффициентом полезного действия (КПД), то данный коэффициент действительно может быть сведен в расчете к единице. В жаркий летний период, когда температуры внешней среды могут длительно удерживаться выше  $+30^\circ\text{C}$ , целесообразно вводить в расчет запас холодопроизводительности оборудования.

Аналогично, если искусственное (принудительное) размораживание ЛПО производится в летний период, оборудование, нагревающее теплоноситель в рассольной сети, действует с максимальной эффективностью, поскольку потери теплоты минимальны. В зимний период требуется учесть потери тепловой мощности. Соответствие сроков отдельных этапов замораживания и размораживания породного массива сезонности климатических изменений в целом повышает энергоэффективность данных процессов.

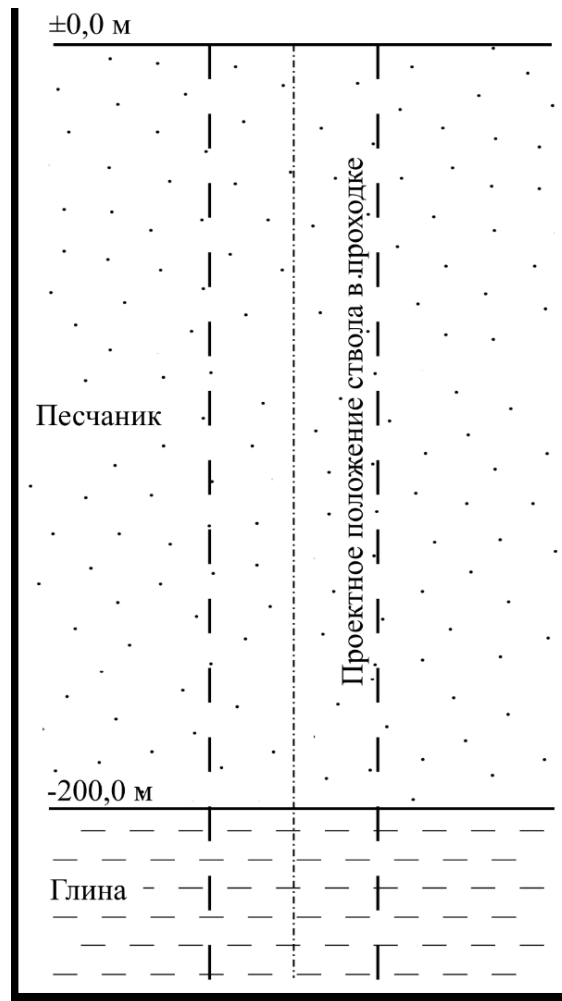


Рис. 1. Модельный геологический разрез участка строительства шахтного ствола

Рассмотрим простой модельный пример (рис. 1): пусть толща пород до глубины 200 м сложена обводненным слабосцементированным песчаником, ниже – глиной (региональный водоупор). Положим, расчетное значение минимально требуемой толщины ЛПО в песчанике составляет 2,0 м, а температура прочной породы  $-10^{\circ}\text{C}$ . Планируемое время активного замораживания составляет 120 суток или 4 месяца. Формирование ЛПО производится в холодный зимний период, когда внешние теплопритоки в рассольную сеть от насосного оборудования полностью компенсируются отбором теплоты во внешнюю среду.

Исследуем четыре режима активного замораживания:

1.  $T_0 = +10^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{min} = -30^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta T = -1^{\circ}\text{C/сутки}$ ;
2.  $T_0 = +10^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{min} = -25^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta T = -1^{\circ}\text{C/сутки}$ ;
3.  $T_0 = +10^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{min} = -30^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta T = -0,5^{\circ}\text{C/сутки}$ ;
4.  $T_0 = +10^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{min} = -25^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta T = -0,5^{\circ}\text{C/сутки}$ .

Результаты численного моделирования процесса формирования ЛПО при четырех указанных режимах активного замораживания представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Отметим, что при использовании всех режимов минимально требуемая толщина 2,0 м по температуре прочной породы  $-10^{\circ}\text{C}$  достигается в течение планируемого периода активного замораживания. При этом режимы 1 и 2 являются более энергозатратными как по средней величине требуемой холодопроизводительности (холодильной мощности) замораживающей станции  $\bar{W}$ , так и по пиковой нагрузке  $W_{max}$ .

Таблица 1

Параметры ЛПО при 4-х режимах работы замораживающей станции

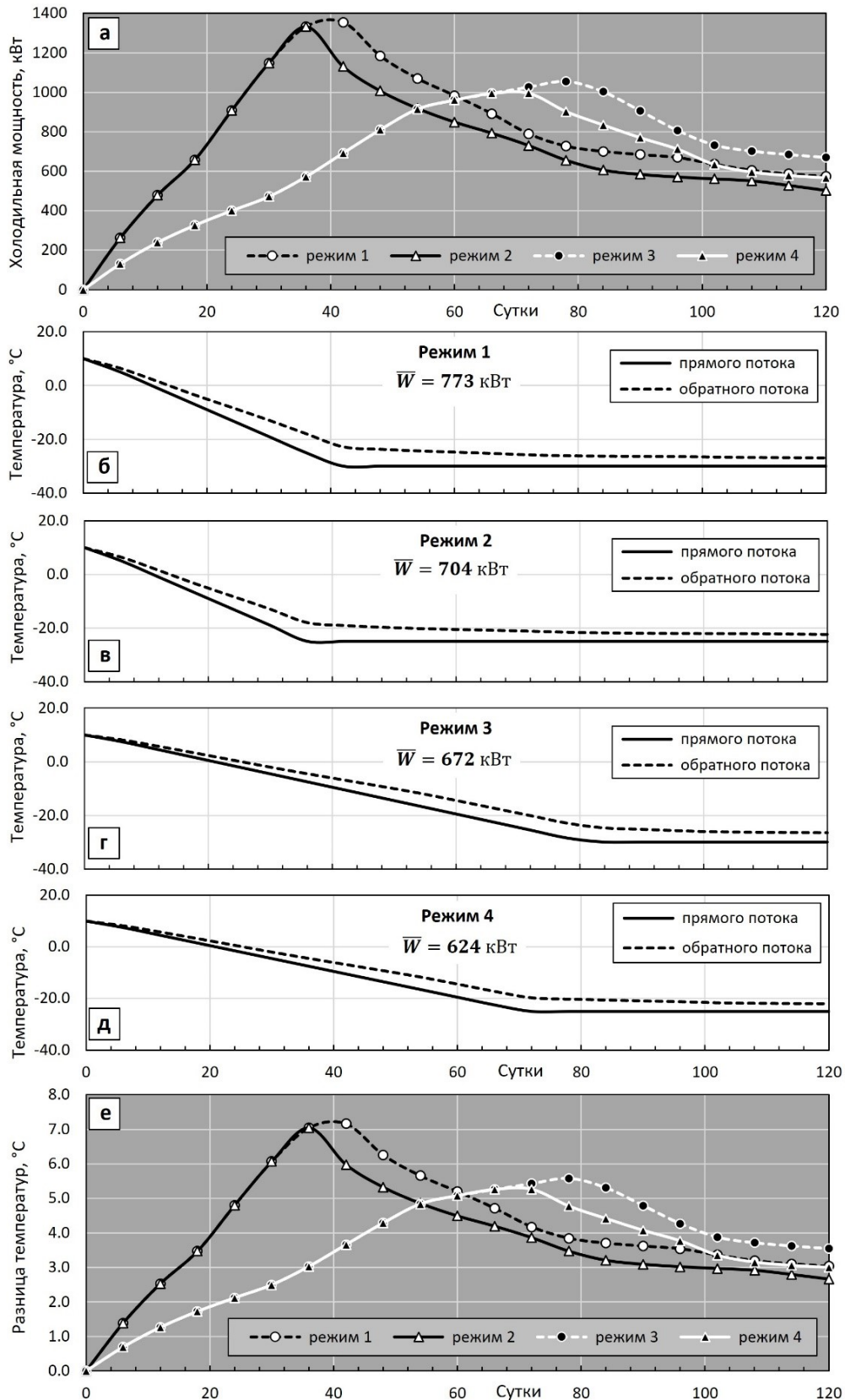
Режим №	Время с начала замораживания, сутки	Толщина ЛПО по температуре прочной породы - 10°C, м	Толщина ЛПО по границам мерзлой породы, м	Средняя холодопроизводительность замораживающей станции в течение времени (1), кВт	Максимальная холодопроизводительность замораживающей станции (пиковая нагрузка), кВт	Максимальная разница температур прямого и обратного потоков хладоносителя в рассольной сети (при пиковой нагрузке), °C
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	75	2,0	4,1	847	1354	7,2
	120	3,2	5,8	773		
2	99	2,0	4,6	738	1332	7,0
	120	2,5	5,5	704		
3	100	2,0	4,1	667	1055	5,6
	120	2,5	4,8	672		
4	120	2,0	4,6	624	995	5,3

Режим 1 приведет к формированию ЛПО с требуемыми параметрами в срок 75 суток, режим 2 – за 99 суток. Однако это не ускорит начало проходки, поскольку подготовительные работы еще не будут завершены. Во избежание непродуктивных энергозатрат и избыточного роста ЛПО во вне и особенно внутри контура проходки потребуется ранний переход в режим его поддержания (пассивное замораживание) с определением более сложного алгоритма регулирования температуры хладоносителя в рассольной сети.

Немаловажным фактором является максимальная разница температур прямого и обратного потоков хладоносителя. Увеличение данного параметра приводит к усложнению конструкции теплообменных аппаратов в составе холодильного оборудования, например, за счет компенсаторов, предотвращающих разрыв патрубков вследствие изменения их линейных размеров.

Режим 3 приводит к формированию ЛПО в течение 100 суток, но характеризуется существенно меньшими значениями требуемой (средней и пиковой) холодопроизводительности замораживающей станции и разницы температур прямого и обратного потоков хладоносителя в рассольной сети. Тем не менее, так же, как режимы 1 и 2, требует раннего перехода к поддержанию ЛПО до завершения подготовительных работ.

Рациональным представляется режим 4, позволяющий сформировать ЛПО с требуемыми параметрами к концу четырехмесячного подготовительного периода. Средняя холодопроизводительность замораживающей станции, затраченная для формирования ЛПО требуемой толщины, в данном режиме на 36% меньше, чем при использовании режима 1, на 18% меньше, чем для режима 2 и на 12% меньше, чем для режима 3. При этом пиковая нагрузка в режиме 4 меньше на 36%, чем в режиме 1, на 34% меньше, чем в режиме 2 и на 10% меньше, чем в режиме 3. Дальнейшее уменьшение величины  $\Delta T$  или повышение  $T_{min}$  не позволят обеспечить достижение требуемых параметров ЛПО в расчетные сроки.



**Рис. 2.** Результаты многовариантного моделирования процесса формирования ЛПО в ПО «FrozenWall»: (а) динамика холодильной мощности замораживающей станции для 4-х режимов работы; (б)-(д) графики изменения температур прямого и обратного потоков хладоносителя в рассольной сети; (е) динамика изменения разницы температур прямого и обратного потоков хладоносителя для каждого режима работы замораживающей станции

Допустим, что в составе замораживающей станции предполагается использовать блоки холодильного оборудования мощностью 200 кВт. Тогда для поддержания пиковой нагрузки в режимах 1 и 2 организации, осуществляющей искусственное замораживание и проходку ствола, потребуется приобрести или взять в аренду минимум 7 блоков, в режиме 3 – 6 блоков, а в режиме 4 – 5 блоков, что на 29% и 17% сократит соответствующие капитальные и эксплуатационные затраты.

С другой стороны, если требуется сократить подготовительный период до 3-х месяцев, следует в качестве рационального рассмотреть режим 1, позволяющий достичь требуемых параметров ЛПО намного быстрее остальных. В данном случае речь не будет идти о выборе режима замораживания с минимальными энергозатратами. Однако в случае аренды оборудования предусмотренная проектом возможность вывода из эксплуатации незадействованных холодильных блоков с последующим возвратом арендодателю позволит минимизировать данную статью затрат быстрее, чем при использовании других режимов.

Поэтому выбор режима активного замораживания целесообразно производить в комплексе всех строительных работ. Аналогичным образом может быть рассчитан режим искусственного размораживания ЛПО, требующий нагрева теплоносителя в замораживающих колонках.

Предложенная методика определения рационального режима с позиций энергоэффективности содержит 5 пунктов.

1. Знание точного срока (или их возможных вариантов), в течение которого производится подготовка к началу проходческих работ и необходимо сформировать ЛПО с минимально требуемыми параметрами.
2. Выбор 3-4 режимов работы замораживающей станции, характеризующихся некоторыми граничными параметрами, расходом хладоносителя в рассольной сети (по результатам гидравлического расчета), минимальной (рабочей) температурой его прямого потока и декрементом ее изменения.
3. Численное (многовариантное) моделирование процесса формирования ЛПО при использовании каждого из выбранных режимов с расчетом изменения требуемой холодопроизводительности замораживающей станции (нетто).
4. Определение теплового влияния насосного оборудования и внешних теплопри токов в рассольную сеть с последующим определением полной величины требуемой холодопроизводительности замораживающей станции, расчетом температуры обратного потока и разницы температур прямого и обратного потоков хладоносителя в рассольной сети.
5. Определение рационального режима или более близкого к таковому из исследованных, при необходимости изменение параметров по п. 2 с повторением процедур по п. 3.

Предложенный подход может быть развит для дальнейшего повышения энергоэффективности искусственного замораживания или размораживания. Функция  $T(\tau)$ , например, может быть выбрана отличной от линейной, обеспечивающей динамическое изменение декремента  $\Delta T = \Delta T(\tau)$  из условия не превышения пиковой или средней холодопроизводительности замораживающей станции, или, как вариант, максимальной разницы температур прямого и обратного потоков хладоносителя в рассольной сети.

Разработанная методика используется при разработке основных технических решений для проектов на искусственное замораживание и размораживание горных пород при строительстве шахтных стволов, а созданное специалистами института ПО «FrozenWall» является уникальным инструментом ее успешной реализации.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ (рег. номера НИОКТР 122012000396-6, 122030100425-6).*



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семин М.А., Левин Л.Ю., Паршаков О.С. Выбор параметров и обоснование режима работы замораживающих колонок для поддержания толщины ледопородного ограждения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2020. – № 5. – С. 194-205. – DOI: 10.15372/FTPRPI20200522.
2. Семин М.А., Богомягков А.В., Левин Л.Ю. Определение технологических параметров систем замораживания пород из условия поддержания проектной толщины ледопородного ограждения // Горные науки и технологии. – 2021. – Т. 6, № 3. – С. 192-202. – DOI: 10.17073/2500-0632-2021-3-192-202.
3. ВСН 189-78. Инструкция по проектированию и производству работ по искусственному замораживанию грунтов при строительстве метрополитенов и тоннелей / Минтрансострой: Утв. Гл. техн. упр. 10.05.78: [Введ. В действие 01.10.78]. – М., 1978. – 68 с.
4. Инструкция по расчету параметров, контролю и управлению искусственным замораживанием горных пород при строительстве шахтных стволов на калийных рудниках ОАО «Беларуськалий». – Пермь; Солигорск, 2019. – 65 с.
5. Левин Л.Ю., Семин М.А., Богомягков А.В., Паршаков О.С. Применение программного комплекса «FrozenWall» для расчета искусственного замораживания пород // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. – 2019. – № 4. – С. 269-282.
6. Богомягков А.В., Пугин А.В. Совершенствование математической модели теплопереноса в замораживаемом породном массиве, реализованной в программе FrozenWall // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг ресурсов. – 2023. – Т. 334. – № 2. – С. 164-174. – DOI: 10.18799/24131830/2023/2/3808.
7. «Frozen Wall»: программа для ЭВМ: свидетельство о гос. регистрации № 2018666337 / Богомягков А.В., Зайцев А.В., Клюкин Ю.А., Левин Л.Ю., Паршаков О.С., Пугин А.В., Семин М.А.; заявитель и правообладатель ПФИЦ УрО РАН. – 2018663501; заявл. 28.11.2018; зарегистрировано 17.12.2018; опубл. 17.12.2018. – 1 с.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2023.4.19

### О НЕОБХОДИМОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ГЛАВНОЙ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ НОРМАТИВНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ДЛЯ ВЫБОРА ВАРИАНТА ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ

А.Е. Суханов, С.В. Мальцев  
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

**Аннотация:** При необходимости развития подземных рудников и увеличения границ их шахтного поля требуется разработка проекта, который учитывает всевозможные факторы, влияющие на безопасность ведения горных работ, в том числе и оценка технического состояния главной вентиляторной установки. Поскольку главные вентиляторы являются объектами, которые обеспечивают непрерывную подачу свежего воздуха в горные выработки, необходим комплексный подход при оценке их технического состояния для прогнозирования надежности оборудования на период перспективного развития. В данной статье описан порядок проведения работ по обследованию технического состояния главной вентиляторной установки, описаны методы неразрушающего контроля, используемые во время работы и представлен перечень рекомендаций, разработанных по результатам выполненной работы.

**Ключевые слова:** калийный рудник, главная вентиляторная установка, дефектоскопия, перспективное развитие, неразрушающий контроль, центробежный вентилятор, обследование оборудования.

#### Введение

Согласно существующим требованиям федеральных норм и правил «Правила безопасности при ведении горных работ...» подземные горные выработки должны проветриваться непрерывно вентиляторами главного проветривания и вспомогательными вентиляторами главного проветривания, установленными в соответствии