

КОНТРОЛЬ РАЗМОРАЖИВАНИЯ ЛЕДОПОРОДНОГО ОГРАЖДЕНИЯ ЗА КРЕПЬЮ СТВОЛА ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ТАМПОНАЖНЫМ РАБОТАМ

А.А. Оглоблина, А.В. Пугин
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье приводится пример использования оптоволоконных датчиков для термометрического контроля размораживания ледопородного ограждения за крепью строящегося ствола в процессе подготовки к тампонажным работам. Показаны результаты прогнозных теплофизических расчетов.

Ключевые слова: ледопородное ограждение, размораживание пород, закрепное пространство, оптоволоконная система, термометрические датчики.

Сложные гидрогеологические условия заложения стволов калийных рудников, а именно наличие обводненных рыхлых и неустойчивых пород в пределах экзотехносферы (верхняя часть разреза до глубины 200 м), слагающих водоносные комплексы мощностью более 10 м и способных обеспечить водопритоки в ствол с расходом более 10 м³/ч, предопределяют необходимость применения искусственного замораживания горных пород для создания ледопородного ограждения (ЛПО) вокруг горной выработки. Целью искусственного замораживания горных пород является создание временной прочной и водонепроницаемой крепи, ЛПО, вокруг строящейся выработки [1-2].

Наиболее эффективным и физически оправданным способом контроля ЛПО является термометрический, поскольку именно он позволяет наблюдать процессы теплопереноса, отражающиеся в изменениях температуры среды. Для оперативного контроля за процессом формирования и состояния ЛПО на участках строительства шахтных стволов внедрена интеллектуальная система контроля, которая базируется на использовании технологии оптоволоконной термометрии. На этапе формирования и поддержания ЛПО контроль за его параметрами осуществляется только с помощью контрольно-термических (КТ) скважин, расположенных обычно снаружи контура замораживающих колонок.

Основной задачей этапа размораживания ЛПО является подготовка закрепного пространства к производству тампонажных работ по консолидации массива и окончательной гидроизоляции ствола. Необходимым условием для тампонажных работ является размораживание породы на расстояние 0,5-1,0 м от ее контакта с передовым бетоном и нагрев до температуры от +2°C до +5°C в зависимости от применяемого состава тампонажного раствора. Существенное влияние на размораживание породы за крепью оказывает проветривание ствола нагретым воздухом.

Поскольку КТ скважины находятся на внешнем контуре ЛПО и на значительном удалении от крепи, процесс размораживания породы за ней не отражается в показаниях размещенного в них измерительного оптоволоконного датчика. Для контроля размораживания закрепного пространства в крепи ствола производится бурение термометрических шпуров, в которых производятся измерения температуры массива.

В целях автоматизации наблюдений в шпуров устанавливаются температурные датчики, например, оптоволоконные (рис. 1, 2), конструкции «ГИ УрО РАН» [5]. Обязательному наблюдению подлежат слои пород, способные обеспечить максимальные водопотоки и резко отличающиеся от перекрывающих и подстилающих отложений по теплофизическим характеристикам. Подобная система прошла успешную апробацию на строящихся шахтных стволах Петриковского ГОК ОАО «Беларуськалий» [6].



Рис. 1. Линия датчиков подготовлена к установке на нулевой отметке ствола



Рис. 2. Оптоволоконный датчик конструкции «ГИ УрО РАН», установленный в термометрический шпур через технологическое отверстие в тубинговой крепи

После установки датчики калибруются по показаниям локального высокоточного термометра, а в последующем на основании их показания производится калибровка теплофизической модели [3] в программном комплексе «FrozenWall» [4].

Основными калибруемыми параметрами являются теплофизические характеристики породы, передового бетона и коэффициент теплоотдачи от воздуха к тубинговой крепи. Последний позволяет варьировать величину теплового потока в отсутствие сопряженного теплообмена крепи с воздухом, который существенно усложняет задачу моделирования и приводит к неоправданным затратам вычислительного времени.

Критерием успешной калибровки служит совпадение модельных и измеренных температур с заданной погрешность в метрике Чебышева, обычно не более $0,5^{\circ}\text{C}$.

Калибровка модели по показаниям датчиков позволяет скорректировать температурное поле во внутреннем кольце ЛПО между замораживающими колонками и передовым бетоном. Пример сопоставления графиков измеренных и модельных температур после калибровки в слое песка на участке строительства шахтного ствола калийного рудника представлен на рисунке 2.

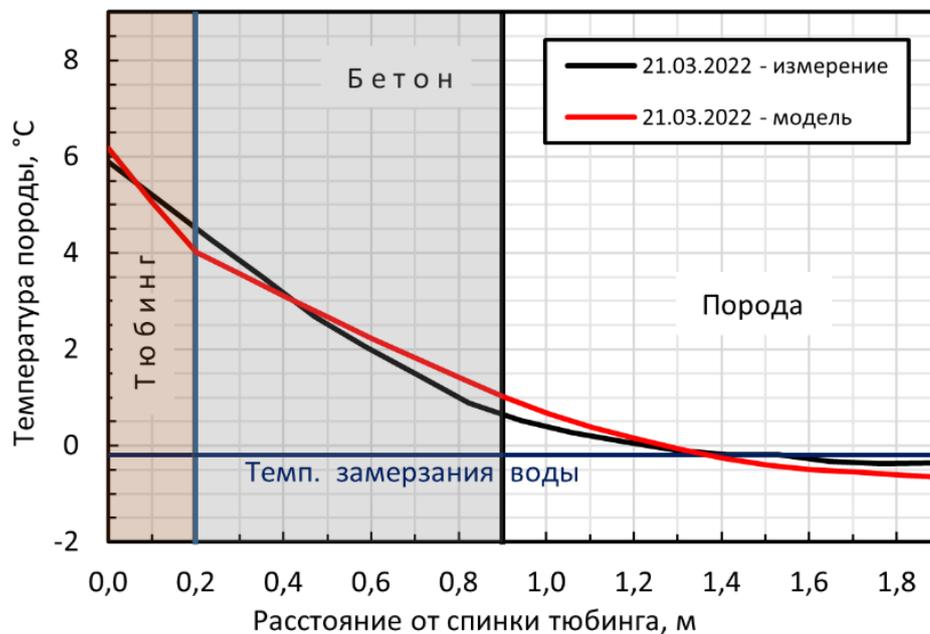


Рис. 3. Распределение измеренных и модельных температур в слое песка

После калибровки модель позволяет выполнять прогнозные расчеты при различных сценариях проветривания ствола и оценивать сроки готовности закрепного пространства к тампонажу.

В качестве примера рассмотрим результаты теплофизического моделирования в одном из слоев разреза, сложенном преимущественно суглинками и супесью. В первом варианте подаваемый в ствол воздух имеет расход $20 \text{ м}^3/\text{с}$ и температуру $+6^{\circ}\text{C}$ на уровне слоя, что соответствовало фактическому режиму проветривания ствола на тот момент. Во втором варианте расход воздуха аналогичен, а температура повышена до $+15^{\circ}\text{C}$.

На рисунках 3 и 4 продемонстрированы графики температур вдоль термометрического шпура: красный и черный – показания термометрического датчика и модельное распределение температур на заданную дату; желтый и синий – прогнозное распределение температур на 15.05.2022 и 17.07.2022 соответственно по варианту 1; зеленый – прогнозное распределение температур на 15.05.2022 по варианту 2. Графики (черный и красный) демонстрируют хорошее согласование модельных и измеренных температур.

Данный слой залегает в интервале технологического отхода, где толщина крепи составляет 1,2 м. В первом варианте прогноза с сохранением текущего режима проветривания ствола интенсивность оттаивания породы существенно меньше, чем во втором. Согласно результатам прогноза за два последующих месяца размораживание породы происходит на расстоянии 0,2 м от контакта с передовым бетоном, а за четыре месяца – до 0,45 м породы за крепью. При этом максимальная температура породы на контакте с бетоном составляет $+0,5^{\circ}\text{C}$ и $+1^{\circ}\text{C}$ соответственно.

Во втором варианте прогнозного моделирования через те же два месяца разморозится 0,5 м породы за крепью, которая на контакте с передовым бетоном будет иметь температуру около $+1,5^{\circ}\text{C}$.

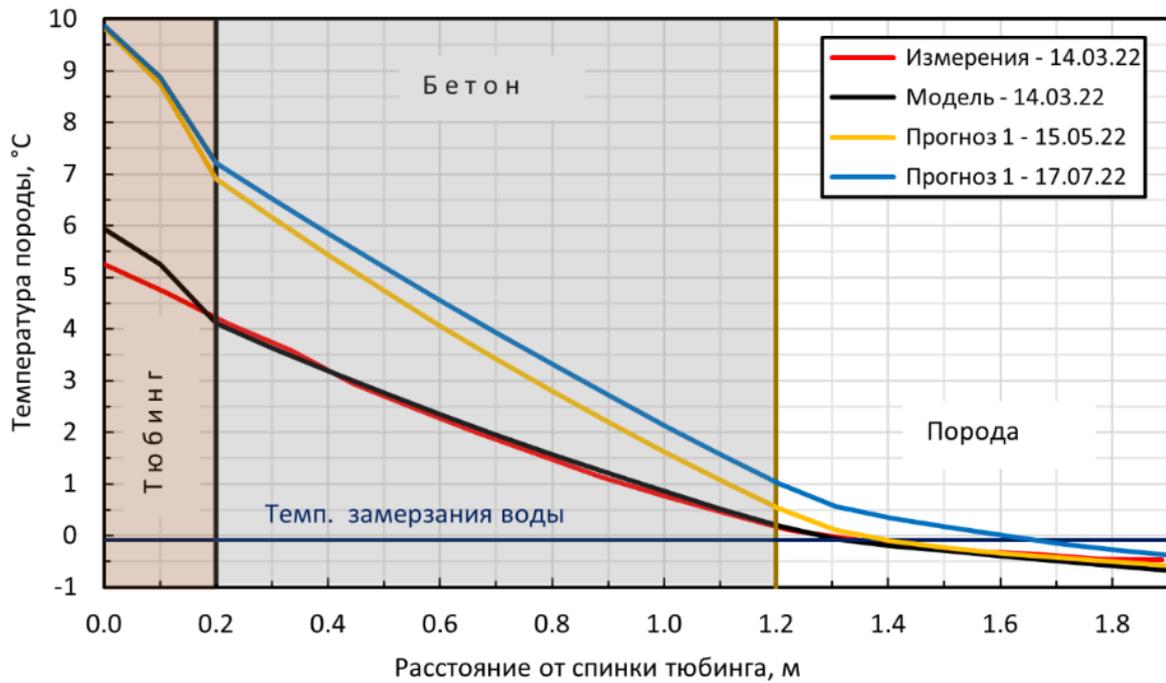


Рис. 4. Результаты прогнозного теплофизического моделирования (по варианту 1) размораживания породы за крепью ствола в слое суглинка-супеси

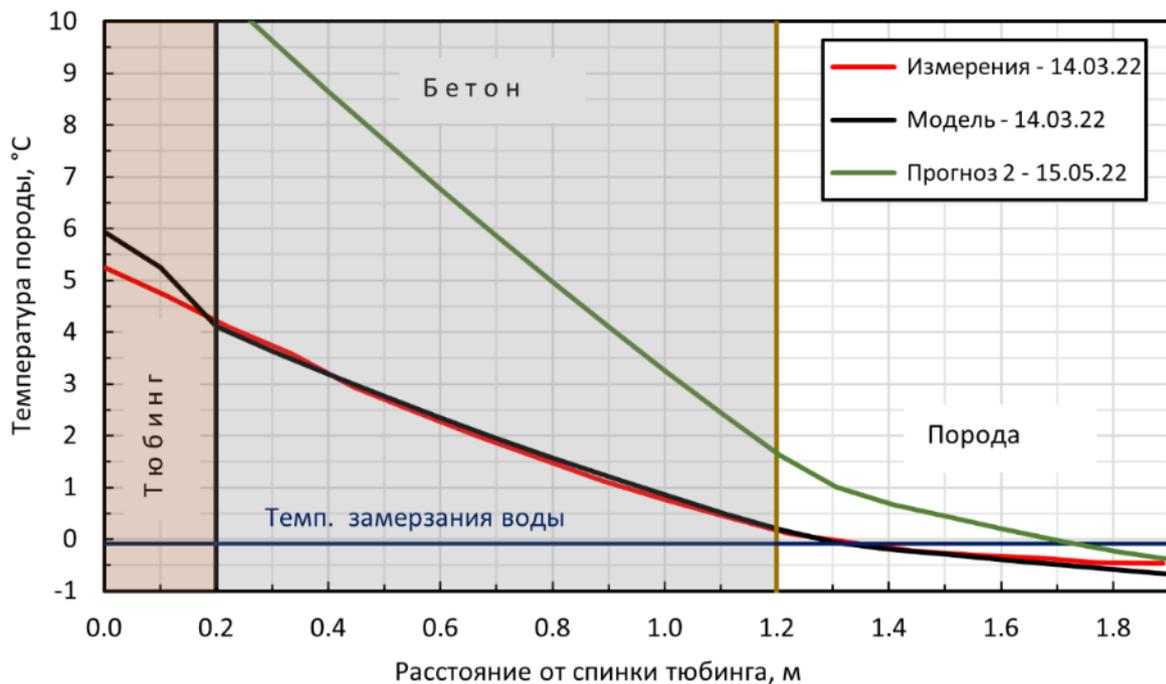


Рис. 5. Результаты прогнозного теплофизического моделирования (по варианту 2) размораживания породы за крепью ствола в слое суглинка-супеси

Результаты прогнозного моделирования убедительно показывают, что увеличение расхода или температуры подаваемого в ствол воздуха позволит интенсифицировать процесс размораживания породы за крепью и тем самым своевременно подготовить это пространство к выполнению тампонажных работ. Применение

оптоволоконных датчиков позволяет в автоматическом режиме (непрерывно) контролировать температурную динамику крепи и примыкающего к ней массива и периодически производить калибровку теплофизической модели, не позволяя ей удаляться от реальной ситуации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 г. (рег. номер 12201200396-6).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Насонов И.Д., Шуплик М.Н. Закономерности формирования ледопородных ограждений при сооружении стволов шахт. – М.: Недра, 1976. – 236 с.: ил.
2. Трупаков Н.Г. Замораживание грунтов в подземном строительстве. – М.: Недра, 1974. – 278 с.: ил.
3. Левин Л.Ю., Семин М.А., Зайцев А.В. Калибровка теплофизических свойств породного массива при моделировании формирования ледопородного ограждения строящихся шахтных стволов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2019. – № 1. – С. 172-184.
4. «Frozen Wall»: программа для ЭВМ: свидетельство о гос. регистрации № 2018666337 / Богомяков 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; опублик. 17.12.2018. – 1 с.
5. Сквжинный оптоволоконный датчик непрерывного контроля температуры: Пат. 038447 Евразийское патентное ведомство (ЕПВ): E21B 47/07 (2012.01)... / Головатый И.И., Барбиков Д.В., Зайцев А.В., Левин Л.Ю., Паршаков О.С., Пугин А.В., Семин М.А., Дьяконов А.С.; заявитель и патентообладатель: ОАО «Беларуськалий», ПФИЦ УрО РАН. – № 2019000097; заявл. 06.09.2019; опублик. 30.08.2021. Бюл. № 8. – 4 с.
6. Levin L., Golovaty I., Zaitsev A., Pugin A., Semina M. Thermal monitoring of frozen wall thawing after artificial ground freezing: Case study of Petrikov Potash Mine // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2021. – V. 107. – № статьи 103685. – DOI 10.1016/j.tust.2020.103685.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2022.3.15

НАУЧНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК РУДНИКА «СКАЛИСТЫЙ» ЗФ ПАО «ГМК «НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ» В УСЛОВИЯХ ВЫДЕЛЕНИЯ ГОРЮЧИХ И ЯДОВИТЫХ ГАЗОВ

О.С. Паршаков¹, Н.Н. Уткин², А.А. Давыдов²

¹Горный институт УрО РАН, г. Пермь

²ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»

Аннотация: В работе представлено краткое описание горно-геологических и горно-технических условий разведочных выработок рудника «Скалистый». Приводятся результаты экспериментальных и лабораторных исследований, полученные в ходе научного сопровождения строительства выработок РВ-1, РВ-2. На основании результатов исследований предложены рекомендации по повышению безопасности ведения разведочных работ в условиях выделения горючих и ядовитых газов, а также намечены дальнейшие направления исследований в целях установления природы и поведения газовыделений при перспективном освоении глубоких залежей богатых руд.

Ключевые слова: рудник, разведочные выработки, экспериментальные исследования, лабораторные исследования, концентрация газа, газоносность пород.

Введение

Производительность труда, здоровье и жизнь рабочих зависит от состояния атмосферных условий в подземных горных выработках – газового состава руд-