

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ищук И.Г., Поздняков Г.А. Средства комплексного обеспыливания горных предприятий: справочник. – М.: Недра, 1991. – 252 с.: ил.
2. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах / Бекирбаев Д.Б. и др. – М.: Госгортехиздат, 1959. – 499 с.: ил.
3. Борьба с пылью на угольных шахтах СССР: обзор / Центр. науч.-исслед. ин-т информации и техн.-экон. исследований угольной пром-ти. – М., 1963. – 155 с.: ил.
4. Брагинский М. Д., Воронов В. Н. Комплекс типового оборудования для борьбы с пылью при помощи пены. Угольное и горнорудное оборудование / НИИинформтяжмаш, 2-74-9. – М., 1974.
5. Бреннер В.А., Жислин И.М., Иконников Г.С. Проходческий комбайн «Караганда-7/15». – М.: Недра, 1969. – 205 с.: ил.
6. Зеляев Д.И., Брагинский М. Д., Колосов В. Н. Системы орошения повышенной надежности. Угольное и горнорудное оборудование / НИИинформтяжмаш 2-74-9. – М., 1974.
7. Карпов А.М., Байков А.Ф. Пылеулавливающая установка с рассредоточенным положением всасывающих патрубков // Горные машины и автоматика. – 1973. – № 5. – С.
8. Сметанин М.М. Исследование физико-химических свойств калийной и каменносоляной пылей с целью разработки методов контроля и средств пылеулавливания: дис. ... к.т.н: – Л., 1973. – 232 с.

УДК 622.831

DOI:10.7242/echo.2022.1.21

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ
РАЗВИТИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ
ИЗ ПОРОД ПОЧВЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
IV КАЛИЙНОГО ГОРИЗОНТА**

Н.А. Литвиновская

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье представлены результаты исследования возможности развития газодинамических явлений из почвы горных выработок IV калийного горизонта Старобинского месторождения. В основу легли шахтные экспериментальные исследования давления свободного газа в породах почвы горных выработок, а так же прочностных свойств породы и горно-технологических данных. В ходе проведения исследований установлены опасные по скоплению свободного газа породы, проведен сравнительный анализ безопасного газового давления и давления газа в массиве, зафиксированного в ходе шахтных исследований. Выводы, сделанные на основе анализа, позволяют выявить потенциально опасные участки горных выработок. Так же в статье даны рекомендации по предотвращению газодинамических явлений из пород почвы горных выработок.

Ключевые слова: газоносность пород, IV калийный горизонт, Старобинское месторождение калийных солей, почва горных выработок, газодинамическое явление, давление газа в горных породах.

Введение

Добыча калийной руды на Старобинском месторождении калийных солей ведется на трех калийных горизонтах. При этом ведение горных работ на горизонтах III и I осложняется газодинамическими явлениями (ГДЯ) различного характера. Оба горизонта признаны опасными по ГДЯ. Породы 12 глинисто-карбонатной пачки, находящейся по разрезу ниже III калийного горизонта (рис. 1), также признаны опасными по газодинамическим явлениям.

В развитии газодинамического явления, помимо газовой составляющей, принимает существенное влияние геостатическая составляющая горного давления, которая увеличивается с глубиной разработки. Исходя из этого и из геологического строения, породы IV калийного горизонта ещё до проведения вскрывающих уклонов и детального изуче-

ния газоносности и газодинамических характеристик были признаны потенциально опасными по ГДЯ. Все работы по вскрытию и проведению подготовительных выработок сопровождались мониторингом газоносности [1-5]. Результаты проведенных исследований показали, что по крайней мере часть слоёв IV калийного горизонта являются газоносными. Так, например, газоносность слоя каменной соли 2-3 достигает значения $1,77 \text{ м}^3/\text{м}^3$, что указывает на потенциальную опасность образования очагов ГДЯ [6, 7]. Кроме того, при ведении горно-подготовительных работ столкнулись с разрывами пород почвы, сопровождающимися газовыделениями. Все это указывает на необходимость проведения оценки возможности развития газодинамического явления и разработки специальных мероприятия по предотвращению этих явлений.

Методика проведения исследований

Исследование проводится в два этапа. Сначала проводят шахтные эксперименты по определению газоносных слоев и контактов, определяя и мощность пород, разделяющих почву выработки от этих потенциально возможных очагов ГДЯ. На этой же стадии шахтных экспериментов устанавливается давление свободного газа в массиве.

Аналитическая часть состоит в расчете безопасного давления газа и в сравнении его с тем значением, которое получено в результате шахтного эксперимента [7, 9]. Безопасное давление газа рассчитывается исходя из прочностных характеристик пород, пролета кровли выработки и места проведения исследования. Так, существенное влияние оказывает, в призабойной или вне призабойной зоны анализируется возможность развития ГДЯ.

Для того, чтобы произошло газодинамическое явление из почвы горной выработки в призабойной (1) и вне призабойной (2) зонах давление газа должно превысить правую часть следующих выражений, соответственно:

$$P_r > (0,7925 * \sigma_p * h_r^2 * a^{-2} + \gamma h_r) + \Delta_{г.п.}, \quad (1)$$

$$P_r > (0,5 * \sigma_p * h_r^2 * a^{-2} + \gamma h_r) + \Delta_{г.п.}, \quad (2)$$

где P_r – давление приконтактного газа; σ_p – предел прочности пород при растяжении; h_r – высота слоя пород, пригруженного давлением газа; a – полупролет выработки; γ – плотность пород кровли; $\Delta_{г.п.}$ – сцепление по галопелитовому прослойку [3, 8-10].

Таким образом, критическое условие для расчета безопасного давления свободного газа в породах почвы горной выработки имеет следующий вид:

$$P_6 \leq (P_r + \gamma h_r) + \Delta_{г.п.} \quad (3)$$

Основываясь на этой формуле и сравнивая расчетное давление P_6 с полученным в ходе шахтных экспериментов давлением P_r делается вывод о возможности или не возможности развития газодинамического явления из почвы выработки. Так, если $P_6 > P_r$, газодинамическое явление из пород почвы не прогнозируется. Если же $P_6 \leq P_r$, то это говорит о том, что для данной выработки возможно развитие газодинамического явления из почвы.

Результаты исследований

Исследования проводились для различных выработок, как одиночных, так и сопряженных, со значительным пролетом выработки. Расчетная схема с указанием привязки кровли выработки, показана на рис. 2. В качестве опасных по газодинамическим явлениям рассмотрены галопелитовый прослой над сильвинитовым слоем 3 и мощный галопелитовый прослой в слое каменной соли 2-3.

Результаты сравнения расчетного безопасного давления газа в почве одиночной горной выработки и давления газа, полученного по результатам шахтных измерений, показаны в табл. 1. Как видно из таблицы, газодинамические явления в виде разрушения пород почвы, сопровождающегося газовыделением, или пучения почвы прогнозируются только в тех случаях, когда скопление свободного газа находится в галопелитовом прослойке, залегающем непосредственно над 3 сильвинитовым слоем (0,82 м от почвы горной выработки), и выработка имеет ширину пролета кровли 4,0 м.

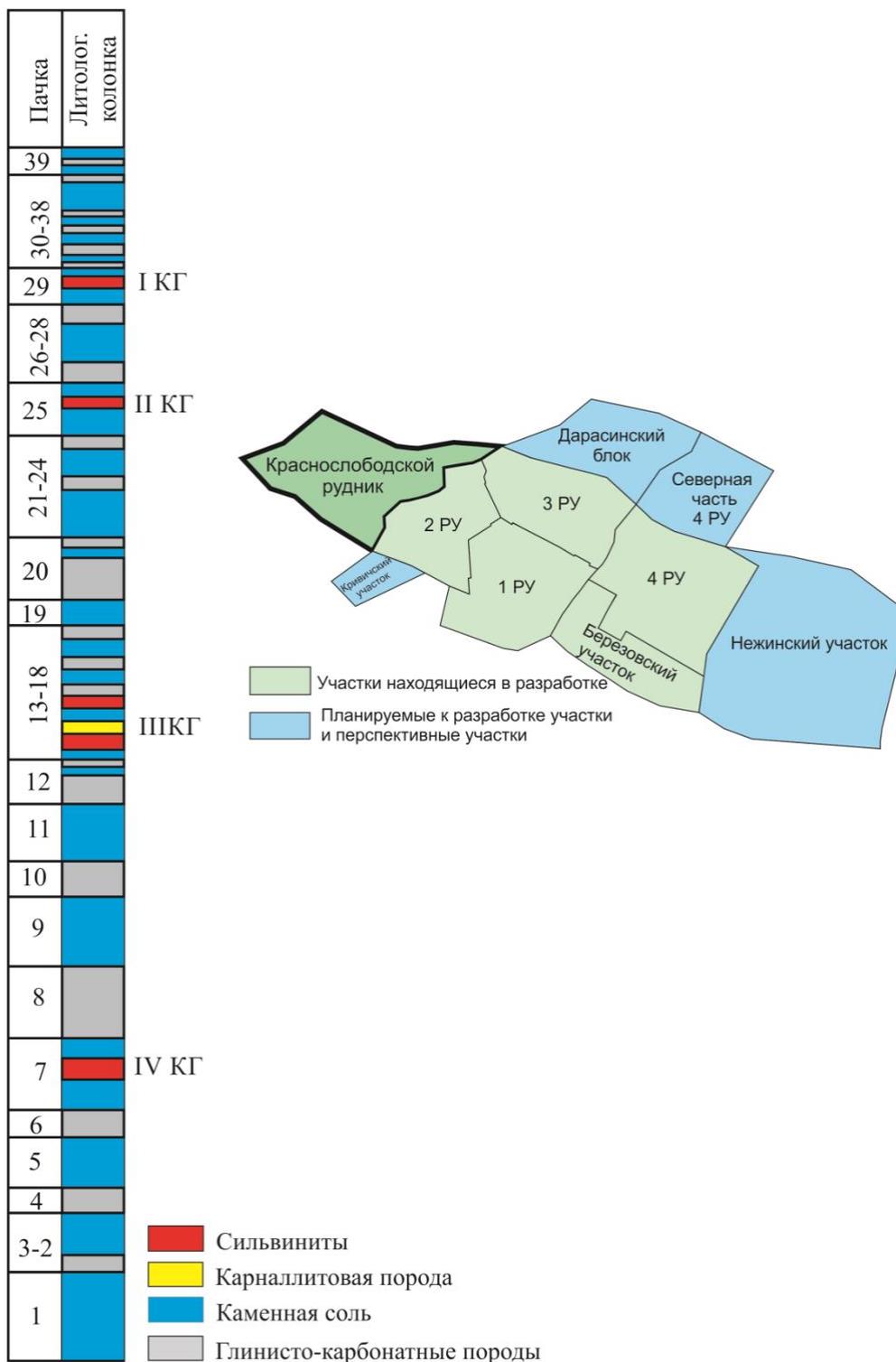


Рис. 1. Литологическая колонка пород и участки Старобинского месторождения калийных солей

Такая ситуация характерна, например, для конвейерного штрека лавы. Также газодинамические явления этого типа возможны для выработок большей ширины (5,1 м), даже если эти выработки расположены выше, чем остальные, следовательно, мощность пород между почвой выработки и газонасыщенным галопелитовым прослоем больше. Такая ситуация характерна для монтажного штрека. Однако в этом случае не прогнозируются газодинамические явления в призабойной зоне. Если же кровля выработки будет расположена ниже, чем принятые 0,2 м от кровли 8 сильвинитового слоя, что характерно, например, для закладочного штрека, то в этой выработке ожидаются пучения почвы.

При этом для всех одиночных выработок различной ширины и различного заложения не прогнозируются газодинамические явления из почвы, если скопление газа находится в галопелитовом прослойке слоя каменной соли 2-3. В этом случае давления газа не хватает для разрушения слоя пород. Это говорит о том, что профилактическое дегазационное бурение, как мера для обеспечения безопасности горных работ, стоит вводить только в выработках с шириной пролета более 3,1 м, либо в выработках, кровля которых расположена ниже, чем 0,2 м от 8 сильвинитового слоя. А глубина дегазационных шпуров должна быть 1 м, чтобы обеспечить перебуривание контакта с сильвинитовым слоем 3.

Таблица 1

Результаты исследования возможности развития газодинамического явления из почвы одиночной горной выработки шириной 3 м

№ п/п	Расстояние от почвы выработки до приконтактного скопления газа h_2 , м	Безопасное давление газа P_6 ,* Мпа	Давление газа в очаге P_2 , МПа	Возможность ГДЯ в призабойной зоне, ($t = 0$)	Возможность ГДЯ вне призабойной зоны
1.	0,82	0,46/0,29	0,25	$P_6 > P_2$, не прогнозируются	$P_6 > P_2$, не прогнозируются
2.	1,54	1,31/0,86	0,23	$P_6 > P_2$, не прогнозируются	$P_6 > P_2$, не прогнозируются
3.	0,82	0,28/0,21	0,25	$P_6 \approx P_2$, прогнозируются	$P_6 < P_2$, прогнозируются
4.	0,28	0,12/0,11	0,25	$P_6 < P_2$, прогнозируется пучение	$P_6 < P_2$, прогнозируется пучение
5.	1,22	0,34/0,28	0,25	$P_6 > P_2$, не прогнозируются	$P_6 \approx P_2$, прогнозируются

* – числитель – в призабойной зоне, знаменатель – вне призабойной зоны.

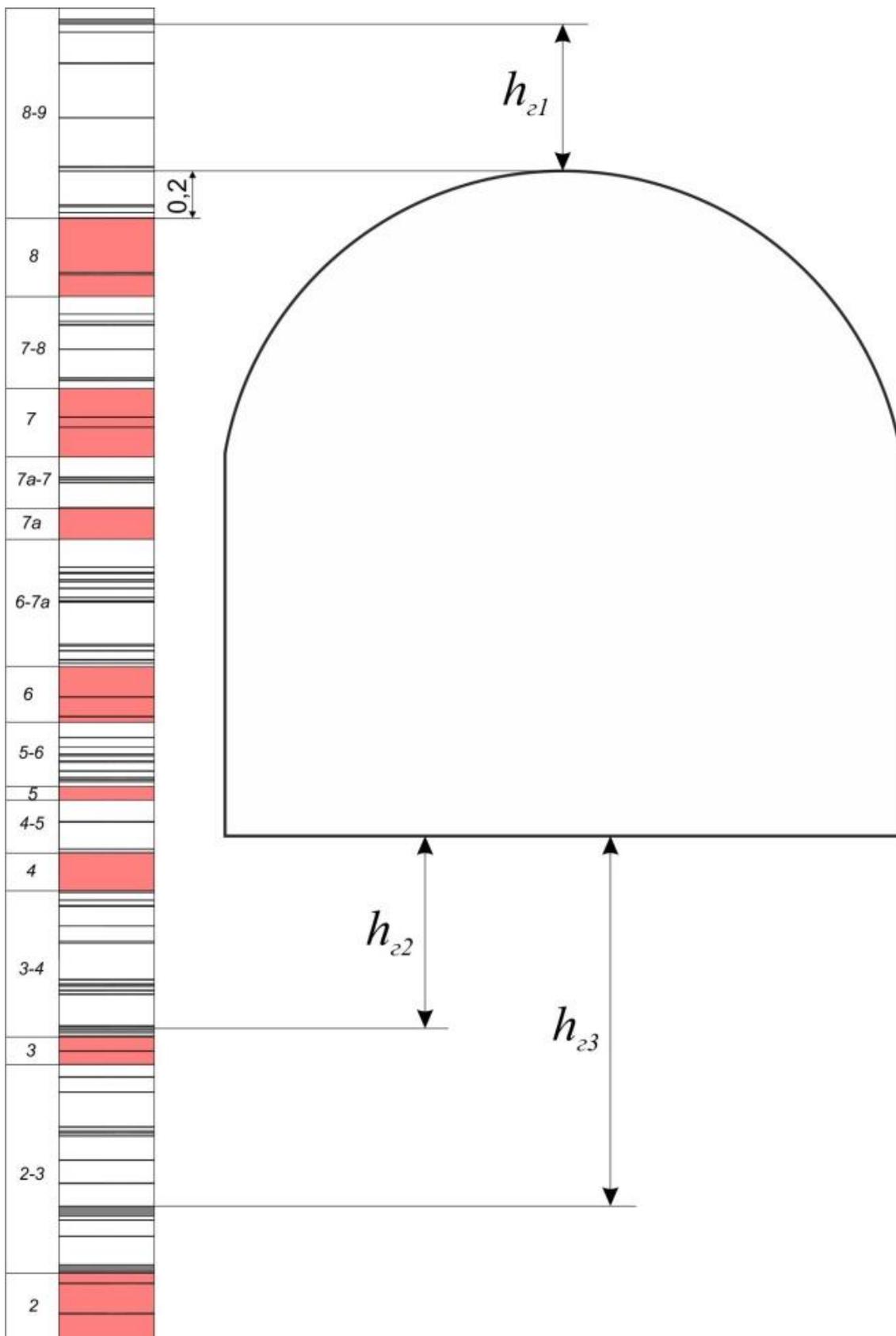


Рис. 2. Расчетная схема к оценке возможности развития ГДЯ из почвы выработки

В таблице 2 показаны результаты аналогичных исследований, проведенных для сопряжений горных выработок.

Таблица 2

Результаты исследования возможности развития газодинамического явления из почвы сопряжений двух выработок или в камерах разворота

№ п/п	Расстояние от почвы выработки до приконтактного скопления газа h_2 , м	Безопасное давление газа P_0^* , Мпа	Давление газа в очаге P_2 , МПа	Возможность ГДЯ в призабойной зоне, ($t = 0$)	Возможность ГДЯ вне призабойной зоны
1.	0,82	0,13/0,11	0,25	$P_0 < P_2$, прогнозируются	$P_0 < P_2$, прогнозируются
2.	1,54	0,22/0,18	0,23	$P_0 < P_2$, прогнозируются	$P_0 < P_2$, прогнозируются
3.	0,82	0,12/0,11	0,25	$P_0 < P_2$, прогнозируются	$P_0 < P_2$, прогнозируются
4.	1,22	0,34/0,28	0,25	$P_0 > P_2$, не прогнозируются	$P_0 \approx P_2$, прогнозируются

* – числитель – в момент разделки сопряжения, знаменатель – после оформления сопряжения.

Как видно из таблицы, для всех случаев, не зависимо от расположения кровли горных выработок и очага скопления свободного газа, газодинамическое явление в виде разрушения пород почвы, сопровождающегося газовыделением, возможно. Это говорит о том, что для всех сопряжений горных выработок необходимо проводить профилактическое дегазационное бурение с глубиной шпуров, обеспечивающих перебуривание контакта слоя каменной соли 2-3 с сильвинитовым слоем 2. При этом профилактическое дегазационное бурение должно осуществляться до разделки сопряжения.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что газонасыщенными являются галопелитовые прослойки на контактах слоев 4-4 и 3, и в слое каменной соли 2-3. Однако при проведении одиночных горных выработок шириной не более 3-х м и с заложением кровли выработки в 0,2 м выше сильвинитового слоя 8 давления свободного газа в породах почвы не достаточно для развития газодинамических явлений из почвы горных выработок IV калийного горизонта. При увеличении пролета выработки или заложении кровли с привязкой менее 0,2 м выше 8 сильвинитового слоя необходимо проводить профилактическое дегазационное бурение, так как в этом случае возможно развитие газодинамических явлений из пород почвы. Во всех сопряжениях горных выработок на IV калийном горизонте возможно развитие газодинамических явлений в виде разрушения пород почвы, сопровождающегося газовыделением и, следовательно, для всех сопряжений обязательно проведение дегазационного бурения.

Данные, полученные в результате проведенных исследований, легли в основу рекомендаций по безопасному ведению горных работ в породах IV калийного горизонта Старобинского месторождения.

Исследования проводились при поддержке гранта РФФИ № 20-45-596017.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобров Д.А. Результаты исследования газоносности пород соляных и глинисто-карбонатных пачек, расположенных по геологическому разрезу между III и IV калийными горизонтами, при проходке вскрывающих уклонов на шахтном поле рудника 2 РУ ОАО «Беларуськалий» // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 16 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2018. – С. 326-329. – DOI: 10.7242/gdsp.2018.16.86.
2. Андрейко С.С. Предотвращение газодинамических явлений при проведении уклонов, вскрывающих IV калийный горизонт, в условиях Старобинского месторождения калийных солей // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 12 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2014. – С. 227-229.
3. Андрейко С.С. Газодинамическая опасность пород IV калийного горизонта и пород калийного горизонта IV-II на шахтном поле Петриковского ГОКА // Горное эхо. – 2021. – № 4 (85). – С. 87-95. – DOI: 10.7242/echo.2021.4.18.
4. Андрейко С.С. Технология проведения уклонов, вскрывающих IV калийный горизонт, по выбросоопасным породам проходческими комбайнами избирательного действия в условиях рудника 2РУ ОАО «Беларуськалий» // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. «Горная и нефтяная электромеханика – 2015». / ПНИПУ. – Пермь, 2015. – Т. 1. – С. 125-131.
5. Литвиновская Н.А. Результаты исследований газоносности и газодинамических характеристик IV калийного горизонта в районе вскрывающих уклонов шахтного поля 2РУ ПАО «Беларуськалий» // Горное эхо. – 2019. – № 2 (75). – С. 79-82. – DOI: 10.7242/echo.2019.2.19.
6. Береснев С.П., Сенюк В.В., Гончар В.И., Андрейко С.С., Литвиновская Н.А. Исследование механизма формирования опасных по газодинамическим явлениям зон в породах калийного горизонта // Горн. журн. – 2010. – № 8. – С.31-33.
7. Андрейко С.С. Механизм образования очагов газодинамических явлений в соляном породном массиве. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. – 196 с.
8. Андрейко С.С., Лялина Т.А., Нестеров Е.А., Еловицова А.С. Оценка возможности развития газодинамических явлений при ведении горных работ на III калийном горизонте Краснослободского рудника 2 РУ // Горная механика и машиностроение. – 2012. – № 1. – С. 5-15.
9. Андрейко С.С. Газодинамические явления в калийных рудниках: методы прогнозирования и способы предотвращения: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во. ПГТУ, 2007. – 208 с.
10. Андрейко С.С. Гипотезы и модели механизма возникновения газодинамических явлений в шахтах // Горная механика. 2002. – №2. – С. 3-8.

УДК 004.032.26

DOI:10.7242/echo.2022.1.22

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНОГО ПЕРСЕПТРОНА ДЛЯ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЗАМОРАЖИВАЕМЫХ ПОРОД

М.А. Семин

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье рассматривается задача определения поправок к модельным теплофизическим параметрам замораживаемых пород с целью достижения максимального соответствия рассчитанного в модели поля температур пород с экспериментально измеренными температурами в контрольно-термических скважинах. Решение данной задачи важно с точки зрения совершенствования методов контроля состояния ледопородных ограждений подземных сооружений с использованием взаимосвязанных теоретических моделей и экспериментальных данных. Поправки к модельным теплофизическим параметрам определяются с использованием модели многослойного персептрона, которая предварительно обучается на заданной тренировочной выборке.

Ключевые слова: искусственное замораживание пород, обратная задача Стефана, искусственные нейронные сети, многослойный персептрон, метод обратного распространения ошибки.