

Для увеличения энергоэффективности работы системы доохлаждения и проверки надежности работы мокрых градирен была предложена третья схема, в которой ОЗВ способны доохлаждаться на градирнях холодильных машин. Данная схема позволит при небольшом превышении требуемой температуры ОЗВ не запускать дорогие в эксплуатации холодильные машины, а доохлаждать воду на их мокрых градирнях. В случае, если температура мокрого термометра продолжит расти, ОЗВ начинают подаваться на холодильные машины, а градирни переключаются на охлаждение конденсаторов. По причине поэтапного запуска системы доохлаждения для линий фабрики данный вариант позволит определить сильные и слабые стороны схем, предложенных ранее, отработав их на 1-й линии производства. В случае успешного опыта эксплуатации новых градирен становится возможно переключить установленные дополнительные холодильные машины на другие линии и создать надежную, энергетически и экономически эффективную систему доохлаждения ОЗВ с минимальными капитальными затратами при поэтапном строительстве системы доохлаждения для 3-х линий фабрики.

*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.*

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Лаптев А.Г., Ведьгаева И.А. Устройство и расчет промышленных градирен / Каз. гос. энергет. ун-т. – Казань, 2004. – 179 с.: ил.
2. Гладков В.А., Арефьев Ю.И., Пономаренко В.С. Вентиляторные градирни. – М.: Стройиздат, 1976. – 216 с.: ил.
3. Берман Л.Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды. – 2-е изд., перераб. – М.: Госэнергоиздат, 1957. – 320 с.: ил.
4. Пономаренко В.С. Арефьев Ю.И., Казилин Е.Н. Опыт модернизации вентиляторной градирни // Водоснабжение и санитарная техника. – 1996. – № 3. – С.
5. Пономаренко В.С. Повышение эффективности систем оборотного водоснабжения на базе градирен типа «Росинка» // Мясная индустрия. – 1996. – № 7. – С.
6. Богословский В.Н., Кокорин О.Я., Петров Л.В. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение. – М.: Стройиздат, 1985. – 367 с.

УДК 622.831.322

DOI:10.7242/echo.2021.3.19

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОНОСНОСТИ ПОРОД ПО СВОБОДНЫМ ГАЗАМ НА ВВОДИМЫХ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ УЧАСТКОВ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ ПАО «УРАЛКАЛИЙ»**

А.С. Папулов

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследования газоносности соляных пород по свободным газам на вводимых в эксплуатацию участках шахтных полей ПАО «Уралкалий». В ходе шахтных экспериментальных исследований по существующей методике выполнялись замеры объема свободных газов, выделившихся из загерметизированных шпуров, и начального давления газов в загерметизированной части шпура, установившегося за 30 сек. Отбирались пробы выделившихся свободных газов. Химический анализ состава свободных газов проводился на газовых хроматографах. Полученные ре-

зультаты позволяют оценить газоносность пород и спрогнозировать газодинамическую опасность при разработке.

**Ключевые слова:** газоносность, свободные газы, соляные породы, Верхнекамское месторождение.

### **Введение**

Изучением газоносности соляных пород занимались многие видные ученые и горные инженеры, начиная с середины XX века, что говорит о важности этой задачи, как для предприятий калийной промышленности, так и для научных исследований в области рудничной газодинамики и геологии. Практическое значение исследований газодинамических характеристик и газоносности калийных пластов Верхнекамского месторождения заключается в использовании полученных данных для прогнозирования зон, опасных по газодинамическим явлениям [1], а также позволяет провести анализ взаимовлияния газоносности пород и компонентного состава газа, в том числе содержания тяжелых углеводородов, с газодинамическими явлениями, происходившими на рудниках. Шахтные экспериментальные работы проведены на 4 панелях шахтного поля БКПРУ-2, на 7 панелях шахтного поля БКПРУ-4, на 5 панелях шахтного поля СКРУ-1 и на 6 панелях шахтного поля СКРУ-3. Всего пробурено свыше 90 исследовательских шпуров в очистных и разрезных камерах, на панельных и выемочных штреках. Учитывая поинтервальное исследование в каждом из шпуров, где делается от 3 до 9 измерений показаний газоносности и газодинамических характеристик, выборка результатов получается значительно превышающей 200 значений. Это говорит о надежности и представительности проведенных исследований.

### **Методика проведения исследований**

Изучение газоносности и газодинамических характеристик соляных пород оценивалась как на качественном уровне, т.е. осуществлялся анализ на газовом хроматографе свободных газов, так и на количественном уровне [2, 3].

Исследуемыми объектами являлись пласты В<sub>с</sub>, В<sub>к</sub>, АБ, КрII, подстилающая каменная соль.

### **Результаты исследований**

В соответствии с методикой исследования газоносности соляных пород, по свободным газам получены результаты, представленные в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, газоносность на шахтных полях рудника БКПРУ-2 составляет от 0,05 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> до 2,08 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Повышенная газоносность зафиксирована в сильвинитовых пластах АБ, а также в кровле пласта КрII.

Газоносность на шахтных полях рудника БКПРУ-4 составляет от 0,05 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> до 3,41 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Повышенная газоносность зафиксирована в кровле пласта В<sub>с</sub>, а также в кровле пластов АБ и КрII.

Газоносность на шахтных полях рудника СКРУ-1 составляет от 0,05 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> до 5,03 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Повышенная газоносность зафиксирована в пласте КрII и в кровле пласта В<sub>к</sub>, а также в пласте АБ, что является самым максимальным значением на исследуемых участках и составляет 5,03 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Газоносность на шахтных полях рудника СКРУ-3 составляет от 0,05 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> до 5,02 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Повышенная газоносность зафиксирована в пластах КрII и В<sub>с</sub>, а также в пласте АБ.

Компонентный состав свободных газов в соляных породах на изучаемых участках шахтного поля рудника БКПРУ-2 метаново-азотный. Содержание метана изменяется от 31,69 до 46,06%; содержание водорода – от 4,04 до 5,78%; суммарное содержание тяжелых углеводородных газов – от 4,205 до 8,349%; содержание азота – от 43,89 до 56,03%.

**Таблица 1**

Газоносность пластов на вводимых в эксплуатацию участках шахтных полей ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ )

Рудник	Панель	Пласт	Газоносность максимальная ( $q_{\text{max}}$ )	Газоносность средняя ( $q_{\text{ср}}$ )
БКПРУ-2	1	АБ	1,35	0,64
	2	АБ	0,25	0,15
		КрII	0,44	0,25
	3	АБ	2,08	0,56
		КрII	0,78	0,42
	4	АБ	0,35	0,22
КрII		0,36	0,21	
БКПРУ-4	1	кровля КрII	3,41	1,73
	2	АБ	0,17	0,11
	3	кровля АБ	0,23	0,14
		КрII	0,35	0,20
	4	В <sub>с</sub>	0,43	0,24
		кровля КрII	2,24	0,82
	5	АБ	0,45	0,26
6	АБ	0,76	0,42	
7	В <sub>с</sub>	0,60	0,33	
СКРУ-1	1	АБ	5,03	0,84
		КрII	0,59	0,28
	2	КрII	0,17	0,11
	3	АБ	4,75	0,79
		КрII	2,67	0,44
4	В <sub>к</sub>	1,01	0,64	
5	В <sub>к</sub>	3,02	0,82	
СКРУ-3	1	АБ	2,81	0,91
		КрII	2,08	0,87
	2	АБ	5,02	0,94
	3	к.с.	0,10	0,07
	4	АБ	1,02	0,65
		КрII	0,11	0,08
5	В <sub>с</sub>	4,32	1,48	
6	КрII	0,42	0,22	

Компонентный состав свободных газов в соляных породах на изучаемых участках шахтного поля рудника БКПРУ-4 в целом метаново-азотный. Содержание метана изменяется от 31,04 до 35,61%; содержание водорода – от 1,00 до 4,14%; суммарное содержание тяжелых углеводородных газов – от 0,604 до 16,257%; содержание азота – от 48,74 до 66,65%.

Компонентный состав свободных газов в соляных породах на изучаемых участках шахтного поля рудника СКРУ-1 в целом метаново-азотный. Содержание метана изменяется от 3,42 до 54,14%; содержание водорода – от 2,13 до 42,66%; суммарное содержание тяжелых углеводородных газов – от 0,25 до 15,62%; содержание азота – от 35,10 до 71,46%.

Компонентный состав свободных газов в соляных породах на изучаемых участках шахтного поля рудника СКРУ-3 метаново-азотный. Содержание метана изменяется от 12,57 до 41,65%; содержание водорода – от 5,01% до 24,09%; суммарное содержание тяжелых углеводородных газов – от 0,517 до 9,145%; содержание азота – от 49,03 до 64,98%.

Газоносность пород по свободным газам варьируется в достаточно широких пределах: от 0,05 до 5,03 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Средняя газоносность изменяется от 0,07 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> (в породах подстилающей каменной соли на СКРУ-3) до 1,73 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> (в породах кровли пласта КрII на БКПРУ-4).

На рис. 1 показана диаграмма компонентного состава свободных газов в породах кровли пласта КрII 1 панели БКПРУ-2. По компонентному составу свободные газы метаново-азотные. Отмечается повышенное содержание тяжелых углеводородов, равное 8,171%, что может говорить о влиянии нефтегазоносных структур, залегающих под Верхнекамским месторождением, на компонентный состав свободных газов, находящихся в толще соляных пород.

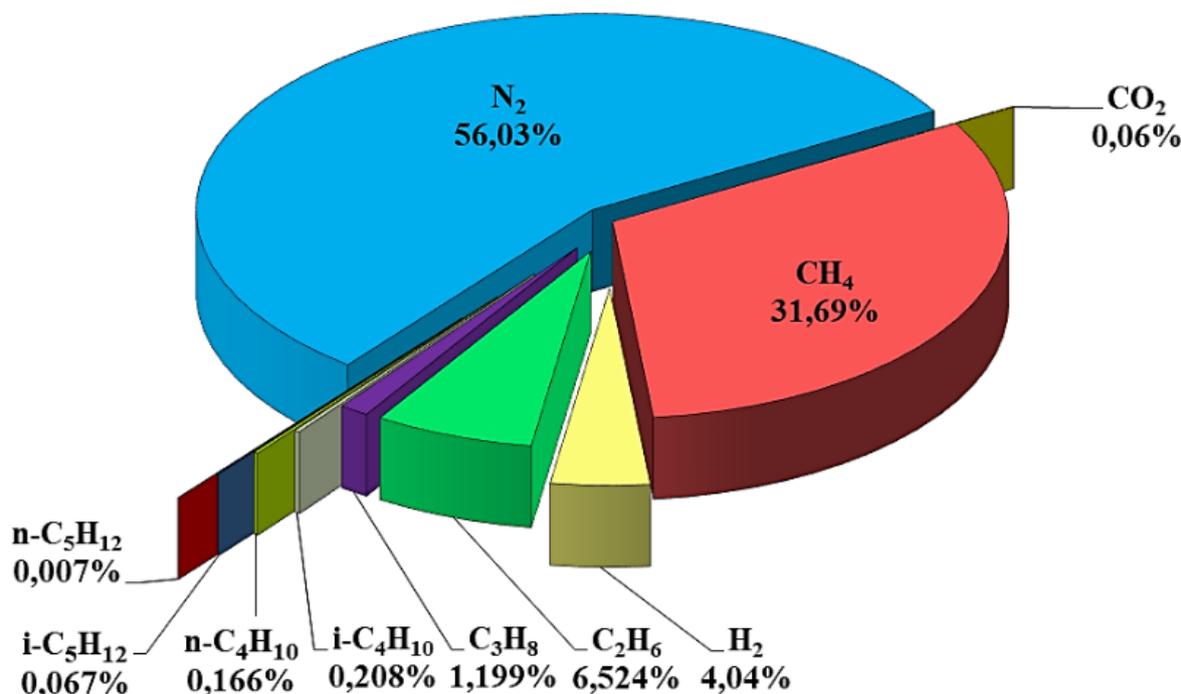


Рис. 1. Диаграмма компонентного состава свободных газов в породах кровли пласта КрII 1 панели БКПРУ-2

На 1 панели БКПРУ-2 и на 1 панели СКРУ-1 прослеживается азотно-метановый состав свободных газов. На рис. 2 показана диаграмма компонентного состава свободных газов в породах кровли пласта АБ 1 панели СКРУ-1. Отмечается преобладающее содержание метана, равное 54,14%, над содержанием азота, равным 35,10%.

Максимальное содержание метана, равное 54,14%, отмечается в породах кровли пласта АБ на 1 панели СКРУ-1. Максимальное содержание водорода, равное 42,66%, отмечается в породах пласта В<sub>к</sub> на 4 панели СКРУ-1. Максимальное содержание этана, равное 13,28%, отмечается в породах пласта В<sub>с</sub> на 4 панели БКПРУ-4. Максимальное содержание азота, равное 71,46%, отмечается в породах пласта КрII на 2 панели СКРУ-1.

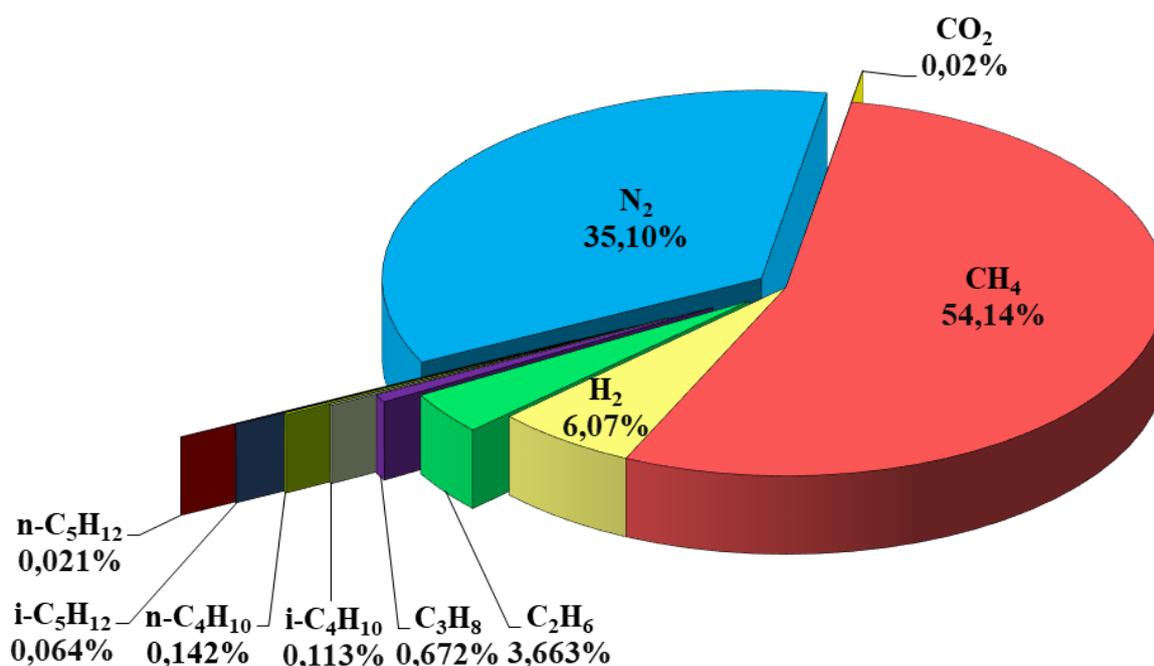


Рис. 2. Диаграмма компонентного состава свободных газов в породах кровли пласта АБ 1 панели СКРУ-1

Отмечается наличие высокого процентного содержания водорода в составе свободных газов в породах кровли пласта АБ и в породах пластов В<sub>с</sub> и В<sub>к</sub> на 1 панели БКПРУ-2, на 1, 3, 4 и 5 панелях СКРУ-1 и на 1, 2, 4, 5 и 6 панелях СКРУ-3. На рис. 3 показана диаграмма компонентного состава свободных газов в породах пласта В<sub>с</sub> 5 панели СКРУ-3, показывающая характерное для пород слоя В<sub>с</sub> повышенное значение водорода, равное 24,09%.

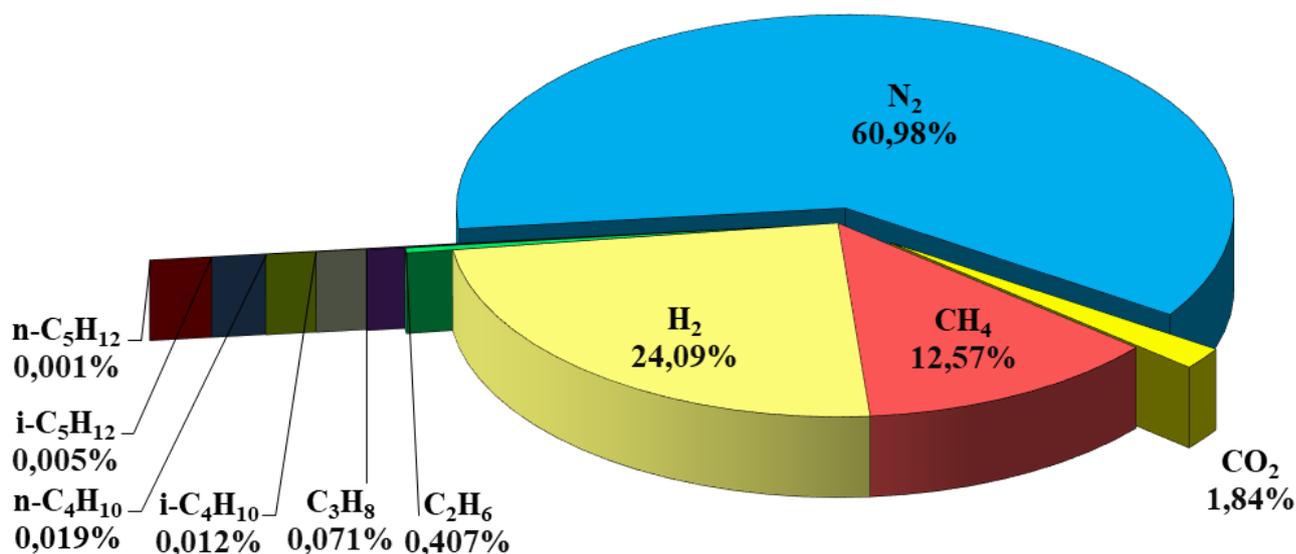


Рис. 3. Диаграмма компонентного состава свободных газов в породах пласта В<sub>с</sub> 5 панели СКРУ-3

### Заключение

В результате исследования газоносности пород по свободным газам на вводимых в эксплуатацию участках шахтных полей ПАО «Уралкалий» установлено, следующее.

- Средняя газоносность пород по свободным газам варьируется от 0,07 до 1,73 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Максимальное значение средней газоносности пород зафиксировано в породах кровли пласта КрII и составляет 1,73 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Минимальное значение, равное 0,07 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, отмечено в породах подстилающей каменной соли.
- Наименьшая газоносность зафиксирована в породах подстилающей каменной соли на 3 панели СКРУ-3 и составляет 0,10 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, наибольшая газоносность – на 1 панели СКРУ-1 в породах пласта АБ и составляет 5,03 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;
- По компонентному составу свободные газы метаново-азотные. Преимущественно на СКРУ-1 и СКРУ-3 фиксировалось значительное процентное содержание водорода в составе свободных газов (до 42,66% в породах пласта В<sub>к</sub> на 4 панели СКРУ-1). На некоторых исследуемых участках, а именно на 4 и на 7 панелях БКПРУ-4 и на 2 и 3 панелях СКРУ-1, наблюдается повышенное (свыше 10%) содержание тяжелых углеводородов метанового ряда.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрейко С.С. Газодинамические явления в калийных рудниках: методы прогнозирования и способы предотвращения: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во. ПГТУ, 2007. – 208 с.
2. Инструкция по эксплуатации планетарных шаровых мельниц тип РМ100/РМ200. Retsch GmbH & Co. KG, Naan, Germany, Doc.Nr. D 98.540/640.9999. –2004. –32 с.
3. Иванов О.В. Методика и результаты определения газоносности соляных пород по связанным газам методом сухой механической дезинтеграции // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 14 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2016. – С. 312-314.

УДК 622.253

DOI:10.7242/echo.2021.3.20

### РАСЧЕТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ КОНВЕКТИВНО-ДИФфуЗИОННОГО ПЕРЕНОСА

Н.А. Трушкова, С.А. Бублик  
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

**Аннотация:** Расчеты распределения газовых примесей в рудничной вентиляционной сети выполняются с целью повышения безопасности ведения горных работ и разработки мероприятий по повышению эффективности проветривания участков сети. Для расчета газораспределения в вентиляционных сетях рудников часто используется модель идеального вытеснения, которая не учитывает процесс диффузии. На рудниках возникают ситуации, когда результаты моделирования газораспределения не согласуются с результатами натурных измерений. Особенно сильно это проявляется на участках с низкими скоростями движения воздуха. В данной работе приведены результаты исследований, подтверждающие необходимость учета диффузии при решении задач газораспределения в рудничных вентиляционных сетях.

**Ключевые слова:** турбулентная диффузия, модель идеального вытеснения, вентиляционная сеть, скорость воздуха, газораспределение.

Расчет газораспределения выполняется для анализа распространения газовых примесей в моделях рудничных вентиляционных сетей как для штатных, так и для аварийных режимов проветривания [1]. Соответствие результатов моделирования фактическому газораспределению в горных выработках необходимо, так как результаты моделирования газораспределения ложатся в основу разработки мероприятий по повышению эффективности проветривания участков, а также для разработки мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварийных ситу-