

УДК 622.273.26

**Б.А. Борзаковский, В.Е. Мараков, М.В. Гилев,  
В.И. Воронцов, М.И. Русаков**

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЫЕМКИ КАРНАЛЛИТОВОГО ПЛАСТА С ПОВЫШЕННЫМ ИЗВЛЕЧЕНИЕМ**

*Рассмотрены технологии гидрозакладочных работ на карналлитовом пласте с целью повышения степени заполнения очистных камер закладочным материалом и увеличения извлечения руды из недр в условиях рудника СКРУ-1.*

*Ключевые слова: карналлитовый пласт, параметры системы разработки, закладочные работы, степень извлечения.*

---

Отработка карналлитового пласта с закладкой на руднике Соликамского калийного рудоуправления № 1 (СКРУ-1) ведется с начала 1940-х годов. Ввиду малой изученности физико-механических свойств карналлита и с учетом наличия больших вывалов из кровли камер (купола) и стенок целиков параметры камерной системы разработки (ширина камер 8 м, ширина междукамерного целика 19 м) были рассчитаны с большим запасом прочности по формуле Л.Д. Шевякова.

По мере приобретения опыта отработки пласта и в результате наблюдений за устойчивостью целиков и кровли карналлитовых камер, необходимость большого запаса прочности при расчетах целиков стала вызывать сомнения. Так А.И. Андреичев [1] показал, что возможна отработка карналлита с шириной камеры 8 м и шириной целика 12 м.

Более детальное изучение возможности увеличения извлечения карналлита было проведено в 1961—1965 годах в Пермском научно-исследовательском угольном институте. Были определены физико-механические

свойства карналлита, включая его ползучесть [2, 3]. Проанализированы размеры отработанных камер и показано, что реальные размеры больше проектных [4]. Произведена оценка влияния закладки на несущую способность целиков по моделям из эквивалентных материалов и показано, что закладка увеличивает несущую способность целиков на 30—50 % [5, 6]. Предложена методика расчета целиков с учетом упрочняющего действия закладки. Показано, что при отставании закладочных работ от очистных менее чем на три года можно повысить извлечение карналлита на 18 % [7], а упрочняющая роль закладки дает возможность, почти не изменяя запаса прочности целиков, увеличить извлечение карналлита в 1,5 раза [8].

По мере развития закладочных работ совершенствовалась технология закладки, улучшались параметры закладочного массива, проводились научно-исследовательские работы по оценке влияния закладки на возможность увеличения извлечения руды из недр.

В настоящее время, кроме большого запаса прочности карналлитовых

целиков, появились новые факторы, которые позволяют принять решение об организации опытно-промышленного участка с повышенным извлечением карналлитовой руды. К этим факторам относятся:

а) улучшение горно-технических условий, а именно, выдержанная мощность пласта, отсутствие складок, перевод добычи карналлита с буровзрывного на комбайновый способ, что позволило стабилизировать параметры отработки (ширину камер и целиков);

б) сокращение сроков отработки запасов карналлита на руднике СКРУ-1 в связи с затоплением рудника БКПРУ-1 и увеличением добычи карналлита на СКРУ-1;

в) перевод скреперной закладки на гидравлическую, что позволило увеличить степень заполнения камер до 0,8 и повысить плотность закладочного массива на 3—4 %. Кроме этого, анализ возможностей технологии гидравлической закладки показал, что можно степень заполнения камер довести до 0,90—0,95 и сократить срок отстаивания закладочных от очистных работ до 6 месяцев;

г) наличие запаса производительности гидрозакладочной установки, что позволит уже в ближайшее время сократить отставание закладочных работ от очистных до 6 месяцев.

На руднике СКРУ-1 отработку карналлитового пласта В ведут комбайновым способом. Отставание закладочных работ от очистных составляет не более 1,5 лет. Закладку ведут гидравлическим способом. С учетом вогнутого профиля камеры в нижней части целиков проходят междукамерные сбойки для удаления рассола из камер. Нормативная степень заполнения камер  $k_z$  составляет 0,75. Однако закладку ведут с большей степенью заполнения, а оставляемый в ка-

мере зазор около 1,5 м ( $k_z \geq 0,8$ ) позволяет без затруднений производить монтаж и демонтаж забойного пульпопровода.

Отработку опытно-промышленного участка предлагается вести двумя зонами, отличающимися различными параметрами системы разработки.

Участок располагается в южной полупанели 9 восточной панели. На рассматриваемом участке пласт Кр. II не отработан, на земной поверхности охраняемые здания и сооружения отсутствуют. Длина участка около 400 м. Падение пласта В — с запада на восток. Перепад отметок пласта по длине участка 35 м. Ширина участка 160 м. Перепад отметок по ширине участка с севера на юг — переменной — от 3,5 до 7,0 м. Угол наклона пласта — от 1,3 до 2,6 град.

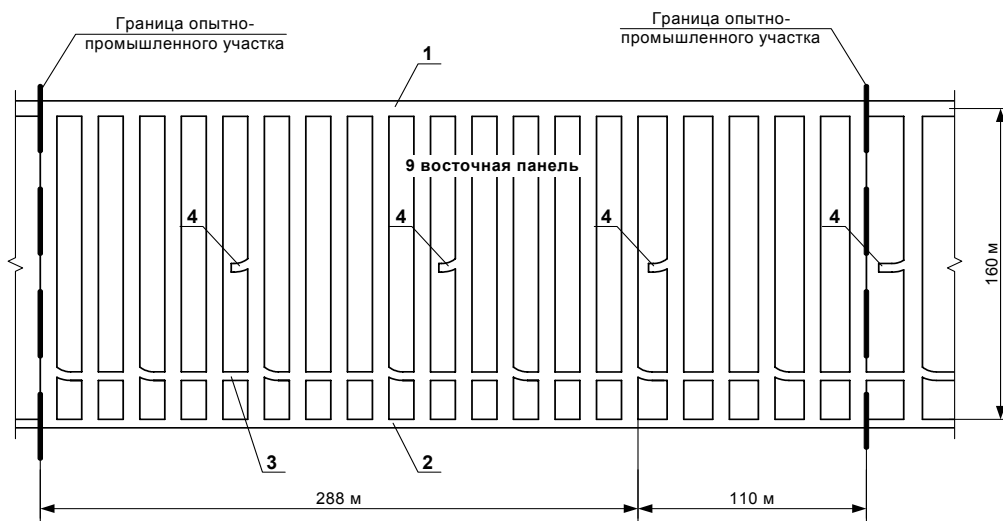
В первой зоне (переходная зона), примыкающей к участку, отработываемому с существующими параметрами системы разработки, принята ширина камер 8 м, ширина междукамерного целика 14 м, высота камер 8,8 м, длина зоны 110 м.

Во второй зоне отработку ведут при той же ширине и высоте камер, но с шириной междукамерного целика 12 м. Разделение на зоны позволит плавно перейти к большей степени нагружения целиков.

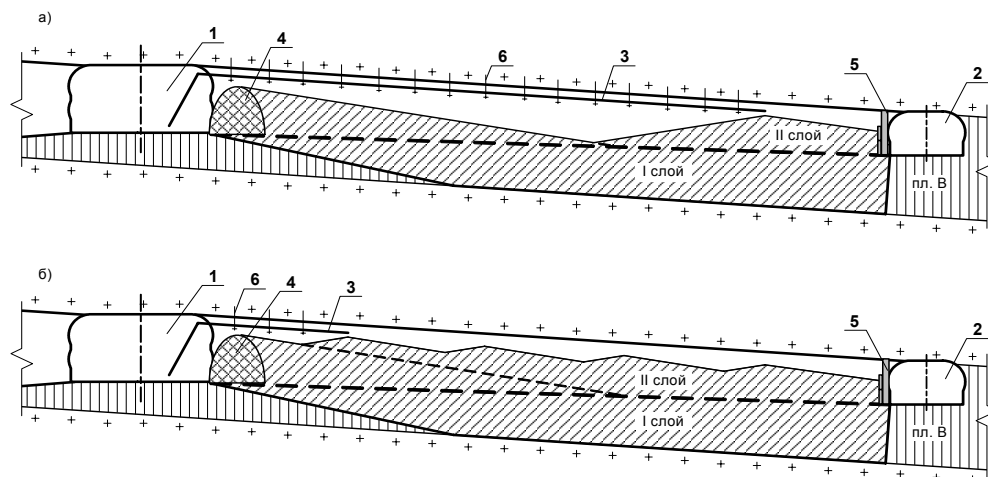
План выработок на опытно-промышленном участке показан на рис. 1.

Особенность технологии ведения закладочных работ на карналлитовом пласте заключается в том, что закладку камер ведут в два слоя, что позволяет получить высокую степень заполнения.

Схема закладки показана на рис. 2. При закладке первого слоя поверхность закладочного массива в устье камеры достигает почвы выемочного штрека. После закладки первого слоя



**Рис. 1. План горных выработок по пласту В на опытно-промышленном участке:** 1 — выемочный штрек; 2 — вентиляционный штрек; 3 — сбойка; 4 — замерная станция



**Рис. 2. Схема закладки второго слоя из пульпопровода, расположенного под кровлей камеры:** а — начало закладочных работ; б — окончание закладочных работ; 1 — выемочный штрек; 2 — вентиляционный штрек; 3 — забойный пульпопровод; 4 — насыпная перемычка; 5 — порог; 6 — клинораспорный анкер

в горловине камеры возводят насыпную перемычку, а на сопряжении камеры с вентиляционным штреком устанавливают фильтрующий порог. Закладку второго слоя производят в обратном порядке, пульпу подают из пульпопровода, подвешенного к кровле камеры. Отличие данной технологии состоит в том, что в точ-

ке слива пульпы оставляют зазор между кровлей и закладочным массивом, что позволяет производить демонтаж забойного пульпопровода. Забойный пульпопровод подвешивают к кровле камеры на клинораспорные анкеры.

Требуемая степень заполнения камеры  $A = 0,9$  достигается за счет уве-

личения количества точек подачи пульпы в камере.

Для оценки параметров системы разработки выполнены расчеты степени нагружения междукамерных целиков при существующих и предлагаемых параметрах системы разработки. Расчет параметров системы разработки выполнен по методике [9].

Расчетная степень нагружения целиков  $C$  на площади опытно-промышленного участка при существующих параметрах системы разработки (вынимаемой мощности пласта  $m = 8,8$  м, ширине пролета очистных камер  $a = 9,0$  м и ширине междукамерного целика  $b = 18,0$  м) составляет 0,35.

Расчетная степень нагружения превышает допустимую  $[C] = 0,3$ , что требует применения дополнительных мер по снижению степени нагружения междукамерных целиков, а именно:

- уменьшение ширины пролета очистных камер;
- уменьшение вынимаемой мощности пласта.

Для этого сначала определяется степень нагружения междукамерных целиков при уменьшении ширины пролета очистных камер до  $a = 8,0$  м. Степень нагружения целиков  $C$  составляет 0,32 и превышает допустимую  $[C] = 0,3$ , следовательно, необходимо уменьшить вынимаемую мощность пласта.

При вынимаемой мощности пласта  $m = 8,0$  м расчетная степень нагружения  $C$  будет равна 0,3.

Таким образом, параметры системы разработки, соответствующие степени нагружения, принятой в нормативном документе [9], составят: ширина пролета очистной камеры  $a = 8,0$  м; ширина междукамерного целика  $b = 19,0$  м; вынимаемая мощность пласта  $m = 8,0$  м.

Далее выполняем расчет для опытно-промышленного участка с учетом

упрочняющего влияния гидрозакладочного материала на междукамерные целики, выраженного в повышении их несущей способности при неизменной нагрузке.

В «Указаниях ...» [9] отсутствует методика расчета упрочняющего воздействия закладочного массива на карналлитовые целики. В связи с этим расчет выполнен по методике [10], так как физическая сущность процесса упрочняющего воздействия, основанная на том, что расширению целиков в значительной мере препятствует закладочный массив, одинакова как для сильвинитовых, так и для карналлитовых целиков.

При определении несущей способности междукамерных целиков учитывается упрочняющее действие закладочного массива на целики за счет реактивного горизонтального давления (реакция закладки) на стенки целика. В результате действия этого давления породы целика оказываются в объемном напряженном состоянии и обладают более высоким сопротивлением сжимающим нагрузкам, соответственно увеличивающим их несущую способность.

Несущая способность междукамерных целиков с учетом упрочняющего действия закладочного массива определяется по методике, изложенной в работе [10]. Степень нагружения междукамерных целиков  $C$  на участке отработки с существующими параметрами:  $a = 9,0$  м,  $b = 18,0$  м,  $m = 8,8$  м и степенью заполнения  $A=0,75$  составит 0,3.

Далее определяем степень нагружения целиков при уменьшении их ширины  $b$  до 14 м и 12 м и увеличении степени заполнения камер  $A$  до 0,9. Для увеличения срока устойчивости пород кровли над очистными камерами пласта В принимаем ширину очистных камер  $a = 8,0$  м. В ходе

Таблица 1

**Степень извлечения карналлитовой руды при различных параметрах системы разработки**

Ширина камеры $a$ , м	Ширина междукамерного целика $b$ , м	Высота камеры $h_k$ , м	Объем камерного блока $V_{к.б}$ , м <sup>3</sup>	Объем камеры $V_k$ , м <sup>3</sup>	Степень извлечения $\omega_k$ , %
8,0	14,0	8,8	29040	9683	33,34
8,0	12,0	8,8	26400	9683	36,68
8,0*	19,0*	8,0*	35640	8991	25,23

\* Базовый вариант параметров системы разработки со степенью нагружения междукамерных целиков 0,3.

Таблица 2

**Степень извлечения сильвинитовой руды при различных параметрах системы разработки**

Межосевое расстояние, м	Ширина камерного хода $a_0$ , м	Степень извлечения $\omega_c$ , %
22	5,1	46,36
20	5,1	51,00
27	5,1	37,78

проведения опытно-очистных работ и по мере накопления фактического материала по устойчивости пород в кровле выработок ширина очистных камер в будущем может быть скорректирована.

Расчетная степень нагружения междукамерных целиков на пласте В при  $b = 14$  м с учетом упрочняющего влияния закладки и опытно-промышленными параметрами составит  $C = 0,36$ .

Для оценки состояния междукамерных целиков, находящихся в наиболее экстремальных условиях между фронтом очистных работ и текущей границей закладочных работ, выполняется расчет по фактору допустимой степени нагружения. По технологическому фактору минимальное отставание закладочных работ может составить не более 3 камер или  $l = 3(a + b) = 52$  м. Такие целики будут находиться под охранным влиянием неотработанного массива. Степень нагружения  $C$  междукамерного цели-

ка, находящегося в наиболее экстремальных условиях у границы закладочных работ, определяется по методике, изложенной в работе [10] и будет равна 0,31, что незначительно больше допустимой  $[C] = 0,3$ .

Таким образом, при отработке карналлитового пласта на опытно-промышленном участке до начала проведения закладочных работ степень нагружения трех междукамерных целиков практически не превышает допустимую  $[C] = 0,3$  и обеспечивает безопасность проведения очистных и закладочных работ.

Степень нагружения междукамерных целиков с учетом упрочняющего действия закладки в зоне полной подработки на участке с  $b = 12$  м составит 0,42.

Для оценки экономической эффективности выполним расчет степени извлечения карналлитовой руды для различных параметров системы разработки. Результаты расчета приведены в табл. 1.

Увеличение извлечения на карналлитовом пласте в переходной зоне составит 8,11 %, на остальном участке — 11,45 %. Относительное увеличение извлечения на этом участке составит 45,4 %.

Для соблюдения соосности камер отработку сильвинитового пласта Кр.ІІ на опытно-промышленном участке необходимо вести с параметрами системы разработки с межосевым расстоянием 22 м и 20 м. Камеры проходятся в два камерных хода с межходовым целиком.

Расчет степени извлечения сильвинитовой руды для различных параметров системы разработки приведен в таблице 2.

Увеличение извлечения на сильвинитовом пласте в переходной зоне составит 8,58 %, на остальном участке — 13,22 %. Относительное увеличение извлечения на этом участке составит 35,0 %.

Таким образом, учет влияния закладки позволяет увеличить степень извлечения на карналлитовом и сильвинитовом пластах.

При ведении закладочных работ на опытно-промышленном участке производят наблюдения за состоянием закладочного массива и целиков.

Для определения характеристик деформирования междукамерных целиков в пределах опытно-промышленного участка предусматривается проходка замерных наблюдательных станций. Замерные станции проходятся через каждые 5 камер. Первая станция проходит в междукамерном целике между камерами с опытными и существующими параметрами системы разработки. Замерные станции проходятся посередине очистных камер в кровле пласта В. Незаполняемая высота камер, из которых пройдены замерные станции, составляет 1,5 м.

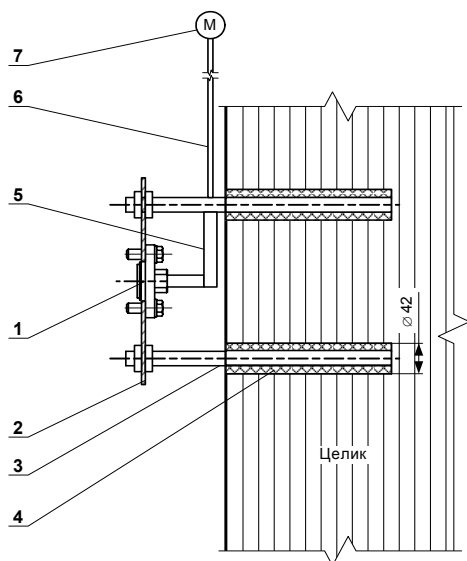
В ходе испытаний необходимо определить:

- давление закладки на целики;
- деформацию кровли в камерах;
- оседания земной поверхности над опытно-промышленным участком;
- горизонтальную и вертикальную усадки закладочного массива;
- степень заполнения камеры и углы откоса закладочного массива;
- плотность гидрозакладочного массива;
- удельные затраты времени на монтаж-демонтаж забойного пульпопровода;
- минимально возможное отставание закладочных работ от очистных.

Одним из основных показателей работы системы «закладка-целик» является давление закладки на целик. Давление закладки на целики определяют в тех же камерах, где установлены станции наблюдения за деформациями целиков.

Давление измеряют с помощью разделителя сред типа ВА-5320. Камера разделителя сред соединена рукавом резиновым высокого давления с металлической оплеткой неармированным по ГОСТ 6286-73 с показывающим манометром. При возрастании давления воспринимается мембраной, при этом манометр показывает увеличение давления. Схема установки разделителя сред в закладочном массиве показана на рис. 3.

В камере устанавливают три мембраны: одну посередине целика и по одной вертикально вниз и вверх на расстоянии 1 м от центральной мембраны. Разделители сред закрепляют на опорной плите, которую в свою очередь устанавливают на анкерах, закрепленных в целике раствором на основе магнезиального цемента. Разделители сред устанавливают по мере закладки камер. Записи давления производят регулярно 1 раз в месяц. Первые



**Рис. 3. Схема установки разделителя сред на целике:** 1 — разделитель сред; 2 — опорная плита; 3 — анкер  $\varnothing 20$  мм; 4 — цементный раствор; 5 — уголок; 6 — рукав резиновый; 7 — манометр

показания записывают сразу после возведения закладочного массива на полную мощность в месте установки разделителя сред.

После проведения испытаний их результаты заносятся в специальные журналы. По данным журналов строят график нарастания оседания целиков во времени, график скорости оседания целиков, график скорости

расширения целиков, график усадки закладочного массива во времени, графики нарастания давления в закладочном массиве во времени и скорости нарастания давления, по результатам смещений реперов строят графики нарастания деформаций и скорости деформаций. Результаты испытаний используются при корректировке методики расчета карналлитовых целиков с учетом упрочняющего воздействия закладки на целики.

Отработка карналлита на опытно-промышленном участке позволит определить оптимальные параметры системы разработки и оптимальные параметры технологии закладочных работ, позволяющие повысить извлечение руды и обеспечить сохранение сплошности водозащитной толщи при последующей отработке пласта Кр. II с закладкой.

Таким образом, увеличение извлечения на карналлитовом пласте, при увеличении степени заполнения камер закладочным материалом, не только увеличивает срок отработки оставшихся запасов карналлита на руднике, но и сокращает эксплуатационные потери при отработке сильвинитового пласта, что является экономически важной и стратегической задачей для каждого горнодобывающего предприятия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев А.И. Разработка калийных и каменно-соляных месторождений. Ч. II. — М.: Госгортехиздат, 1954. — 103 с.
2. Водопьянов В.Л. Некоторые результаты изучения деформируемости карналлита во времени / В.Л. Водопьянов, А.М. Уразова // Науч. тр. ПермНИУИ. — Сб. VII. — Пермь, 1964. — С. 263—272.
3. Водопьянов В.Л. Механические свойства карналлита при сжатии / В.Л. Водопьянов, А.М. Уразова // Науч. тр. ПермНИУИ. — Сб. V. — Пермь, 1963. — С. 9—19.
4. Фактическое состояние и факторы устойчивости карналлитовых выработок Соликамского рудника / В.Л. Водопьянов, В.М. Барковский, И.Х. Габдрахимов, М.И. Денисов // Науч. тр. ПермНИУИ. — Сб. IV. — Пермь, 1962. — С. 87—99.
5. Водопьянов В.Л. Исследование влияния закладки на устойчивость междукамерных целиков методом эквивалентных материалов применительно к условиям Верхнекамских рудников / В.Л. Водопьянов, В.М. Барковский, В.Г. Артемов // Науч. тр. ПермНИУИ. — Сб. VI. — Пермь, 1964. — С. 131—139.

6. *Водопьянов В.Л.* Упрочняющее воздействие закладки на междукамерные целики / В.Л. Водопьянов, В.М. Барковский, В.Г. Артемов // Науч. тр. ПермНИУИ. — Сб. VII. — Пермь, 1964. — С. 281—293.

7. *Водопьянов В.Л.* О расчете целиков на калийных рудниках при закладке камер // Науч. тр. ПермНИУИ. — Сб. VII. — Пермь, 1964. — С. 309—315.

8. *Водопьянов В.Л.* Возможности уменьшения потерь калийных солей путем использования упрочняющего действия закладки

на целики // Горн. журн. — 1965. — № 2. — С. 28—31.

9. *Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей (технологический регламент) / ЗАО ВНИИГ.* — СПб., 2008. — 96 л.

10. *Методические указания по расчету податливых междукамерных целиков на калийных месторождениях.* — Л., 1982. — 103 с. **ГЛАВ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

---

*Борзаковский Б.А.* — кандидат технических наук, зав. лабораторией технологии закладочных работ, ОАО «Галургия», e-mail: onti@gallurgy.ru,

*Мараков В.Е.* — кандидат технических наук, зам. генерального директора, Березниковский филиал ОАО «Галургия»,

*Воронцов В.И.* — научный сотрудник лаборатории геомеханики Березниковского филиала ОАО «Галургия»,

*Русаков М.И.* — научный сотрудник лаборатории технологии закладочных работ, ОАО «Галургия»,

*Гилев М.В.* — главный маркшейдер, «Сильвинит».



## НОВОСТИ НАУКИ

---

• Британские ученые начали исследование редкого метеорита, упавшего в Марокко в июне 2011 г. и получившего название «Тиссинт». Анализ изотопов кислорода в камне весом 1 кг говорит о его марсианском происхождении. Он образовался при отвердевании расплавленной магмы.

Британская научная группа собирается выяснить, подвергались ли минералы воздействию воды, содержат ли они углерод. Для изучения внутренней структуры метеорита используется метод компьютерной томографии.

• Исследователи из Оксфордского университета (Великобритания) обнаружили, что если воздействовать на мозг слабым электрическим током, от него можно добиться большей отдачи: человек станет быстрее читать, лучше решать задачи и больше запомнит. Это исследование предвещает новую эру дешевых, удобных технологий развития умственных способностей.

*«Наука в фокусе»*