

РАЗРАБОТКА ПРЕДПРОЕКТНЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ВЫРАБОТОК ПРИ ПОДГОТОВКЕ НОВЫХ ПАНЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ РУДНИКА ГРЕМЯЧИНСКОГО ГОКА

Ковальский Е.Р.¹, Миронов Н.А.¹, Уразов Д.В.²

¹*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург;*

²*Филиал ООО «ПроТехИнжиниринг» – «Санкт-Петербург», Санкт-Петербург*

Ключевые слова: калийная руда, пучение почвы, подготовительные выработки, панельная подготовка, реологические свойства, геомеханические процессы, FLAC, способы охраны горных выработок, проектные решения, безопасность.

Аннотация. Рассмотрены вопросы оценки устойчивости почвы подготовительных выработок при разработке калийных месторождений с использованием методов численного моделирования в программном комплексе FLAC2D 8.0 с применением реологической модели горных пород. Модель была верифицирована по результатам замеров смещений контура выработок на руднике. Введен коэффициент нагруженности массива, по которому было оценено напряженно-деформированное состояние массива пород в окрестности пройденного комплекса подготовительных панельных выработок. Выдвинута гипотеза о причинах активного пучения пород почвы выработок. Исследована возможность разгрузки межштрековых целиков и переноса напряжений на широкие краевые охранные целики. Отмечено снижение пучения почвы, однако при этом наблюдается разрушение бортов выработок и активное смещение их внутрь. В этой связи даны рекомендации по обеспечению эксплуатационного состояния комплекса панельных подготовительных выработок за счет их расположения вне контуров продуктивного пласта, а именно в устойчивых породах кровли (ангидриты) и почвы (каменная соль). Показаны возможные схемы охраны выработок. Для наиболее перспективных вариантов произведено численное моделирование. Даны рекомендации для некоторых технологических параметров по наиболее целесообразному варианту с двумя выработками одновременно в породах кровли и почвы. Полученные результаты могут быть использованы при разработке проектных решений по подготовке панелей в условиях Гремячинского месторождения.

DEVELOPMENT OF DESIGN RECOMMENDATIONS FOR ENSURING THE OPERATIONAL CONDITION OF WORKINGS DURING THE PREPARATION OF NEW PANELS IN THE CONDITIONS OF THE GREMYACHINSKY GOK MINE

Kovalsky E.R.¹, Mironov N.A.¹, Urazov D.V.²

¹*Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg;*

²*Branch of ProTech Engineering LLC – St. Petersburg, Saint-Petersburg*

Keywords: potash ore, soil heaving, preparatory workings, panel preparation, rheological properties, geomechanical processes, FLAC, methods of mine protection, design solutions, safety.

Abstract. The issues of assessing the stability of the soil of preparatory workings during the development of potash deposits using numerical modeling methods implemented in the FLAC2D 8.0 software package using a rheological rock model are considered. The model was verified based on the results of measurements of the displacement contour of the workings at the mine. The load factor of the massif was introduced, according to which the stress-strain state of the rock massif in the vicinity of the completed complex of preparatory panel workings was estimated. A hypothesis has been put forward about the causes of active heaving of the soil rocks of the workings. The possibility of unloading the inter-track sights and stress transfer to the wide edge guard sights is investigated. A decrease in soil heaving was noted, but at the same time, the sides of the workings were destroyed and actively shifted inward. In this regard, recommendations are given to ensure the operational condition of the complex of panel preparatory workings due to their location outside the contours of the productive reservoir, namely in stable roof rocks (anhydrites) and soil (rock salt). Possible schemes of protection of workings are shown. Numerical modeling has been performed for the most promising options. Recommendations are given for some technological parameters on the most appropriate option with two workings simultaneously in the rocks of the roof and soil. The results obtained can be used in the development of design solutions for the preparation of panels in the conditions of the Gremyachinskoye field.

Введение

Одним из актуальных вопросов разработки глубокозалегающих калийных пластов является обеспечение эксплуатационного состояния подготовительных выработок. В условиях рудника Гремячинского ГОКа, где разработка мощного калийного пласта ведется на глубине порядка 1 км, основной проблемой при поддержании выработок является интенсивное пучение почвы (рис. 1). При этом в силу площадного распространения месторождения объем подготовительно-нарезных работ достаточно высок. Для подготовки одной панели необходимо проходить комплекс транспортных, доставочных и вентиляционных выработок суммарным метражом порядка 16 км и поддерживать его в течение 10-15 лет, пока ведется отработка запасов и последующие закладочные работы в пределах выемочных блоков панели. Естественно, что в таких условиях проблема пучения проявляет себя особенно остро и требует рационального надежного решения.

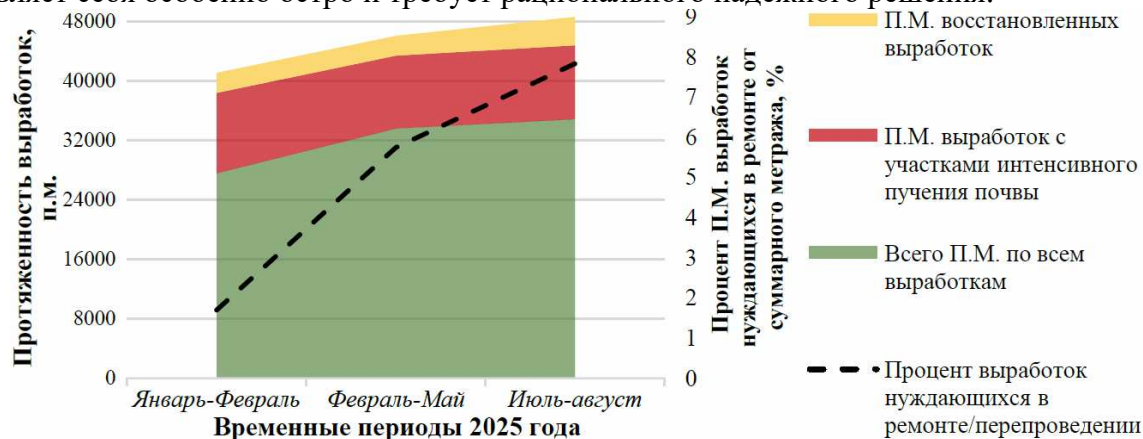


Рис. 1. Статистика за 2025 год по интенсивности пучения на руднике Гремячинского ГОКа

Соляные породы обладают ярко выраженными реологическими свойствами [1], и, строго говоря, исследование и прогноз горно-геомеханических процессов (в том числе процессов пучения), происходящих в окрестности выработок, пройденных в таких породах, необходимо производить исключительно с учетом временного фактора [2].

Известные методики, разработанные для условий угольных и другого типа рудных месторождений, оказываются неприменимы для соляных месторождений даже в первом приближении, не говоря уже о том, чтобы брать их за основу для разработки нормативно-технической документации и адекватных мер охраны [3-5].

Естественно, что разработка способов поддержания эксплуатационного состояния выработок может быть реализована только при наличии понимания причин и механизма пучения, которые могут быть весьма специфичными для разных месторождений и условий.

Ниже описывается гипотеза, предполагающая объяснение механизма пучения почвы подготовительных выработок рудника Гремячинского ГОКа, приводятся результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) горного массива в окрестности подготовительных выработок с учетом временного фактора, иллюстрирующие данный механизм и даются рекомендации по снижению интенсивности пучения в специфических условиях Гремячинского месторождения за счет рационального расположения выработок по соленосному разрезу [6]. Полученные предложения могут быть использованы при разработке проектов подготовки новых панелей рассматриваемого рудника.

Методы исследований

Решение поставленной задачи выполнено в три этапа: а) проведен анализ результатов натурных наблюдений за интенсивностью и характером пучения подготовительных выработок на руднике Гремячинского ГОКа; б) разработана численная модель, реализованная в программном комплексе FLAC [7, 8], и откалиброванная по данным натурных наблюдений; в) выполнен анализ результатов моделирования, на основе которых сформулирована возможная гипотеза возникновения интенсивного пучения в выработках рудника и сделаны

предложения по его снижению; г) обоснованы параметры схемы расположения подготовительных выработок во вмещающих породах.

Разработанная численная модель включает поперечное сечение центральных панельных выработок (плоскодеформированная постановка), который на руднике включает 3-4 протяженные выработки, пройденные комбайном УРАЛ-20р-14, с площадью поперечного сечения 22 м^2 и существенным расстоянием между ними для исключения их взаимовлияния (от 20 до 33 м по осям выработок). Выработки, как правило, проходятся по пласту, однако в силу сложной гипсометрии зачастую прирезают вмещающие породы.

Моделируется разрез, включающий следующие структурно-геологические элементы (рис. 2): мощный калийный пласт с пройденным в нем выработками; перекрывающие породы, представленные мощным слоем ангидрит-доломитовых пород и залегающим над ним слоем ангидрита; подстилающий пласты карналлита и каменной соли [9].

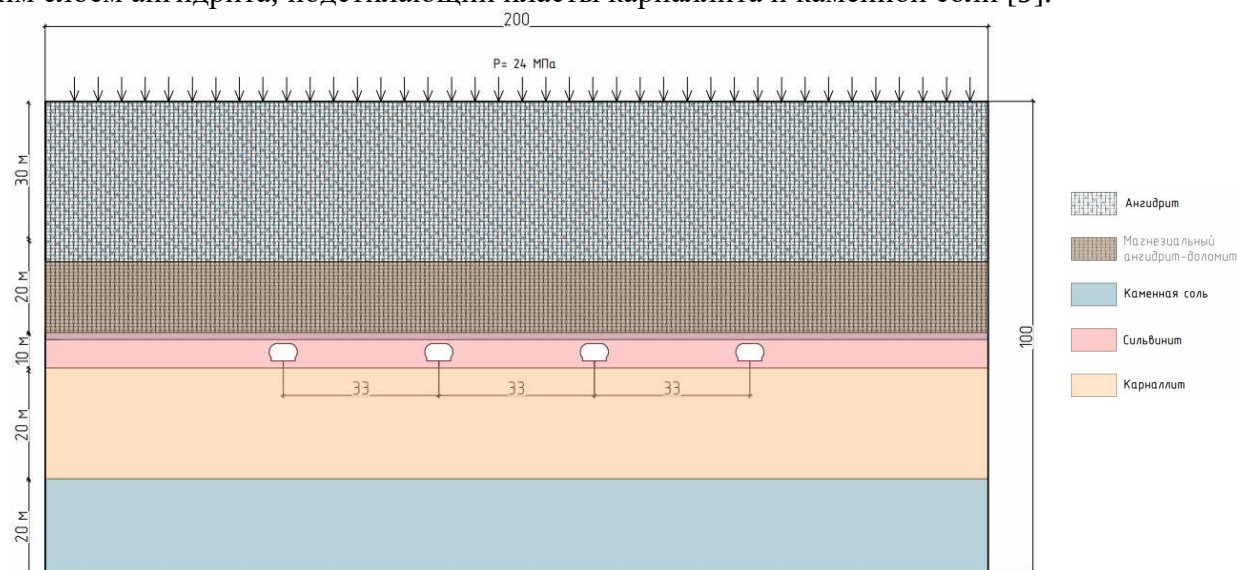


Рис. 2. Эскиз расчетной схемы горно-геомеханической модели на примере идеализированных условий заложения панельных подготовительных выработок Гремячинского ГОКа

Влияние вышележащей толщи моделируется посредством задания соответствующей эпюры опорного давления по верхней границе модели. Ангидрит и ангидрит-доломитовые породы представлены в модели упругопластическим материалом, соляные породы – упруговязкопластическим. Критерием перехода к пластическим деформациям служит критерий Кулона-Мора, а поведение соляных пород во времени описывается однокомпонентным законом ползучести Нортон, который, как известно, адекватно отражает режим установившейся ползучести горных пород [10].

Одним из анализируемых параметров, на основе которого в модели оценивается напряженное состояние, является коэффициент нагруженности массива, который определялся как:

$$k_{нагр} = \frac{\sigma_{эф}}{\sigma_{дл}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{эф} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_x \sigma_z + 3\sigma_{xy}}$ – эффективное напряжение по фон Мизесу, МПа; $\sigma_{дл}$ – предел длительной прочности анализируемой породы, МПа.

Результаты

В силу того, что большинство наблюдательных станций были заложены только порядка 2-4 года назад, на руднике имеются данные только о кратковременном характере реализации процесса пучения. На рисунке 3 представлены некоторые результаты шахтных наблюдений, полученные маркшейдерской службой рудника, а также нанесённые прогнозные кривые, полученные по одной из расчетных методик (Методические рекомендации по обоснованию

требований к обеспечению устойчивости подземных выработок, проводимых в соляных породах. – М: ИПКОН РАН) и разработанной численной модели. Из рисунка видно, что численная модель удовлетворительно описывает реальный процесс пучения подготовительных выработок рудника.

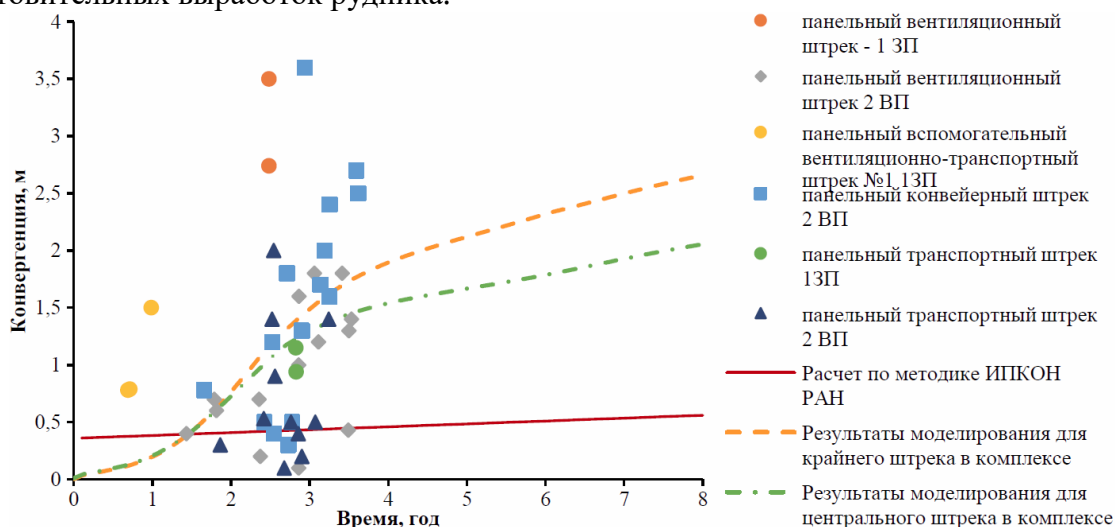


Рис. 3. Вертикальная конвергенция по оси панельных выработок (расчетная и фактическая)
[составлено авторами, ООО «Еврохим-ВолгаКалий»]

Помимо собственно величины пучения, по результатам анализа плана горных работ с нанесенными участками пучения установлено, что наиболее интенсивно деформирования почвы проявляется в крайних штреках панельного комплекса выработок, в то время как центральные штреки подвержены ему в меньшей степени, что связано с более близким расположением крайних штреков к отработанным блокам.

Отметим, что к специфическим условиям залегания продуктивного пласта в пределах шахтного поля рудника Гремячинского ГОКа, которые, как представляется, имеют значение для реализации механизма пучения, относится наличие разнопрочных пород кровли и почвы в разрезе соленосной толщи: крепких ангидритов и ангидрит-доломитов в кровле и слабого хрупкого карналлита в почве. Непосредственно калийный пласт представлен сильвинитом средней прочности.

На рисунке 4 показано поле коэффициента нагруженности в окрестности выработок по прошествии полугода после их проходки. Как выясняется по результатам моделирования, к числу наиболее нагруженных зон относятся: области карналлитового пласта, располагающиеся непосредственно под панельными выработками и краевые части межштрековых целиков.

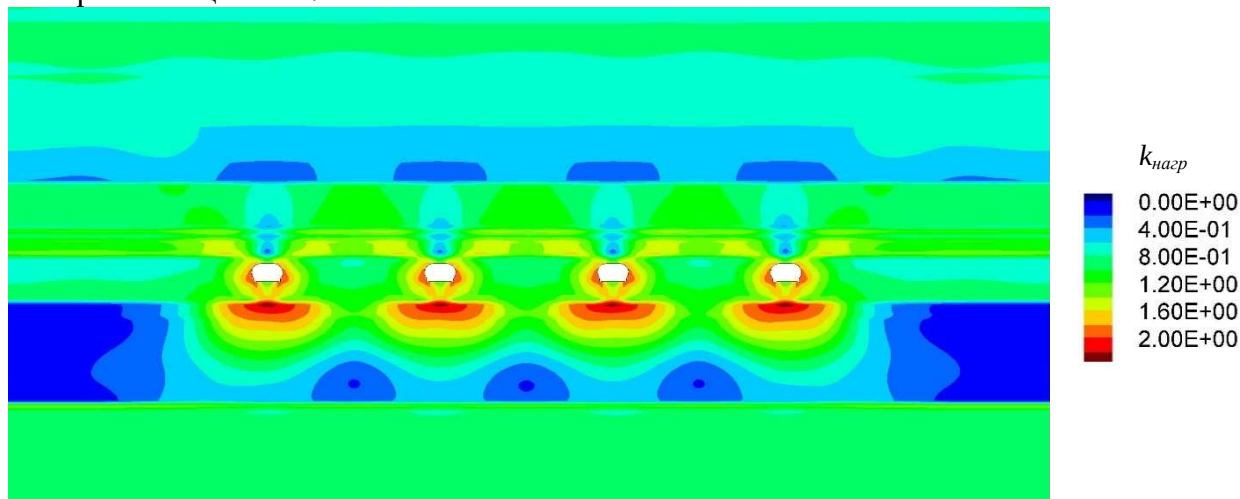


Рис. 4. Поле коэффициента нагруженности массива в окрестности центральных панельных подготовительных выработок спустя полгода после их проведения

Картина векторов перемещений демонстрирует (рис. 5), что смещение пород в выработки со стороны почвы возникает в результате их «выдавливания» через данные нагруженные зоны путём продавливания межштрековых целиков-штампов в слабый карналлитовый пласт. Крепкий ангидрит кровли при этом выступает как жесткая нагружающая плита, передающая на целики нагрузку от веса вышележащих пород, что приводит к их вдавливанию в карналлитовый пласт практически в режиме заданных деформаций.

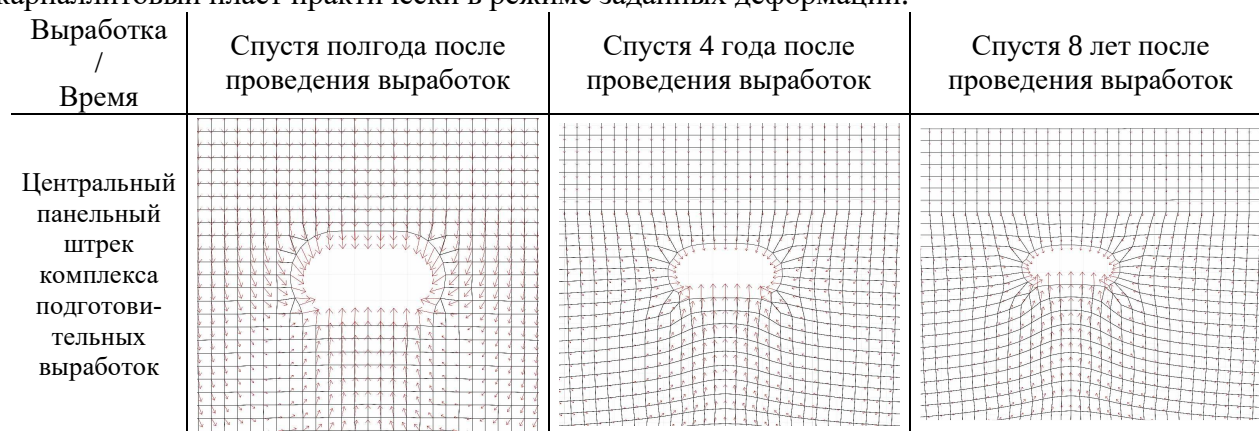


Рис. 5. Поле векторов смещений в окрестности центрального и крайнего панельных штреков комплекса подготовительных выработок

По итогам моделирования можно утверждать, что одним из вариантов снижения интенсивности пучения подготовительных панельных выработок Гремячинского ГОКа является снижение нагрузки на межштрековые целики путем разупрочнения ангидритового слоя над комплексом панельных выработок и тем самым создания условий для образования ангидрит-доломитового породного моста с опорами на краевые охранные целики панельного комплекса выработок. Данный эффект может быть достигнут при обеспечении необходимой податливости межштрековых целиков для снижения интенсивности их вдавливания в подстилающий карналлитовый пласт путем, например, уменьшения их ширины и/или бурения в них строчек разгружающих скважин по всей длине выработок или в пределах наиболее проблемных участков, а также создание «экранов» для препятствия развития интенсивных напряжений в почве охраняемых выработок путем опережающей проходки краевых разгружающих выработок.

В целях оценки эффективности данного варианта были проведены численные исследования (рис. 6).

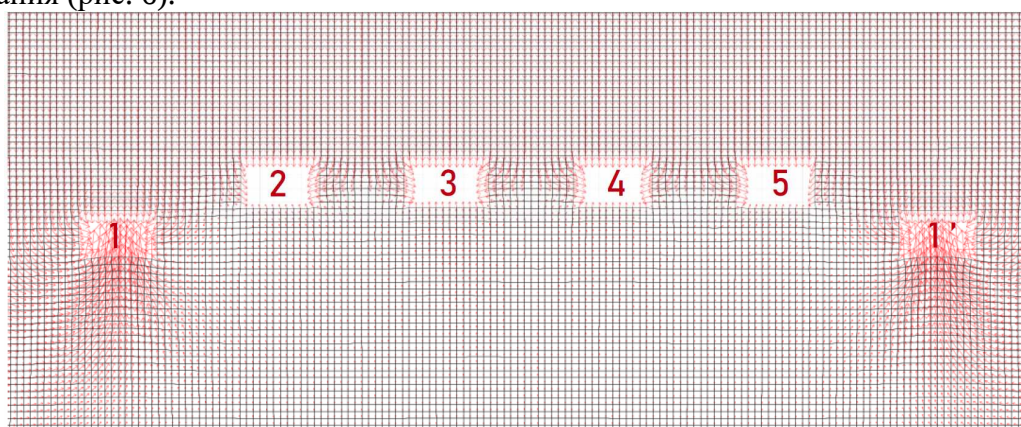


Рис. 6. Фрагмент принципиальной схемы охраны выработок с податливыми межштрековыми целиками с разгружающей выработкой (а) и поле векторов смещений (б): 1 и 1' – разгружающие выработки, проводимые заблаговременно; 2, 3, 4, 5 – панельные закладочный, вентиляционный, конвейерный, транспортный штреки

Действительно, при такой конфигурации охранных мероприятий в численном эксперименте удалось достигнуть уменьшения величины пучения почвы, достигающей 30%

от величины вертикальной конвергенции. Однако при этом смещения боков выработок, реализовавшиеся вследствие раздавливания целиков, выполняющих роль демпферов при опускании кровли, оказались весьма существенными (рис. 7, а). Общая потеря сечения достигла 34% за 12 лет (рис. 7, б), что, согласно СП 91.13330.2012 (Свод правил. Подземные горные выработки. Актуализированная редакция СНиП II-94-80) для выработок, заложенных в соляных породах, отвечает категории – очень неустойчивое состояние.

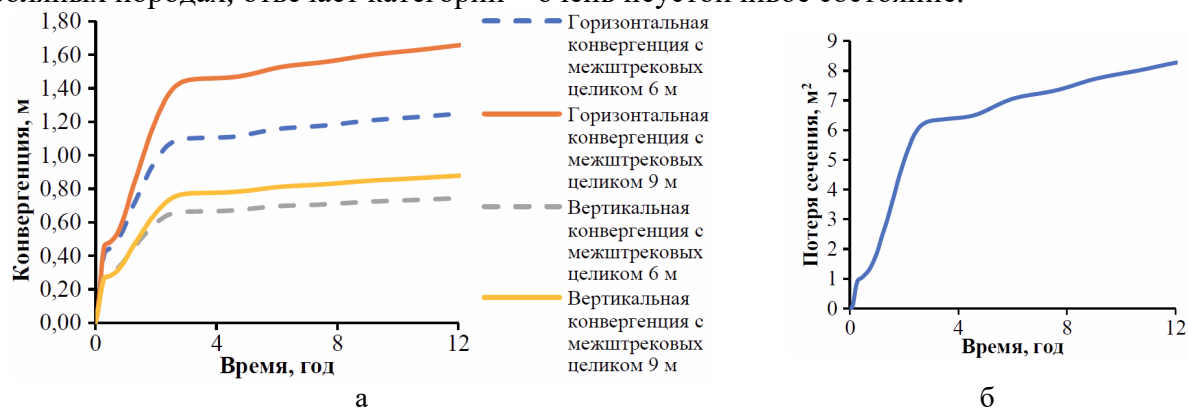


Рис. 7. Графики зависимости вертикальной и горизонтальной конвергенции панельных выработок при их расположении в продуктивном пласте с уменьшенными размерами межштрековых целиков (а), потери сечения (б) от времени с момента проведения выработки

Отметим, что были проверены и другие варианты размещения основных панельных выработок и разгружающих выработок, пройденных в пределах пласта, однако на текущий момент не найдено приемлемого решения, обеспечивающего их поддержание в эксплуатационном состоянии в течение приемлемого срока службы (как минимум 2-3 года). В этой связи необходимо предложить другой способ поддержания выработок, не связанный с их расположением в пределах пласта.

На Гремячинском месторождении можно выделить две области, в которых имеется возможность обеспечения сохранности выработок на долгосрочных отрезках времени: покрывающие ангидритовые породы с пределом прочности на сжатие не менее 100-140 МПа и подстилающий пласт каменной соли ниже карналлита с прочностью до 45 МПа [11]. При этом на руднике имеются проходческие комбайны достаточной энерговооруженности для проходки выработок в таких породах.

В целях организации безопасной и бесперебойной работы проходческих забоев протяженные панельные выработки следует проводить попарно с оставлением между ними целика достаточной ширины. Мерой достаточности при этом является коэффициент нагружения целика, который можно определить по методике [12].

На основании данных о фактических прочностях вмещающих пород в разных частях Гремячинского ГОКа установлено, что при высоте подготовительных выработок 4 м и их ширине 6 м на типовых глубинах и при встречающихся литологических разностях на основных участках месторождения, степень нагружения при ширине целика не менее 24 м не превышает предельный уровень (рис. 8).

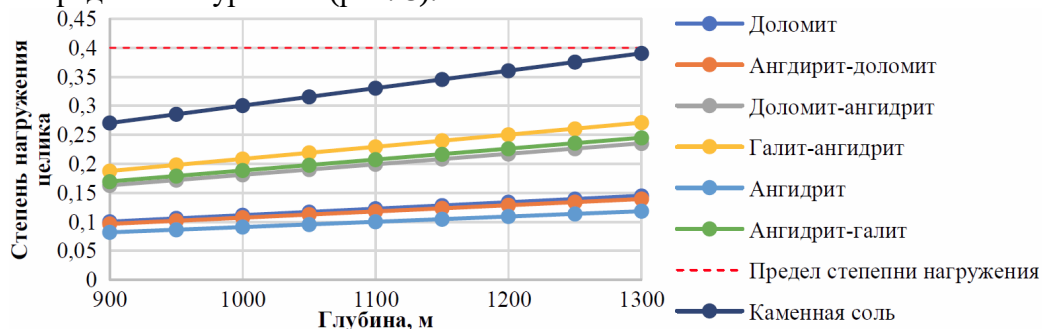


Рис. 8. Пример зависимости степени нагружения межштрековых целиков для пород центральной части Гремячинского месторождения при ширине межштрекового целика 24 м

На базе анализа работы транспортной и вентиляционной системы подземного рудника Гремячинского ГОКа установлено, что проходка панельных выработок в количестве четырех штук является наиболее рациональным решением подготовки панели. При этом в рамках предлагаемого способа охраны выработок возможно расположение всего комплекса выработок в кровле или в почве продуктивного пласта, либо его разделение на части с одновременной проходкой выработок как в кровле, так и почве пласта (табл. 1).

Табл. 1. Сравнение схем размещения панельных подготовительных выработок

Расположение выработок	Схема	Достоинства	Недостатки
В кровле		Отсутствие необходимости пересечения пласта карналлита. Низкая себестоимость поддержания выработок	Высокая стоимость и низкая скорость проходки выработок и съездов в крепких ангидритах. Повышенный риск трещинообразования в ВЗТ над широким комплексом выработок
В почве		Рациональное использование парка комбайнов. Низкая себестоимость проходки выработок	Необходимость разработки спецмероприятий по пересечению пласта карналлита и поддержания в нём съездов/рудоспусков
В кровле и почве		Баланс между стоимостью и скоростью проходки. Уменьшение размера ширины комплекса выработок и как следствие повышение коэффициента извлечения	

На основе анализа достоинств и недостатков каждого способа расположения выработок в качестве ведущего варианта принята их схема проходки как в кровле, так и в почве пласта. Верхние выработки используются для транспорта и подачи свежего воздуха, нижние – в качестве конвейерных и для выдачи исходящей струи.

Проведено численное моделирование данного варианта расположения выработок для характерных условий Гремячинского месторождения с целью определения безопасной мощности защитной потолочины $h_{кр}$ между почвой выработок и сильвинитовым пластом (для выработок в кровле) и мощности потолочины $h_{поч}$ между кровлей выработок и карналлитовым пластом (для выработок в почве), а также ширины охранного целика B .

Анализ полученных результатов для выработок в ангидрит-доломитовых породах кровли пласта (рис. 9) свидетельствует об образовании зон пластической деформации до 4 м в кровле и почве выработок, соответственно защитная пачка должна быть не менее этой величины. В выработках, заложенных в каменной соли, можно наблюдать формирование свода обрушения. По результатам моделирования защитная пачка должна быть не менее 8 м. Ширина целика между комплексом панельных выработок и границей очистных работ должна составлять не менее 45 м.

В целях выдерживания безопасных размеров защитных пачек целесообразно проходить выработки в подстилающей каменной соли с опережением относительно выработок кровли. Для предупреждения нарушений величин расчетных безопасных параметров необходимо проводить опережающую разведку гипсометрии залегания контактов «карналлит-каменная соль» и «ангидрит-сильвинит» инженерно-геологическими и геофизическими методами.

Съезды в блок с верхних панельных выработок целесообразно сооружать петлевым методом с организацией транспорта в съездах гибкими конвейерными поездами. Альтернативой может стать использование винтовых рудоспусков или скатов.

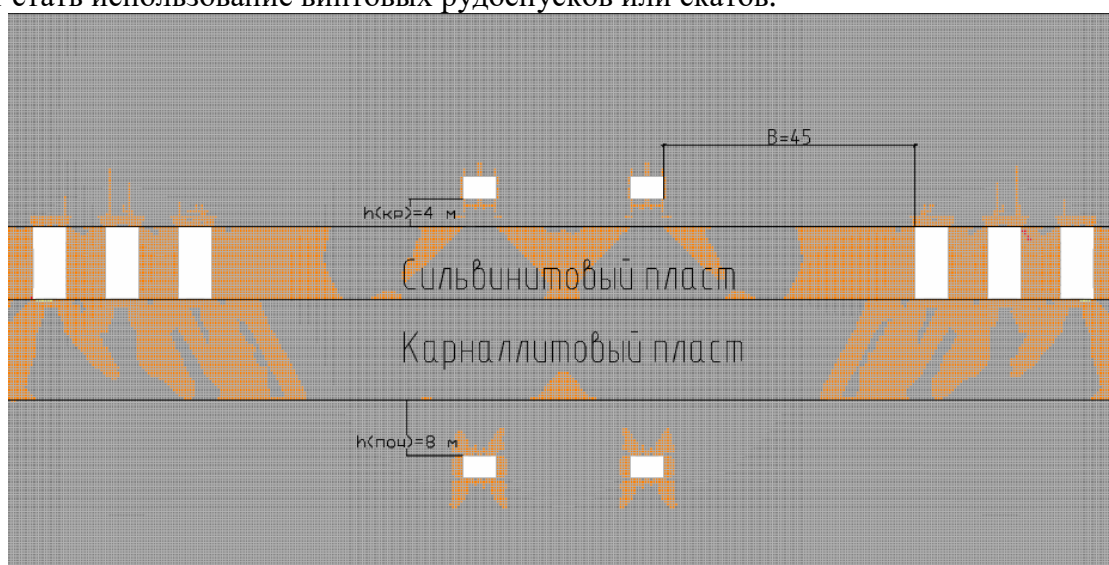


Рис. 9. Зоны потери устойчивости в окрестности панельных подготовительных выработок при предельных значениях мощностей защитных пачек и охранного целика: оранжевым цветом показаны зоны пластических деформаций

Заключение

В статье высказана гипотеза о том, что почва выработок, заложенных в калийном пласте Гремячинского ГОКа, активно деформируется вследствие вдавливания "штампов" — межштрековых целиков, нагружающих и разрушающих карналлитовый пласт. На основе численного моделирования с учетом фактора времени установлено, что при создании условий для разгрузки межштрековых целиков и переноса напряжений на широкие краевые охранные целики отмечено снижение пучения почвы, однако при этом наблюдается разрушение бортов выработок и активное смещение их внутрь. В этой связи даны рекомендации по обеспечению эксплуатационного состояния комплекса панельных подготовительных выработок за счет их расположения вне контуров продуктивного пласта, а именно в устойчивых породах кровли (ангидриты) и почвы (каменная соль). При этом наиболее целесообразным вариантом рекомендуется схема расположения подготовительных выработок комплексами по две выработки одновременно в породах кровли и почвы, так как при этом сокращаются потери руды за счет уменьшения общей ширины комплекса панельных выработок. Охрана выработок предполагается оставлением необходимых защитных пачек от негативного влияния слабого пласта карналлита, причем в ангидрит-доломитовых породах не менее 4 м, в каменной соли не менее 8 м, а защитный целик до очистных камер не менее 45 м для типовых условий залегания пласта и вмещающих пород.

Список литературы

1. Морозов И.А., Ударцев А.А., Паньков И.Л. Анализ деформирования соляных пород Гремячинского и Верхнекамского месторождений в лабораторных условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – №10. – С. 16-28. – doi.org/10.25018/0236-1493-2020-10-0-16-28.
2. Проскуряков Н.М., Пермяков Р.С., Черников А.К. Физико-механические свойства соляных пород. – Л.: Недра, 1973. – 271 с.
3. Черняк И.Л. Предотвращение пучения почвы горных выработок. – М.: Недра, 1978. – 237 с.
4. Камаров Р.К., Мосин Д.В. Исследования проявлений пучения пород в подготовительных выработках // Уголь. – 2025 – Т. 7. – С. 54-58. – doi.org/10.18796/0041-5790-2025-7-54-58.
5. Ткачев В.А., Черных В.Г., Прозорова Ю.А. Исследование влияния горно-геологических и горнотехнических факторов на пучение почвы подготовительных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – №4. – С. 338-343.
6. Ковальский Е.Р., Миронов Н.А., Уразов Д.В., Мусинский Н.А. Оценка возможных способов заложения капитальных выработок на глубоких горизонтах проектируемого калийного рудника Западно-

- Петриковского месторождения // Устойчивое развитие горных территорий. – 2025. – Т. 17, № 2. – С. 1033-1045. – doi.org/10.21177/1998-4502-2025-17-2-1033-1045.
7. Vaze Mobaraki J. Stability Analysis of Mineral Structures using FLAC Software // SRPH Journal of Interdisciplinary Studies. 2020, vol. 3, no. 1, pp. 1-8. DOI: 10.47176/sjis.3.1.1.
 8. Shi Y., Wang H., Tan X., Jin Y., Wang J., Tang B. A Stability Analysis of an Abandoned Gypsum Mine Based on Numerical Simulation Using the Itasca Model for Advanced Strain Softening Constitutive Model // Applied Sciences. 2023, vol. 13, no. 23, p. 12570. DOI: 10.3390/app132312570.
 9. Рыльникова М.В., Есина Е.Н., Сахаров Е.М., Бергер Р.В. Закономерности геодинамических явлений при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений калийно-магниевых солей // Горная промышленность. – 2023. – Т. 1. – С. 89-94. – doi.org/10.30686/1609-9192-2023-1-89-94.
 10. Морозов И.А. Оценка устойчивости горных выработок в соляных породах Гремячинского месторождения: Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2022. – 24 с.
 11. Андрейко С.С., Нестерова С.Ю. Природа внезапных разрушений приконтурной части массива при проходке подготовительных выработок в руднике Гремячинского горно-обогатительного комбината // Недропользование. – 2022. – Т. 22, №3. – С.144-150. – DOI: 10.15593/2712-8008/2022.3.6.
 12. Отчет о НИР по теме «Временное положение по креплению и поддержанию горных выработок в условиях соляных пород на руднике Гремячинского ГОК» // ГИ УрО РАН. – Пермь-Котельниково, 2024.

References

1. Morozov I.A., Udarcev A.A., Pankov I.L. Laboratory deformation testing of salt rocks from the Gremyachinsk and Upper Kama deposits // Mining information and analytical bulletin. 2020, no. 10, pp. 16-28. doi.org/10.25018/0236-1493-2020-10-0-16-28.
2. Proskuryakov N.M., Permyakov R.S., Chernikov A.K. Physico-mechanical properties of salt rocks – L.: Nedra, 1973. – 271 p.
3. Chernyak I.L. Prevention of heaving of the soil of mine workings. – M.: Nedra, 1978. – 237 p.
4. Kamarov R.K., Mosin D.V. Research into rock heaving in development workings // Coal. 2025; vol. 7, pp. 54-58. doi.org/10.18796/0041-5790-2025-7-54-58.
5. Tkachev V.A., Chernikh V.G., Prozorova Yu.A. Research of influence of geological and mining factors on rock swelling in the floor of development headings // Mining information and analytical bulletin. 2016, no. 4, pp. 338-343. doi.org/10.18796/0041-5790-2025-7-54-58.
6. Kovalsky E.R., Mironov N.A., Urazov D.V., Musinsky N.A. Assessment of potential methods for driving main developments at deep levels of the designed Zapadno-Petrikovskoye potash mine deposit // Sustainable Development of Mountain Territories. 2025, vol. 17, no. 2, pp. 1033-1045. doi.org/10.21177/1998-4502-2025-17-2-1033-1045.
7. Vaze Mobaraki J. Stability Analysis of Mineral Structures using FLAC Software // SRPH Journal of Interdisciplinary Studies. 2020, vol. 3, no. 1, pp. 1-8. DOI: 10.47176/sjis.3.1.1.
8. Shi Y., Wang H., Tan X., Jin Y., Wang J., Tang B. A Stability Analysis of an Abandoned Gypsum Mine Based on Numerical Simulation Using the Itasca Model for Advanced Strain Softening Constitutive Model // Applied Sciences. 2023, vol. 13, no. 23, p. 12570. DOI: 10.3390/app132312570.
9. Rylnikova M.V., Esina E.N., Sakharov E.M., Berger R.V. Regularities in geodynamic phenomena in mining deep-lying potassium-magnesium salt deposits with complex structure // Russian Mining Industry. 2023, vol. 1, pp. 89-94. doi.org/10.30686/1609-9192-2023-1-89-94.
10. Morozov I.A. Assessment of the stability of mining operations in the salt rocks of the Gremyachinsky deposit: Abstract of the diss. ... cand. of tech. sc. – Perm, 2022. – 24 p.
11. Andreiko S.S., Nesterova S.Yu. The nature of sudden destruction of the near-contour part of the massif during the driving of development workings in the mine of the Gremyachinsky mining and processing plant // Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering, 2022, vol. 22, no. 3, pp. 144-150. DOI: 10.15593/2712-8008/2022.
12. Research report on the topic "The temporary situation of securing and maintaining mining operations in conditions of salt rocks at the Gremyachinsky GOK mine" // MI Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. – Perm-Kotelnikovo, 2024.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Ковальский Евгений Ростиславович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры разработки месторождений подземным способом	Kovalsky Evgeny Rostislavovich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of underground mineral deposit development
Миронов Никита Артурович – аспирант	Mironov Nikita Arturovich – postgraduate student
Уразов Денис Владимирович – кандидат технических наук, начальник Управления горного проектирования mironov_na@pers.spmi.ru	Urazov Denis Vladimirovich – candidate of technical sciences, head of the mining engineering Department

Получена 24.07.2026