УДК 622.831

ПОДДЕРЖАНИЕ КАПИТАЛЬНЫХ И ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК НА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТАХ ПРИ ОТРАБОТКЕ СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

С. И. ПАТИЮК,
директор
Четвертого РУ

Ю. Б. ПЕТРОВСКИЙ,
начальник рудника
Четвертого РУ

ОАО «Беларуськалий», Солигорск, Беларусь

В. Я. ПРУШАК,
директор,
чл.-корр. НАН Беларуси,
ipr@sipr.by,
ЗАО «Солигорский Институт
проблем ресурсосбережения с Опытным
производством», Солигорск, Беларусь

Описаны проблемы, возникающие при эксплуатации подземных горных выработок в условиях Старобинского месторождения калийных солей с увеличением глубины разработки калийных пластов. Выполнена количественная оценка степени и характера деформирования контура горных выработок на больших глубинах, намечены пути решения проблемы поддержания выработок в сложных горно-геологических условиях месторождения.

Ключевые слова: *калийные месторождения, соляные породы, большие глубины, охрана, поддержание выработок, ползучесть вмещающих пород, комбинированный анкер с винтовым замком, анкер повышенной несущей способности и податливости, многоуровневое анкерное крепление.*

DOI: *10.17580/gzh.2018.08.10*

Введение

Основными формами проявления горного давления в выработках Старобинского месторождения калийных солей являются ползучесть вмещающих их приконтурных пород, а также происходящие на ее фоне расслоения и отслоения по глинистым прослойкам [1–4]. При этом на умеренных глубинах разработки (500–750 м) для борьбы с подобными проявлениями горного давления в настоящее время разработан и успешно используется комплекс мер [5], позволяющих обеспечить безопасное ведение горно-подготовительных и очистных работ.

Вместе с тем длительная практика эксплуатации Старобинского месторождения, а также возросшие в последнее время темпы погашения запасов калийных солей на рудниках ОАО «Беларуськалий» в ближайшем будущем приведут к тому, что горные работы переместятся на участки месторождения глубиной 900 м и более. При этом глубина разработки 900 м для горно-геологических условий Старобинского месторождения является своего рода граничным условием, после которого все стандартно применяющиеся средства охраны и крепления горных выработок перестают быть достаточно эффективными [1]. На больших глубинах разработки меняется не только интенсивность, но и характер деформирования приконтурных пород, увеличиваются размеры зон возможного разрушения приконтурного массива вокруг выработок. Все это требует пересмотра подходов к выбору способов охраны и средств крепления выработок, а также к методике прогноза их устойчивого состояния.

Особенности деформирования соляных пород в окрестности выработок на больших глубинах

Во-первых, для прогноза устойчивости выработок крайне важно знать, на какой стадии ползучести происходит их деформирование в текущий момент времени, и при каких условиях ползучесть вмещающих пород переходит из затухающей и линейной в прогрессирующую стадию, вследствие чего в окрестности контура выработок особенно быстро образуются заколы и вывалы [4, 6]. На **рис. 1** в виде графика приведены результаты аппроксимации зависимости деформационно-реологического показателя $\delta\gamma HE^{-1}$ от уровня нагруженности пород $\gamma H/\sigma_{сж}$, вмещающих горную выработку, полученные по данным натурных наблюдений за деформированием контура неохраняемых разгружающими полостями и не попадающих в зону влияния очистных работ выработок, пройденных на разных глубинах [2].

Как следует из рис. 1, при уровнях нагруженности пород $\gamma H/\sigma_{сж} > 0{,}7$ (что соответствует глубине 900–950 м при агрегатной прочности пород $\sigma_{сж} = 25 \div 28$ МПа) деформационно-реологический показатель (а значит, и скорость деформирования контура выработок) в 2–3 раза выше, чем при «стабильных» уровнях нагруженности пород $\gamma H/\sigma_{сж} = 0{,}3 \div 0{,}45$, соответствующих глубинам 400–500 м.

Во-вторых, на больших глубинах возрастает доля горизонтальных напряжений в общей структуре действующих напряжений. Распределение напряжений в нетронутом породном массиве приближается к гидростатическому [7]. При этом в выработках,

© Патиюк С. И., Петровский Ю. Б., Прушак В. Я., 2018

заложенных в массиве мелкослоистых соляных пород (за счет расслоения и отслоения ближних к контуру слоев), интенсивность и доля вертикальных деформаций породного контура (конвергенции) также могут существенно возрастать, превышая прогнозируемые величины в несколько раз, вовлекая в расслоение породы, залегающие в своде обрушения на высоте, существенно превышающей конструктивные размеры применяемых видов анкерной крепи [1, 3] и вызывая проблемы с обеспечением устойчивости пород кровли (**рис. 2**).

В-третьих, на больших глубинах разработки чаще проявляются эффекты зональной дезинтеграции горных пород вокруг выработок. Данные явления обнаруживаются вокруг подземных выработок на многих месторождениях при достижении глубин 800–1000 м и коэффициенте концентрации напряжений 1,2–2,5 [8]. Основным элементом наблюдаемой структуры является система концентрических трещин, параллельных контуру выработки. Характер разрушения пород вокруг выработок происходит с формированием чередующихся областей раздробленных и ненарушенных пород. Ближайший к контуру слой относительно ненарушенных пород может выдавливаться в выработку, формируя заколы. За счет этих эффектов размеры зоны возможного разрушения пород вокруг выработок могут существенно возрастать.

Анализ способов поддержания выработок и выбор наиболее рационального для больших глубин разработки

Прежде чем приступить к обоснованию рациональных способов поддержания горных выработок на больших глубинах, уместно вспомнить, какие способы поддержания применяются в «стандартных» условиях [5]:

- оставление охранных целиков достаточных размеров;
- рациональная привязка выработок к геологическому разрезу пласта и расположение их относительно друг друга;
- регулирование напряженного состояния вмещающих пород с помощью разгружающих выработок и компенсационных полостей (щелей, штроб), обеспечивающее безопасное состояние выработки на весь срок службы;
- крепление горных выработок анкерной крепью с применением двух схем взаимодействия ее с породным массивом – это сшивка породных слоев винтовыми металлическими анкерами и подвешивание породных пачек за пределами свода возможного разрушения анкерами замкового типа (с клинораспорным замком), несущая способность тех и других составляет около 100 кН, длина анкеров, как правило, не превышает 1,8 м.

Заметим, что вместе с варьированием характера и интенсивности деформирования приконтурных пород на больших глубинах изменяется и роль различных способов поддержания выработок: применение одних становится нецелесообразным, важность других, наоборот, возрастает. Так, например, увеличение размеров охранных целиков на больших глубинах приводит к значительным потерям полезного ископаемого и является неприемлемым с позиций рационального недропользования, поэтому в горной практике находят широкое применение технологии отработки пластов

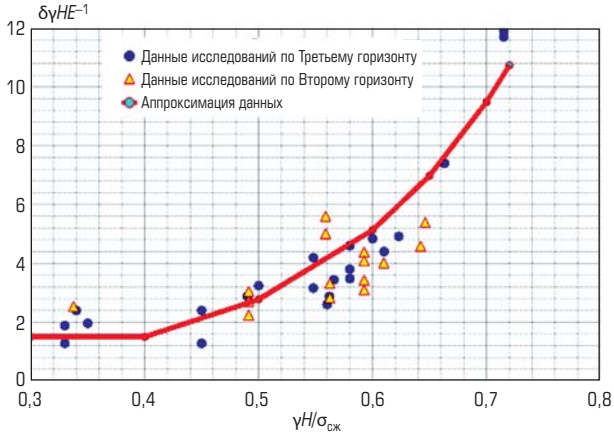

Рис. 1. Зависимость деформационно-реологического показателя $\delta\gamma HE^{-1}$ от уровня нагруженности пород на контуре выработок $\gamma H/\sigma_{сж}$

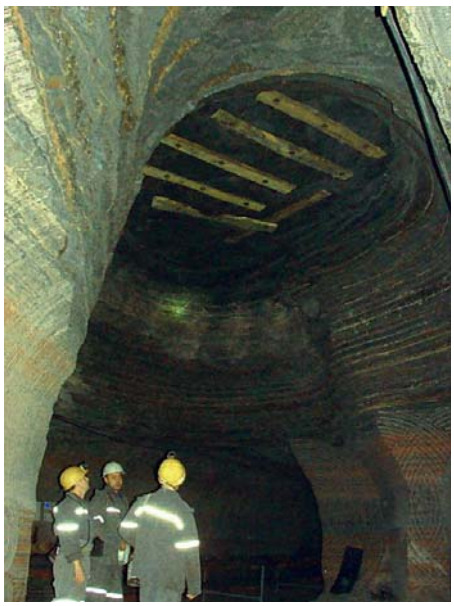

Рис. 2. Вывал пород в кровле сопряжения подготовительных выработок, расположенных в южной части шахтного поля рудника Четвертого РУ (Третий калийный горизонт)

с минимальными потерями в целиках (5–10 м) между выемочными столбами либо имеет место повторное использование выработок после их ремонта и перекрепления.

Для выработок, заложенных в соляных породах, применяется деформационный критерий устойчивости [2, 5, 8]. На практике это означает, что для неохраняемых разгружающими полостями выработок предел деформаций, не вызывающих потерю устойчивости, составляет 3 % их характерного размера (эквивалентного пролета); применение разгружающих выработок и компенсационных полостей позволяет увеличить этот предел до 6–9 %. Однако область применения способа охраны разгружающими выработками в силу ряда причин ограничена глубиной 750–800 м [5], поэтому на больших глубинах возрастает роль компенсационных полостей (щелей, штроб), нарезаемых из самой охраняемой выработки. Практически все выработки и узлы их сопряжений на больших глубинах нуждаются в данном способе охраны, главным условием эффективности применения которого является сокра-

щение времени между окончанием проходки выработки и нарезкой щели. При этом наибольший эффект по устойчивости охраняемой выработки может быть достигнут при нарезке щели (в кровле выработки) вслед за подвиганием забоя выработки. В связи с этим в настоящее время специалистами ОАО «Беларуськалий» поставлена задача перед производителями щеленарезной техники (ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством») по разработке режущего органа барового типа, устанавливаемого на бункере-перегружателе, который работает в комплексе с проходческим комбайном КРП-3.

К сожалению, эффект от применения способа охраны выработки компенсационными щелями ограничен временем полного схождения стенок щели (размер щели в поперечнике 130–140 мм), поэтому использование щелей в кровле при высоких значениях смещения контура выработок (что характерно для больших глубин) дает относительно кратковременный эффект. Полное схождение щелей наблюдается уже при достижении значений деформации породного контура порядка 6–8 % ширины выработки, после чего происходит образование прогиба с последующим заколообразованием. Большего эффекта можно добиться при нарезке четырех разгружающих щелей: в кровле, почве и боках вместо одной (в кровле). Однако данная схема охраны также ограничена периодом времени, за который произойдет полное смыкание всех щелей (наблюдается при значениях деформации порядка 9–12 % ширины выработки). В подобной ситуации эффект может дать повторная нарезка щелей, однако на практике это мероприятие не всегда можно реализовать достаточно оперативно. Опыт применения различных способов охраны на рудниках ОАО «Беларуськалий» показал, что хороший эффект также достигается при использовании компенсационной полости в виде штробы, оформленной комбайном избирательного действия либо буровзрывным способом (размер штробы в поперечнике 0,4–0,8 м) в комбинации с распорно-податливой крепью. Шахтные исследования данного способа охраны свидетельствуют о достаточно высокой работоспособности распорно-податливой крепи, особенно в условиях поддержания протяженных выработок с длительным сроком службы [9, 10] на руднике Четвертого рудоуправления ОАО «Беларуськалий».

Рис. 3. Врубовая баровая машина МВБ-140

Рис. 4. Машина винтового крепления на универсальном самоходном шасси

Еще один способ поддержания выработок в безопасном для эксплуатации состоянии – это уменьшение времени вредного воздействия опорного давления от длинных очистных забоев на подготовительные выработки. Для его реализации совершенно необходимо применение высокопроизводительных очистных комбайнов, позволяющих отрабатывать до 120–140 м запасов очистного столба в месяц, добывая при этом 80–100 тыс. т руды; срок отработки очистных забоев при этом сокращается до 1,5–2 лет. Данное направление совершенствования горного производства в настоящее время считается приоритетным для рудников ОАО «Беларуськалий». Сократить срок эксплуатации выработок на глубоких горизонтах можно также, уменьшив время подготовки столбов. Для этого предполагается применять рациональные технологические схемы с малым числом вновь проходимых выработок [11], используя при этом способ поэтапной подготовки очистного столба, взаимоувязку во времени и в пространстве подготовительных работ с очистными.

Выполнение вышеперечисленных мероприятий невозможно без применения высокопроизводительной техники, выполняющей не только основные, но и вспомогательные операции горного производства. Так, по заданию ОАО «Беларуськалий» на базе ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» была разработана и производится врубовая баровая машина МВБ-140 (**рис. 3**), которая может нарезать компенсационные щели глубиной до 1,2 м под любым углом по периметру выработок.

Для механизированного возведения винтовой анкерной крепи за последние 5 лет на рудниках ОАО «Беларуськалий» были введены в работу девять машин винтового крепления (МВК) на универсальном самоходном шасси. Машина МВК разработана в ПНИТИ (Пермь, Россия) и предназначена специально для калийных рудников (**рис. 4**). Данный анкероустановщик может выполнять весь комплекс работ по креплению выработок высотой до

5,8 м винтовой анкерной крепью и по бурению шпуров под клинораспорные анкеры как при работе в режиме с ДВС, так и при работе на электрическом приводе мощностью 22 кВт. Рабочий орган (манипулятор) снабжен кассетой, в которую устанавливается шесть винтовых анкеров, что существенно сокращает время работ по анкерованию.

Как уже отмечалось выше, в условиях интенсивных расслоений и отслоений пород, ослабления их глинистыми прослойками, образования зон дезинтеграции на больших глубинах применение традиционных винтовых и клинораспорных анкеров не всегда эффективно. Первые из-за отсутствия поперечной податливости могут быть срезаны при продольном смещении породных слоев, вторые не обеспечивают необходимого сцепления замка с глинисто-соляными породами кровли. Кроме того, их установка в шпуре выполняется вручную и не поддается механизации. В связи с этим на Унитарном предприятии «Институт горного дела» совместно со специалистами ОАО «Беларуськалий» была разработана конструкция комбинированного анкера с винтовым замком [12]. Данный анкер применяется для крепления кровли и боков горных выработок и по своему функциональному назначению является аналогом анкера с клинораспорным замком; при этом основным его преимуществом перед последним является возможность механизированной установки в пробуренном шпуре. Комбинированные анкеры с винтовым замком успешно прошли испытания в лабораторных и шахтных условия (**рис. 5**), а в 2017 г. ОАО «Трест Шахтоспецстрой» было налажено их массовое производство. Длина комбинированных анкеров с винтовым замком составляет 1,2–2,2 м, максимальная несущая способность достигает 140 кН. Комбинированный анкер представляет собой (см. рис. 5, *а*) сварное либо цельное горячекатаное изделие, изготавливаемое из стали марки Ст.3пс. Как отмечено выше, внедрение комбинированных анкеров с винтовым замком позволило механизировать их установку (с помощью машины МВК) и обеспечить поддержание выработок в сложных горно-геологических условиях.

Для выработок с пролетами, превышающими 3 м, на узлах сопряжений выработок, эксплуатирующихся в сложных горно-геологических условиях разработки на больших глубинах, справиться с задачей безопасного их поддержания очень сложно, особенно если использовать для этих целей только способ охраны компенсационными полостями. Дело в том, что весьма проблематично обеспечить устойчивость породных консолей, образующихся в результате нарезки щели, путем сшивки их винтовыми анкерами либо путем подвешивания на анкерах замкового типа за пределами свода возможного обрушения. Это связанно с тем, что чаще всего не хватает длины анкеров, так как расслоения пород кровли распространяются на высоту, превышающую их геометрические размеры (**рис. 6**). Кроме того, вес отделившихся от массива пород в своде разрушения требует применения анкеров с более высокой несущей способностью, в некоторых случаях необходимо обеспечить также податливость при заданной несущей способности [13].

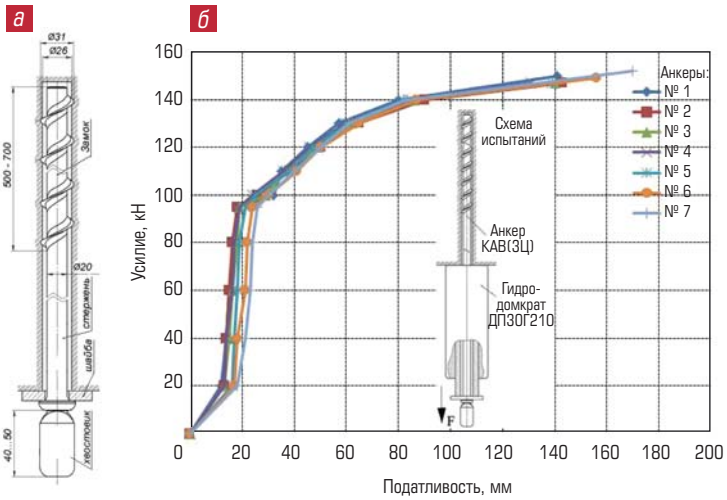

Рис. 5. Конструкция анкеров комбинированного типа (*а*) и результаты шахтных испытаний анкеров на вытягивание (*б*)

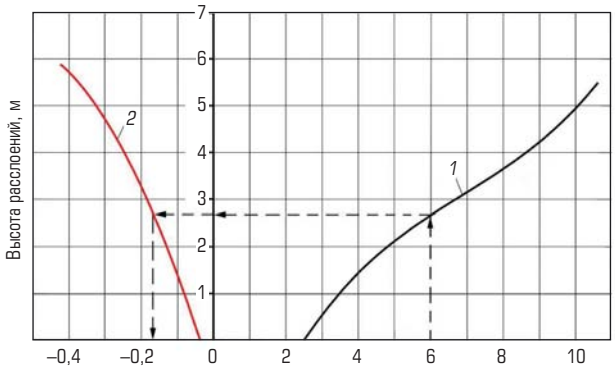

Рис. 6. Номограмма для определения активной длины и податливости анкера:
1, 2 – зависимость изменения высоты расслоений кровли от эквивалентного пролета выработки и прогиба кровли от высоты расслоений и эквивалентного пролета соответственно. Стрелками показан ключ пользования номограммой

Поддержание выработок Старобинского калийного месторождения с помощью специальных видов крепи

Подвешивание породных консолей к породам, располагающимся за пределами свода возможного разрушения, вполне можно осуществить с помощью анкеров повышенной несущей способности и увеличенной (до 4–6 м) длины, которые успешно применяются во многих странах с развитой угольной промышленностью [8, 14–16]. Для шахтных испытаний на рудниках Старобинского месторождения были отобраны наиболее распространенные модели канатного анкера АК01, арматурных анкеров АКМ 20, анкеров из винтовой арматурной стали А20В, А25В. Установлено, что все эти анкеры выдерживают заданную нагрузку при их закреплении в шпуре на ампулы с минеральной композицией АМК 400.

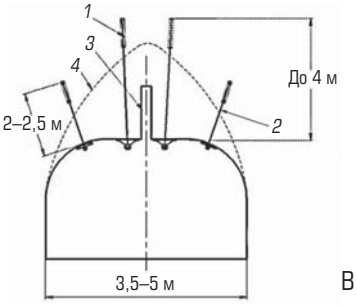

Рис. 7. Схема охраны и крепления выработки анкерной крепью с высокой несущей способностью и узлом податливости:
1 – анкерная крепь высокой несущей способности с узлом податливости (АКМ 25.01/1у; АК-02у, АК-01/3, АК-01/4); *2* – анкерная замковая крепь КАЗ (КАВЗ), АКМ 25.01; *3* – компенсационная полость (щель, штроба); *4* – свод возможных разрушений

В ходе проведенных исследований в рамках НИР Унитарным предприятием «Институт горного дела» была выполнена адаптация конструкции существующих анкеров повышенной несущей способности к местным условиям [13, 17–19], в результате которой были разработаны узлы податливости для каждого типа анкеров [20]. В предложенных новых конструкциях анкерной крепи величина податливости доведена до 200 мм с сохранением заданной реакции отпора 180–250 кН. Анкеры прошли опытно-промышленные испытания, после чего их применение было регламентировано в новой редакции нормативных документов [5] по ведению горных работ, креплению выработок на месторождении. Анкеры повышенной несущей способности могут использоваться в качестве самостоятельного крепления (**рис. 7**). Эффект достигается за счет сшивки расслоившихся пород в зоне возможного разрушения (при необходимости) и подвешивания консолидированной пачки пород за пределами свода возможных разрушений, а также вследствие снижения вертикальной составляющей опускания кровли и перенаправления их деформирования в сторону компенсационной полости выработки.

По результатам шахтных испытаний данных способов поддержания установлено, что в условиях калийных рудников Старобинского месторождения дополнительное крепление капитальных, подготовительных выработок и их сопряжений анкерами второго уровня, комбинированной крепью в неблагоприятных, особо сложных горно-геологических, горнотехнических условиях на глубинах разработки до 900 м позволяет обеспечить их устойчивость в течение необходимого времени. При применении этого способа крепления в комплексе с компенсационными полостями возможности поддержания горных выработок в безопасном состоянии существенно возрастают.

Заключение

Увеличение глубины отработки рудных тел до 750–800 м на Старобинском месторождении калийных солей вызывает рост в 2–3 раза скорости деформирования контура капитальных и подготовительных выработок и, соответственно, сокращение срока их службы. Это связано как с достижением предела длительной прочности приконтурных пород и переходом их деформирования в стадию прогрессирующей ползучести, так и с увеличением интенсивности процессов их отслоения, расслоения по слабым глинистым прослойкам.

Перспектива перехода горных работ на глубокие горизонты обусловливает ряд сложных производственных проблем, требующих пересмотра некоторых принципиальных подходов к проектированию и ведению горных работ. Решение проблем обеспечения устойчивости капитальных и подготовительных выработок на больших глубинах носит комплексный характер, который требует применения рациональных технологических схем разработки, эффективных способов охраны горных выработок, новых подходов к их креплению, основанных на использовании многоуровневых систем с анкерами повышенной несущей способности и податливости.

Библиографический список

1. *Тараканов В. А., Головатый И. И., Поляков А. Л., Мисников В. А., Карабань Д. Т.* Поддержание горных выработок при разработке Старобинского месторождения на больших глубинах // Горный журнал. 2010. № 8. С. 36–38.
2. *Prushak V. Ya.* Forecast of mine workings stability during preparation by deep mining of the second potash seam's reserves at the Starobin deposit // Annual of the university of mining and geology st. Ivan Rilski. 2012. Vol. 55. Part II. Mining and Mineral processing. P. 51–56.
3. *Сиренко Ю. Г., Тараканов Н. В.* Проблемы поддержания подготовительных выработок Старобин-ского месторождения на больших глубинах // Записки Горного института. 2014. Т. 205. С. 40–43.
4. *Прушак В. Я.* Деформация контура горных выработок Старобинского месторождения калийных солей при различных глубинах заложения // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2016. Т. 60. № 2. Технические науки. С. 97–101.
5. Инструкция по охране и креплению горных выработок на Старобинском месторождении / ОАО «Беларуськалий», Унитарное предприятие «Институт горного дела». – Солигорск, 2018. – 196 с.
6. *Константинова С. А., Алтуков В. Н.* Некоторые задачи механики деформирования и разрушения соляных пород. – Новосибирск : Наука, 2013. – 192 с.
7. *Карташов Ю. М., Ливенский В. С., Проскуряков Н. М., Губанов В. А.* Экспериментальные исследования бокового распора в соляных породах // Известия вузов. Горный журнал. 1975. № 6. С. 20–23.
8. *Розенбаум М. А., Бадтиев Б. П.* Определение параметров анкерной крепи в условиях проявления зональной дезинтеграции пород вокруг выработок // Записки Горного института. 2015. Т. 213. С. 17–23.
9. *Губанов В. А., Николаев Ю. Н., Калиниченко П. И., Ясюкевич А. Г.* Результаты исследований работоспособности распорно-податливой крепи после выполнения в выработках ремонтно-восстановительных работ с помощью комбайна 4ПП-2С // Горная механика. 1998. № 1. С. 8–12.
10. *Петровский Б. И., Щерба В. Я., Губанов В. А., Поляков А. Л.* Развитие способов охраны и крепления горных выработок на калийных рудниках // Вопросы геомеханики подземной добычи калийных солей : сб. статей Горного информационно-аналитического бюллетеня (Препринт). 2003. № 10. С. 35–44.
11. Инструкция по применению систем разработки на Старобинском месторождении / ОАО «Беларуськалий», Унитарное предприятие «Институт горного дела». – Солигорск, 2018. – 146 с.

12. Пат. 1734 U РБ, E21D 21/00. Анкер для крепления горных выработок / В. Я. Прушак, В. Я. Щерба, Ю. Н. Николаев, О. Г. Гринкевич, В. А. Губанов ; заявл. 06.11.2004 ; опубл. 30.12.2004, Бюл. № 4(43).
13. *Поляков А. Л., Мисников В. А., Лутович Е. А., Ерохин К. А.* Поддержание выработок Старобинского калийного месторождения с помощью специальных видов крепи. Ч.1. Адаптация конструкции существующих анкеров повышенной несущей способности к местным условиям // Горная механика и машиностроение. 2017. № 3. С. 37–45.
14. *Hutchinson D. J., Diederichs M. S.* Cablebolting in Underground Mines. Richmond, B.C., Canada : Bitech Publishers Ltd., 1996. – 417 p.
15. *Bigby D.* Coal mine roadway support system handbook : Research report No. 229a. – Rock Mechanics Technology Ltd., 2004. – 76 p.
16. *Esterhuizen G. S., Tulu I. B.* Analysis of alternatives for using cable bolts as primary support at two low-seam coal mines // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2016. Vol. 26. Iss. 1. P. 23–30.
17. *Карабань Д. Т., Лутович Е. А., Северинчик С. А., Губанов В. А., Харитонов И. И.* Результаты испытаний анкерной крепи повышенной несущей способности в выработках Солигорских калийных рудников // Научные исследования и инновации. 2011. Т. 5. № 1. С. 129–131.
18. *Поляков А. Л., Мисников В. А., Лутович Е. А., Ярмолинский В. К.* О необходимости перехода на двухуровневое анкерное крепление подготови-тельных выработок рудников Старобинского месторождения // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики : сб. науч. тр. IX Междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. – Минск : БНТУ, 2013. Т. 1. С. 88–92.
19. *Гречишкин П. В., Разумов Е. А., Заятдинов Д. Ф., Чугайнов С. С.* Современные технологии двухуровневого анкерного крепления: перспективы применения при отработке рудных месторождений полезных ископаемых в различных горногеологических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 10. С. 182–200.
20. Пат. 20952 РБ, МПК E 21D 21/00. Анкер податливый / А. Л. Поляков, С. А. Северинчик, Е. А. Лутович и др. ; заявл. 14.02.2014 ; опубл. 30.04.2017. ГЖ

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 8, pp. 70–75
DOI: 10.17580/gzh.2018.08.10

Support of deep-level permanent and development excavations at the Starobin deposit

Information about authors
S. I. Patiyuk[1], Director of Mine Management 4
Yu. B. Petrovskiy[1], Head of Underground Mine of Mine Management 4
V. Ya. Prushak[2], Director, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, ipr@sipr.by

[1] Belaruskali, Soligorsk, Republic of Belarus
[2] Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production, Soligorsk, Belarus

Abstract
The increase in mining depth (down to 900 m) at the Starobin potash salt deposit intensifies deformation of boundaries of permanent and development excavations by 2–3 times and shortens their life. The causes are both the limit long-term strength of adjoining rock mass and the amplification of spalling and schistocity of rocks. Stability of underground openings requires an integrated approach, including improvement of mining flow charts and introduction of safety and support technologies based on multi-level rock bolting systems of increased load-bearing capacity and yield.
Based on the results of the mine tests of different support systems, it has been concluded that in potash mines at the Starobin deposit, the combination of rock support and surface reinforcement in permanent and development excavations and their junctures in the unfavorable, extremely difficult geological and geotechnical conditions at the mining depth down to 900 m ensures stability for the required time period. Application of the combination support jointly with compensation voids considerably enhances safety and stability of underground roadways.

Keywords: potash deposits, salt rocks, great depth, protection, support, enclosing rock mass creep, screw anchor, rock bolt of increased load-bearing capacity and yield, multi-level rock bolting.

References

1. Tarakanov V. A., Golovaty I. I., Polyakov A. L., Misnikov V. A., Karaban D. T. Roadways supporting while developing the Starobin deposit at big depths. *Gornyi Zhurnal.* 2010. No. 8. pp. 36–38.
2. Prushak V. Ya. Forecast of mine workings stability during preparation by deep mining of the second potash seam's reserves at the Starobin deposit. *Annual of the university of mining and geology st. Ivan Rilski.* 2012. Vol. 55. Part II. Mining and Mineral processing. pp. 51–56.
3. Sirenko Y. G., Tarakanov N. V. Problems of supporting preparatory excavation on Starobin deposits at great depths. *Journal of Mining Institute.* 2014. Vol. 205. pp. 40–43.
4. Prushak V. Ya. Deformation of the edge of the workings of the starobin deposit of potash salts at different location depths. *Doklady Natsionalnoi akademii nauk Belarusi.* 2016. Vol. 60, No. 2. Technical Sciences. pp. 97–101.
5. Guidelines on Protection and Support of Underground Excavations at the Starobin Deposit. Belaruskali – Institute of Mining. Soligorsk, 2018. 196 p.
6. Konstantinova A. S., Aptukov V. N. Some Problems of Deformation and Failure Mechanics of Salt Rocks. Novosibirsk : Nauka, 2013. 192 p.
7. Kartashov Yu. M., Livensiy V. S., Proskuryakov N. M., Gubanov V. A. Experimental studies of lateral thrust in salt rocks. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal.* 1975. No. 6. pp. 20–23.
8. Rozenbaum M. A., Badtiev B. P. Determination of the bolting parameters under conditions of the zonal disintegration of rocks around underground workings. *Journal of Mining Institute.* 2015. Vol. 213. pp. 17–23.
9. Gubanov V. A., Nikolaev Yu. N., Kalinichenko P. I., Yasyukevich A. G. Research findings on serviceability of expansion-and-yielding rock bolting in underground excavations after repair-and-renewal operations using heading machine 4PP-2S. *Gornaya mekhanika.* 1998. No. 1. pp. 8–12.
10. Petrovskiy B. I., Shcherba V. Ya., Gubanov V. A., Polyakov A. L. Development of protection and support methods in underground potash mines. Geomechanical Issues of Underground Potash Salt Mining. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy bylleten.* Preprint. 2003. No. 10. pp. 35–44.
11. Guidelines on Application of Mining Methods at the Starobin Deposit. Belaruskali–Institute of Mining. Soligorsk, 2018. 146 p.
12. Prushak V. Ya., Shcherba V. Ya., Nikolaev Yu. N., Grinkevich O. G., Gubanov V. A. Rock bolt for mine support. Patent 1734 U RB, E21D 21/00. Applied: 06.11.2004. Published: 30.12.2004. Bulleten No. 4(43).
13. Polyakov A. L., Misnikov V. A., Lutovich E. A., Erokhin K. A. Maintaining of Starobin potash deposit workings using special types of the support. Part 1. Requirements for maintaining of the workings using increased bearing capacity anchors. *Mining Mechanical Engineering and Machine-Building.* 2017. No. 3. pp. 37–45.
14. Hutchinson D. J., Diederichs M. S. Cablebolting in Underground Mines. Canada : BiTech Publishers Ltd., 1996. 417 p.
15. Bigby D. Coal mine roadway support system handbook : Research report No. 229a. Rock Mechanics Technology Ltd., 2004. 76 p.
16. Esterhuizen G. S., Tulu I. B. Analysis of alternatives for using cable bolts as primary support at two low-seam coal mines. *International Journal of Mining Science and Technology.* 2016. Vol. 26, Iss. 1. pp. 23–30.
17. Karaban D. T., Lutovich E. A., Severinchik S. A., Gubanov V. A., Kharitonov V. I. Testing results of rock bolting of increased load-bearing capacity in Soligorsk potash mines. *Nauchnye issledovaniya i innovatsii.* 2011. Vol. 5, No. 1. pp. 129–131.
18. Polyakov A. L., Misnikov V. A., Lutovich E. A., Yarmolinskiy V. K. Required transition to two-level rock bolting ion development roadways in mines at the Starobin deposit. *Socio-Economic and Ecological Problems of Mining, Construction and Power-Generating Industries : Proceedings of IX International Conference.* Minsk : BNTU, 2013. Vol. 1. pp. 88–92.
19. Grechishkin P. V., Razumov E. A., Zayatdinov D. F., Chugaynov S. S. Modern technologies of rock bolting and cable bolting: perspectives on implementation for different mining methods and mine conditions. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten.* 2016. No. 10. pp. 182–200.
20. Polyakov A. L., Severinchik S. A., Lutovich E. A. et al. Yielding rock bolt. Patent, 20952 RB, MPK: E 21D 21/00. Applied: 14.02.2014. Published: 30.04.2017.