УДК 622.831.32.322

О.В.КОВАЛЕВ, *д-р. техн. наук, профессор, spggi4@mail.ru*
С.П.МОЗЕР, *канд. техн. наук, доцент, mozer1@yandex.ru*
И.Ю.ТХОРИКОВ, *канд. техн. наук, научный сотрудник, spggi4@mail.ru*
А.В.ЛЕЙСЛЕ, *аспирант, lesle20@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

O.V.KOVALEV, *Dr. in eng. sc., professor, spggi4@mail.ru*
S.P.MOZER, *PhD in eng. sc., associate professor, mozer1@yandex.ru*
I.Y.THORIKOV, *PhD in eng. sc., research assistant, spggi4@mail.ru*
A.V.LESLE, *post-graduate student, lesle20@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОТРАБОТКИ IV ГОРИЗОНТА В УСЛОВИЯХ СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Изложены методические подходы к обоснованию рациональной технологии отработки нового калийного горизонта. Рассмотрены прогрессивные технологические схемы отработки запасов калийной руды на предприятиях РУП ПО «Беларуськалий», условия залегания IV калийного горизонта, основные аспекты геомеханического обоснования параметров технологических схем отработки нового горизонта при наличии взаимовлияния вышезалегающих горизонтов. Представлены результаты моделирования полей параметров напряженно-деформированного массива, вмещающего отрабатываемые горизонты.

Ключевые слова: калийная соль, методика, технологическая схема, перспективные технологии, моделирование, напряженно-деформированное состояние массива горных пород.

SUBSTANTIATION OF RATIONAL MINING PARAMETERS FOR IV POTASH HORIZON OF THE STAROBIN POTASH DEPOSIT

Methods of substantiation of a rational mining technology for the new potash horizon are presented in the paper. Progressive technological mining schemes for potash mining company «Belaruskaliy» are reviewed, as well as the geological conditions of the IV potash horizon. Basic aspects of the geomechanical substantiation of parameters of technological mining schemes for conditions of the IV potash horizon in the presence of influence of the overlying horizons are also presented. Results of modeling of the stress-and-state strain of the rock strata with production horizons are described.

Key words: potash salt, method, technological scheme, progressive technologies, modeling, stress-and-strain state of the rocks.

Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена текущим состоянием рудной базы РУП ПО «Беларуськалий», характеризуемой весьма интенсивным погашением запасов руды и, соответственно, реальной перспективой одногоризонтной эксплуатации, прежде всего на рудниках 1 РУ и 2 РУ С учетом роста мировых цен на калийные удобрения и наращивания производственной мощности объединения в целом складывающаяся ситуация требует интенсивной подготовки широкого фронта очистных работ. На эксплуатируемых горизонтах действующих рудников это практически нереально и в скором времени может способствовать значимой дестабилизации производства продукции на объединении, в частности, потери его мощности в связи с ограниченностью запасов на данных горизонтах. Решение поставленной задачи наиболее целесообразно реализовать за счет строительства новых рудников, либо вовлечением в отработку запасов IV и I калийных горизонтов на действующих предприятиях. Запасы IV горизонта представлены (по данным проведенной к настоящему времени предварительной разведки) в пределах горных отводов рудников РУП ПО «Беларуськалий» неоднозначно. Поэтому в настоящее время возможно рассматривать вопрос вскрытия IV КГ только в пределах 3 РУ, где распространение сильвинитовых слоев наиболее выдержано по площади.

Базой обоснования рациональности тех или иных технологических решений должна быть геологическая информация по Старобинскому месторождению и комплексная экспериментально-аналитическая методика изучения геомеханического состояния массива соляных пород, вмещающего отработанные и проектируемый горизонты.

С учетом приведенной горно-технической схемы (ГТС) представлены расчетные ГТС (рис.1-3), позволяющие в процессе исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) вмещающих выработки пород IV калийного горизонта оценить пространственно-временную синергетику горизонтов.

На расчетных ГТС приведены условия пространственно-временной отработки запасов сильвинитовой руды на III и IV калийных горизонтах. В тоже время эти схемы отражают специфические условия временного аспекта. На ГТС-1 представлены условия практически совместной отработки запасов на обоих горизонтах, когда в лавах в момент времени, условно фиксируемый как $t \to 0$, величиной отпора в выработанных пространствах (ВП) можем пренебречь. В этих условиях не имеет место конечное уплотнение обрушающихся пород кровли в ВП, а процесс сдвижения налегающей толщи и земной поверхности в зонах отработки запасов отвечает начальной стадии процесса сдвижения.

На ГТС-2 приведены совмещенные полностью в пространстве и времени условия отработки запасов на горизонтах. Эти условия отвечают наличию на обоих горизонтах практически предельных значений отпора со стороны уплотненных пород на кровлю-почву в соответствующих ВП. Для рассматриваемой ГТС это отвечает периоду активной стадии процесса сдвижений земной поверхности, что в количественном выражении составит не менее 10 лет.

Для ГТС-3 характерен погоризонтный комплекс рассмотренных состояний в ВП соответствующих лав. На III калийном горизонте в ВП лав будет иметь место полный отпор, а на IV – отсутствие отпора.

Отметим, что рассмотренные состояния выработанных пространств на горизонтах естественно обусловят и различные механические их характеристики, в частности, деформационные свойства.

Разработанные ГТС являются базовыми для изучения НДС пород в окрестности различных горных выработок IV калийного горизонта, так как используются при формировании соответствующих им горно-геомеханических моделей (расчетных схем). В расчетных схемах в тоже время необходимы и иные – механические данные, отражающие деформационные свойства составных элементов ГТС (межгоризонтной толщи, калийных пластов, ВП, подстилающего IV калийный горизонт комплекса пород).

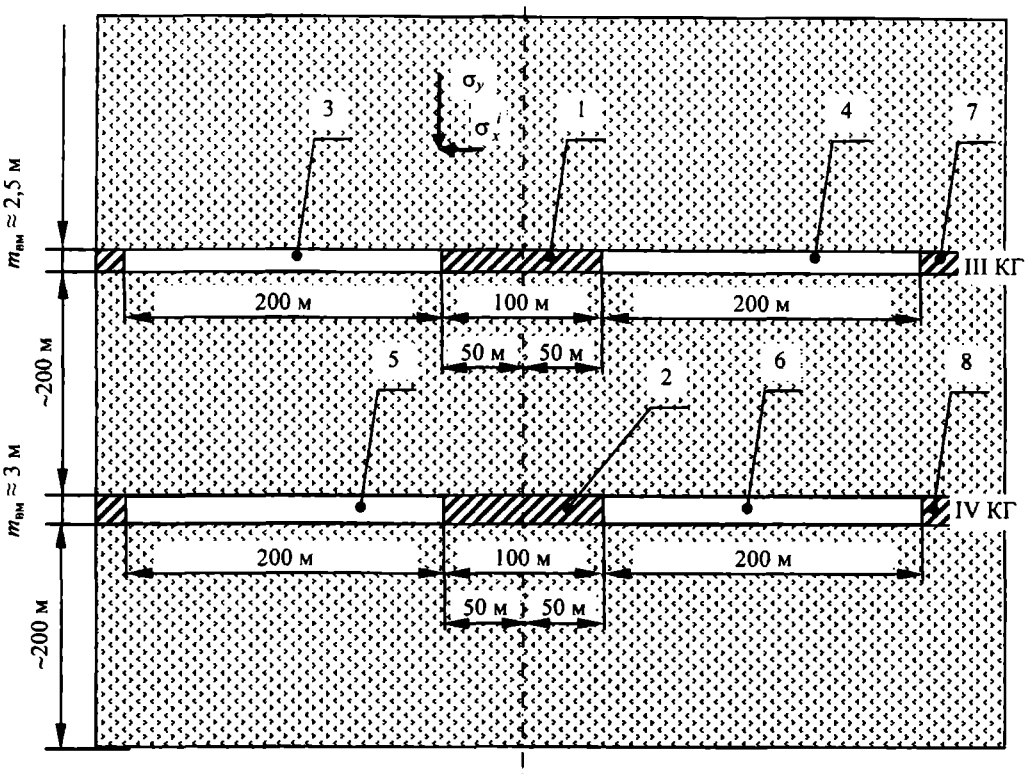


Рис.1. Горно-техническая схема 1 (ГТС-1)

1 – межпанельный целик III КГ; 2 – межпанельный целик IV КГ; 3 и 4 – лавы III КГ; 5 и 6 – лавы IV КГ; 7 – лавы III КГ ($m_{вм} \approx 2{,}5$ м); 8 – лавы IV КГ ($m_{вм} \approx 3{,}0$ м)

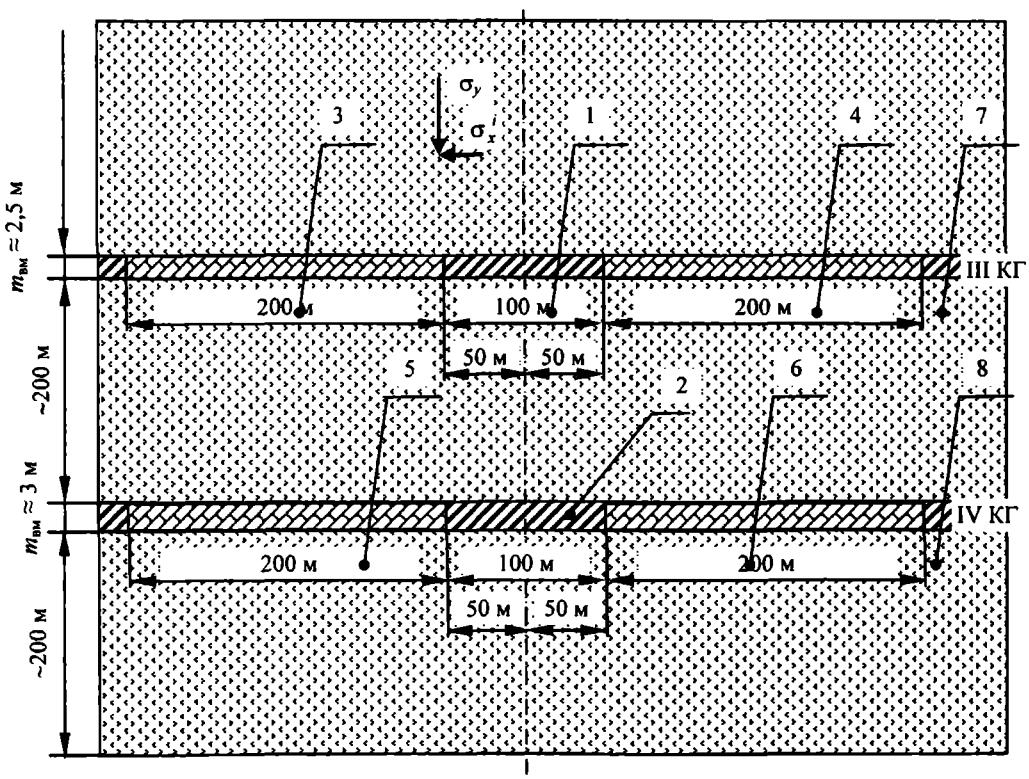


Рис.2. Горно-техническая схема 2 (ГТС-2)

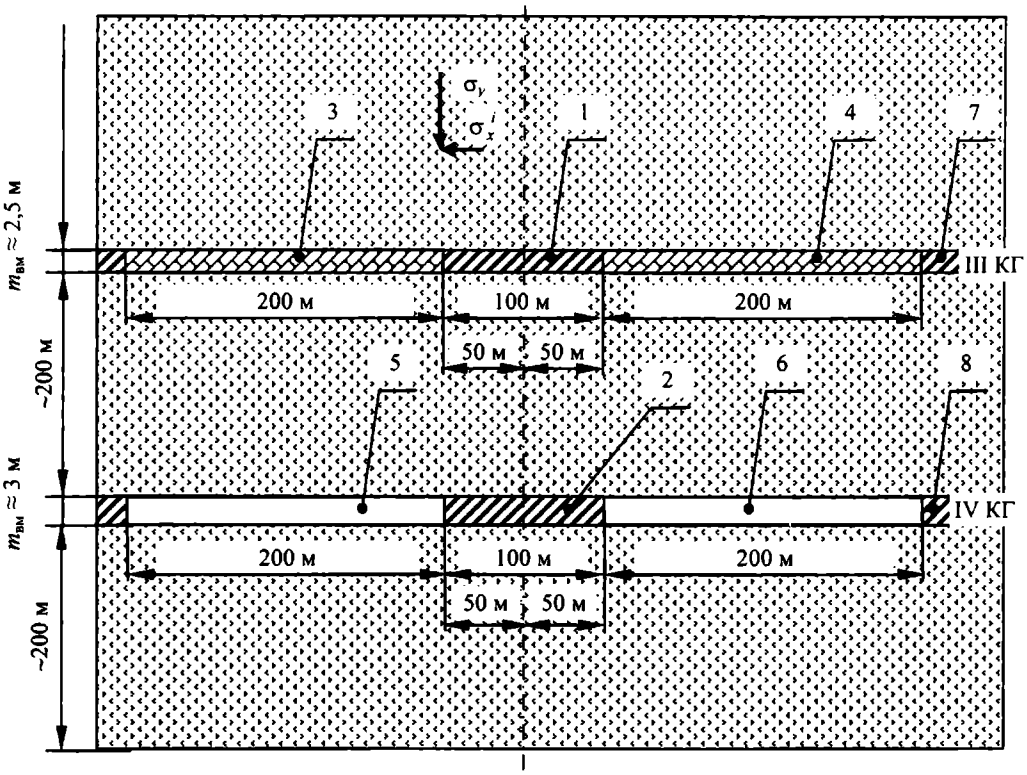


Рис.3. Горно-техническая схема 3 (ГТС-3)

Наличие особенностей (если таковые имеют место) НДС пород, вмещающих подготовительные выработки выемочных участков, удобно оценивать, рассматривая мехсостояния межпанельных целиков (МПЦ). Естественно, что основные типы таких выработок проходятся именно в МПЦ. Оценка должна базироваться на результатах сопоставительного анализа, включающего изучение НДС обычного массива и содержащего глины.

Такая оценка реально отражает геологическое строение вмещающего IV калийный горизонт комплекса пород на рассмотренном участке Старобинского месторождения (в частности, в пределах шахтного поля рудника 3 РУ [1]). Сопоставление может быть реализовано либо на анализе какого-либо отдельного (наиболее характерного) параметра НДС пород в указанном технологическом элементе массива (например, на анализе компонент тензора σ_{ij}), либо в процессе совокупного рассмотрения всех компонент, отражающих НДС пород в МПЦ (σ_{ij}, ε_{ij} и δ_i). Обобщенные выводы должны отражать и горно-технические факторы, представленные обоснованными ранее ГТС.

Отметим, что решение горно-геомеханических задач применительно к разработанным горно-геомеханическим моделям ГГМ выполнялось с использованием экспериментально-аналитического метода граничных элементов (ГЭ) и его модернизации – метода разрывных смещений (МРС). Метод ГЭ рассматривался нами ранее при выполнении работ для объединения «Беларуськалий», а также изложен в ряде источников ([2] и др.). В соответствии с фактически выдержанным в пределах шахтного поля рудника 3 РУ геологическим строением вмещающего III и IV калийные горизонты массива, в настоящей работе указанный метод интерпретирован в постановке плоскодеформированного решения задачи.

Результаты решения таких задач по оценке компонентов НДС массива приведены в наиболее удобной для их анализа графической форме (в виде полей соответствующих компонент тензоров σ_{ij} и ε_{ij} и вектора δ_i) на рис.4.

Выполненный и отраженный в настоящей статье анализ позволяет характеризовать наличие (либо отсутствие) специфики ведения горных работ на IV калийном горизонте, т.е. дает возможность интегрально оценить требования к организации таких работ на перспективном для ряда шахтных полей калийном горизонте. Рассмотрим основные результаты анализа горно-геомеханических исследований на данном горизонте для МПЦ и очистных забоев.

Материал излагается последовательно для соответствующих характерных ГТС (1, 2 и 3) с анализом возможных изменений параметров НДС по каждой схеме в зависимости от принятой оценки геолого-геомеханических свойств пород (т.е. с учетом i = I и i = II: при отсутствии глин (I) и с учетом их влияния на механические свойства рассматриваемых комплексов пород (II)). Напомним, что каждая из ГТС отражает синергетические вариации ведения горных работ на III и IV калийных горизонтах.

Для условий геометрически полной (горизонтально-вертикальной) симметрии отработки запасов калийных горизонтов (вариант ГТС-1) в МПЦ IV горизонта фиксируются приближенно равные уровни значений σ_y (для i = I и i = II), но в тоже время в их краевых зонах, прилегающих к ВП, имеют место различные значения величин ε_y (на протяжении ~ 20 м): ~ 0,0033 (i = I) и ~ 0,0075 (i = II), т.е. вертикальные деформации могут отличаться примерно в два раза. Еще более существенное отличие фиксируется в этом объекте (МПЦ IV КГ) для данной ГТС при анализе компоненты вертикальных перемещений V. Так, в случае i = I по всей ширине МПЦ параметр $V \simeq 0{,}7$ см. В тоже время при i = II его величины могут достичь ~ 30 см. Следовательно, разница в величинах V существенна, около 40 раз.

При оценке различий в проявлениях горного давления в лавах IV калийного горизонта наиболее представителен сопоставительный анализ параметра V, понимаемого в этом случае как конвергенция пород кровли-почвы в ВП, средневзвешенная по его ширине. Для условий ГТС-1 рассматриваемая величина может быть оценена как ~ 0,6 м (i = I) и как ~ 2,1 м (при i = II), т.е. в случае вмещающего выработанные пространства массива горных пород (МГП), механические свойства которого отражают наличие в нем глинистых прослойков (i = II), разница может быть существенной (~ 3,5 раза).

При рассмотрении параметров НДС горных пород в тех же объектах IV КГ, но применительно к ГТС-2 (рис.4) определено следующее.

В МПЦ горизонта фиксируются приближенно равные величины компонент σ_y и σ_x, но в то же время имеет место различие в значениях ε_y и ε_x. Для первых оно достигает ~ 1,7 раз (превышение в случае i = II), для вторых ~ 3 раз (аналогично для МГП с i = II).

В тоже время величины компоненты вертикальных перемещений в МПЦ для данной ГТС в обоих случаях (при i = I и i = II) приближенно равнозначны (разница не превышает ~ 10 %: $V_{i=\mathrm{II}} > V_{i=\mathrm{I}}$).

Анализ НДС в очистном пространстве для данной ГТС, выполненный аналогично – по параметру средневзвешенной величины конвергенции в ВП, показал практическую их идентичность (практическое равенство их значений при МГП с i = I и при МГП с i = II).

Отметим, что анализируемая ГТС-2 аналогична ранее рассмотренной ГТС-1 по условиям геометрической симметрии ведения горных работ на III и IV калийных горизонтах.

Поскольку рассмотрение только вариантов симметричной отработки горизонтов (III и IV) нельзя считать достаточно неоднозначным, то анализ НДС элементов МГП (и соответственных горно-технических объектов) был проведен и для ГТС-3, отражающей отсутствие геометрической симметрии ведения горных работ относительно горизонтальной плоскости.

Как и в случае анализа НДС для ГТС-1 и ГТС-2 для условий ГТС-3 возможно констатировать идентичность значений компонент σ_y и σ_x по ширине МПЦ (в центральных зонах, в зонах краевых) для различных МГП, отвечающих условиям i = I и i = II. Деформации МПЦ характеризуются, в тоже время, достаточно значимыми различиями.

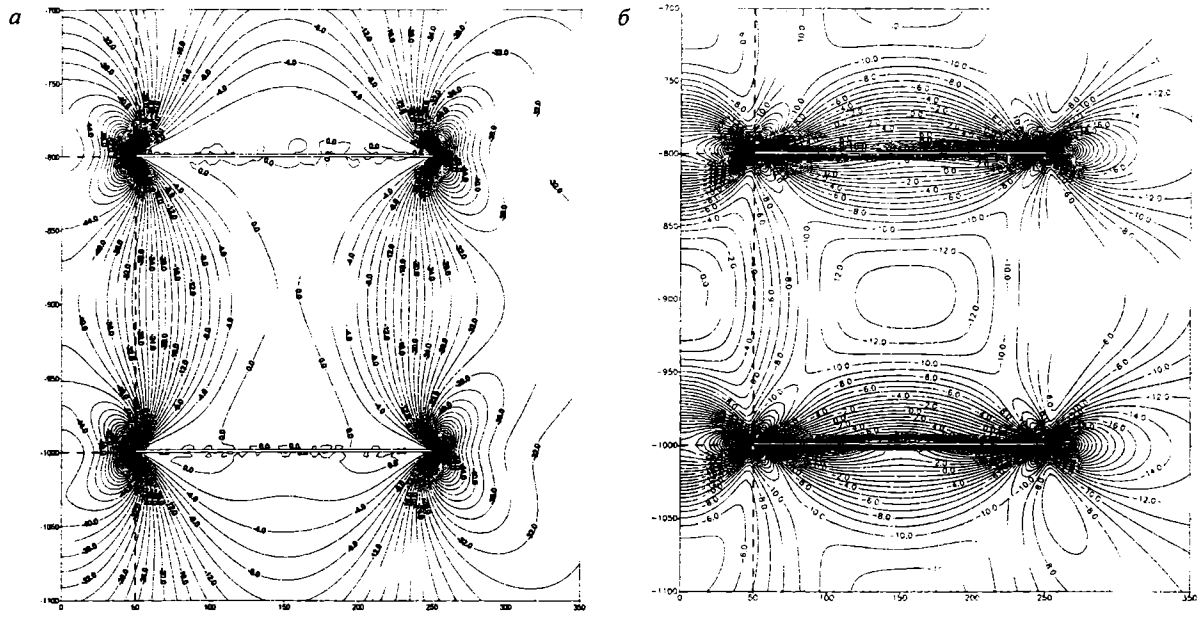


Рис.4. Поле компонент σ_y (*а*) и σ_x (*б*)для ГТС-1 (МГП с i = I)

Так для ε_y такое различие в центральных частях междупанельного целика может достигать (имея в виду превышение ε_y при i = II над таковым при i = I) двух раз, а в краевых зонах – ~ 25 %. Величины средневзвешенных по ширине МПЦ ε_x (для аналогичных условий по i) могут отличаться более чем в два раза.

Величины перемещений V в МПЦ (по его ширине) для случая i = II также в два раза могут превышать таковые для условий i = I.

Для ГТС-3 возможно отметить достаточное различие проявлений горного давления в очистных забоях. В ВП лав IV калийного горизонта величины конвергенций (также учитывая их средневзвешенные по длине лавы значения) в условиях i = II могут превышать значения аналогичного параметра (при i = I) более чем в два раза.

Обобщая результаты выполненного анализа НДС пород в окрестностях очистных и подготовительных выработок IV калийного горизонта, следует отметить, что его результаты показали целесообразность (по ряду факторов – необходимость) учета специфики реальных геолого-геомеханических свойств вмещающих горизонт толщ, а также горно-технических условий ведения на нем работ при проведении оценок механических состояний пород. В данном аспекте речь идет не о необходимости корректировки действующих нормативных документов, а о применении на практике их положений и требований с учетом специфики горных работ на новом для объединения калийном горизонте (ранее не эксплуатируемом).

Выполненные исследования и обобщение их результатов позволили сделать следующие выводы.

Во-первых, на напряженно-деформированное состояние как подготовительных, так и очистных выработок, достаточно значимое влияние оказывает реально имеющееся в МГП, вмещающем горизонт, наличие глинистых прослойков. Последние предопределяют изменение механических характеристик массива в части существенного снижения, например, его деформационных свойств. Это обстоятельство обуславливает изменение НДС пород как в окрестности подготовительных выработок, располагаемых в МПЦ (панельных транспортных, конвейерных, вентиляционных штреков и др. выработок), так и в кровле-почве очистных выработок (лав). Данный фактор, изменяя НДС пород в указанных объектах, требует

его рассмотрения при планировании горных работ на новом горизонте.

Во-вторых, помимо рассмотренного геолого-геомеханического фактора, для организации на горизонте безопасного и эффективного ведения горных работ необходимо учитывать совокупное развитие фронтов горных работ на обоих горизонтах шахтного поля рудника 3 РУ, учитывая практически значимую синергетичность отработки III калийного горизонта и IV горизонта (в пространстве и времени).

Обобщение результатов экспериментально-аналитических исследований позволило рекомендовать предпочтительный вариант вскрытия, предусматривающий углубку стволов 2 и 4 до IV калийного горизонта. На примере характерной выработки упомянутой схемы (камера питателей, дозатора) показано наличие достаточно значимого влияния реального, глиносодержащего МГП, на его механическое состояние в окрестности выработки. Данный вывод справедлив как для комплексов вскрывающих выработок, так и выработок подготовительных. Конкретные уровни такого влияния целесообразно уточнять в процессе предпроектных проработок, оценивая параметры выбранных способов управления горным давлением в соответствии с нормативными требованиями [3], действующими на рудниках объединения.

Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы РФ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Крауч С.* Методы граничных элементов в механике твердого тела / С.Крауч, А.Старфилд. М.: Мир, 1987.

2. *Мозер С.П.* Горная геомеханика: физические основы и закономерности проявлений геомеханических процессов при подземной разработке месторождений / С.П.Мозер, Е.Б.Куртуков. СПб: Недра, 2009.

3. Указания по защите рудников от затопления в условиях Старобинского месторождения калийных солей / Белгорхимпром. Минск, 1994.

REFERENCES

1. *Krauch S., Starfield A.* Boundary element methods in solid mechanics. Moscow: Mir, 1987.

2. *Mozer S.P., Kurtukov E.B.* Rock mechanics: basic physics and mechanism of occurrence of geomechanical processes in underground mining. Saint Petersburg: Nedra, 2009.

3. Instructions on protection the mines from water inflow in conditions of the Starobin potash deposit / Belgorhimprom. Minsk, 1994.