

УДК 622.831.22

**ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА «МАРМАНAGER»  
ДЛЯ ПРОГНОЗА УСТОЙЧИВОСТИ КАПИТАЛЬНЫХ И ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК  
СОЛИГОРСКИХ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ РАЗРАБОТКИ**

**В.А. МИСНИКОВ**

*(Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством),*

**С.И. СЛАВАШЕВИЧ**

*(РУП «ПО «Беларуськалий», Солигорск),*

**М.А. ЖУРАВКОВ**

*(Белорусский государственный университет, Минск)*

*Разработана подсистема в составе программного комплекса «МарМанager» для прогноза устойчивости кровли выработок, опирающаяся на базы данных горно-геологической и горно-технической информации по шахтным полям 3 и 4 РУ.*

При переходе горных работ на глубины разработки свыше 750 м для устойчивости капитальных и подготовительных выработок Солигорских калийных рудников большое значение приобретают геологические и горно-технические факторы. Своевременный учет этих факторов позволяет выбрать рациональные меры охраны выработок, увеличить срок их безремонтного поддержания и безопасность эксплуатации.

На различных соляных месторождениях в качестве критериев устойчивости выработок, как правило, используются свои, регламентируемые нормативными документами, показатели [1,2]. Наиболее простым для использования показателем устойчивости кровли для Старобинского месторождения является отнесение ее к определенной категории пород [1]. Тип кровли определяется следующим образом. По геологической колонке определяется количество слоев, и общая мощность  $\sum m_{zc}$  (см) галитовых и сильвинитовых слоев на высоту 2 м. Слои, содержащие глинистые прослойки мощностью до 3 мм, принимаются как монолитные. Галитовые и сильвинитовые слои мощностью до 30 мм в учет не принимаются, их включают при подсчете содержания слабых глинистых прослоек.

Среднее содержание  $\eta$  слабых прослоек определяется по формуле:

$$\eta = \left( 1 - \frac{\sum m_{zc}}{200} \right) \cdot 100, \% \quad (1)$$

Достоинство этого подхода - геологический фактор можно учитывать с помощью количественного критерия (содержания слабых и глинистых прослоек).

Недостаток данного подхода для оценки устойчивости выработок состоит в том, что он не учитывает глубину заложения выработки и мощность ее защитной пачки, оставляемой в кровле (т.е. привязку под устойчивым слоем), пролет выработки.

Другим показателем устойчивости выработки может являться мощность защитной пачки, оставляемой в ее кровле. При этом за монолитную пачку пород принимают совокупность расположенных рядом соляных прослоек более 3 см, в которых содержатся глинистые прослойки не более 3 мм. Однако сам по себе этот показатель также не может широко использоваться, поскольку при этом не учитывается содержание глинистых прослоек и глубина заложения выработки.

Еще одним, более универсальным показателем, рекомендуемым для использования нормативными документами ВНИМИ и УФ ВНИИГ [2], является коэффициент уровня нагрузки на соляные породы:

$\frac{\gamma H}{\sigma_{сж}}$  (здесь и далее:  $\gamma$  – объемный вес вышележащих пород;  $H$  – глубина заложения выработки, м;

$\sigma_{сж}$  – предел прочности пород на одноосное сжатие). С ростом данного показателя устойчивость выработок снижается. Однако для использования этого показателя необходимо учитывать слоистое строение соляных пород и их разный состав, в связи с чем принято определять предел прочности пород на одноосное сжатие  $\sigma_{сж}$  – как агрегатную величину  $[\sigma_{сж}^{CP}]$ .

Средняя агрегатная прочность пород при одноосном сжатии  $[\sigma_{сж}^{CP}]$  определяется как средневзвешенное значение на интервале от контура  $\in [0; 2]$  м по формуле (2):

$$[\sigma_{сж}^{CP}] = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{сж}^i \times m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (2)$$

где  $\sigma_{СЖ}^i$  – значение предела прочности  $i$ -того слоя;  $m_i$  – мощность  $i$ -того слоя;  $n$  – количество слоев на интервале  $\in [0; 2 \text{ м}]$ .

Достоинства данного подхода: учитывается фактор глубины и прочности пород, при подстановке в критерий вместо глубины  $H$  близкий к нему параметр  $H_{прив} = H \cdot K_a$  (где  $K_a$  – коэффициент, учитывающий взаимовлияние выработок и влияние очистных работ); этот параметр можно использовать в широком диапазоне горно-технических условий.

Недостаток данного подхода заключается в том, что он не учитывает такие формы проявления горного давления, как отслоение, расслоение по слабым, глинистым прослойкам.

Более универсальным показателем, характеризующим степень устойчивости выработки и учитываемыми как фактор уровня нагружения  $\gamma H / \sigma_{СЖ}$ , так и геологический фактор – мощность защитной пачки пород  $m_{ЭКВ}$ , является параметр  $K_y$  [3].

Значение показателя устойчивости  $K_y$  в соответствии с работой [3] определяли по формуле:

$$K_y = \frac{\gamma H}{[\sigma_{СЖ}^{CP}]} \left( \frac{l_{ЭКВ}}{m_{ЭКВ}} \right)^2, \quad (3)$$

где  $l_{ЭКВ}$  – эквивалентный пролет выработки;  $m_{ЭКВ}$  – эквивалентная мощность защитной пачки, оставляемой в кровле выработки.

Данный критерий устойчивости вошел в нормативные документы [1] в виде номограмм, здесь же он представлен в виде формулы.

Кроме перечисленных выше критериев устойчивости, предлагаемых к использованию нормативными документами, имеются и другие методы оценки устойчивости выработки. Они основываются на определении скорости деформирования контура выработки на основании натуральных замеров, либо расчете ее по эмпирическим зависимостям. По скорости смещений контура определяется величина его деформирования на необходимый по условиям эксплуатации период времени, и сравнивается с максимально допустимой величиной, изменяющейся в зависимости от пролета выработки, применяемых мер охраны [3].

Согласно действующей инструкции [1] устойчивость кровли выработок определяется как время, необходимое для накопления критических деформаций. За критические деформации принимается момент раскрытия трещин.

Величина смещения кровли выработки ( $U$ ) согласно [1] определяется по формуле:

$$U = [V_{уст} (t - 1) + 3V_{уст}] K_a, \quad (4)$$

где  $V_{уст}$  – скорость смещения кровли выработки в установившемся периоде деформирования;  $t$  – проектный срок службы выработки, лет;  $K_a$  – коэффициент взаимного влияния выработок.

В руководстве [1] за основу расчета взята установленная П.П. Ногиным и другими учеными [4] зависимость между годовой скоростью периода установившейся ползучести и смещениями первого года деформирования:

$$U_{1Г} = (2,5 \dots 3) V_{уст}. \quad (5)$$

Зная величину предельных допустимых смещений  $U_{lim}$ , стабилизированную скорость деформирования ее точек с учетом зависимости (5) можно определить время службы выработки по формуле (6):

$$T = \frac{U_{lim} - U_{1Г}}{V_{уст}} + 1. \quad (6)$$

Однако в этой же работе показано, что с ухудшением условий заложения выработок и с ростом глубины заложения теснота связи между факторами снижается.

Полезными для использования могут быть эмпирические зависимости, полученные по данным натуральных наблюдений в выработках со слабоустойчивой кровлей. Однако данных натуральных замеров, полученных в широком диапазоне изменения геологических факторов, для получения достоверных зависимостей мало. Имеет практический интерес полученная в работе [3] зависимость усредненной стабилизированной скорости смещения кровли горной выработки  $V_{уст}$  от показателя устойчивости  $K_y$ :

$$v_K = 1,1245 + 0,4612 K_y + 0,04245 K_y^2. \quad (7)$$

Следует отметить, что данная зависимость получена для определенного интервала глубин и нуждается в уточнении. К тому же, в условиях слабых мелкослоистых пород на больших глубинах стабилизация скорости смещения кровли не наступает, поэтому без дополнительных исследований, в том числе проводящихся и в рамках данной темы, использовать методы оценки устойчивости выработок по прогнозируемым смещениям их контура недопустимо.

В работах [2, 5] предлагается при прогнозе устойчивости выработок в мелкослоистых соляных породах в качестве наиболее достоверного показателя использовать деформационный - смещение стенок  $U_j$ . Его можно определять в натуральных условиях либо эмпирическим путем с помощью установленных в [5] зависимостей.

Замечено, что между этим показателем и смещением кровли  $U_k$  отдельных стадий деформирования выработки имеется тесная связь следующего вида:

$$K_k = U_k / U_B, \quad (8)$$

где  $U_k$  – смещение кровли;  $U_B$  – смещение стенок выработки.

Показатель  $K_k$  может быть определен по содержанию глины в кровле  $\sum m_i$  и мощностью защитной пачки  $n$  с помощью зависимости:

$$K_k = 1 + \left( \sum m_i / n \right)^{1,63}. \quad (9)$$

Геологический фактор  $\sum m_i / n$ , входящий в зависимость (9), оказывает влияние не только на рост смещений кровли по сравнению со стенками выработки, но и уменьшает срок ее устойчивого состояния в  $K_{mn}$  раз. Поправочный коэффициент  $K_{mn}$  с учетом зависимости (9) определяется по формуле:

$$K_{mn} = \exp [-0,633 (\sum m_i / n - 2)], \quad (10)$$

где показатель  $\sum m_i / n$  определяется по геологической колонке для рассматриваемого либо для наиболее слабого элемента породного контура (кровли или почвы) выработки.

Зависимость (10) справедлива для оценки влияния на время устойчивого состояния выработки любой формы поперечного сечения шириной от 2,5 до 6 м заложения ее в соляных породах с содержанием глинистых прослоев в кровле и почве до 30 %. Для стенок выработки, а также для кровли или почвы при значении показателя  $\sum m_i / n < 2$  коэффициент  $K_{mn}$  следует принимать равным 1.

В работе [2] указано, что коэффициент увеличения смещений  $\kappa_s$  в выработке с площадью поперечного сечения  $S_p$  по сравнению с номинальной  $S = 8 \text{ м}^2$  удовлетворительно определяется зависимостью

$$\kappa_s = e S_p / S. \quad (11)$$

Для большинства капитальных и подготовительных выработок в соляных породах условие потери устойчивости можно принять в виде:

$$U_p = U_{kp} = f(L_p, \sum m_i / n) \quad (12)$$

где  $L_p$  – расчетный пролет выработки;  $\sum m_i / n$  определяется описанными выше способами.

При выборе критерия устойчивости в СНиП П-94-80 рекомендуется считать неустойчивой выработку в соляных породах, смещение в кровле которой достигает 300 – 500 мм, при пролете 6 м, т.е.  $U_{kp} / L_p$  принадлежит интервалу [0,05; 0,083]. Такой диапазон критических смещений соответствует случаям, когда значения геологического фактора  $\sum m_i / n$  принадлежат интервалу [0,8; 2,8]. Большинство капитальных и подготовительных выработок расположено именно в таких горно-геологических условиях.

С учетом деформационного критерия устойчивости (12), геологического показателя  $\sum m_i / n$  и фактора, учитывающего площадь сечения выработки (11), формула для определения времени устойчивого состояния выработки будет иметь вид [2, 5]:

$$T_p = 1606 \exp (-8,78 \gamma H_p / \sigma_c) e S / S_p \exp [-0,633 (\sum m_i / n - 2)], \text{ год.} \quad (13)$$

Входящие в зависимость (13) показатели ограничены интервалами: ширина выработки  $B \in [2,5; 6]$  м; расчетный пролет  $Lp \in [1; 6]$  м; высота  $hв \in [2,5; 6]$  м; расчетная глубина заложения выработки с учетом влияния близлежащих выработок  $Hp \in [300; 1200]$  м; средняя прочность пород с учетом слоистости  $\sigma_{сж} \in [15; 40]$  МПа; геологический показатель  $\sum m_i / n \in [0; 6]$  при  $\sum m_i < 30$  %.

Тем не менее эта зависимость в отличие от других позволяет прогнозировать в большем диапазоне изменения глубины и геологических факторов.

Таким образом, установлено, что при оценке состояния выработок, пройденных в слабоустойчивых породах на больших глубинах, могут быть использованы следующие количественные показатели:

- средняя прочность пород кровли  $[\sigma_{сж}^{CP}]$  на интервале  $[0; 2]$  м;
- мощность оставляемой в кровле защитной пачки  $m_{ост}$ ;
- глубина заложения выработки  $H$ ;
- содержание слабых, глинистых прослоек на интервале  $[0, 2]$  м;
- комплексные показатели;
- уровень действующих нагрузок  $\gamma H / \sigma_{сж}$ ;
- безразмерные коэффициенты  $K_y, K_x$ ;
- геологические показатели  $\sum m_i / n, K_{mn}$ ;
- срок службы выработки  $Tp$ .

Очевидно, что комплексные показатели более точно будут учитывать множество факторов, влияющих на устойчивость выработки, однако определение этих показателей для конкретного участка шахтного поля требует наличия достоверных исходных данных и связано с определенной трудоемкостью их получения.

В РУП «ПО «Беларуськалий» весьма эффективно используется геоинформационная система «MapManager», разработанная в Белорусском государственном университете (М.А. Журавков, В.В. Видякин) [6], являющаяся ядром комплексной автоматизированной компьютерной системы сопряженного геомониторинга, основой информационной модели месторождения. Благодаря системе «MapManager» на РУП «ПО «Беларуськалий» уже более десяти лет формируется база знаний, использующая топогеодезические, инженерно-геологические, гидрогеологические, маркшейдерские, горно-технические, геомеханические данные [7].

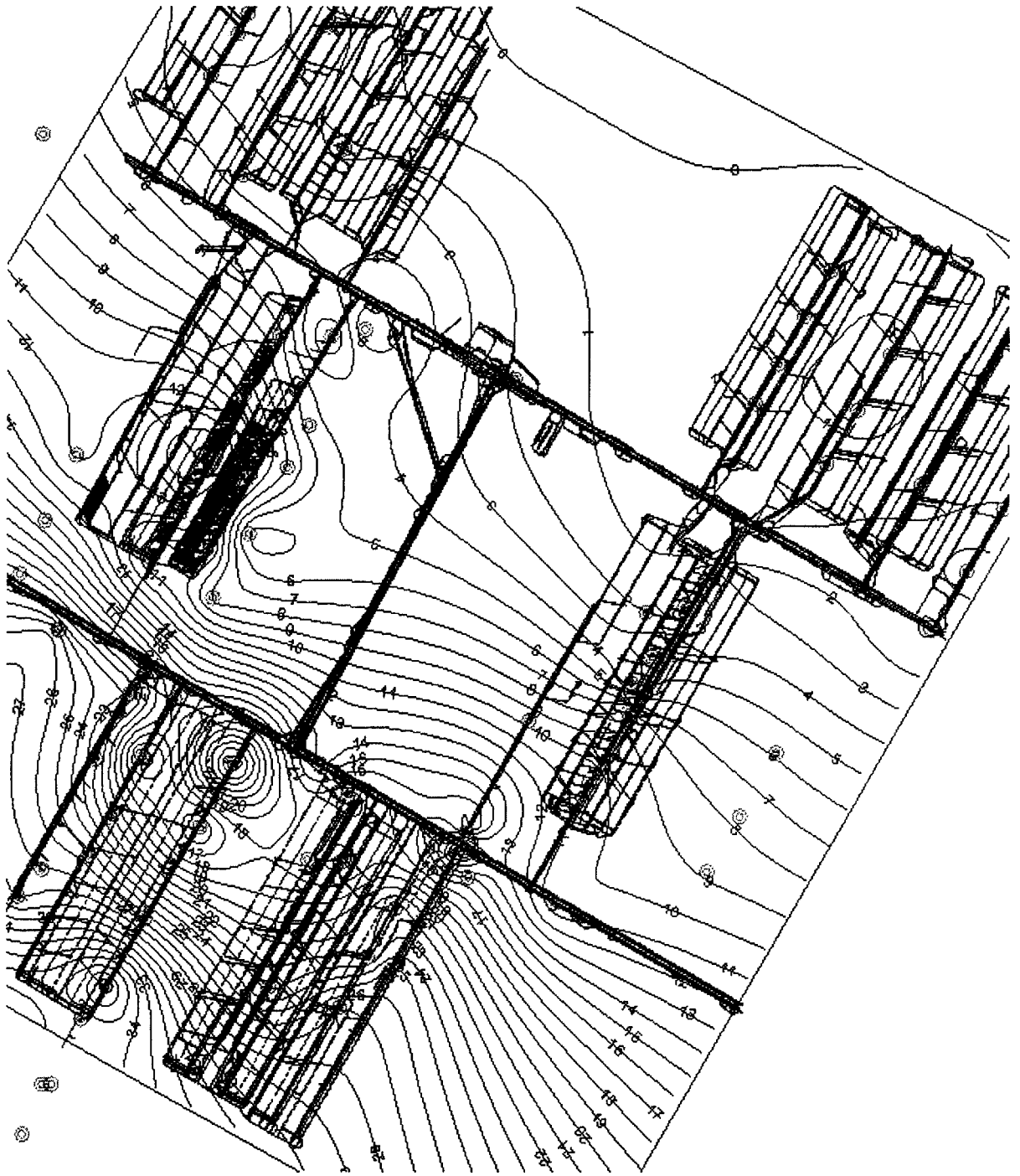
Исходные данные для всех, перечисленных выше показателей, без труда могут быть получены из базы данных ГИС «MapManager». Нами определялись показатели, позволяющие получить прогноз устойчивости выработок для условий III калийного пласта рудников 3 и 4 РУ. Расчеты показателей устойчивости производились с помощью программного модуля, разработанного с использованием пакета визуального программирования DELPHI 5.5. Данный программный модуль автономен, и в то же время способен напрямую работать с базами данных ГИС «MapManager».

Результаты расчетов представлялись в виде карт изолиний различных показателей, совмещенных с планом горных выработок. В качестве примера на рисунке приводится карта изолиний службы выработок в условиях их заложения на горизонте - 670 м рудника 4РУ РУП «ПО «Беларуськалий», при привязке под 40 см IV силвинитового слоя.

Анализ построенных карт изолиний показателей устойчивого состояния выработок показал, что на больших глубинах разработки наиболее достоверны и удовлетворительно согласуются с состоянием выработок III калийного горизонта рудников 3 и 4РУ комплексные показатели: безразмерный показатель неравномерности смещений  $K_x$ , геологические показатели  $\sum m_i / n$  и  $K_{mn}$ , срок службы выработки  $Tp$ .

На основании полученного опыта реализации моделей поведения выработок с помощью дополнительных модулей, подключаемых к геоинформационной системе «MapManager», можно сделать следующие выводы. Реализация в данной среде цифровой модели позволяет использовать более точные данные о влиянии тех или иных факторов.

Так, например, при оценке влияния на устойчивость подготовительных выработок фактора геологии можно учитывать свойства пород кровли не на регламентированную нормативными документами высоту в 2 метра, а на такую высоту, до которой это влияние распространяется. Поэтому при накоплении достаточного опыта работы с ГИС «MapManager» построенные с ее помощью прогнозные карты районирования шахтных полей по устойчивости кровли выработок при различных ее привязках к пласту будут в дальнейшем уточняться, улучшаться.



Изолинии срока службы выработок  $T_r$  на горизонте -670 м рудника 4РУ  
при привязке под 40 см IV силвинитового слоя

В процессе проведения исследований также установлено, что информация, хранящаяся в геологической базе при условии контроля за правильностью ее ввода и при необходимости корректировки, может быть использована для прогноза проявлений горного давления в капитальных и подготовительных выработках. При этом можно изучать как влияние каждого фактора отдельно, так и в комплексе. В частности, для решений геомеханических задач можно строить карты изоглубин, изомощностей, устойчивости по факторам: среднему содержанию глины, агрегатной прочности вмещающих пород, уровню напряженного состояния пород, комплексному показателю, учитывающему все эти факторы вместе, а также мощность защитной пачки, пролет кровли выработки. При этом важно, что любые показатели, модели могут быть оценены на достоверность с учетом изменчивости горно-геологических и горно-технических

факторов в реально существующем диапазоне, в результате чего проще сделать выбор в пользу наиболее подходящей для конкретных условий модели.

На основании анализа полученной картины распределения влияния вышеперечисленных факторов установлено, что визуализация распространения каждого из них может быть использована для принятия решений о технологии и параметрах ведения горных работ. Наличие цифровой модели позволяет использовать более точные данные о влиянии тех или иных факторов. При накоплении достаточного опыта работы с ГИС «MapManager» и его приложением по расчету устойчивости кровли выработок при различных ее привязках к пласту, в него могут быть внесены изменения, уточнения, обеспечивающие более эффективное его использование, повышение эффективности, производительности труда инженера-проектировщика БПГР рудника и любого другого пользователя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по охране и креплению горных выработок // Сб. нормативных и методических документов по ведению горных работ на Старобинском месторождении калийных солей: Утв. Белхимнефтепромом 23.11.1995. - Солигорск-Минск. - 1995. - С. 25 - 50.
2. Методическое руководство по ведению горных работ на рудниках Верхнекамского калийного месторождения: Утв. Государственной агрохимической ассоциацией 12.12.1990. - М.: Недра, 1992. - 468 с.
3. Журавков М.А., Мартыненко М.Д. Теоретические основы деформационной механики блочно-слоистого массива соляных пород. - Мн.: Універсітэцкае, 1995. - 255 с.
4. Ногин П.П., Петровский Б.И., Губанов В.А. Закономерности процесса деформирования горных выработок на Солигорских калийных рудниках и инженерный метод расчета срока их службы вне зоны влияния очистных работ//Горная механика. - 2003. -№ 1. - С. 48 - 54.
5. Мисников В.А. Прогноз и обеспечение устойчивости капитальных выработок калийных рудников в мелкослоистых породах на больших глубинах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Солигорск, 1991.
6. ГИС-технологии при добыче полезных ископаемых. Специализированная корпоративная геоинформационная система «MapManager» / В.В. Видякин, М.А. Журавков, О.Л. Коновалов и др.; Под общ. ред. М.А. Журавкова. - Мн.: Изд. центр БГУ, 2004. - 208 с.
7. Славашевич С.И. Геоинформационные технологии в практике работы геологической службы РУП «ПО «Беларуськалий» // Современные информационные технологии при добыче полезных ископаемых: Материалы науч.-практ. семинара-совещ., Солигорск, РУП «ПО «Беларуськалий», 26 - 28 ноября 2003 года / Под общ. ред. М.А. Журавкова. - Мн.: Изд. центр БГУ, 2004. - С. 124 - 132.