

www.rudmet.ru

ISSN 0017-2278

# ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

Издается с 1825 года  
(№ 2199)

2.2014



БЕЛГОРХИМПРОМ





УДК 001.891.53:622.273.18/.363.1

**В. Н. ДЕШКОВСКИЙ, Н. А. ЗОЛЬНИКОВ, В. В. КЛИМОВИЧ** (ОАО «Белгорхимпром»)  
**А. Б. ПЕТРОВСКИЙ** (ОАО «Беларуськалий»)

## ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОКРАТНЫХ ПОДРАБОТОК СОЛЯНЫХ ПОРОД СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



**В. Н. ДЕШКОВСКИЙ,**  
ведущий научный сотрудник,  
канд. техн. наук



**Н. А. ЗОЛЬНИКОВ,**  
зав. лабораторией



**В. В. КЛИМОВИЧ,**  
младший  
научный сотрудник



**А. Б. ПЕТРОВСКИЙ,**  
начальник  
отдела

*Представлены результаты первого этапа физического моделирования многократных подработок соляных пород. Приведены предел прочности на изгиб соляных балок и величины деформаций. Дана оценка характера и интенсивности разрушения соляных балок при многократных нагрузках.*

**Ключевые слова:** физическое моделирование, подработка, изгиб пород, трещина, предохранительная водозащитная потолочина.

При отработке свиты пластов массив пород испытывает многократное техногенное воздействие. При определенных значениях деформаций происходит нарушение сплошности слоев, слагающих массив. Одной из мер предотвращения или снижения вероятности прорыва вод в горные выработки является наличие водоупорного слоя, выполняющего роль экрана [1–6].

Предохранительная водозащитная потолочина (ПВП) — верхняя ненарушенная часть водозащитной толщи, которая обеспечивает безопасность отработки калийных и каменно-соляных горизонтов на Старобинском месторождении. В связи с возрастающим техногенным воздействием на массив пород по причине вовлечения в отработку большего числа горизонтов актуален вопрос сохранения предохранительной потолочины водозащитных свойств.

В настоящее время с целью изучения возможных последствий многократных подработок выполняется физическое моделирование данного процесса. На первом этапе осуществлена отработка методики исследований.

При повторной подработке развитие техногенных трещин происходит в нарушенных в результате первичной подработки слоях за счет накопления деформаций. Наихудшим вариантом расположения границ выработанных пространств обрабатываемых пластов с точки зрения накопления деформаций является их полное совпадение в плане.

Для изучения механизма разрушения слоев и образования в них секущих трещин проведены лабораторные испытания образцов на изгиб с применением стандартного оборудования ОАО

«Белгорхимпром» и специального прибора для испытания породных балок (рис. 1).

Основная идея эксперимента заимствована из [7] с некоторой корректировкой программы испытаний и рекомендаций [8]. Исследовали также влияние многократных приложений нагрузки на прочностные характеристики образцов (эффект Баушингера).

Призматические образцы (балки) были выполнены из монолитов соляных пород Старобинского месторождения квадратным сечением 50×50 мм. Размер образцов выбран с учетом структурного состава (зернистости) и других факторов, согласно [8]. Кроме размеров поперечного сечения, на величину прочности пород при изгибе оказывает влияние соотношение длины пролета балки к высоте ее сечения. При испытаниях горных пород на изгиб по трехточечной схеме рекомендуется это соотношение сохранять в пределах от 3,5 до 10. Расстояние между опорами принято 187 мм, что удовлетворяет [8].

Часть образцов использовали для определения мгновенных разрушающих характеристик: предела прочности на изгиб  $\sigma_{из}$  и критической деформации (прогиба) в центральной части балки  $h_{из}$ .

Кривизна балки  $K$  определяется по формуле

$$K = 8h_{из} / l^2, \quad (1)$$

где  $l$  — расстояние между опорами, м.

Установлены средние значения мгновенных разрушающих характеристик:  $\sigma_{из} = 2,36$  МПа,  $K = 6,69 \cdot 10^{-5}$ . Для полученных данных характерен большой размах значений. В выборке отклонения от средних значений характеристик достигают 35 %.



Программа нагружения балок сформирована, исходя из горнотехнических условий отработки трех горизонтов Старобинского месторождения (Первого, Второго и Третьего калийных горизонтов) и их влияния на оседание (прогиб в центральной части), кривизну ПВП (рис. 2).

Величина прогиба ПВП в центральной ее части в результате отработки горизонта для условий Старобинского месторождения рассчитывалась по следующей формуле:

$$\Delta h = \begin{cases} 0,6m_b D/H - 0,19 & \text{при } D/H < 1,4; \\ 0,84m_b - 0,19 & \text{при } D/H \geq 1,4, \end{cases} \quad (2)$$

где  $m_b$  — вынимаемая мощность, м;  $D$  — ширина выработанного пространства, м;  $H$  — расстояние от обрабатываемого пласта до ПВП, м.

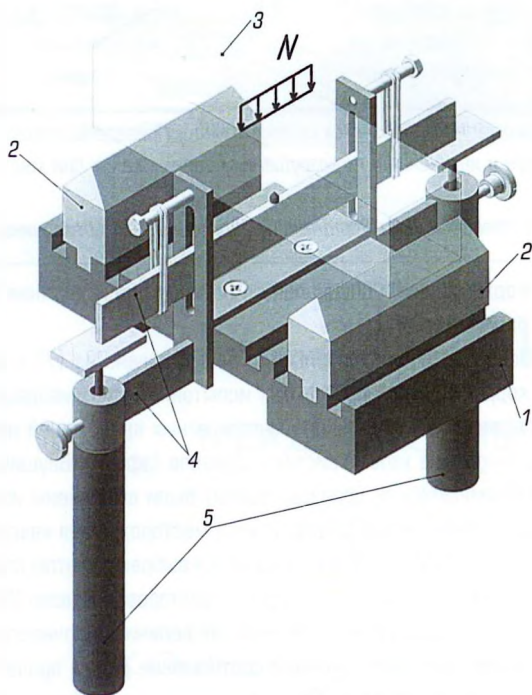


Рис. 1. Прибор для испытания породных балок:

- 1 — основание; 2 — опора; 3 — породная балка;
- 4 — приспособление для измерения прогиба;
- 5 — датчик измерения деформаций

Распределение нагрузок на балку определялось по доле влияния отработки Первого, Второго и Третьего калийных горизонтов на кривизну ПВП (55, 36 и 9 % соответственно). Нагрузка на балку для условий отработки верхнего пласта принята  $0,8\sigma_{из}$ . Сформированы следующие программы нагружения.

1. Нисходящий порядок отработки пластов Первого горизонта → Второго горизонта → Третьего горизонта (над границами выработанного пространства):  $0,8\sigma_{из} \rightarrow 0,5\sigma_{из} \rightarrow 0,2\sigma_{из} \rightarrow \sigma_{из}$  (постепенное уменьшение нагрузки на балку).

2. Нисходящий порядок отработки пластов Первого горизонта → Второго горизонта → Третьего горизонта (в зоне полных сдвижений):  $+0,8\sigma_{из} \rightarrow -0,8\sigma_{из} \rightarrow +0,5\sigma_{из} \rightarrow -0,5\sigma_{из} \rightarrow +0,2\sigma_{из} \rightarrow -0,2\sigma_{из} \rightarrow \sigma_{из}$  (постепенное уменьшение знакопеременной нагрузки на балку).

3. Восходящий порядок отработки пластов Третьего горизонта → Второго горизонта → Первого горизонта (над границами выработанного пространства):  $0,2\sigma_{из} \rightarrow 0,5\sigma_{из} \rightarrow 0,8\sigma_{из} \rightarrow \sigma_{из}$  (постепенное увеличение нагрузки на балку).

4. Восходящий порядок отработки пластов Третьего горизонта → Второго горизонта → Первого горизонта (в зоне полных сдвижений):  $+0,2\sigma_{из} \rightarrow -0,2\sigma_{из} \rightarrow +0,5\sigma_{из} \rightarrow -0,5\sigma_{из} \rightarrow +0,8\sigma_{из} \rightarrow -0,8\sigma_{из} \rightarrow \sigma_{из}$  (постепенное увеличение знакопеременной нагрузки на балку).

5. Комбинированный порядок отработки пластов Второго горизонта → Третьего горизонта → Первого горизонта (над границами выработанного пространства):  $0,5\sigma_{из} \rightarrow 0,2\sigma_{из} \rightarrow 0,8\sigma_{из} \rightarrow \sigma_{из}$  (смешанная нагрузка на балку).

6. Комбинированный порядок отработки пластов Второго горизонта → Третьего горизонта → Первого горизонта (в зоне полных сдвижений):  $+0,5\sigma_{из} \rightarrow -0,5\sigma_{из} \rightarrow +0,2\sigma_{из} \rightarrow -0,2\sigma_{из} \rightarrow +0,8\sigma_{из} \rightarrow -0,8\sigma_{из} \rightarrow \sigma_{из}$  (смешанная знакопеременная нагрузка на балку).

Для проведения экспериментов выбран мгновенный режим приложения нагрузок на соляные балки, поскольку он отражает наиболее неблагоприятные условия деформирования ПВП при

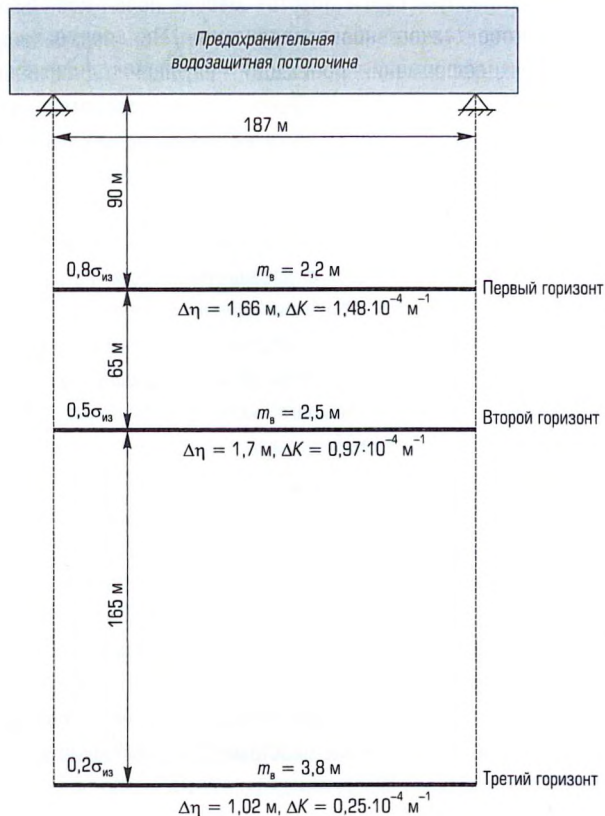


Рис. 2. Схема для расчета нагрузок при многократной подработке ПВП





ведении горных работ столбовой системой разработки с обрушением вмещающих пород, характерной для Старобинского месторождения.

При выполнении пробных экспериментов по изгибу соляных балок с многократным мгновенным приложением нагрузки весьма затруднительно соблюдение режима нагружения в связи с неоднородностью свойств образцов. Фактическая прикладываемая нагрузка в центре балки оценена по разрушающей нагрузке на последнем шаге нагружения. Например, предел прочности на изгиб на последнем шаге нагружения после многократного приложения знакопеременной нагрузки по программе 2 в отдельных экспериментах превышал мгновенный предел прочности на изгиб, принятый для расчета программы нагружения. Это приводит к тому, что вместо требуемой нагрузки  $0,8\sigma_{из}$  фактически оказывается приложена  $0,55\sigma_{из}$ . Только в 20 % всех проведенных экспериментов удалось полностью соблюсти программу нагружения, исходя из данного критерия. Погрешность определения мгновенного значения предела прочности соляных балок на изгиб существенно влияет на фактическую программу нагружения, поскольку является исходным параметром. Кроме того, из 14 испытаний по программе нагружения 1 преждевременно разрушились 36 % образцов, из 19 испытаний по программе нагружения 2 — 53 %, из 16 испытаний по программе нагружения 3 — 13 %, из 17 испытаний по программе нагружения 4 — 47 %. Общее количество преждевременно разрушившихся образцов составило 39 %. Полученные данные свидетельствуют о том, что для получения представительной выборки по одной из программ нагружения при мгновенном режиме приложения нагрузки на соляные балки потребуется проведение испытаний не менее 300 образцов.

Результаты экспериментов с многократным приложением знакопеременных нагрузок свидетельствуют об увеличении на 30–40 % значений критической кривизны соляных балок, при которых происходит их разрушение по сравнению с однократным мгновенным нагружением, что дает повод для продолжения исследований. Увеличение гибкости соляных балок происходит за счет нарушения части внутренних структурных связей в местах максимальных деформаций.

Полученные данные не позволяют в настоящее время сделать однозначный вывод о более безопасном варианте подработки соляной ПВП. Очевидна необходимость проведения экспериментов с использованием эквивалентных материалов для повышения надежности результатов и проверки гипотез.

Таким образом, выполненные исследования позволили: оценить уровень критических напряжений и деформаций при трехточечном изгибе соляных балок с мгновенным режимом приложе-

ния нагрузок; получить уровень значащих параметров в 30–40 % фоновых значений, на основании которых будут строиться последующие выводы; апробировать и скорректировать методику проведения экспериментов.

Дальнейшие пути проведения исследований авторам видятся в следующем:

- изучении влияния схем нагружения образцов-балок при испытаниях на изгиб (по четырехточечной схеме; приложением равномерной нагрузки на балку; с защемлением на опорах, консоли) на прочностные и деформационные характеристики;
- испытании слоистых образцов-балок, состоящих из соляных и глинистых пород;
- изучении влияния скорости и длительности приложения нагрузки на прочностные и деформационные характеристики образцов-балок.

#### Библиографический список

1. Гвирицман Б. Я. Безопасная выемка угля под водными объектами. — М. : Недра, 1977. — 175 с.
2. Казикаев Д. М., Осипенко Ю. С. Разработка рудных месторождений под водными объектами. — М. : Недра, 1989. — 192 с.
3. Гаркушин П. К. Особенности восходящей отработки калийных месторождений Предкарпатья // Уголь Украины. 1988. № 5. С. 13–15.
4. Милетенко Н. А. Установление закономерностей деформирования обводненного слоистого массива горных пород // Маркшейдерский вестник. 2005. № 2. С. 77–80.
5. Правила по защите рудников от затопления в условиях Старобинского месторождения калийных солей; согл. Проматомнадзором при МЧС РБ 11.10.2006. — 104 с.
6. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей (технологический регламент); согл. Ростехнадзором 30.04.2008 / сост. Б. А. Крайнев. — СПб., 2008. — 95 с.
7. Гусев В. Н. Геомеханика техногенных водопроводящих трещин. — СПб. : СПГИ, 1999. — 156 с.
8. Проскураков Н. М. Физико-механические свойства соляных пород. — М. : Недра, 1973. — 272 с.

*Дешковский Василий Николаевич,  
Зольников Николай Александрович,  
Климович Владислав Викторович:  
e-mail: glanigo@tut.by  
Петровский Андрей Борисович,  
e-mail: a.petrovskiy@kali.by*

#### PHYSICAL MODELING OF REPEATED UNDERWORKINGS OF SALT ROCKS OF STAROBINSKY DEPOSIT

**Deshkovskiy V. N.**<sup>1</sup>, Leading Researcher, Candidate of Engineering Sciences, e-mail: glanigo@tut.by

**Zolnikov N. A.**<sup>1</sup>, Head of Mine Laboratory

**Klimovich V. V.**<sup>1</sup>, Junior Researcher

**Petrovskiy A. B.**<sup>2</sup>, Head of Mining Department

<sup>1</sup> «Belgorkhimprom» JSC (Minsk, Republic of Belarus)

<sup>2</sup> «Belaruskali» JSC (Soligorsk, Republic of Belarus)



Development pressure on rock massif is increased during the involving of many horizons of Starobinsky deposit into mining, which is expressed in waterproof properties of this massif. Nowadays, physical modeling of the researched process is carried out for estimation of possible consequences of repeated underworkings. Mechanisms of destruction of rock salt layers and formation of cross fractures in these layers are researched by bend tests of samples, according to the developed load programs in laboratory conditions. Mining of research methodology was carried out on the first stage. Usage of physical modeling for assessment of status of protection waterproof ceiling allows to make a conclusion about the possibility of accounting of layers' mining sequence in the methodology of calculation of spreading height of anthropogenic water supply fissures.

**Key words:** physical modeling, underworking, bend of rocks, fissure, protection waterproof ceiling.

REFERENCES

1. Gvirtsman B. Ya. *Bezopasnaya vyemka uglja pod vodnymi obektami* (Safe excavation of coal under water objects). Moscow : Nedra, 1977, 175 p.
2. Kazikaev D. M., Osipenko Yu. S. *Razrabotka rudnykh mestorozhdeniy pod vodnymi obektami* (Development of ore deposits under water objects). Moscow : Nedra, 1989, 192 p.
3. Garkushin P. K. *Ugol Ukrainy – Ukrainian coal*, 1988, No. 5, pp. 13–15.
4. Miletenko N. A. *Marksheyderskiy vestnik – Mine surveying journal*, 2005, No. 2, pp. 77–80.
5. *Pravila po zashchite rudnikov ot zatopeniya v usloviyakh Starobinskogo mestorozhdeniya kaliynnykh soley* (Regulations for protection of mines from flooding in the conditions of Starobinsky potassium salts deposit). Reviewed by Promatomnadzor with Emergency Control Ministry of Republic of Belarus: October 11, 2006. 104 p.
6. *Ukazaniya po zashchite rudnikov ot zatopeniya i okhrane podrabatyvaemykh obektov v usloviyakh Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliynnykh soley (tehnologicheskii reglament)* (Regulations for protection of mines from flooding and protection of underworked objects in the conditions of Verkhnekamskoe potassium salts deposit (technological regulations)). Reviewed by Rostekhnadzor: April 30, 2008. Author: B. A. Kraynev. Saint Petersburg, 2008, 95 p.
7. Gusev V. N. *Geomekhanika tekhnogennykh vodoprovodyashchikh treshchin* (Geomechanics of anthropogenic water-supply fissures). Saint Petersburg : National Mineral Resources University, 1999, 156 p.
8. Proskuryakov N. M. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva soleyannykh porod* (Physical and mechanical properties of salt rocks). Moscow : Nedra, 1973, 272 p.

15 – 18 апреля 2014 г.  
Санкт-Петербург

При поддержке Северо-Западного  
федерального округа Российской Федерации  
и Комитета экономического развития,  
промышленной политики и торговли Санкт-Петербурга

16-я Международная научно-практическая конференция

«ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ, НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ И РЕМОНТА:  
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»

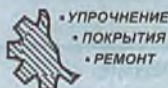
В рамках конференции пройдут  
школы-семинары:

- НАПЛАВКА, НАПЫЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ – ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ
- УПРОЧНЕНИЕ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И РЕМОНТ ИНСТРУМЕНТА, ШТАМПОВ, ПРЕСС-ФОРМ И ДРУГОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ



Организаторы:

- Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
- НПФ «Плазмацентр»



ПЛАЗМАЦЕНТР

[www.technoconf.ru](http://www.technoconf.ru)

Заявки на участие принимаются

тел.: +7 (812) 444 93 37, +7 (921) 973 46  
факс: +7 (812) 444 93

[info@plasmacentr.ru](mailto:info@plasmacentr.ru)