УДК 622.831

А.Ю.ЛЫТКИНА
Пермский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СОЛЯНЫХ ПОРОД ОТ УСЛОВИЙ ЗАЛЕГАНИЯ

Опыт горных работ свидетельствует, что геологическое строение и химический состав соляных пород оказывают существенное влияние на их механические свойства.

В работе предпринята попытка использования данных по геологическому строению и химическому составу продуктивных пластов для прогноза их механических характеристик. Основная идея работы заключается в нахождении статистических связей между основными механическими показателями и параметрами геологического строения и химического состава с последующим построением корреляционных уравнений для прогноза механических свойств на перспективных участках, планируемых к разработке.

Experience of production practice mines shows that geological structure and chemical composition of saliferous rocks exercises significant influence on their mechanical properties. The research attempts to use data on geological structure and chemical composition of productive strata to forecast the rock mechanical properties. The main approach used is to reveal statistical correlations between basic mechanical properties and characteristics of their geological structure and chemical composition with consequent development of correlating equations to forecast mechanical properties of rocks in prospective sites planned for production.

Опыт ведения горных работ показывает, что условия залегания и химический состав соляных пород оказывают существенное влияние на их физико-механические свойства. В научно-технической литературе различными авторами опубликованы эмпирические формулы, указывающие на существование зависимости физико-механических свойств от химического состава [2, 3]. В работе [1] рассмотрено влияние горно-геологических условий залегания на механические свойства соляных пород.

Целью данной работы является выделение основных из указанных выше воздействующих факторов и учет их совместного влияния на прочность соляных пород.

В целях изучения зависимости механических параметров соляных пород от состава и условий их залегания был выполнен статистический анализ результатов физико-механических испытаний кернового материала подземных геолого-разведочных скважин, пробуренных на шахтных полях рудников ОАО «Сильвинит». Исследования взаимосвязей проводились по двум рабочим пластам (КрII и АБ) сильвинитового состава. Использованы результаты по двум совмещенным скважинам, одна из которых была предназначена для физико-механических испытаний, другая – для опробования на химический состав.

При статистическом анализе были использованы: геологическое описание керна геолого-разведочных скважин, выполненное работниками геологических служб рудников и результаты определения физико-механических свойств образцов соляных пород, полученные в Горном институте УрО РАН.

В качестве основного показателя, который характеризует механические свойства соляных пород, был принят предел прочности на сжатие ($\sigma_{сж}$), так как этот показатель используется для определения параметров камерной системы разработки калийных пластов. По результатам анализа научно-технической литературы в качестве влияющих факторов приняты следующие показатели: абсолютная отметка проб ($Z_{пр}$), по ко-

торым определялась прочность, мощность пласта (*M*) в точке отбора, а также компоненты химического состава: KCl, NaCl, $MgCl_2$, $CaSO_4$, содержание нерастворимого остатка (НО).

Вся информация была сведена в единую электронную базу данных с привязкой местоположения испытуемых проб по глубине и латерали. Всего в статистическом анализе использованы результаты исследований более 200 скважин. В каждой скважине анализировались средние данные определения механических свойств по 7-10 пробам. Обработка собранных данных производилась в пакете программ «STATISTIKA 6.0».

Статистический анализ начинался с проверки исходных данных на нормальность распределения и принадлежность к одной выборке.

При нахождении зависимостей между исследуемыми параметрами использовалась следующая схема. Вначале для каждого пласта строилась корреляционная матрица между средневзвешенным пределом прочности и параметрами, характеризующими химический состав и условия залегания пласта (табл.1).

Таблица 1

Корреляционная матрица между средневзвешенным пределом прочности $\sigma_{сж}$ и влияющими факторами

Параметр	Пласт (число скважин)	
	АБ (n = 102)	КрII (n = 125)
$Z_{кр}$, м	0,34	0,51
M, м	0,40	0,21
НО, %	–0,21	–0,22
KCl, %	–0,17	–0,05
NaCl, %	0,17	0,04
$MgCl_2$, %	0,06	–0,04
$CaSO_4$, %	0,31	0,38

Примечание. $Z_{кр}$ – абсолютная отметка кровли пласта, м.

Для проверки гипотезы об отсутствии корреляционной связи, которая осуществлялась по каждому коэффициенту корреляции, указанному в матрице, была построена критическая область вида

$$|r| > t_q \sigma_r, \qquad (1)$$

где r – коэффициент корреляции; t_q – значение q-процентных пределов для распределения Стьюдента в зависимости от степеней свободы и вероятности; σ_r – оценка среднеквадратичного отклонения [1].

Если полученное по данным выборки значение r попадает в указанную область, то с выбранной вероятностью можно считать, что корреляционная связь между рассматриваемыми параметрами имеет место (табл.2). Оценка среднеквадратичного отклонения находится по формуле

$$\sigma_r \approx 1 - r^2 / \sqrt{n}, \qquad (2)$$

где n – количество наблюдений, $n \geq 30$.

Таблица 2

Проверка реальности корреляционных связей

Пласт	Значение коэффициента корреляции $\lvert r \rvert$	Размер критической области
АБ	0,34	0,172
	0,40	0,163
	0,21	0,186
	0,17	0,188
	0,06	0,193
	0,31	0,175
КрII	0,51	0,130
	0,21	0,168
	0,22	0,167
	0,05	0,174
	0,04	0,175
	0,38	0,150

Примечание. Указанный размер критической области рассчитан для уровня значимости p = 0,05.

Проверка показала, что условию (1) не удовлетворяют коэффициенты корреляции между средневзвешенной прочностью и следующими компонентами химического состава: KCl, NaCl, $MgCl_2$ (табл.2). Уровень значимости остальных коэффициентов корреляции лежит в приемлемом диапазоне 0,1-0,05. Таким образом, с вероятностью 90-95 % можно утверждать, что корреляционные связи имеют место.

После проверки гипотезы об отсутствии корреляционной связи данные обрабатывались в рамках линейной регрессионной модели. С этой целью был использован модуль «Multiple Regression».

Таблица 3

Параметры линейных регрессионных уравнений

Пласт	Оценочные значения параметров регрессионных уравнений					Статистические характеристики	
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	R	$F/(f_1,f_2)$
АБ	32,4530	0,0384	−1,8032	−1,1910	2,0658	0,6806	20,924/(4,97)
КрII	25,1147	0,0346	−0,0963	−3,2210	4,9034	0,6150	18,251/(4,120)

В общем случае уравнения связи между прочностью соляных пород и параметрами залегания пласта имеют вид:

$$\sigma_{\text{ñæ}} = b_0 + b_1 Z_{\text{êð}} + b_2 M + b_3 \text{ÍÎ} \quad + b_4 \text{CaSO}_4,$$

где $\sigma_{сж}$ – прогнозное значение предела прочности по пласту, МПа; b_0 – оценка свободного члена регрессии; b_1, b_2, b_3, b_4 – оценки неизвестных параметров; M – мощность пласта в точке расчета, м.

Были расчитаны численные значения коэффициентов b_i и статистические параметры, характеризующие тесноту связи и надежность полученных зависимостей (табл.3).

Значимость коэффициентов множественной корреляции R проверялась по F-критерию Фишера. Значения F-критерия больше табличных, определенных для уровня значимости $p = 0{,}01$ [4], поэтому обнаруженные связи статистически значимы.

Приемлемые характеристики регрессионных уравнений (табл.3) позволяют использовать их для прогноза средневзвешенных значений прочности в пределах шахтных полей ОАО «Сильвинит» на участках, где отсутствуют экспериментальные данные о механических свойствах пород.

Дальнейшим направлением развития данной работы является поиск закономерностей, учитывающих, по возможности, большее число факторов, влияющих на прочностные свойства соляных пород, а также уточнение построенных корреляционных зависимостей на основе включения в статистический анализ новых данных по испытаниям и опробованиям соляных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аникин В.В.* Методика прогнозирования прочности соляных пород / В.В.Аникин, В.А.Асанов // Геология и полезные ископаемые западного Урала: Сб. ст. по материалам регион. науч.-практ. конф. / Перм. ун-т. Пермь, 2006. С.208-209.

2. *Кудряшов А.И.* Основные черты геологического строения Верхнекамского калийного месторождения // Повышение эффективности разработки Верхнекамского калийного бассейна. Пермь: Кн. изд-во, 1986. С.6-20.

3. *Проскуряков Н.М.* Физико-механические свойства соляных пород / Н.М.Проскуряков, Р.С.Пермяков, А.К.Черников. Л.: Недра, 1973. 272 с.

4. *Смирнов Н.В.* Курс теории вероятностей и математической статистики / Н.В.Смирнов, И.В.Дунин-Барковский. М.: Наука, 1965. 511 с.

Научный руководитель проф. *В.А.Асанов*