

УДК 553.63

В.В. Аникин

ОБОСНОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ СЕТИ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОЛЯНЫХ ПОРОД ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Разработана методика опробования пород рабочих пластов, позволяющая оптимизировать расстояние между скважинами с учетом изменчивости свойств соляных пород по площади месторождения.

Ключевые слова: плотность сети, месторождения калийных солей, шахтное поле, геологоразведочные работы.

Семинар № 3

V.V. Anikin

THE JUSTIFICATION OF NETWORK DENSITY OF STUDIES OF MECHANICAL PROPERTIES OF ROCKS AT THE VERHNEKAMSKOE POTASSIUM SALT DEPOSIT

The method of rock sampling at minable seams is developed. The method allows to optimize the distance between wells considering the variability depending on the spacing of the saliferous rocks

Key words: network density, potassium salt deposit, mine field, geological exploration.

Изучение строения Верхнекамского месторождения калийных солей показывает, что для соляных пород характерна значительная вариация минерального состава, текстуры и структуры, наличие естественной микро- и макро нарушенности. Большое разнообразие состава и строения соляных пород приводит к существенному качественному различию их поведения под нагрузкой и значительному разбросу механических показателей. Результаты массового изучения физико-механических свойств показывают, что изменчивость прочностных свойств соляных пород может достигать 30-40 % [1].

Согласно действующим в настоящее время «Указаниям по защите рудников от затопления...» [2] при снижении фак-

тических прочностных показателей пород рабочих пластов более чем на 10% по отношению к нормативным (средним для месторождения) значениям производится корректировка параметров системы разработки. Вместе с тем, необходимо подчеркнуть, что корректировка должна базироваться на высокой степени достоверности информации о свойствах соляных пород.

В соответствии с методикой опробования, принятой на месторождении, сетка бурения скважин подземной эксплуатационной разведки для всех рудников составляет 400x400 м. Расчет шага опробования основан, в частности, на модуле анизотропности G , определяемом отношением средних квадратичных отклонений механических параметров в главных направлениях [3].

Анализ данных по изучению физико-механических свойств соляных пород рабочих пластов КрII и АБ в пределах шахтных полей калийных рудников показывает, что при рекомендуемом шаге опробования разность значений средневзвешенного предела прочности между соседними скважинами изменяется в широком диапазоне: например, при расстоянии, лежащем в интервале 350 - 400 м, их различие может достигать 17,3 МПа.

Таким образом, используемый сегодня на месторождении шаг опробования, по сути, характеризует значение предела прочности соляных пород лишь в точках отбора пробы и не позволяет прогнозировать изменение свойств пород по площади шахтного поля.

Для повышения достоверности геомеханических расчетов разработана методика опробования пород рабочих пластов, позволяющая оптимизировать расстояние между скважинами с учетом изменчивости свойств соляных пород по площади месторождения. Данная методика основана на статистическом анализе результатов определения физико-механических свойств пород рабочих пластов, полученных при испытании керн на подземных геологоразведочных скважин. В качестве оптимального шага опробования соляных пород рабочих пластов принято расстояние, при котором обеспечивается изменение величины средневзвешенного предела прочности на одноосное сжатие не более 10%.

Определение предельных расчетных расстояний между подземными разведочными скважинами (R_1), производится в три этапа.

На первом этапе для каждого рабочего пласта находилось число возможных комбинаций между точками отбора по формуле [4]:

$$C_m^n = \frac{m!}{n!(m-n)!}, \quad (1)$$

где C – число возможных сочетаний по n элементов для массива данных, состоящего из m элементов. Для пластов АБ и КрII $n = 2$, поскольку рассматриваются расстояния между двумя произвольными скважинами. Общий объем массива данных для пласта АБ составляет 146 скважин, для пласта КрII – 204 скважины. По формуле (1) было вычислено количество сочетаний (пар скважин) для рудников ОАО «Сильвинит» и рудников ОАО «Уралкалий», ведущих горные работы Верхнекамском калийном месторождении.

На втором этапе определялось фактическое расстояние между каждой расчетной парой скважин:

$$L = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}, \text{ м} \quad (2)$$

где (X_1, Y_1) и (X_2, Y_2) – координаты соответственно первой и второй скважины в расчетной паре.

Расстояние R_1 , соответствующее 10% отклонению средневзвешенного предела прочности на одноосное сжатие для скважины, которая характеризуется меньшим в расчетной паре значением прочности, вычислялось по формуле:

$$R_1 = \frac{0,1\sigma_1 \cdot L}{\sigma_2 - \sigma_1}, \text{ м} \quad (3)$$

где σ_1 – средневзвешенный предел прочности для первой скважины, МПа; σ_2 – средневзвешенный предел прочности для второй скважины, МПа ($\sigma_1 \leq \sigma_2$); L – расстояние между скважинами в расчетной паре, м.

На третьем этапе были сформированы рабочие выборки. С этой целью на полученные массивы данных накладывались два ограничения.

Первое ограничение вытекает из предположения, что в пределах панели, имеющей ширину 400 м, максимальное расстояние между двумя соседними скважинами, которые уже пробурены по сетке 400x400 м, не будет превышать 400-500 м. В связи с этим, расчеты оптимального шага отбора проводились для трех значений параметра L ($L \leq 400\text{ м}$; $L \leq 450\text{ м}$; $L \leq 500\text{ м}$). Данные ограничения последовательно накладывались на расчетные массивы как для пласта КрII, так и пласта АБ.

Второе предположение связано со следующими соображениями: согласно формуле (3) при $\sigma_1 = \sigma_2$ расчетные значения расстояния R_1 стремятся к бесконечности. Поэтому расстояния R_1 необходимо, априори, ограничить какой-либо приемлемой величиной. В качестве данной величины целесообразно принять средний характерный линей-

ный размер шахтного поля, составляющий 8,7 км.

Таким образом, в анализ включались расчетные пары скважин, у которых расстояние R_1 , соответствующее 10% отклонению прочности, удовлетворяло условию:

$$R_1 \leq 8700 \text{ м} \quad (4)$$

Сформированные в результате этих операций выборки подвергались статистическому анализу.

В начале статистического анализа полученные выборки, содержащие величины R_1 , проверялись на соответствие нормальному закону распределения по критерию Колмогорова. Для расчетных величин расстояния R_1 строились интегральные функции распределения (ИФР) и предполагаемого теоретического распределения по каждому пласту. Из полученных диаграмм выбирались наибольшие значения отклонения (D_{\max}) между накопленными частотами исследуемой эмпирической ИФР и расчетными значениями теоретической ИФР, по которым рассчитывался параметр λ [5]:

$$\lambda = D_{\max} \cdot \sqrt{n}, \quad (5)$$

где n – число наблюдений в исследуемом распределении.

По величине λ определялось соответствующее значение вероятности $p(\lambda)$ того, что наибольшее отклонение эмпирических частот от расчетных значений теоретической ИФР превысит заданное число λ/\sqrt{n} . Если $p(\lambda) > 0,01$, то исследуемое эмпирическое распределение в достаточной степени соответствует нормальному закону [5].

Результаты расчетов показали, что расчетное значение вероятности $p(\lambda)$ значительно меньше критического значения 0,01 по всем пластам для всех рассматриваемых вариантов, следовательно, исходное распределение расстояний R_1 существенно отличается от нормального.

Для уменьшения асимметрии и эксцесса функции плотности вероятности произведено преобразование расчетного массива путем логарифмирования вышеуказанных статистических рядов, содержащих значения R_1 .

В табл. 1 представлены результаты проверки преобразованного массива на соответствие нормальному закону распределения по критерию Колмогорова.

Необходимые для расчета значения D_{\max} получены при помощи ИФР, которые были построены для преобразованных рядов.

Анализ результатов табл. 1 показывает, что расчетное значение вероятности $p(\lambda)$ существенно больше критического значения 0,01 для всех рассмотренных вариантов. Следовательно, преобразованное распределение расстояния R_1 хорошо согласуется с нормальным теоретическим распределением.

В табл. 2 даны оценки основных параметров распределения расстояния R_1 , которые были получены в результате операции потенцирования основных параметров преобразованного ранее массива.

Из анализа табл. 2 следует, что для пластов АБ и КрII средние значения расстояния R_1 , обеспечивающего 10% отклонения определения предела прочности при сжатии, отличаются друг от друга ($\Delta = 96,36 \text{ м}$). Вместе с тем, ограничения, вводимые на расстояния между скважинами (L), не приводят к существенному изменению величины расстояния R_1 . Для пласта КрII максимальная разность составляет 45,27 м, для АБ – 44,27 м. Среднее значение расстояния R_1 по пласту АБ стремится к 200 м, по пласту КрII – к 300 м.

Степень изменчивости полученных значений расстояния R_1 оценивалась при помощи коэффициента вариации K_v :

$$K_v = \frac{\sigma}{R_{1cp}} \cdot 100\%, \quad (6)$$

Таблица 1

Проверка на нормальность преобразованного распределения LnR_1

Пласт, ограничение L	n	D_{max}	λ	$p(\lambda)$
КрII, $L \leq 400.m$	108	0,057	0,6	0,864>0,010
АБ, $L \leq 400.m$	81	0,087	0,8	0,544>0,010
КрII, $L \leq 450.m$	170	0,054	0,7	0,711>0,010
АБ, $L \leq 450.m$	111	0,065	0,7	0,711>0,010
КрII, $L \leq 500.m$	199	0,060	0,8	0,544>0,010
АБ, $L \leq 500.m$	134	0,066	0,8	0,544>0,010

Таблица 2

Оценки основных параметров распределения величины R_1

Пласт, ограничение L	Количество наблюдений	Среднее значение, м	Min, м	Max, м	Стандартное отклонение м
КрII, $L \leq 400.m$	108	260,86	4,89	5302,85	3,30
АБ, $L \leq 400.m$	81	165,50	2,46	7608,34	3,30
КрII, $L \leq 450.m$	170	294,71	4,89	5302,85	3,23
АБ, $L \leq 450.m$	111	199,34	2,46	7608,34	3,32
КрII, $L \leq 500.m$	199	306,13	4,89	5302,85	3,23
АБ, $L \leq 500.m$	134	209,77	2,46	7608,34	3,35

где σ – среднее квадратическое отклонение, м; R_{1cp} – среднее значение расстояния R_1 , м.

Оценка надежности вычисления коэффициента вариации производилась путем проверки условия [5]:

$$3m_v < K_v, \quad (7)$$

где m_v – ошибка коэффициента вариации.

Ошибка коэффициента вариации вычислялась по формуле [5]:

$$m_v = \frac{K_v \cdot \sqrt{0,5 + (K_v/100)^2}}{\sqrt{n}}, \quad (8)$$

где n – количество наблюдений.

Анализ результатов расчетов (табл. 3) показывает, что условие (7) выполняется для всех анализируемых вариантов, поэтому полученные результаты можно считать вполне надежными, а количество данных, используемых для определения статистических средних, достаточным.

Таким образом, исходя из полученных оценок, рекомендуется принять

шаг механического опробования рабочих пластов КрII и АБ сильвинитового состава, равный 200 м.

В табл. 4 приведена оценка изменения предела прочности на одноосное сжатие для соляных пород рабочих пластов при регламентировании расстояния $R_1 = 200$ м. Результаты этих расчетов показывают, что при шаге опробования 200 м обеспечивается приемлемая достоверность оценки латеральной изменчивости прочностных свойств сильвинитовых пород. Для пласта КрII она варьирует в диапазоне 6,5-7,7%, для пласта АБ – 9,5-12,1%.

Для сравнения рассчитана относительная изменчивость предела прочности на сжатие при шаге опробования 400 м, рекомендуемом методикой [3].

При такой сетке достоверно фиксируется изменчивость свойств соляных пород на уровне 13,1-15,3% для пласта КрII и 19,1-24,2% для пласта АБ. Очевидно, что данные результаты не согласуются с требованиями действующих нормативных документов [2], поскольку не обеспечивают надежную оценку

Таблица 3

Оценка надежности коэффициента вариации

Пласт, ограничение L	n	m_v	$3m_v$	$K_v, \%$	Сравнение
КрШ, $L \leq 400 м$	108	0,09	0,3	1,3	$3m_v < K_v$
АБ, $L \leq 400 м$	81	0,16	0,5	2,0	$3m_v < K_v$
КрШ, $L \leq 450 м$	170	0,06	0,2	1,1	$3m_v < K_v$
АБ, $L \leq 450 м$	111	0,11	0,3	1,7	$3m_v < K_v$
КрШ, $L \leq 500 м$	199	0,06	0,2	1,1	$3m_v < K_v$
АБ, $L \leq 500 м$	134	0,10	0,3	1,6	$3m_v < K_v$

Таблица 4

Относительная изменчивость предела прочности на сжатие при шаге опробования $R_1 = 200 м$

Пласт, величина ограничения L	Количество наблюдений	Среднее значение $R_{1cp}, м$	Относительная изменчивость прочности при округлении R_1 до 200 м, %
КрШ, $L \leq 400 м$	108	260,86	7,7
АБ, $L \leq 400 м$	81	165,50	12,1
КрШ, $L \leq 450 м$	170	294,71	6,8
АБ, $L \leq 450 м$	111	199,34	10,0
КрШ, $L \leq 500 м$	199	306,13	6,5
АБ, $L \leq 500 м$	134	209,77	9,5

латеральной изменчивости прочностных свойств в пределах 10%.

Следовательно, для получения достоверных оценок распределения проч-

ностных свойств сильвинитовых пород по площади шахтных полей необходимо выполнять геологоразведочные работы на рабочих пластах по сетке 200x200 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барях А.А., Константинова С.А., Асанов В.А. Деформирование соляных пород. – Екатеринбург, УрО РАН, 1996. – 204 с.

2. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей (технологический регламент). – С.-П., ВНИИГ, 2004. – 88 с.

3. Методика системы отбора и испытания образцов соляных пород для получения

их механических характеристик (применительно к условиям Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей). – Пермь, ОАО «Галургия», 1998.

4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). – М., Наука, 1973. – 832 с.

5. Шлаков П.С., Попов В.Н. Статистическая обработка экспериментальных данных. – М., Издательство МГТУ, 2003. – 268 с. **ИАС**

Коротко об авторе

Аникин В.В. – ГИ УрО РАН, arc@mi-perm.uz