Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. LI, вып. 1, 1966 г.

УДК 622.838.53

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОПОРНЫХ ЦЕЛИКОВ ПРИ ПОДЗЕМНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ МОЩНЫХ СОЛЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

(в условиях Яр-Бишкадакского рассолопромысла)

В. С. Романов, А. А. Янишевский

Яр-Бишкадакский промысел, снабжающий рассолом ряд химических предприятий Башкирии, отрабатывает участок соляной залежи мощностью 200—700 *м*, при мощности вышележащих пород 400—500 *м*. Разработку ведут изолированными камерами, которые создаются выщелачиванием соли через скважины, пробуриваемые с поверхности. Принятая технология — ступенчатое выщелачивание — обеспечивает создание камер примерно цилиндрической формы диаметром 80—100 *м* и высотой к концу отработки, равной мощности соляной залежи (высота отдельных камер в настоящее время достигает 100—150 *м*).

Существующая схема рассолодобычи с размещением эксплуатационных скважин по вершинам квадрата 200 × 200 *м* характеризуется весьма низким извлечением полезного ископаемого — 10—12%. Незначительное использование запасов при ограниченных размерах участка залежи с допустимым содержанием вредных примесей вызывает необходимость изыскания схем разработки, обеспечивающих максимальное извлечение соли при безопасной и безаварийной работе промысла. В связи с этим нами исследовано методом фотоупругости распределение напряжений в камерных целиках при различных схемах размещения эксплуатационных камер и проведено сравнение этих схем по величинам возникающих в целиках напряжений.

В соответствии с рекомендациями ВНИИГалургии исследована разработка каменной соли: 1) изолированными камерами, размещенными или по вершинам квадратной сетки размером 200 × 200 *м*, или так же, но с дополнительной камерой в центре квадрата и, наконец, по треугольной (ромбической) сетке; 2) сдвоенными, вытянутыми в плане камерами, созданными подземным соединением эксплуатационных скважин. Исследования проведены на четырех объемных моделях, изготовленных из оптически активных материалов (эпоксидных смол) в масштабе 1 : 5000. Коэффициент центрифугирования (модели нагружали на центрифуге БКЦ-3), определяющий степень увеличения веса модели, был равен 210. Температурный режим нагрева и «замораживания» моделей в период нагружения осуществляли при постоянном числе оборотов (560 *об/мин*) центрифуги.

Изготовленные модели имели следующие оптико-механические характеристики:* модуль упругости 270 *кГ/см*^{2}; оптический коэффициент напряжения 2868 брюстера; цена полосы материала 0,156 *кГ/см*^{2}.

Оценка рассмотренных схем разработки проведена для условий: мощность налегающей толщи пород $H_0 = 400$ *м*; диаметр цилиндрической камеры $D = 80$ *м*; высота камеры на момент отработки $h = 500$ *м*.

Вес налегающей толщи пород мощностью H_0 при расстоянии L между осями камер моделировали равномерно распределенной пригрузкой интенсивностью q (рис. 1). Схемы расположения камер с указанием изученных сечений и действительных размеров камер и целиков показаны на рис. 2.

Напряженное состояние расшифровывали по вырезанным из «замороженных» моделей шлифам. Из каждой модели изготовляли по три поперечных шлифа соответственно глубинам от поверхности 500, 650 и 850 *м*. Напряжения разделяли методом графического интегрирования в прямоугольных координатах [Фрохт, 1948]. Так как характер распределения напряжений в изученных шлифах для каждой модели изменялся незначительно, то приведены эпюры лишь по средним шлифам (рис. 3).

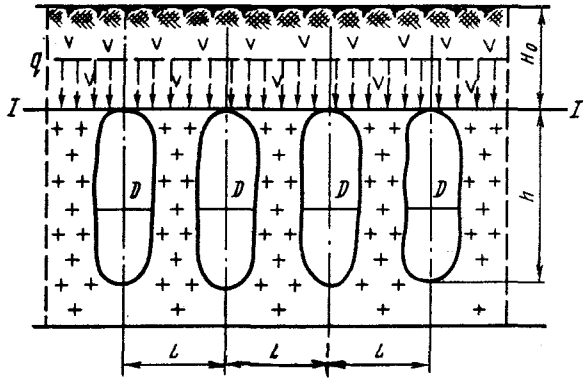


Рис. 1. Схема к определению компенсирующей нагрузки.

Проведенные исследования позволили установить следующее.

1. Распределение вертикальных нормальных напряжений в сечениях междукамерных целиков рассмотренных схем близко к равномерному. Средние значения напряжений σ_z, вычисленные для рассмотренных сечений целиков, отличаются не более, чем на 5—15%.

2. Распределение касательных напряжений τ_{max} в поперечных сечениях более неравномерно. Их средние значения различаются в 1,3—1,7 раза.

3. Напряженное состояние целиков минимальной ширины, равной наикратчайшему расстоянию между соседними камерами, можно оценивать по величине средних нормальных напряжений σ_z, поскольку средние значения касательных напряжений τ_{max} таких целиков близки между собой.**

Распределение нормальных напряжений σ_z в целиках минимальной ширины в рассмотренных вариантах определяется отношением диаметра камеры к ширине целика — аналогично известной плоской задаче о распределении напряжений в междукамерных целиках [Левина, Михлин, 1940; Левина, 1941]. Об этом свидетельствует и хорошая согласованность

---

* Оптико-механические характеристики определяли при температуре «замораживания» 120° С.

** Значения нормальных напряжений σ_y для изученных моделей достаточно малы в сравнении с соответствующими напряжениями σ_z при аналогичном характере их распределения.

экспериментально полученных значений коэффициента концентрации $K_{ц\sigma_z}$ напряжений σ_z с вычисленными по формуле

$$K_ц = \frac{D+a}{a}, \qquad (1)$$

где D — диаметр камеры;

a — минимальная ширина межкамерного целика;

$\frac{D+a}{a}$ — безразмерный параметр, учитывающий соотношение размеров камер и целиков.

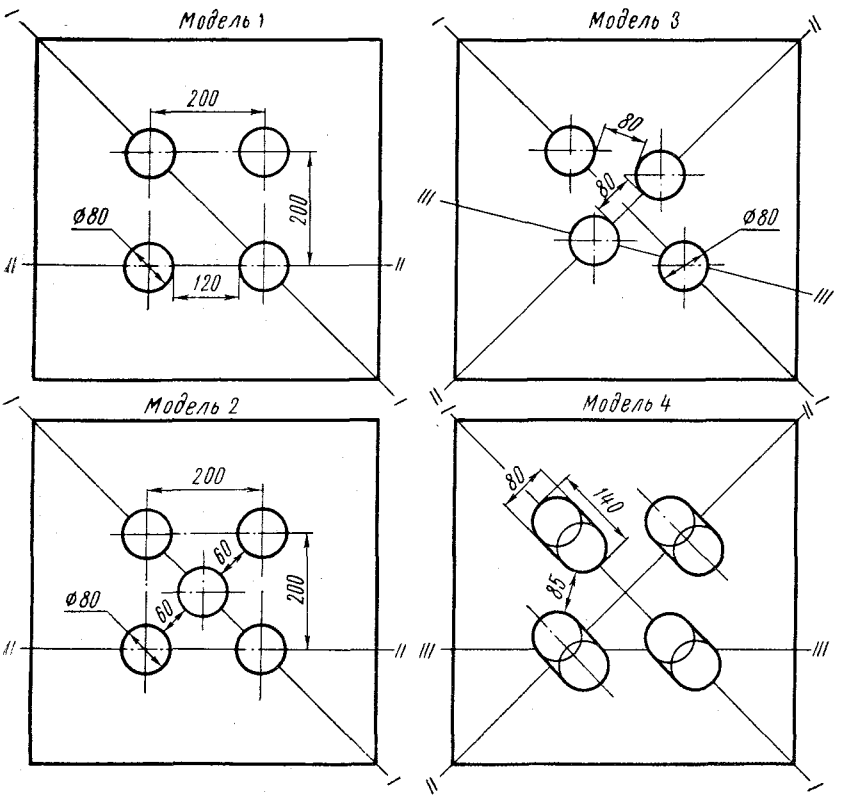


Рис. 2. Размещение камер на моделях из оптически активных материалов

I—I, II—II, III—III — сечения исследования распределения напряжений.

Как видно из табл. 1, разница между экспериментальными и вычисленными значениями $K_ц$ не превосходит 2—8%.

Таблица 1

Экспериментальные и вычисленные значения $K_ц$

Модель	Сечение	D, *м*	a, *м*	$\frac{D+a}{a}$	$K_{ц\sigma_z}$ (среднее по трем шлифам)
1	*II—II*	80	120	1,67	1,63
2	*I—I*	80	60	2,33	2,44
3	*I—I*	80	60	2,0	2,17
4	*III—III*	80	85	1,95	1,8

Поскольку распределение напряжений σ_z в поперечных сечениях целиков для рассмотренных вариантов близко к равномерному, безразмерный параметр $\frac{D+a}{a}$ в известной степени характеризует напряженное состояние, а следовательно, и несущую способность системы целиков в целом.

Результаты оптического моделирования проверены испытаниями пластин из парафина с отверстиями. Варианты расположения отверстий

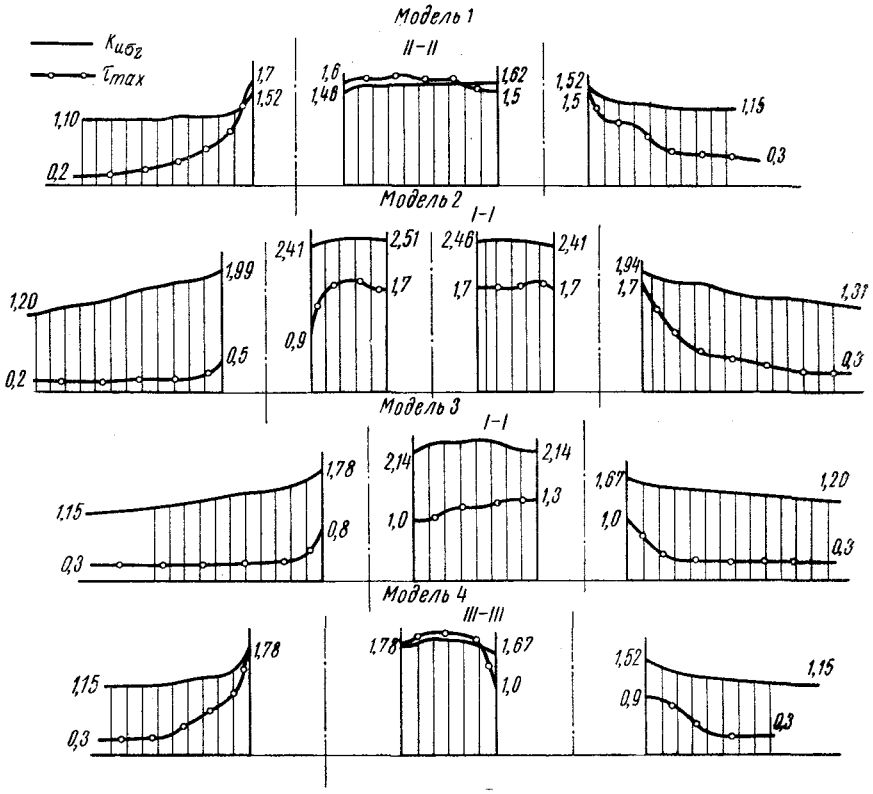


Рис. 3. Характер изменения касательных напряжений τ_{max} и коэффициента концентрации K_z в рассмотренных сечениях моделей.

(рис. 4) аналогичны схемам размещения камер, принятым при моделировании. Парафиновые пластины толщиной 56—60 *мм* и размерами в плане 250 × 300 *мм* помещали в металлическую жесткую матрицу, разборные стенки которой при затягивании болтов плотно прилегали к краям пластин.

Давление пресса (150-тонный пресс Амслера) через массивную плиту размерами, соответствующими внутренним размерам матрицы, передавалось на пластину. Нагрузку повышали плавно до разрушения пластин. В расчет принимали максимальное значение нагрузки.

По данным испытаний вычисляли разрушающие напряжения

$$\sigma_{p_i} = \frac{P_{max}}{S_{пл} - \sum_i S_{отв}}, \qquad (2)$$

где $S_{пл}$ — площадь пластины;

$\sum_i S_{отв}$ — суммарная площадь отверстий;

P_{max} — максимальная нагрузка.

Как следует из анализа табл. 2, несущая способность испытанных пластин достаточно характеризуется отношением $\frac{D+a}{a}$, вычисленным для каждого варианта, что подтверждает результаты оптического моделирования.

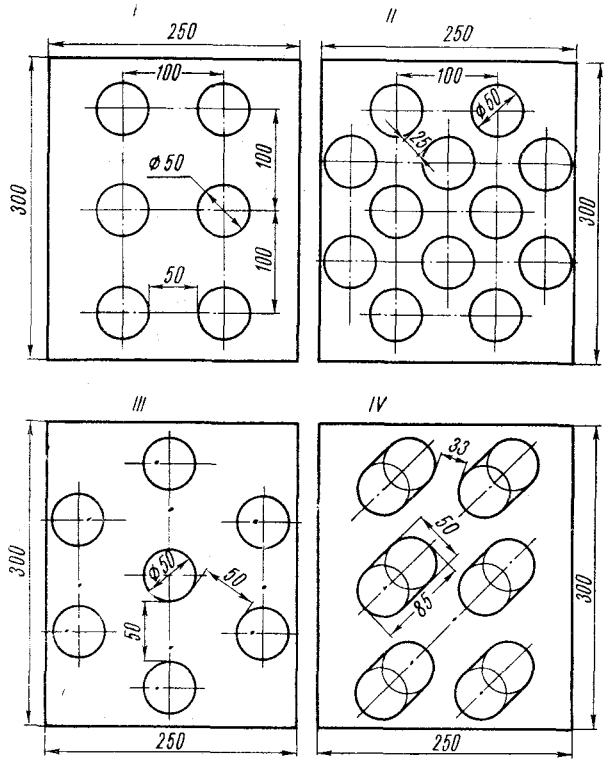


Рис. 4. Варианты (*I*—*IV*) размещения отверстий на парафиновых пластинах.

Сравним несущую способность парафиновых пластин по величине разрушающего напряжения и вычисленного параметра с показателями первого варианта:

Вариант	*I*	*II*	*III*	*IV*
$\sigma_{p_1} : \sigma_{p_i}$	1,0	1,42	1,1	1,28
$\left(\frac{D+a}{a}\right)_i : \left(\frac{D+a}{a}\right)_1$	1,0	1,5	1,0	1,26

Таблица 2

Результаты испытаний по четырем вариантам расположения отверстий

Вариант	Число пластин	$S_{пл}$, $см^2$	$\Sigma_i S_{отв}$ $см^2$	a, $см$	$P_{max_{ср}}$ $кг$	σ_{p_i}, $кГ/см^2$
I — отверстия по вершинам квадратной сетки	3	750	117	5,0	22 500	35,5
II — то же с дополнительными отверстиями в центрах квадратов	3	750	232	2,5	13 000	25,1
III — отверстия по треугольной сетке	3	750	136	5,0	19 600	32
IV — сдвоенные отверстия	3	750	198	3,3	15 300	27,7

Выводы

1. Несущую способность систем целиков, образующихся при различных схемах подземного выщелачивания соли, целесообразно сравнивать по величине безразмерного параметра $\frac{D+a}{a}$, вычисленного для целика минимальной ширины каждой сравниваемой системы.

2. Оценка рассмотренных схем разработки при диаметре камер 80 *м* и прочих равных условиях показала снижение несущей способности целиков примерно в 1,4 раза для схемы с дополнительной камерой в центре квадрата, в 1,2 раза — для схемы размещения камер по треугольной сетке и в 1,1—1,15 раза — для схемы со сдвоенными камерами по сравнению со схемой размещения камер в вершинах квадратов квадратной сетки.

3. Более предпочтительна схема выщелачивания со сдвоенными камерами, при которой помимо повышения извлечения примерно в 1,8 раза и незначительного снижения (на 10—15%) несущей способности целиков по сравнению с размещением камер в вершинах квадратов в 3—4 раза повышается производительность рассолодобычи, вследствие возможности подачи воды и выдачи рассола раздельно через различные скважины.

ЛИТЕРАТУРА

Левина Ц. О., Михлин С. Г. К вопросу о расчете напряжений в междукамерных целиках. Тр. Сейсмолог. ин-та АН СССР, № 94, 1940.

Левина Ц. О. Дополнительные исследования напряжений в междукамерных целиках. Тр. Сейсмолог. ин-та АН СССР, № 108, 1941.

Фрохт М. Фотоупругость. Т. 1. ОГИЗ, 1948.