УДК 622.831

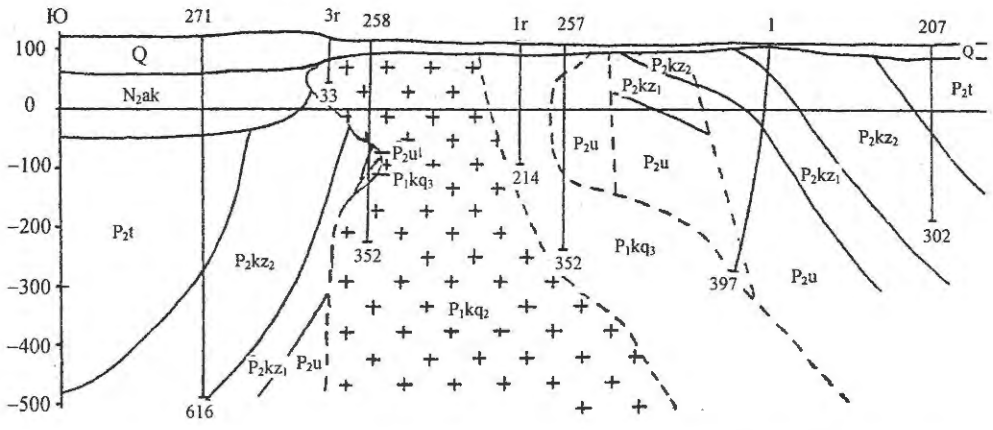
**О.В.КОВАЛЕВ**
*Горный факультет, профессор кафедры разработки месторождений подземным способом*
**С.П.МОЗЕР**
*Горный факультет, аспирант кафедры разработки месторождений подземным способом*

# ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ МАССИВА ПРИ РАСТВОРЕНИИ СОЛИ В ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ОТРАБОТКИ КУПОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Дана краткая характеристика Соль-Илецкого месторождения каменной соли и описаны основные технологические параметры его отработки. Выполнен анализ различных методик оценки устойчивости камер подземного растворения, который показал, что использование таких методик в специфических горно-геологических условиях при отработке купольных месторождений (подземным растворением) недостаточно адекватно отражает условия работы ответственных элементов массива горных пород. Оценка напряженно-деформированного состояния горных пород может быть выполнена с применением численных методов решения горно-геомеханических задач: методов граничных элементов, метода конечных элементов, метода конечных разностей – и для горно-геологических условий Соль-Илецкого месторождения. Численные решения (на базе перечисленных методов) достаточно объективно отражают напряженно-деформированное состояние соляного массива в окрестности камер растворения. Моделирование технологических параметров добычи каменной соли методом подземного растворения может быть проведено методом фиктивных нагрузок. Предварительные расчеты по указанной методике, проведенные для уже отработанных участков, дают достаточно высокую сходимость расчетных и наблюдаемых результатов. Описанный метод реализован в форме программы для ЭВМ и будет использован для дальнейших исследований.

Brief characteristic Sol-Ileck rock-salt deposit is adduced and its basic technological mining parameters also are described. The analysis of different techniques of an estimation of chambers stability of underground dissolution. The conducted analysis has shown, that usage of such techniques in specific geological conditions of mining of dome deposits (underground dissolution) is unsufficiently adequate mirrors the working conditions of accountable array cells of rocks. The estimation of stress state of rock mass can be executed with application of the numerical methods of the solution mining-geomechanics problems: methods of boundary members, finite element method, method of finite differences. The analysis of the indicated methods has shown expediency of application of such methods in geological conditions of mining of reserves Sol-Ileck deposit. The numerical solution (on the basis of listed methods) is objective enough mirror stress state of a salt mass in neighborhood dissolution chambers. The simulation of technological parameters of underground dissolution mining a rock-salt can be conducted by a method of dummy loads. The precomputations on the indicated technique conducted for already mining sites, give high enough convergence of computational and observed outcomes. The briefly described method realised in the computer program and will be used for further researches.

Соль-Илецкое месторождение каменной соли (см. рисунок) приурочено к Илецкой соляно-купольной структуре, а его разведанная часть к осложняющему купол соляному штоку. Соляной шток имеет размер 2 × 1,02 км на уровне его контакта с четвертичными отложениями и 2,15 × 0,9 км на глубине около 300 м. По геофизическим данным, размер соляного купола на глубине 1600 м 6 × 4 км, а мощность солей в структуре превышает 2,6 км.




Геологический разрез по линии IV – IV Соль-Илецкого месторождения. Масштаб 1:10 000

Запасы месторождения отрабатываются подземным способом камерной системой разработки с применением комбайнового способа и управлением состоянием массива горных пород с оставлением междукамерных (МКЦ) и междуэтажных (МЭЦ) целиков. На глубине 310 м (горизонт –215 м) высота камер 30 м, ширина камеры 29 м, ширина целика 26 м. Для обеспечения безопасного ведения работ с глубиной увеличиваются размеры оставляемых целиков соли. Если на горизонте –310 м отношение ширины междукамерного целика к ширине камеры составляет около единицы, то на горизонтах –575 м и –630 м оно возрастает почти вдвое, до 1,9. Растут и размеры панельных и междуэтажных целиков. Коэффициент извлечения соли снижается с 0,194 на горизонте –360 м до 0,125 на горизонте –575 м.

Исходя из прогнозируемой горно-геологической ситуации, предлагается смена применяемой на руднике № 2 технологии на отработку запасов методом подземного растворения солей (ПРС) через скважины с поверхности. Для применения технологии ПРС необходимы выбор и обоснование методов оценки устойчивых состояний элементов массива в окрестности камер растворения.

В этой связи выполнен анализ имеющихся подходов к оценке устойчивости камер подземного растворения на базе исследований М.Стаматиу, сотрудников ВНИИСоль, ВНИИПромгаза, ВНИИГа и других организаций.

Согласно методу Стаматиу, условие прочности целика рассчитывается по массе столба налегающих пород, а при соразмерных геометрических параметрах – по собственной массе целика с учетом давления рассола на потолочину камеры. В этом случае максимальная глубина разработки соли способом подземного растворения не должна превышать 1500 м, что, однако, не подтверждается практикой. Рассчитанные параметры систем разработки приводят к большим потерям полезного ископаемого, оставляемого в целиках [5].

Метод ВНИИСоль сводится к определению разрушающих напряжений на сжатие целика с учетом противодавления столба жидкости, исходя из условия предельного равновесия, и к расчету действующих на целик нагрузок. По отношению разрушающей нагрузки к допустимой вычисляется коэффициент запаса в целике. Численное значение коэффициента запаса прочности устанавливается по известным колебаниям входящих в расчет величин с помощью метода, основанного на использовании решений теорий упругости, пластичности и математической статистики. Расчет сводится к оценке вывалоустойчивости стенок камеры с учетом противодавления рассола и изменчивости прочностных характеристик каменной соли [1].

Метод ВНИИПромгаза основывается на расчете напряженного состояния вмещающих пород с использованием теории упругости. Полученные результаты сопоставля-

ются с практическими наблюдениями за полостью, долгое время эксплуатирующейся в аналогичных условиях. При близком совпадении прочностных свойств исследуемой полости и аналога можно обосновать допустимый размер полости. Предложенный метод, основанный на статистической теории хрупкого разрушения, обладает существенным недостатком – в выбор допустимых размеров полости вносится элемент случайности и субъективизма [2].

Методика Е.М.Шафаренко, основанная на исследованиях ВНИИПромгаза, базируется на математической модели упруговязкопластичной среды, учитывающей характерную для соляных пород возможность протекания процесса ползучести в одну и три стадии при сложном напряженном состоянии. Уравнения состояния каменной соли, принятые в работе, описывают кривые деформирования, включающие и запредельный участок. Область запредельного деформирования формируется в месте сопряжения потолочины и стенки выработки. Объем области запредельного деформирования выбран в качестве основного критерия устойчивости подземных полостей [6].

Метод В.С.Романова базируется на экспериментальных исследованиях и отличается от предыдущих более полным учетом влияющих факторов. Действующее на целик напряжение рассчитывается с учетом собственной массы целика, а также воспринимаемой им разности между весом вышележащих пород и давлением рассола, заполняющего камеру [4].

Анализ указанных методик показал, что применительно к специфическим горно-геологическим условиям отработки купольных месторождений подземным растворением они недостаточно адекватно отражают условия работы ответственных элементов массива горных пород и не могут быть использованы для выбора параметров междукамерных целиков, потолочин и других элементов соляного массива, поскольку полностью не отражают условия эксплуатации ответственных элементов массива в пространстве и времени.

В то же время оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) горных пород в окрестностях камер растворения в рассматриваемых специфических горно-геологических условиях достаточно объективно может быть выполнена с применением численных методов решения горно-геомеханических задач, в частности методов граничных элементов (МГЭ), метода конечных элементов (МКЭ), метода конечных разностей (МКР). Для конкретных горно-геологических условий отработки запасов Соль-Илецкого месторождения методом подземного растворения целесообразно использовать один из вариантов МГЭ – метод фиктивных нагрузок (МФН).

При решении задач этим методом [3] составляются уравнения вида

$$\sum_{j=1}^{N} A_{ss}^{ij} P_s^j + \sum_{j=1}^{N} A_{sn}^{ij} P_n^j = 0;$$

$$\sum_{j=1}^{N} A_{ns}^{ij} P_s^j + \sum_{j=1}^{N} A_{nn}^{ij} P_n^j = -(\gamma H); \; i = 1,..., N,$$

где $i$, $j$ – номера элементов контура исследуемой области; $P_s^j$ и $P_n^j$ – касательные и нормальные фиктивные нагрузки на $j$-м элементе соответственно; $A_{ss}^{ij},\ldots,A_{nn}^{ij}$ – граничные коэффициенты влияния для напряжений.

Решение указанных уравнений относительно $P_s^j$ и $P_n^j$ позволяет выразить напряжения и перемещения (параметры НДС исследуемой области) в произвольной точке тела через линейные комбинации фиктивных нагрузок для $j = 1,..., N$.

Данным методом могут быть решены и задачи для неоднородного тела (массива).

Для неоднородной среды со смешанными граничными условиями (в напряжениях и перемещениях) задача сводится к решению системы $2N$ алгебраических уравнений с $2N$ неизвестными компонентами фиктивных нагрузок, имеющей вид [3]:

$$\sum_{j=1}^{N} C_{ss}^{ij} P_s^j + \sum_{j=1}^{N} C_{sn}^{ij} P_n^j = b_s^i;$$

$$\sum_{j=1}^{N} C_{ns}^{ij} P_s^j + \sum_{j=1}^{N} C_{nn}^{ij} P_n^j = b_s^i;$$

$$i = 1,..., N,$$

где $b_s^i$ и $b_n^i$ – известные граничные значения компонентов усилий $(\sigma_s^i)_0$ и $(\sigma_n^i)_0$ или перемещений $(u_s^i)_0$ и $(u_n^i)_0$; $C_{ss}^{ij}$, $C_{sn}^{ij}$ ... – надлежащие коэффициенты влияния ($A_{ss}^{ij},...,$ $A_{nn}^{ij}$ или $B_{ss}^{ij},...,B_{nn}^{ij}$), зависящие от заданных граничных условий (в напряжениях или перемещениях).

При рассмотрении неоднородного массива необходимо задавать граничные условия не только на свободных элементах контуров, но и на элементах, принадлежащих зоне контакта подобластей с разными деформационными свойствами. В этом случае при решении задачи каждый элемент на контакте необходимо рассматривать как два элемента, сопряженных, но принадлежащих двум контурам.

Предварительные расчеты по указанной методике, проведенные для уже отработанных участков, дают достаточно высокую сходимость расчетных и наблюдаемых результатов. Описанный метод реализован в форме программы для ЭВМ и будет использован для дальнейших исследований. Полученные результаты позволяют полагать целесообразным применение расчетных методик для вновь проектируемых участков, в том числе и при проектировании новой технологии добычи каменной соли растворением через скважины с поверхности.

**ЛИТЕРАТУРА**


1. *Долгих М.А.* Оценка прочности камер выщелачивания в отложениях каменной соли / М.А.Долгих, В.В.Матвиенко, Н.С.Хачатурян; ВНИИСоль. М., 1962.

2. *Кислер Л.Н.* Об оценке прочности емкостей различной формы в соляных отложениях / Л.Н.Кислер, Н.М.Крюкова, В.А.Мазуров; ВНИИПромгаз. М., 1971.

3. *Крауч С.* Методы граничных элементов в механике твердого тела / С. Крауч, А. Старфилд. М.: Мир, 1987.

4. *Пермяков Р.С.* Технология добычи солей / Р.С.Пермяков, В.С.Романов, М.П.Бельды. М.: Недра, 1981.

5. *Стаматиу М.* Расчет целиков на соляных рудниках. М.: Госгортехиздат, 1963.

6. *Шафаренко Е.М.* Длительная устойчивость подземных горных выработок в отложениях каменной соли: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск, 1985.