

7. Асанов В.А., Барях А.А., Дудырев И.Н., Паньков И.Л. Взаимодействие слоев в соляном массиве: сообщ. I. Механические свойства контактов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1992. – № 2. – С. 48-52.
8. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.: ил.
9. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
10. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.: ил.

УДК 622.831

DOI:10.7242/echo.2021.4.9

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ НАГРУЖЕНИЯ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

И.С. Ломакин

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация. На основе анализа изменения напряженно-деформированного состояния очистных выработок методами математического моделирования выполнена оценка степени нагружения целиков сложной формы. Численная реализация осуществлялась в упругой постановке для условий плоского деформированного состояния методом конечных элементов.

Ключевые слова: степень нагружения, междукамерные целики, напряженно-деформированное состояние, математическое моделирование.

На Верхнекамском месторождении солей (ВКМС) добыча полезного ископаемого ведется камерной системой разработки с поддержанием налегающей толщи на ленточных междукамерных целиках (МКЦ). Расчет степени нагружения МКЦ (C) основан на методике Турнера-Шевякова и регламентирован в нормативной документации [1], разработанной для условий ВКМС:

$$C = \xi \gamma H_0 \frac{a+b}{bk_f \sigma_m} \leq [C], \quad (1)$$

где ξ – коэффициент, учитывающий изменение нагрузки на целики вследствие влияния различных горнотехнических факторов (пригрузка от солеотвалов, опорное давление, наличие межходовых целиков и др.); γ – объемный вес пород; H_0 – максимальное значение расстояния от земной поверхности до кровли целиков; a – ширина очистных камер; b – ширина междукамерных целиков; k_f – коэффициент формы целиков; σ_m – прочность пород в массиве; C и $[C]$ – соответственно, расчетная и допустимая степень нагружения целика.

При добыче руды на нескольких продуктивных пластах формирование очистных камер ведется соосно. В таком случае межосевое расстояние L , представляющее собой сумму ширины камеры (a) и ширины целика (b), будет одинаковым на каждом рабочем пласте. Расчет степени нагружения междукамерных целиков, согласно [1], выполняется независимо для каждого пласта по формуле (1). Соосное расположение выработок позволяет провести вычисление степени нагружения МКЦ по тем же принципам даже в случае формирования объединенного камерного блока.

Однако иногда возникают ситуации, когда межосевое расстояние L верхнего и нижнего рабочего пласта различны. Например, $L_{\text{нижн.пласт}} = 2L_{\text{верхн.пласт}}$. Параметры такой системы разработки представлены в таблице 1. Там же указана степень нагружения

междукамерных целиков, рассчитанная для каждого продуктивного пласта в соответствии с нормативным документом [1]. При этом оценить степень нагружения МКЦ объединенного камерного блока по формуле (1) не представляется возможным, поскольку в такой периодической системе целики имеют сложную геометрическую форму, отличную от канонической.

Целью представленных исследований являлась оценка степени нагружения междукамерных целиков на основе результатов математического моделирования изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) камерного блока.

В работе [2] на основе анализа многовариантных вычислительных экспериментов была определена взаимосвязь между степенью нагружения целиков, вычисленной согласно нормативному документу [1] и величиной интенсивности касательных напряжений в центре целика нормированной на предел прочности пород:

$$C = f(K^*) = 1.05 \cdot K^* - 0.1, \quad (2)$$

где $K^* = K|_{\text{центр целика}} = \sigma_i / \sigma_{сж}$, $\sigma_i = \sqrt{I_2(D\sigma)}$ – интенсивность касательных напряжений, определяемая величиной второго инварианта девиатора напряжений, $\sigma_{сж}$ – предел прочности пород при сжатии.

Таблица 1

Параметры системы разработки

Пласт	Ширина камеры a , м	Ширина МКЦ b , м	Межосевое расстояние $L=a+b$, м	Вынимаемая мощность m_0 , м	Глубина H , м	C	$[C]$
Верхний	4.4	8.5	12.9	2.68	264	0.148	0.35
Нижний	5.5	20.3	25.8	5.06	270	0.103	0.35

Расчеты изменения НДС камерного блока выполнялись для нескольких вариантов выработанного пространства: для случаев отработки только одного продуктивного сильвинитового пласта и в случае их совместной отработки с учетом формирования объединенного камерного блока. Задача решалась в упругой постановке для условий плоского деформированного состояния методом конечных элементов [3, 4]. Начальное напряженное состояние нетронутого массива принималось гидростатическим.

Принципиальная схема расчета для всех вариантов вычислительных экспериментов представлена на рис. 1. В ней учтены основные особенности геологического строения подработанного массива, параметры камерной системы разработки, действие массовых сил интенсивностью γ_i (γ_i – удельный вес пород i -го элемента геологического разреза).

Распределение параметра K для всех вариантов расчетов представлено на рис. 2. Значения K^* , определенные в центре целика и соответствующей им степени нагружения, вычисленной по формуле (2), представлены в таблице 2. Здесь же для удобства приведены степени нагружения МКЦ, рассчитанные согласно нормативному документу [1].

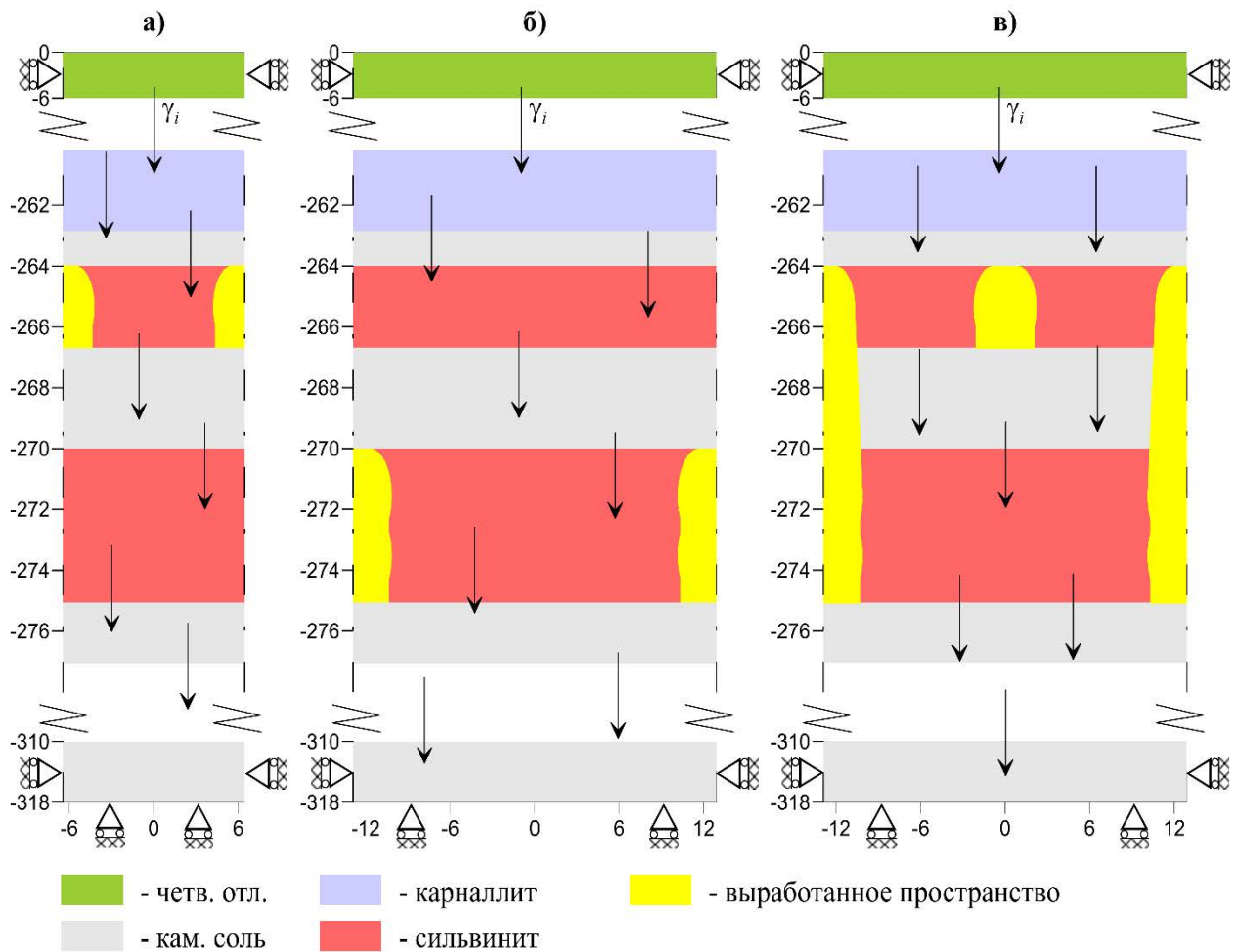


Рис. 1. Принципиальная схема расчета: а) при отработке верхнего сильвинитового пласта; б) при отработке нижнего сильвинитового пласта; в) при двухпластовой отработке с учетом формирования объединенного камерного блока

Из представленных результатов видно, что для первых двух вариантов расчетов степени нагружения МКЦ, определенные обоими способами, практически полностью совпадают. В случае двухпластовой отработки и формирования обобщенного камерного блока с целиком сложной формы величина степени их нагружения не превышает 0.3 и остается меньше допустимого значения $[C] = 0.35$.

Таблица 2

Результаты вычислений

Пласт	Параметр K^*	Степень нагружения $C = f(K^*)$	Степень нагружения C согласно нормативному документу [1]
Верхний	0.236	0.148	0.148
Нижний	0.192	0.102	0.103
Верхний+ нижний	0.376	0.295	—

Таким образом, методами математического моделирования выполнена оценка степени нагружения целика сложной формы, сформированного в случае совместной отработки двух сильвинитовых пластов с различным межосевым расстоянием с учетом образования объединенного камерного блока. Расчеты показали, что при принятых параметрах системы разработки степень нагружения МКЦ остается в пределах допустимых значений.

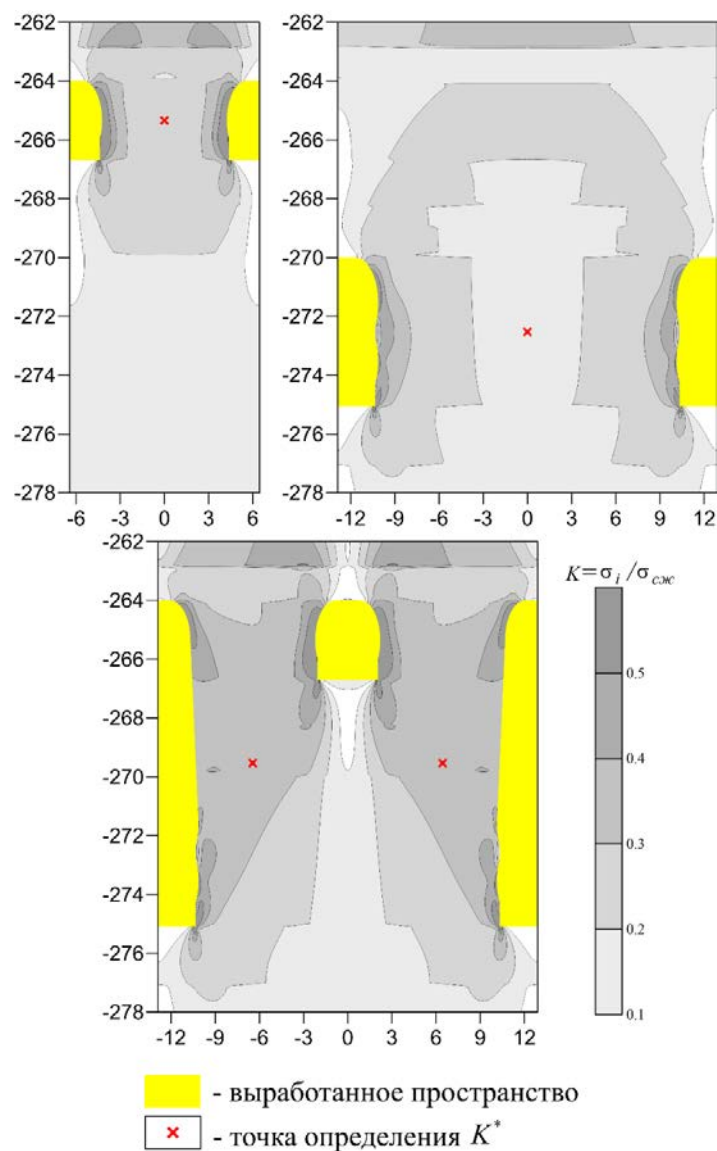


Рис. 2. Распределение параметра K

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей: утв. ПАО «Уралкалий», ЗАО «Верхнекамская калийная компания», ООО «ЕвроХим-Усольский Калийный комбинат». – введ. в действие 30.03.2017 в ред. 2014 г. – Пермь; Березники, 2014. – 130 с.
2. Барях А.А. К расчету устойчивости целиков при камерной системе разработки / А.А. Барях, Н.А. Самodelкина // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2007. – № 1. – С. 11-20.
3. Zienkiewicz O.C. The finite element method in engineering science. – London; New York: McGraw-Hill, 1971. – 521 p.
4. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.: ил.