

УДК 622.831.31

И.Б. Ваулина

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СОЛЕНОСНОГО ПОРОДНОГО МАССИВА ВОКРУГ ОДИНОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ НА СТРОЯЩЕМСЯ КАЛИЙНОМ РУДНИКЕ

Приведено численное решение задачи о напряженно-деформированном состоянии вокруг одиночной выработки и ее устойчивости в соленосном массиве. Параметры ползучести соленосных пород рассчитываются по предлагаемой методике. Ключевые слова: горные выработки, сильвинитовый пласт, зона разрушения, породного контура выработки.

Для оценки устойчивости подземных сооружений в соляных и соленосных породах методами математического моделирования необходимы сведения о параметрах ползучести приконтурных пород, которые определяют по результатам испытаний породных образцов на ползучесть или по данным натурных замеров перемещений точек породного контура горной выработки [1]. Для практически невоскресных месторождений эти данные отсутствуют.

В этой связи в качестве «экспериментальных» данных по деформированию породного контура выработки была использована кривая, рекомендованная в СНиП [2].

Перемещения породного контура выработки определяются по формуле

$$U = 500\varepsilon_0 b (1 + 0,07t) k_b, \quad (1)$$

где ε_0 — относительные деформации пород за первый год службы выработки, определяемые по графику, который приведен в [2], в зависимости от отношения H/R_c (H — глубина заложения выработки, R_c — расчетная прочность пород); b — ширина выработки в проходке, м, t — срок службы выработки, лет, k_b — коэффициент

влияния близрасположенных выработок, принимаемый для одиночных выработок и камер равным 1,0.

Кривую ползучести приконтурных пород описывали интегральным уравнением Вольтерра II рода

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \frac{1}{E} \int_0^t K(t-\tau)\sigma(\tau)d\tau, \quad (2)$$

с ядром Абеля

$$K(t, \tau) = \delta(t-\tau)^{-\alpha}, \quad (3)$$

где $\sigma(t)$ и $\varepsilon(t)$ — напряжение и деформация в момент наблюдения t при одноосном напряженном состоянии; τ — время, предшествующее моменту наблюдения; E — модуль упругости; δ (время α^{-1}), α ($0 < \alpha < 1$) — параметры ползучести.

Рассматривали следующие данные: $H = 1181$ м; $b = 6,0$ м; $k_b = 1,0$.

Значение R_c определяли как средневзвешенное с учетом всех слоев мощностью более 0,5 м, залегающих в кровле выработки на расстоянии $h_3 = 0,7 b = 4,2$ м от породного контура выработки, используя данные института «Белгорхимпром» для участка первоочередной отработки лицензионных запасов: $R_c = 44,5$ МПа.

Таблица 1

Параметр ползучести δ в зависимости от времени нагружения

Параметр ползучести	Временной интервал, год					
	от 0 до 5	от 5 до 10	от 10 до 15	от 15 до 20	от 20 до 25	от 25 до 30
δ , час ^{-0,4}	0,0031	0,0041	0,0042	0,0048	0,0054	0,0059

Таблица 2

Среднее значение параметра δ

Параметр ползучести	Временной интервал, год					
	до 5	до 10	до 15	до 20	до 25	до 30
δ , час ^{-0,4}	0,0031	0,0036	0,0038	0,0041	0,0043	0,0046

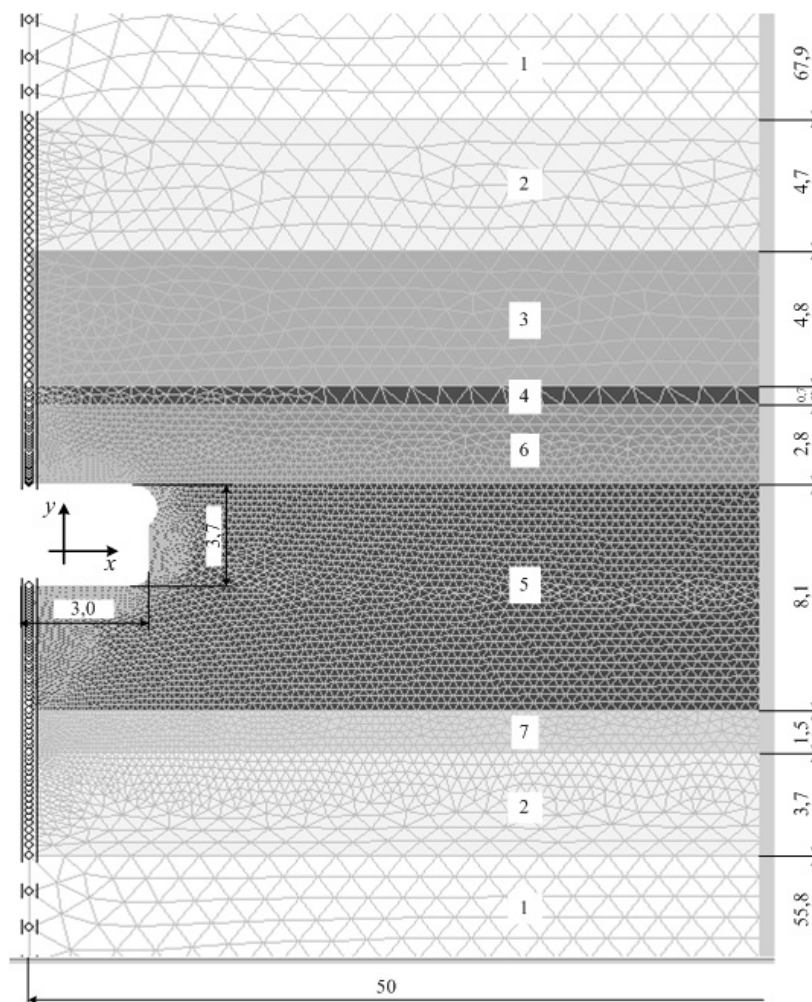


Рис. 1. Породные слои в окрестности выработки и их размеры (в метрах):

1 — буферный слой; 2 — каменная соль; 3 — ангидрит-галитовая порода; 4 — ангидрит; 5 — сильвинит; 6 — каменная соль; 7 — сильвинит

Таблица 3

Физико-механические показатели пород

зоны в схеме	Порода	$\sigma_{сж}$, МПа	E , ГПа	$E_{деф}$, ГПа	μ	ϕ , градус	γ , г/см ³	c , МПа
2	Соль каменная	36,9	1,63	1,30	0,24	42	2,12	8,27
3	Ангидрит-галитовая порода	38,34	3,84	3,02	0,26	42	2,3	8,59
4	Ангидрит	79,2	6,50	5,23	0,16	42	2,7	17,74
6	Соль каменная	27,1	1,18	0,8	0,34	42	2,02	6,07
5	Сильвинит	24,7	1,14	0,56	0,27	42	2,06	5,53
7	Сильвинит	25,7	1,32	0,82	0,27	42	2,02	5,76
1	Буферный слой	123,0	1,3	-	0,3	35	2,12	32,0

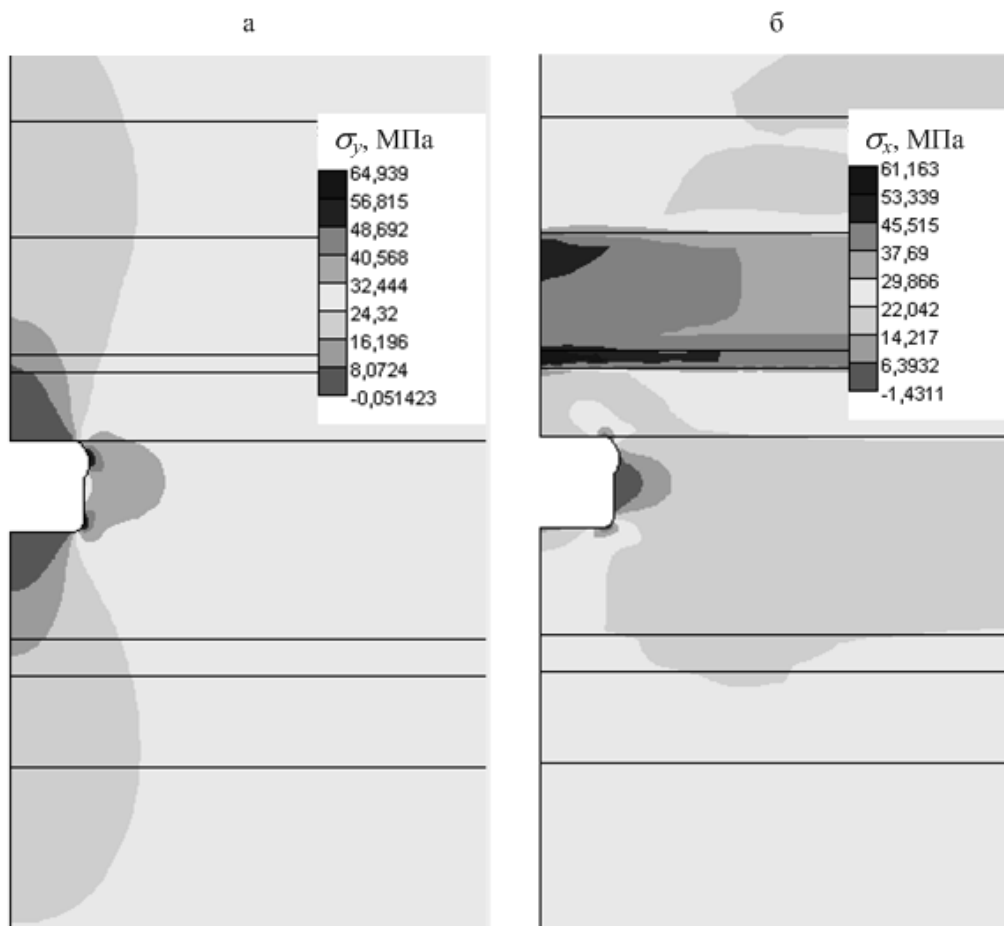


Рис. 2. Распределение вертикальных σ_y (а) и горизонтальных σ_x (б) напряжений вокруг горной выработки при расположении ее в верхней части сильвинитового пласта

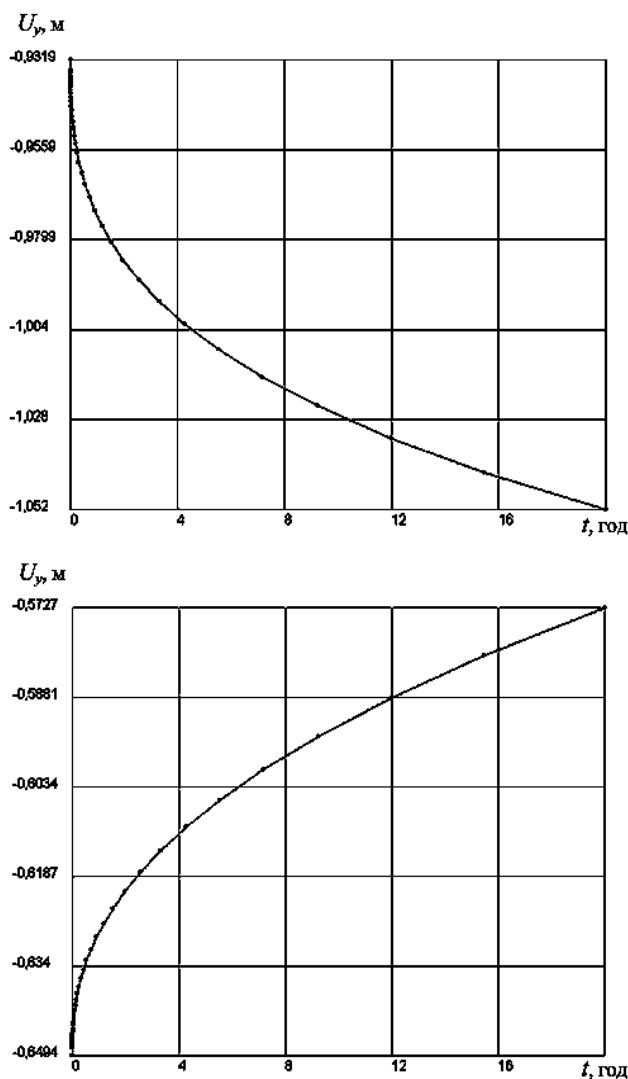


Рис. 3. Зависимость вертикальных перемещений породного контура выработки в ее центре от времени: а — кровля, б — почва; выработка расположена в верхней части сильвинитового пласта

Тогда $H / R_c = 26,5$ и согласно [2] $\varepsilon_0 = 0,02$.

Согласно зависимости (1) можно построить график $U = U(t)$ в виде прямой линии и принять его в качестве «экспериментальных» данных по деформированию породного контура одиночной выработки.

Далее по этому графику подбирали параметры ядра ползучести по методике, изложенной в [1].

Безразмерный параметр α принимали равным 0,6. Размерный параметр δ подбирали для шести временных интервалов. Результаты приведены в табл. 1.

Численный эксперимент показал, что размерный параметр ползучести δ зависит от характерного времени, в течение которого рассматриваются процессы ползучести. В табл. 2 представлены средние значения параметра δ для различных временных интервалов.

Оценку напряженно-деформированного состояния и устойчивости одиночных выработок проводили с помощью пакета прикладных программ Earth-2D.1 [3], прошедших регистрацию в отраслевом фонде алгоритмов и программ.

Рассматривали вязкоупругую задачу о плоскодеформированном состоянии одиночной выработки в сильвинитовом пласте. Выработка пройдена комбайном «Урал-20Р» (площадь сечения $S = 20,2 \text{ м}^2$; $b = 6,0 \text{ м}$; высоту $h = 3,7 \text{ м}$).

Расчетная схема задачи традиционна. Граничные условия: на левой вертикальной границе — отсутствие горизонтальных перемещений; на горизонтальной нижней границе — отсутствие вертикальных перемещений; на гори-

зонтальной верхней и вертикальной правой границах задана распределенная поверхностная нагрузка $\mathcal{H} = 0,022 \text{ МН/м}^3 \cdot 1100,1 \text{ м} = 24,2 \text{ МПа}$.

На рис. 1 представлена конечно-элементная область в районе выработки.

Физико-механические показатели пород приведены в таблице 3. Геомеханические расчеты проводили на временном интервале от 0 до 20 лет, поэтому значения обобщенных параметров ползучести каменной соли и сильвинита полагали: $\alpha = 0,6$, $\delta = 0,0041 \text{ час}^{-0,4}$.

Некоторые результаты МКЭ-расчетов приведены на рис. 2 и 3.

Проведенные геомеханические расчеты позволили сделать следующие выводы:

- горизонтальные напряжения концентрируются в боковых частях выработки и в жестком ангидритовом прослойке;
- средняя скорость вертикальных перемещений породного контура выработки в ее кровле составляет 1 см/год;
- зоны потери породой несущей способности по критерию Шлейхера-Мизеса (зоны разрушения) расположены в боковых частях выработки;

При расположении горной выработки в нижней части сильвинитового пласта ее устойчивость снижается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барях А.А. Деформирование соляных пород / А.А. Барях, С.А. Константинова, В.А. Асанов. — Екатеринбург: УрО РАН, 1996.

2. СНИП II-94-80. Подземные горные выработки / Госстрой СССР. — М.: Стройиздат, 1982.

3. Программа для решения плоских задач теории упругости, пластичности и вяз-

коупругости методом конечных элементов (Earth — 2D.1) / Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 11307. Федеральное агентство по образованию — отраслевой фонд алгоритмов и программ. Дата регистрации: 15 августа 2008 г. Разработчики: Гилев М.В., Константинова С.А., Чернопазов С.А., Чернопазов Д.С. **ГИАЭ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Ваулина И.Б. — младший научный сотрудник лаборатории Геодинамической безопасности, ОАО «Галургия», vaulinka@mail.ru.



ДИССЕРТАЦИИ ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)			
БОЧЕНКОВ Дмитрий Александрович	Энергосберегающее регулирование режима работы главных водотливных установок шахт и рудников средствами электропривода	05.09.03	к.т.н