

УДК 622.261; 622.831

**Чан Туан Минь****ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТА  
РАСПОЛОЖЕНИЯ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ЗАБОЯ  
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ  
ВЫРАБОТОК БОЛЬШОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ**

*Строительство подземных сооружений большого поперечного сечения является важной задачей во многих странах мира, в том числе и во Вьетнаме. При строительстве выработки большого поперечного сечения обычно применяют поэтапную схему раскрытия забоя. Однако исследования влияния места расположения опережающего забоя в сечении проектного тоннеля не достаточны. В статье сделана попытка определения оптимального места расположения опережающего забоя с использованием численных методов расчета.*

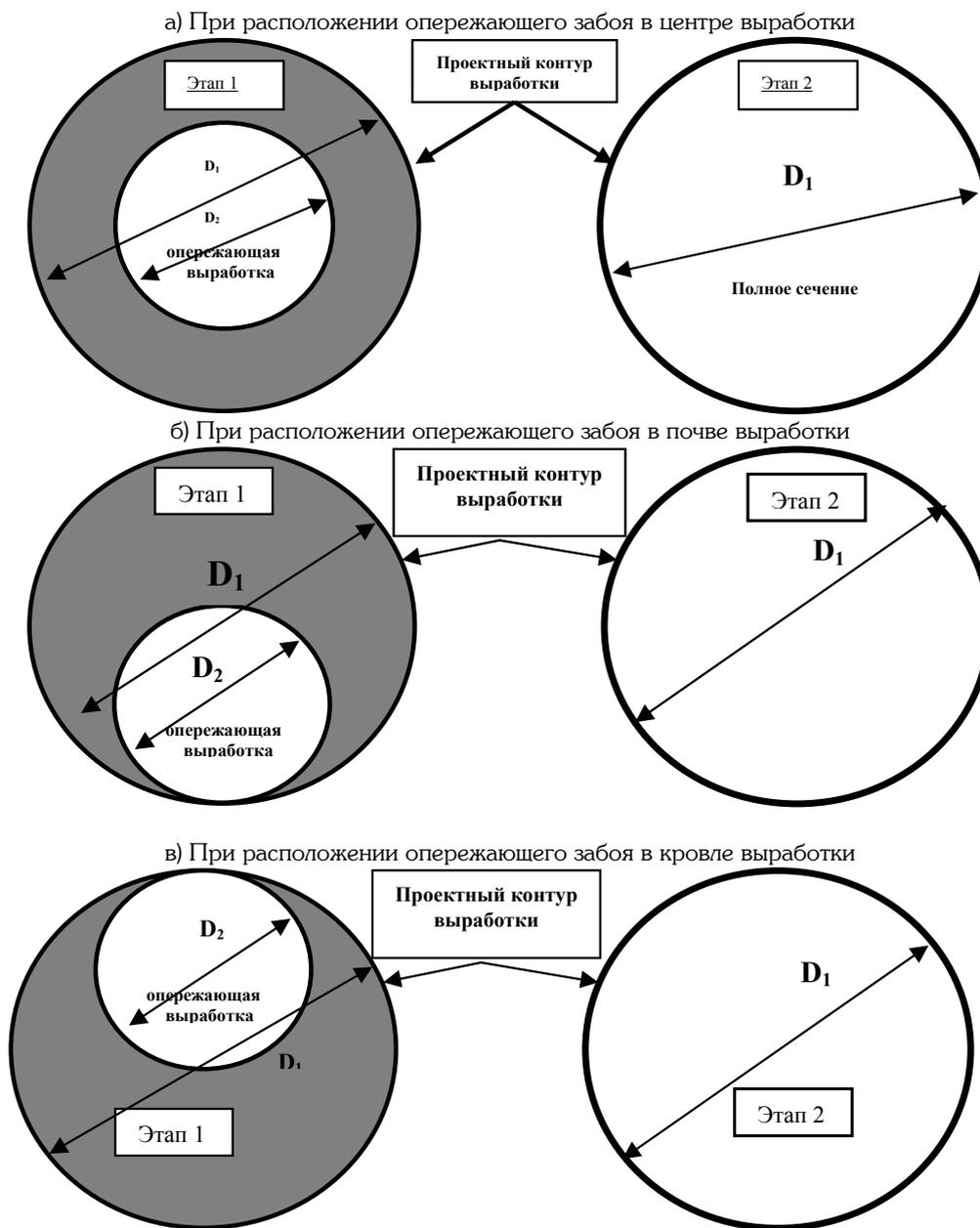
*Ключевые слова: напряжение, деформация, выработка большого сечения, геомеханика, Phase 2.*

**В** последние годы в практике подземного строительства выработок большого поперечного сечения, как правило, применяют поэтапные схемы раскрытия, что позволяет повысить скорости проходки и увеличить устойчивость породного массива вокруг выработки. Наиболее целесообразно применять эти схемы при строительстве выработок большого сечения в мягких породах. Однако выбор соответствующей схемы раскрытия забоя является сложной задачей [1, 3, 4] прежде всего потому, что надо определить число забоев и соответственно их площадь для конкретных горно-геологических условий. Как известно, схема раскрытия забоя в определяющей степени влияет на напряженно-деформированное состояние пород окружающего массива и, в конечном счете, на конструкцию крепи [5, 6, 7]. В настоящее время, с развитием компьютерных технологий, для решения этих задач нашли широкое применение численные методы. Эта статья посвящена выбору

оптимального места расположения опережающего забоя при строительстве выработок большого сечения методом конечных элементов с использованием программы Phase 2.

Для решения такой задачи были приняты следующие исходные данные. Глубина заложения выработки — 50 м, диаметр проектной выработки — 5 м, размер опережающего забоя изменялся. Схема расположения опережающего забоя в проектном сечении представлена на рис. 1 и 2.

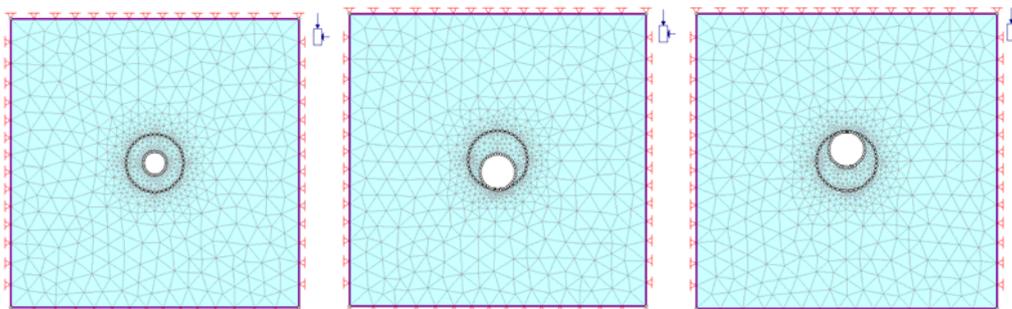
Объемный вес  $\gamma = 0,026 \text{ МН/м}^3$ ; прочность на растяжение  $\sigma_{\text{рас}} = 0,01 \text{ МПа}$ ; сила сцепления  $c = 0,05 \text{ МПа}$ ; угол внутреннего трения  $\varphi = 35^\circ$ ; модуль упругости  $E = 1200 \text{ МПа}$ ; коэффициент Пуассона  $\mu = 0,25$ ; угол расширения  $\psi = 0^\circ$ ; угол избыточного внутреннего трения  $\varphi_{\text{ге}} = 36^\circ$ ; избыточное сцепление  $c_{\text{ге}} = 0,5 \text{ МПа}$ ; диаметр выработки  $D_1 = 5 \text{ м}$ ;  $D_2$  — Диаметр опережающего забоя — менялся; коэффициент начального напряжения (горизонтальный/вертикальный)  $K = \sigma_3/\sigma_1 = 0,5$ ;



**Рис. 1. Схемы расположения опережающего забоя в сечении проектной выработки**

глубина заложения выработки  $H = 50$  м; свойства пород — пластичные.

Результаты расчетов с использованием МКЭ приведены в рис. 3 и таб. 1, 2, 3.



**Рис. 2. Расчетная модель**

Таблица 1

**Значения напряженно-деформированного состояния пород при расположении опережающего забоя в центре**

№	$D_2$ , м	Вертикальное напряжение в кровле, МПа	Горизонтальное напряжение в кровле, МПа	Деформация в кровле, м
1	1,0	0,71	0,04	0,00380
2	2,0	0,71	0,07	0,00380
3	3,0	0,71	0,04	0,00360
4	4,0	0,75	0,00	0,00340
5	5,0	0,71	0,04	0,00380

где  $D_2$  — диаметр опережающего забоя.

Таблица 2

**Значения напряженно-деформированного состояния пород при расположении опережающего в почве**

№	$D_2$ , м	Вертикальное напряжение в кровле, МПа	Горизонтальное напряжение в кровле, МПа	Деформация в кровле, м
1	1,0	0,71	0,04	0,0038
2	2,0	0,70	0,06	0,0038
3	3,0	0,67	0,06	0,0036
4	4,0	0,68	0,04	0,0036
5	5,0	0,71	0,04	0,0038

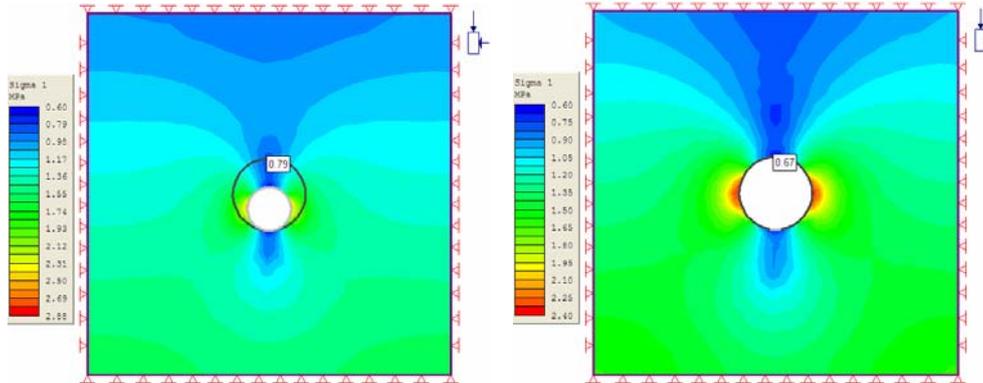
Таблица 3

**Значения напряженно-деформированного состояния пород при расположении опережающего в кровле**

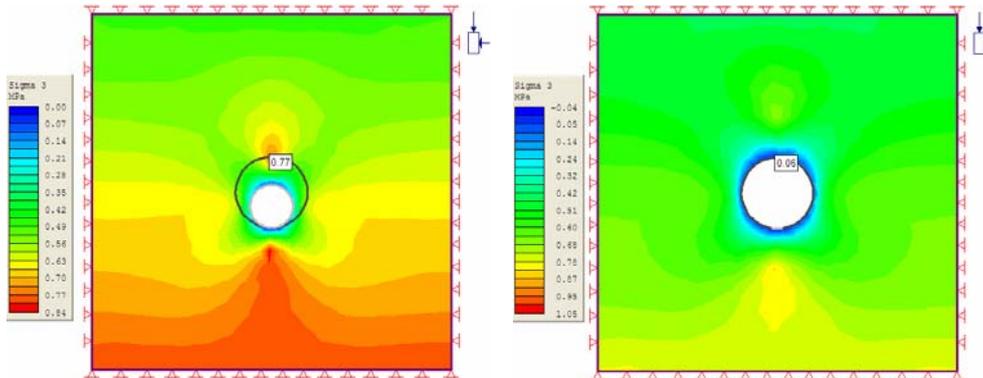
№	$D_2$ , м	Вертикальное напряжение в кровле, МПа	Горизонтальное напряжение в кровле, МПа	Деформация в кровле, м
1	1,0	0,79	0,01	0,0036
2	2,0	0,71	0,04	0,0036
3	3,0	0,75	0,04	0,0036
4	4,0	0,75	0,04	0,0036
5	5,0	0,71	0,04	0,0038

где  $D_2$  — диаметр опережающего забоя.

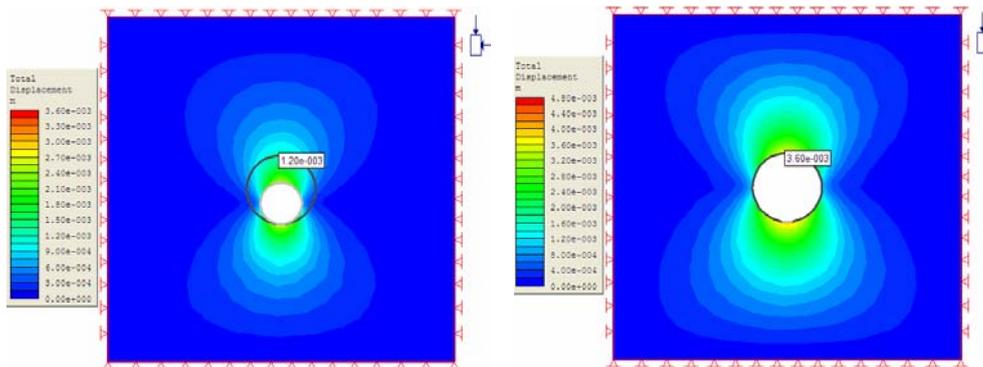
а) Распределение вертикального напряжения в своде выработки



б) Распределение горизонтального напряжения в своде выработки

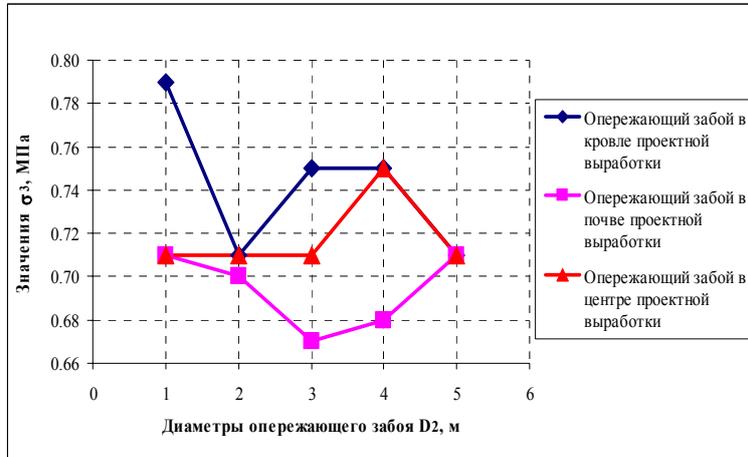


в) Распределение суммарной деформации в своде выработки

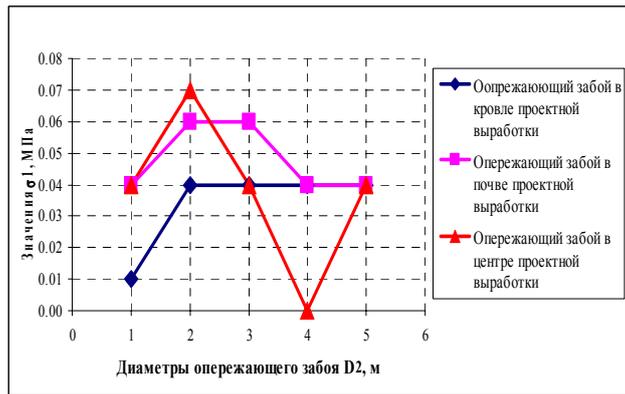


**Рис. 3. Поля напряжений и деформаций вокруг проектной выработки при расположении опережающего забоя в почве**

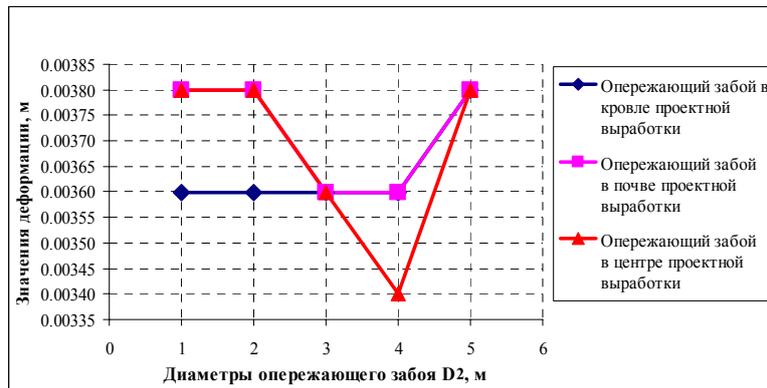
а) распределение вертикального напряжения



б) распределение горизонтального напряжения



в) распределение суммарной деформации в кровле проектной выработки



**Рис. 4. Графики распределения напряжений и деформаций при изменении места расположения опережающего забоя**

На основании полученных результатов построены графики зависимости напряжения и деформации от диаметров опережающего забоя (см. рис. 4).

### **Выводы**

Схема раскрытия забоя при проходке осе симметричных выработок большой площади поперечного сечения оказывает существенное влияние на напряженно-деформированное состояние пород вмещающего массива, причем поэтапная схема раскрытия забоя всегда приводит к уменьшению напряженно-деформированного состояния пород по сравнению с проходкой на полный профиль.

Если продольная ось опережающего забоя совпадает с продольной осью проектного сечения выработки, напряженно-деформированное состояние пород вокруг проектного контура будет минимальным (см. рис. 4).

Если опережающий забой расположен в почве проектной выработки, то диаметр опережающего забоя для заданных исходных условий следует принимать равным  $D_2 = 3\text{ м}$  ( $D_2/D_1 = 3/5 = 0,6$ ). В тоже время, если опережающий забой расположен в кровле, то оптимальный диаметр опережающего забоя равен 2 м и  $D_2/D_1 = 2/5 = 0,4$ .

---

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Панкратенко А.Н. Обоснование и разработка параметров ресурсосберегающих технологий строительства подземных выработок большого поперечного сечения, диссертация д.т.н. — М., 2002.

2. Картозия Б.А., Федунец Б.И., Шуплик М.И., Мальшев Ю.Н., Смирнов В.И., Лернер В.Г., Рахманинов Ю.П., Корчак А.В., Филимонов Б.А., Резуненко В.И., Левицкий А.М. Шахтное и подземное строительство, Том 1, издательство академии горных наук, М., 2001.

3. Картозия Б.А., Федунец Б.И., Шуплик М.И., Мальшев Ю.Н., Смирнов В.И., Лернер В.Г., Рахманинов Ю.П., Руконос В.И., Панкратенко А.Н., Куликова Е.Ю.

Шахтное и подземное строительство, Том 2, издательство академии горных наук, Москва 2001.

4. Абрамчук В.П., Власов С.Н., Мостков В.М. Подземные сооружения, Недра, Москва — 2005. — С. 464.

5. Мостков В.М. Строительство подземных сооружений большого сечения, Москва — 1963. — С. 307.

6. Картозия Б.А. Основы освоения подземного пространства иллюстрационное приложение к конспекту лекций. — МГГУ, 2006 — 2008.

7. Корчак А.В. Методология проектирования строительства подземных сооружений. — М., 2001. — С. 414. **ГИАБ**

---

### **КОРОТКО ОБ АВТОРЕ**

Чан Туан Минь — аспирант, Московский государственный горный университет, tuanminhhuang@yahoo.com

