

УДК 69.035.4.001.2

М. Чегини, Р. Рахманнеджад, С. Кариминасаб

**РАСЧЕТ ТОННЕЛЯ КАКАРЕЗА ОБРАТНЫМ
АНАЛИЗОМ**

Одним из способов проектирования тоннелей является обратный анализ. Этот способ позволяет уточнить геомеханические параметры массива пород при строительстве тоннеля, в том случае, если эти параметры недостаточно определены. Обычно такие параметры являются модулем деформаций, коэффициентом бокового давления массива.

Эта статья посвящена представлению результатов обратного анализа тоннеля Какареца в Иране. Сначала представляется блок схема нескольких способов, обычно используемых при обратном анализе. После этого с помощью программы FLAC 2D и результатов мониторинга тоннеля Какареца определены значения коэффициента бокового давления и модуль деформаций массива.

Ключевые слова: тоннель, обратный анализ, модуль деформаций, коэффициент бокового давления массива.

Обратный анализ

Обратный анализ представляет собой технику, с помощью которой можно определить контрольные параметры поведения системы массив пород – тоннель. При этом обязательно надо проследить за поведением массива пород. Процесс мониторинга используется как при строительстве, так и в период эксплуатации объекта. Этот способ получает все большее распространение в инженерной

практике. Основные параметры, которые определяются обратным анализом – начальное напряженное состояние массива и его геомеханические параметры (значения: коэффициент бокового давления, коэффициент Пуассона и модуль деформаций) и параметры трещиноватости массива.

Для обратного анализа существует две схемы – прямая и обратная (Civinidi,el al.1981). В первом случае искомые параметры определяются путем изменения этих параметров и выполнения обычного напряженно-деформированного анализа до момента совпадения расчетных результатов и измеренных величин, получаемых из мониторинга. При этом вначале расчетов применяется некоторая функция ошибки, и цель расчетов направляется на минимизацию этой функции [5].

Сущность второго подхода, который можно назвать обратным расчетом, заключается в переформировании функций и уравнений системы, так чтобы параметры напряженно-деформированного состояния стали исходными данными [4]. Снятие необходимости повторных расчетов является основным преимуществом этого подхода [2], хотя бы, число измеряемых параметров в этом случае

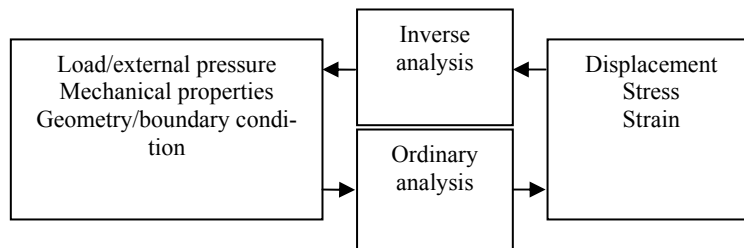


Рис. 1. Отношение прямого и обратного подходов [1]

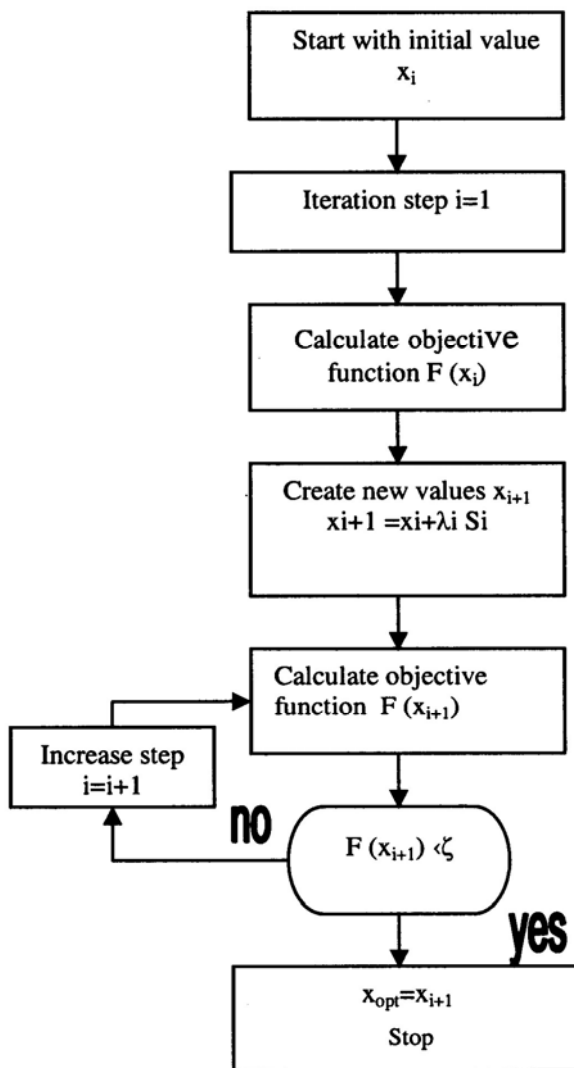


Рис. 2. Блок схема оптимизации по одномерному методу [1]

должно быть больше иско- мых параметров. На рис. 1 показано отношение прямого и обратного подходов.

Техники прямого поиска

При использовании прямого обратного анализа используется три метода: однопеременный (univariate), альтернатива однопеременного (alternative univariate) и поиск образца (pattern search), которые дают приемлемые результаты.

Однопеременный метод пригоден для случаев, когда число переменных мало (Rao, 1978). Этот способ оптимизации основан на минимизации следующей функции ошибки (1)

$$\text{ERROR} = \frac{\sum_{k=1}^N [u_k - u_k^*]^2}{\sum_{k=1}^N u_k^*} \quad (1)$$

где u_k и u_k^* соответственно расчетный и измеренный смещения точки k , N – число измеренных точек. На рис. 2 показана блок схема оптимизации [1].

Функция цель - objective

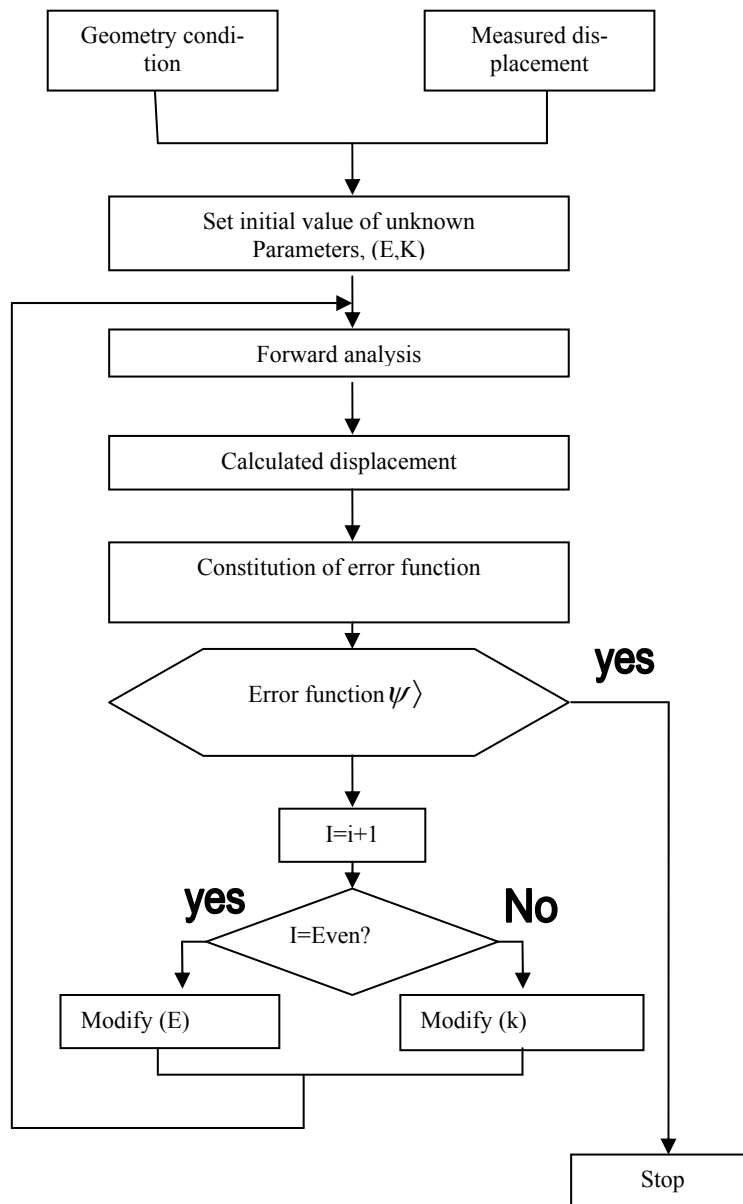


Рис. 3. Блок схема оптимизации E и K при однопеременного метода [1]

function (Sakurai, 1988) в этой блок схеме определяется уравнением 1. Вычисления повторяется до ее оптимизации. Для этого надо на каждой итерации проверить выполняется ли условие:

$$F(x_{i+1}) < \zeta \quad (3)$$

где ζ – допустимая ошибка.

Новое значение переменного (модуль деформаций, коэффициент бокового

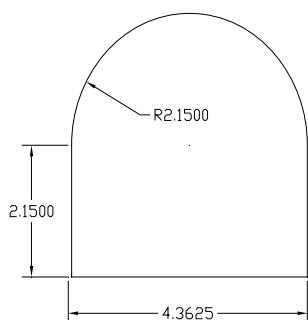


Рис. 4. Поперечное сечение тоннеля Какареза

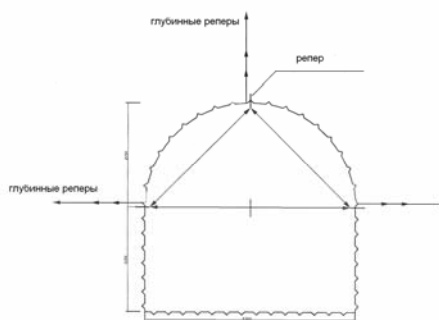


Рис. 5. Измерительная станция

давления) для вычисления функции $F_{(x_{i+1})}$ определяется по формуле 4:

$$X_{i+1} = X_i + \lambda_i S_i \quad (4)$$

где λ_i – длина шага и S_i – направление поиска.

Длина шага λ_i равна отношению расчетного к измеренному смещению и направление поиска S_i определяется экспериментально [1].

При применении однопеременного метода, на каждой итерации варьируется только один параметр и фиксируются остальные. При невыполнении условия 3, на следующем этапе варьируется новый параметр (новое направление). Эта операция повторяется для всех остальных переменных и только тогда первый цикл считается законченным. После первого цикла начинается второй цикл с первым параметром. Циклы повторяются до момента, когда уже функции ошибки не уменьшаются в каждом направлении цикла. В качестве примера на рис. 3 представлен поиск оптимального значения модуля деформаций (E) и коэффициента бокового давления (K).

Альтернатива однопеременного (alternative univariate) метода отличается от предыдущего метода тем, что одновременно изменяются всех N переменных. Эта операция продолжается до

достижения функции цели допустимого предела.

Поиск образца (pattern search) представляет собой расширенную концепцию однопеременного метода. Этот метод включает в себя выполнение N итераций, после чего ищет оптимальную точку с помощью следующего уравнения:

$$S_p = X_i - X_{i-n} \quad (5)$$

где X_i – полученная точка после N итерации и X_{i-n} – начальная точка до выполнения N итерации. Такое направление, полученное из уравнения 5, называется поиском образца.

Тоннель Какареза

Гидротехнический тоннель Какареза расположен в штате Лорестан на западе Ирана. Тоннель длиной 3107 м имеет подковообразное сечение (рис. 4).

Основной породой, в которой возводится тоннель, является известняк средней крепости ($f = 5$) и показатель качества пород ($RMR = 68$). Для наблюдения за поведением пород при строительстве тоннеля возводится 7 измерительных станций, состоящих из обычных реперов и глубинных реперов длиной 1,3- 3 и 6 м. Для получения начальных

Таблица 1

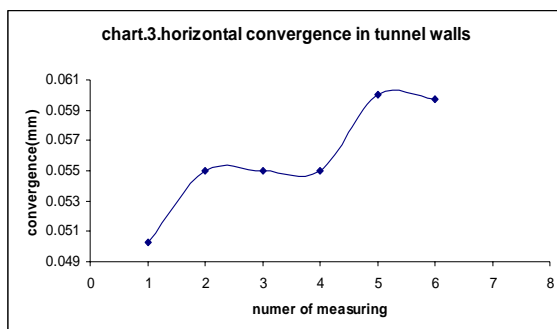
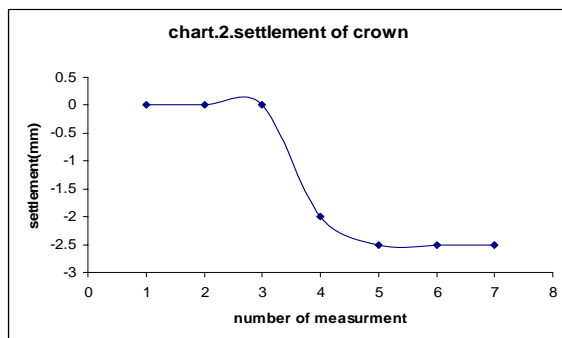
Механические свойства известняка [7]

6,72	C (МПа)
42	ϕ (deg)
8,8	E(ГПа)
0,25	ν
2700,0	γ (кг/м ³)
1,58	σ^r (МПа)

Таблица 2

Результаты обратного анализа при K=0.25

Step	E(па)	Y- смещение свода - мм	X- сближения стены -мм
1	2e8	-2.466	0.261
2	5e9	-2.463	0.261
3	7e9	-2.467	0.121
4	8e9	-2.472	0.098
5	9e9	-2.475	0.072
6	1e10	-2.48	0.069



смешений контура тоннеля измерительная станция возводилась на расстоянии 3 м от забоя. При этом для избежания повреждения инструментов применили контурное взрывание.

На рис. 5 показана схема измерительной станций. В

результате наблюдений зарегистрированы максимальное смещение свода тоннеля равное 2,5 мм и смещение стены – 0,06 мм (рис. 6).

Обратный анализ

Целью выполнения обратного анализа является уточнение величины модуля деформаций (E) и коэффициента бокового давления (K) массива. Для этого выбрали схему однопеременного обратного анализа. Расчеты выполнили с помощью программы FLAC в двухмерной постановке. В качестве модели массива применили упругую изотропную среду. В табл. 1 приведены механические свойства массива известняка, используемые для численных расчетов [7].

Для обратного анализа последовательно изменили значения модуля деформаций $E = 2e8 - 1e^{10}$ Па и коэффициента бокового давления $K = 0,23 - 0,33$.

Расчеты показали, что

Рис. 6. Смещение свода и горизонтальное сближение стен тоннеля

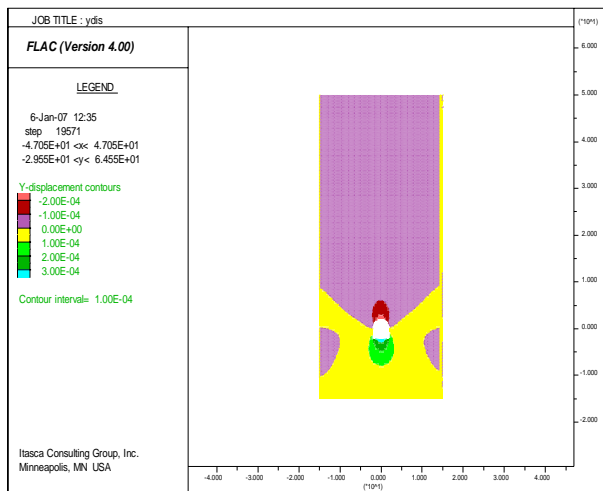


Рис. 7. Вертикальное смещение после 6 итераций

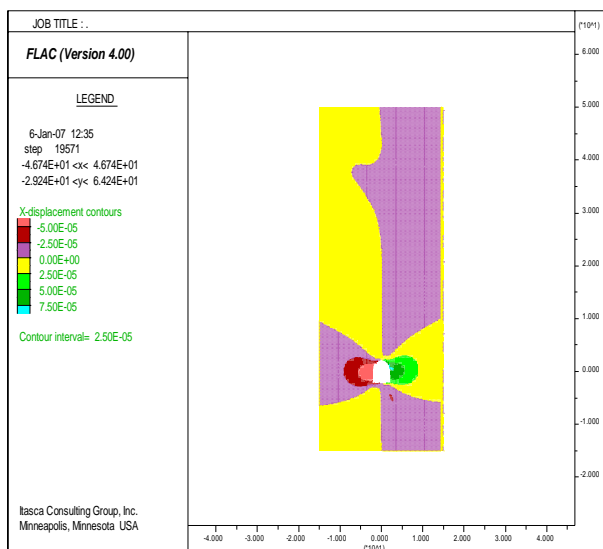


Рис. 8. Горизонтальное сближение стены после 6 итераций

изменение K незначительно влияет на величину смещений. Поэтому решили его фиксировать ($K = 0,25$) и только изменить значение E . После 6 итераций функция цели сходилась к 0,0004, что свидетельствует о нахождении оптимальных значений (табл. 2).

Таким образом, значение модуля деформаций (E) и коэффициент бо-

кового давления (K) принялись соответственно $E = 1 \times 10^{10}$ Па и $K = 0,25$.

Далее, используя эти значения, выполнили численный анализ для оценки устойчивости необлицованного тоннеля. В результате оказалось, что нет необходимости возведения обделки. Дальнейшие наблюдения показали, что в течение последних 9 месяцев смещения фиксировались и тоннель находится в устойчивом состоянии.

Выводы

- Однопеременный метод обратного анализа является простым и эффективным подходом для поиска величин неизвестных параметров.

- Поскольку значения расчетных и измеренных величин смещений очень близки, то можно говорить о достоверности полученных значений ($E = 1 \times 10^{10}$ Па и $K = 0,25$) для массива пород на выбранном участке трассы тоннеля.

- Небольшие величины смещений контура тоннеля свидетельствует об устойчивости массива пород. Этот факт оправдывается поведением массива за 9 месяцев после проходки - тоннель без обделки находится в устойчивом состоянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jeon. Y.S, Yang H.S. Development of a back analysis algorithm using FLAC, korea, Int.j. RockMech. Min.sci. Vol41no3, 2004.
2. Sakourai, S. Back analysis in rock engineering. In porc. Comprehensive rockengineering.(edited by john A. Hadson), Vol4, chap19. pp.453-569.pergamon press, London.1993.
3. Feng XT., Zhangz, Sheng Q. Estimating mechanical rock mass parameters relating to the three Gorges Project permanent ship lock using an intelligent back analysis method .Int j of rock Mech and Min Sci37.pp 1039-1054.2000
4. Shang. Y.J, Cai.J. GHao. W.D, Wu. X. Y, Li. S. H. Intelligent back analysis of displacement using precedent type analysis for tunneling .chinese Academy of science. Tunneling and Underground-technology, pergamon.2002.
5. Moreira. C, Almeida esousa.J. Parameters identification: back analysis case study of a shallow tunnel in Oporto, Portugal .institutue Superior de Engenharia de Coimbra. Portugal.Elsevier. 2004.
6. Zang.L.Q, Yue.Z. QYang.Z.F, Qi.J. X, Liu. F.CA. Displacement – based back-analysis method for rock mass modulus and horizontal in situ stress in tunneling-illustrated with a case study. Chinese academy of science. Elsevier. 2006.
7. Abdan-faraz consulting engineers. Detailed design of Kaka Reza water tunnel.vol.5 Tehran.1994. **VIAS**

Коротко об авторах

Мохомад Чегини, Реза Рахманнеджад, Саид Карминасаб – Керман университет, Иран.



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ			
ФЕДОРОВА Наталья Григорьевна	Разработка расчетно-методического комплекса для мониторинга несущей способности обсадных колонн	25.00.15	д.т.н.