

ПРЕМЕСТВАНИЯ НА ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ ПРИ ПРОКАРВАНЕ НА ДВА УСПОРЕДНИ ТУНЕЛА НА МЕТРОТО-III ЧАСТ

Михаил Вълков

Минно-геоложки университет „Св.Иван Рилски“, 1700 София, mvulkov@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Изследването е в областта на приложната геомеханика. Целта му е да се изведат нови формули за определяне на преместванията на земната повърхност при прокарване на два успоредни тунела. Проведени са измервания на вертикалните премествания при прокарване на тунелите на софийското метро. Анализирани са получените резултати. Разгледани са съществуващите методи за пресмятане на сляганя при строителството на успоредни тунели. Предложен е алгоритъм за използване на данните от измерванията за адаптиране на един от методите към конкретните условия на град София и за оптимизиране на изчислителните процедури.

Ключови думи: метро, успоредни тунели, сляганя

SUBSIDENCE OF THE EARTH'S SURFACE BY THE CONSTRUCTION OF PARALLEL TUNNELS THE METROPOLITAN II

Michayl Vulkov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, mvulkov@abv.bg

ABSTRACT. The problem is in the field of applied geomechanics. Measurements were carried out on vertical displacements while the Sofia subway tunnels were built. The results are analyzed. The existing methods for calculating the subsidence during the construction of parallel tunnels have been considered. An algorithm is proposed which uses the measurement data to adapt one of the methods to the specific conditions of Sofia.

Key words: metropolitan, parallel subway tunnels, vertical displacements

Въведение

В основата на разглеждания алгоритъм е класическата формулата на Кайнхорст, предназначена за определяне на минната мулда, получена на земната повърхност при провеждане на подземни минни работи.

Тя има вида:

$$\bar{w}(x, H) = amf(x), \quad (1)$$

където a - коефициент на слягане; m - иззежданата мощност; $f(x)$ - функция на влияние, показваща потенциалната възможност за преместване в точка, получено от иззеждането на определен обем полезно изкопаемо.

За да се създаде нова формула за определяне на преместванията, базирана на представената в [2]. систематика, тя се конструира във вида:

$$w(x, H) = a.m.f(x).g(x), \quad (2)$$

където $g(x)$ е функция, описваща реакцията на масива на предложената възможност за преместване, т.е. регламентираща конкретната реализация на създадената възмож-

ност за преместване. Чрез конструирането на тази функция по данни от проведените измервания се реализира адаптирането на новата зависимост към конкретните природни и технологични условия на изучавания участък от трасето на Софийското метро.

Алгоритъм

Теоретична зависимост

Ролята на функция на влияние в зависимост (2) се възлага на следната релация за определяне на максималното вертикално преместване на земната повърхност при прокарване на два успоредни тунела, изведена и обоснована във втората част на изследването, т.е:

$$w_{\max} = w_0 \left(1 - \frac{az^2}{R^2} \right) \cdot \Phi \left(\frac{R}{z\sqrt{a}} \right) - \frac{2w_0 z \sqrt{a}}{R\sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left(-\frac{x^2}{2az^2} \right) \quad (3)$$

където Φ е интегралната функция на Гаус.[1]. Табличният вид на тази функция може да бъде намерен в [1].

Данни от натурни измервания

Функцията на реакция на масива се конструира, като се използват данните от натурните измервания, представени

също във втората част на разработката. Използва се алгоритъмът, разработен в [1].

Измерените стойности на слягането се разглеждат като действително реализиралите се и определени чрез предлаганата зависимост (2), а пресметнатите по (3)- като създадена възможност за преместване според логическия модел, върху който е базиран алгоритъма.

Конструиране на функцията на реакция на масива

Нека пресметнатите по новата зависимост стойности бъдат означени с \bar{w} , където

$$\bar{w}(x, H) = amf(x),$$

а тези по адаптираната според природните и технологичните условия на прокарване на успоредните тунели зависимост, които се изисква да съвпадат с измерените стойности, са означени с w и се пресмятат чрез (2), т.е.

Таблица 1

№	x_i [m]	$w(x_i)$ [mm]	$\bar{w}(x_i)$ [mm]	$\Delta w(x_i) = \bar{w}(x_i) - w(x_i)$ [mm]	$\frac{\Delta w(x_i)}{w(x_i)}$	$g(x_i)$	$y(x_i)$
1	2	3	4	5	6	7	8

В седмата колона на таблицата се получава функцията на реакция на скалния масив на създадената възможност за преместване при прокопаването на двата успоредни тунела на метрото.

Извършва се интерполация на получената в табличен вид функция на реакцията на масива $g(x)$. За реализиране на интерполационната процедура е предпочетена експоненциална функция.

Този вид функции имат редица предимства, най-важните от които за реализираното моделиране са:

- Функцията (нейните наклони и асиметрия) могат да се управляват чрез промяна на малък брой параметри. В разглеждания случай са избрани два.
- Експоненциалната функция поради своята гъвкавост дава възможност за добро адаптиране на изчислителната процедура към конкретните минно-геоложки и технологични условия на разглеждания участък от метро трасето.

За интерполацията се избира експоненциална крива, имаща вида:

$$y(x) = c \cdot \exp(-kx^2) \quad \text{при } k > 0, \quad (6)$$

където c и k са неизвестни константи, които подлежат на определяне.

За целта равенство (6) се логаритмува при основа Неперовото число e и се записва, както следва:

$$\ln y = \ln c - kx^2. \quad (7)$$

След полагането
 $z = \ln y; A = \ln c$

$$w(x, H) = amf(x)g(x).$$

Тогава разликата между пресметнатите по теорията на Литвиншин - Кайнхорст и измерените стойности се определят

$$\Delta w(x, H) = maf(x) - maf(x)g(x). \quad (4)$$

Ако последното равенство бъде решено спрямо $g(x)$, се намира

$$g(x) = 1 - \frac{\Delta w(x, H)}{maf(x)} = 1 - \frac{\Delta w(x, H)}{w(x, H)}. \quad (5)$$

Получаване на крайната зависимост

Процедурата по фактическото определяне на функцията на реакция на масива според данните от проведените измервания се организира по следния начин.

Съставя се следната таблица:

зависимост (7) приема вида

$$z = A - kx^2. \quad (8)$$

Релацията (8) се интерполира с полином от втора степен за точките, в които функцията е зададена. Полиномът има вида:

$$a_0 + a_1x + a_2x^2 = A - kx^2 \quad (9)$$

при $a_1=0$.

Нормалната система за полиномната регресия (избрани са единадесет примерни точки) от втора степен има общия вид [3]:

$$\begin{cases} 11a_0 + \left(\sum_{i=1}^{11} x_i\right)a_1 + \left(\sum_{i=1}^{11} x_i^2\right)a_2 = \sum_{i=1}^{11} y_i \\ \left(\sum_{i=1}^{11} x_i\right)a_0 + \left(\sum_{i=1}^{11} x_i^2\right)a_1 + \left(\sum_{i=1}^{11} x_i^3\right)a_2 = \sum_{i=1}^{11} x_i y_i \\ \left(\sum_{i=1}^{11} x_i^2\right)a_0 + \left(\sum_{i=1}^{11} x_i^3\right)a_1 + \left(\sum_{i=1}^{11} x_i^4\right)a_2 = \sum_{i=1}^{11} x_i^2 y_i \end{cases} \quad (10)$$

Система (10) се решава по метода на изключването, в резултат на което се намират стойностите на двете константи в (6) - c и k .

Така видът на интерполиращата функция е напълно определен.

Подобна процедура може да бъде приложена и при избор на друг подходящ вид на интерполиращата функция.

Видът на получената интерполираща функция дава възможност да се правят изводи за физическата същност на реакцията на точните от скалния масив на предложената възможност за преместване, както и за по-дълбоко проникване в същността на явлението.

С направената аналогия се доказва, че чрез основното уравнение на теорията на Литвинишин - Кайнхорст може успешно да се описва процесът на мулдообразуването при прокарване на тунели по подземен начин.

Заклучение

В направеното изследване са получени следните резултати:

- Показано е, че слягането на земната повърхност, получено при прокарване на два успоредни тунела за скоростната подземна железница в градски райони чрез прилагането на тунело-пробивна машина, може да се определи чрез решаване на подходящо формулирана задача на Коши за уравнението на Фурие. Изходното уравнение в теорията на Литвинишин - Кайнхорст допуска и решения, които са хармонични функции, т.е. може да се очаква, че уравнението на мулдата, получена при прокарването на тунели за разглежданите условия, може да се намери и като решение на задачата на Дирихле за уравнението на Лаплас;

- Решена е поставената начално гранична задача;
- При използването на ясни физически предпоставки е изведена формула, близка по структура на емпиричната релация на Сагасета [6], която от своя страна е обобщение на зависимостта на Р. Пек [5];

- Проследена е динамиката на процеса на вертикални премествания на земната повърхност при работа на тунело-пробивната машина. Отделени са етапите на издигане и на слягане;

- Обобщени са и са представени данни от маркшайдерски измервания за двата еднопътни тунела от Първи метродиаметър между метростанция "Сердика" и метростанция "СУ Св. Климент Охридски", имащи външен диаметър 5,8 м. [4];

- Разработена е методика за адаптиране на новополучената зависимост към конкретните условия на прокарване на тунели на метрото в град София;

- Предложен е алгоритъм за определяне на функцията, наречена от автора "реакция на скалния масив" по отношение на мулдообразуването.

Тъй като изчислителната процедура по новополучената зависимост за пресмятане на вертикалните премествания при прокарването на два успоредни тунела по щитовия метод и на нейното адаптиране към конкретните минно-геоложки и минно-технологични условия е свързана със значителна по обем и трудност изчислителна работа, то предстои да бъде съставена компютърна програма за реализиране на предложения алгоритъм.

Програмата ще бъде написана на програмния език Python 2.7.5. като се използва функцията `quad` от пакета `scipy.integrate`. Тази подпрограма (`quad`) пресмята интегралите на функции на една променлива между две точки, като използва техники от библиотеката на FORTRAN, а именно QUADPACK.

Друга перспективна насока за бъдеща работа се свързва с възможностите на други функции да играят ролята на зависимости, отчитащи реакцията на подработения скален масив на предоставената от подземните строителни работи възможност за преместване в зоната на влиянието им. В зависимост от наличните данни от измерванията *in-situ* (напречно на оста на тунелите или успоредно на тези оси) освен вече разглежданата експоненциална функция, много перспективна изглежда възможността да се използват синусни функции и добре разработените от механиката методи за моделирането с тяхна помощ на сложни процеси и явления (спектрален анализ на Фурие).

Литература

- [1]. Вълков М., Геомеханични модели в минното дело., С.,ИК "Св. Ив. Рилски", 2011,стр.400. С
- [2]. Вълков М., Слягане на земната повърхност при прокарване на транспортните тунели на метрото, Девин, Трета национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”, 8 - 11 октомври 2012, стр. 93 - 98.
- [3]. Дорн, У.С., Макракен, Д.,Д., Числени методи и програмиране на Фортран IV, С., Наука и изкуство, 1977, стр. 451.
- [4]. „ЕКОЛОГИЯ и ГЕОЛОГИЯ ООД” - Геотехнически проучвателни работи по Проекта за разширение на Софийското метро - Участък от км: 6+200 до км 6+930 .
- [5]. Peck R.B., Deep excavation and tunneling in soft ground, Proceeding of 79th ICSMFE, Mexico city, Mexico, 1969, p 225 - 290.
- [6]. Wang Yan-yang, Finite Element Analysis of the Surface Settlement Induced by the Shield Tunnel Construction, EJGE, Vol. 18, [2013], Bund.Y, p 5805 - 5815.

Статията е препоръчана за публикуване от кат. "Техническа механика".