

Отстраняване на влиянието на температурната деформация на скалите при инструментални измервания на свлачищни движения

Ст. Гашиаров¹, Вл. Дерменджиев², Ел. Аврамова-Тачева³

¹Геологически институт, БАН, 1113 София

²Самостоятелна секция по астрономия с НАО, 1784 София

³Лаборатория по геотехника, БАН, 1113 София

S. Gasharov, V. Dermendjiev, E. Avramova-Tacheva — *Elimination of the influence of temperature deformation in rocks in instrumental measurements of landsliding movements*. The experimental data of the measurements are assumed to be results of a random process. The time span of this process in landslides covers a period of 15 years. The creep parameters show a high positive correlation when extended in time up to 12 months which remains positive up to 30 months. A well-expressed yearly cycle and a long term cycle with duration 11-12 years are evident in the landsliding movements. The influence of temperature on the displacement is without any inertion. The displacement spectrum along the x direction may be described with great approximation by an autoregression model of first power. The statistical filtration and modelling of the temperature penetration in the rock blocks considerably erase the noises in the experimental data.

Въведение

Основен теоретичен и приложен проблем на инженерната геодинамика са изследването на механизма и динамиката на различни типове локални движения на земната повърхност — под и над инженерни съоръжения и подземни изработки, в склонове, активни тектонски зони и пр., и изборът на съответни мероприятия за неутрализиране на техния ефект. Съвременната динамика на тези процеси може и често се контролира инструментално. В редица случаи на бавни премествания на скални маси е установено, че в експерименталните данни присъствуват различни по произход и значение шумове, които са съизмерими с измерваната величина. Едно от доказаните пречещи влияния са денонощните, годишните и други по-дълги периодични флуктуации на околната температура (Гашиаров, Аврамова, 1976). Тяхното отстраняване с оглед на точното изясняване механизма и динамиката на свлачищния процес в блоков тип свлачище е съдържанието на настоящата статия.

Постановка и методи

Свлачищният комплекс в района на Тауклиман по Българското черноморско крайбрежие е характерен пример за блоков тип склонови деформации (Каменов и др., 1969; Аврамова-Тачева, Вутков, 1974; Каменов, Пиев, 1977; Кошџак, Аугатова-Тачева, 1981). На това място крайбрежният склон

масив представлява двуслойна среда, състояща се от плътни олигоценски глини, над които залягат дебели около 40 m окарстени сарматски варовици. Двата слоя, долният пластичен, а горният крехък, са със значително различни физикомеханични свойства. В свлачищния циркус, дълъг около 6 km и широк до 0,5 km, се наблюдават седем свлачищни стъпала над съвременното морско ниво. От 1973 г. в три измервателни пункта се следят проявлението и динамиката на свлачищния процес с механооптични прибори ТМ-71, конструирани в Чехословашката академия на науките. Регистрират се пространствените премествания — по оси x , y и z , на двете най-горни свлачищни стъпала с точност 10^{-5} m. Данните от досегашните измервания показват съвременна активност на процеса.

Възможни са два подхода (в различни варианти) за определяне величината на деформациите, дължащи се на денонощните и сезонните температурни промени.

А. Първият подход се състои в съставяне на подходящ математически модел за конкретна физическа ситуация и изчисляване на температурните шумове чрез числени симулации. Това ще илюстрираме с показаната на фиг. 1 схема на физическа постановка на ситуацията подвижен скален масив — свличащ се скален блок. Пространственото преместване на скалния блок се измерва с помощта на уреда ТМ-71, чиито рамене са закрепени неподвижно в срещуположните стени на платото и скалния блок. По същите стени — граници, действа периодично променящо се температурно условие. С известно приближение температурното въздействие може да се моделира посредством нестационарното уравнение на топлопроводността

$$(1) \quad a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial T}{\partial t}$$

при гранични условия, които да съответствуват на измерените средномесечни температури в района на свлачището или се задават с периодична функция, определена като апроксимация на средномесечните температури. Тук T е температурата, a — коефициент на температуропроводимост, t е времето. В този модел началните условия могат да се задават не много точно, тъй като след достатъчно дълго време във всяка крайна част от осите x , y и z ще се установи топлинно състояние, което бихме имали при каквото и да е начално температурно разпределение, т. е. състоянието зависи само от граничните условия и топлопроводните свойства на средата.

Въз основа на такъв модел и на така задавани гранични условия симулирахме чрез числен експеримент температурни флукуации за условията на разглежданото свлачище. Резултатите се оказаха незадоволителни за нашите цели. Основният извод от тези симулации е, че моделното симулиране трябва да се осъществява при малка стъпка по време, а граничната функция на температурата трябва да се апроксимира по стойности, измерени за същия интервал, но не по-голям от 12 часа. Това предполага наличието на непрекъснат температурен запис в мястото на наблюдението или дискретен с честота няколко пъти в денонощие. Досега обаче такива измервания са правени само за няколко денонощия в началния период на измерванията в една от точките.

Б. Вторият подход е вероятностно-статистически. При него експерименталните данни от измерванията се разглеждат като реализации на случаен процес или като временни редове. С помощта на подходящи методи — периодограмен метод, хармоничен анализ, корелационен анализ, спектрален анализ и др., всеки от който има своите предимства и недостатъци, се изследват цикличните компоненти на процеса с цел да се определят онези периодични изменения, които се дължат на температурни флукуации. Познавайки тези периоди, ние можем да конструираме подходящи изглаждащи функции, посредством които да „отстраним“ периодичните флукуации. В изгладения временен ред ще се съдържа информация за нетоплинни фактори, обуславящи свлачищните движения.

Дължината на реализациите, получени за свлачището в Тауклиман, обхваща около 15-годишен интервал, което позволява да бъдат използвани корелационният и мате-

Матическият спектрален анализ при определянето на статистически значимите циклични компоненти. Корелационните функции изчисляваме по формулата

$$(2) \quad K(\tau) = \frac{\frac{1}{N-\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} (x_i - \bar{x})(x_{i+\tau} - \bar{x})}{\left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{N-\tau} (x_{i+\tau} - \bar{x})^2 \right]^{1/2}},$$

където \bar{x} е емпирична оценка на средната стойност на процеса, τ е стойността на отнемването по времето. Изгладените извадъчни оценки на спектралната плътност изчисляваме по формулата (Джекинс, Ватс, 1972)

$$(3) \quad S(l) = 2\Delta \left[1 + 2 \sum_{k=1}^{L-1} K(k)W(k) \cos(nlk\Delta/F) \right],$$

където l е точка на отсичането, Δ — интервал на дискретизацията (в нашия случай $\Delta = 1$ месец), F — число, 2—3 пъти по-голямо от l , $K(k)$ — нормираната автокорелационна функция и $W(k)$ — корелационно прозорче. Честотата се изчислява по формулата $f = 1/2F\Delta$, така че спектралната плътност се определя само за честотите в интервала $0 < f < \frac{1}{2}$. За $W(k)$ използваме корелационното прозорче на Тюки (Джекинс, Ватс, 1972).

$$(4) \quad W(k) = 0,5[1 + \cos[nk/l]], \quad k = 1, 2, \dots, l-1.$$

За да определим дали съществува взаимна обусловеност между отделните компоненти на пълзене по трите координати в пространството, а също така и с температурата, използваме кроскорелационния анализ. Нормираните взаимни корелационни функции изчисляваме по формулата

$$(5) \quad C(\tau) = \frac{\frac{1}{N-\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} (x_i - \bar{x})(y_{i+\tau} - \bar{y})}{\left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{N-\tau} (y_{i+\tau} - \bar{y})^2 \right]^{1/2}},$$

където \bar{x} и \bar{y} са емпиричните оценки на средните стойности на съответната двойка реализации, τ — стойността на отнемването по времето, а N — общият брой измервания, проведени в разглеждания интервал от време.

Резултати и анализ

По автокорелационните функции на параметрите на пълзене $K_{\Delta x}(\tau)$, $K_{\Delta y}(\tau)$, $K_{\Delta z}(\tau)$ (фиг. 2, а, б, в) може да се направи заключението, че параметрите на пълзене $\Delta x(\tau)$, $\Delta y(\tau)$ и $\Delta z(\tau)$ имат висока положителна корелация при преместване във времето до 12 месеца. Положителната корелация се запазва до 30 месеца, след което се проявява отрицателна корелация. Това означава, че ако е имало пълзене, превишаващо средната стойност, то с голяма вероятност след 2,5 години скоростта на пълзене ще намалее под средната и обратно. Оценка на автокорелационните функции за премествания във времето от $\tau = 30$ месеца до $\tau = 115$ месеца са малки по величина и устойчиво отрицателни, което означава, че като закономерност положителните отклонения от средните стойности имат тенденция към последващи отрицателни отклонения, които траят около 7 години. За да бъде обаче уверено определена тази тенденция за цикличност, са необходими по-продължителни наблюдения.

Както трябва да се очаква, $K(\tau)$ (фиг. 2 б, в) показва добре изразен годишен цикъл. Интересна е модулацията на тази автокорелационна функция, която наемква за наличието на дългопериодичен цикъл. С изключение на $K_{\Delta x}(\tau)$ наличие на годишен цикъл показват и автокорелационните функции $K_{\Delta y}(\tau)$ и $K_{\Delta z}(\tau)$.

Тези функции също допускат присъствие на дългопериодичен цикъл. Дължината на реализациите (т. е. на временните редове от данни) обаче е недостатъчна за неговото определяне, но с добро приближение може да се оцени полупериод от 5,5—6 години. Като любопитно съвпадение ще отбележим, че такава цикличност е близка до цикличността на орбиталното движение на Юпитер с период 11,86 тропически години и на 11-годишния цикъл на слънчевата активност.

На фиг. 3 а, б, в, и 4 а, б, в са показани изчислените кроскорелационни функции на отклоненията и температурата. Основната информация, която те дават, е, че взаимното влияние се проявява без инерция. Както може да се проследи по $G_{\Delta x}(\tau)$, $G_{\Delta y}(\tau)$ и $G_{\Delta z}(\tau)$, зависимостта на Δx , Δy и Δz от температурите T е почти моментална и с добре изразен годишен период. Статистическата зависимост на Δx от Δy и Δz и на Δy от Δz е твърде силна в обсега на корелация около 2 години. Интересно е да се отбележи също, че $G_{\Delta x, \Delta y, \Delta z}(\tau)$ показва допълнителни пикове, отстоящи на $\tau=11$ и $\tau=22$ месеца, което говори за периодична зависимост.

На фиг. 5 е показан спектър на параметъра Δx , получен при три точки на отсичане, съответно $l=15, 30, 45$ месеца. По абсцисната ос е нанесена честотата f , а по ординатата — спектралната плътност $S(f)$. Формата на този спектър показва, че с много голямо приближение разглежданият процес може да бъде описан с авторегресионен модел от първи ред

$$(6) \quad \Delta x_{\tau} = \alpha x_{\tau-1} - z_{\tau},$$

където z_{τ} е т. нар. бял шум.

Подобни заключения могат да се направят и за параметрите Δy и Δz . Основният пик в спектъра е в областта на ниските честоти. Данните от измерванията обаче засега са недостатъчни, за да определим този период, което би дало информация за природата на глобални фактори, влияещи на движението.

Приложение на резултатите и изводи

Основният практически приложим резултат от това статистическо изследване се свежда до възможността да се „очистят“ инструментално измерените стойности на свлачищното движение от температурните ефекти. Автокорелационният анализ на временния ред на температурата показва, че може да се „конструира“ изглаждаща функция от вида

(7)

$$X_m = \frac{1}{24}(x_{m-6} + x_{m+6} + 2 \sum_{m-5} x_i \quad m=i-6 \quad j=7, 8, \dots,$$

която да „отстранява“ флукуациите, дължащи се на годишния ход на температурата. Нейната ефективност може да се проследи на фиг. 6 а, б, в, фиг. 7 а, б, в, и фиг. 8 а, б, в, където са показани изходните и изгладените параметри на движението. За да се оценят възможностите за по-добро изглаждане, е направен и честотно-временен спектрален анализ на временния температурен ред. На фиг. 9 са дадени спектрите, получени при три точки на отсичане $l=15, 30$ и 45 . Вижда се, че основният пик при честота $f=0,833$ (период 12 месеца) се запазва. Другите пикове са статистически незначителни, затова не е необходимо да се използва по-сложна изглаждаща функция.

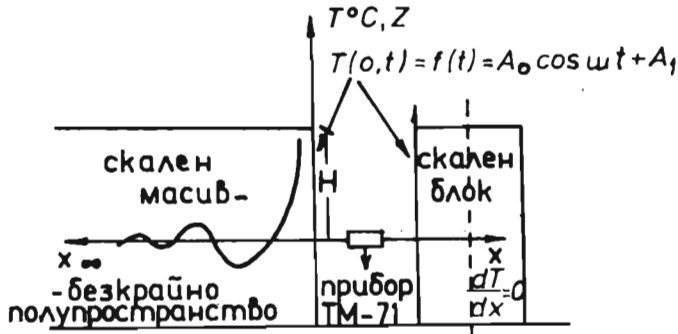
Статистическата обработка и моделирането на температурното проникване в скалните блокове изчистват значително шумовете в експерименталния ход на основното

свлачишно движение. Също могат да бъдат отстранени по-дългопериодичните (3; 7; 11,5 годишни и т. н.) компоненти в движението, които са следствие очевидно от влиянието и на други глобални фактори. В същото време установяването и отфилтрирането на въздействие с период примерно от 7 години са възможни при експериментални данни с продължителност поне 3 периода. В този смисъл наблюденията за разглежданото свлачище следва да се продължат, като е препоръчително да се набира перманентно информация за температурата в мястото на наблюдението.

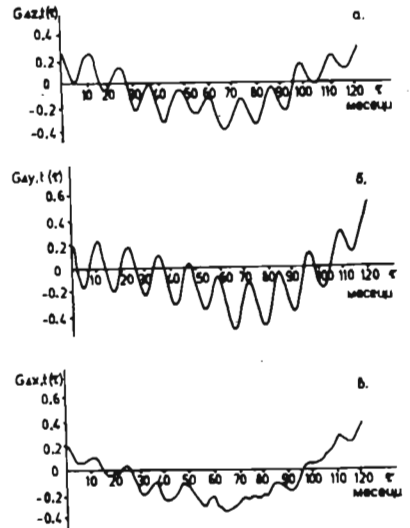
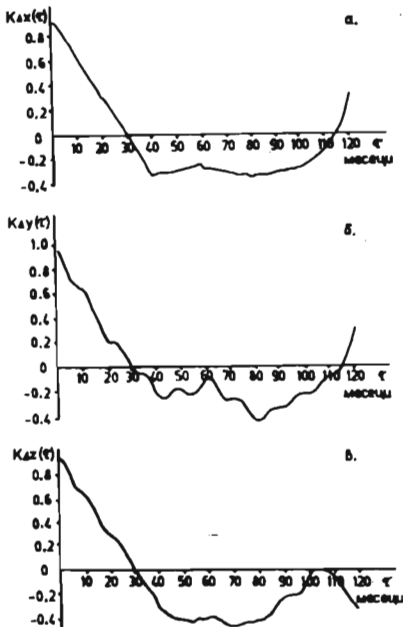
Л и т е р а т у р а

- Аврамова-Тачева, Е., В. Вутков. 1974. Върху типизацията на свлачищните явления. — *Изв. на Геол. инст. Серия инж. геол. и хидрогеол.*, 23, 133—147.
- Гашаров, Ст., Е. Аврамова-Тачева. 1976. Относно влиянието на температурните колебания при измерване скоростта на блокови движения. — *Инж. геол. и хидрогеол.*, 5, 35—44.
- Дженкинс, Г., Д. Ваттс. 1971. *Спектральный анализ и его приложение*, 1. М., Мир. 277 с.
- Дженкинс, Г., Д. Ваттс. 1972. *Спектральный анализ и его приложение*, 2. М., Мир. 236 с.
- Каменов, Б. и др. 1969. Свлачищата в района на Тауклиман (Птичия залив), Толбухинско — В: *Сб. Докл. секц. „Хидрология и инж. геология“ при НТС по водно дело в Б-я*, 15—20.
- Каменов, В., И. Илиев, Е. Аврамова-Тачева. 1977. Conditions for the origin, mechanism and dynamics of block landslides in Bulgaria. — *Bull. IAEG*, 16, 98-101.
- Кошіак, В., Е. Аврамова-Тачева. 1981. Propagation of coastal slope deformations at Taukliman, Bulgaria. — *Bull. IAEG*, 23, 67-73.

(Постъпила на 26. VI. 1989 г.)

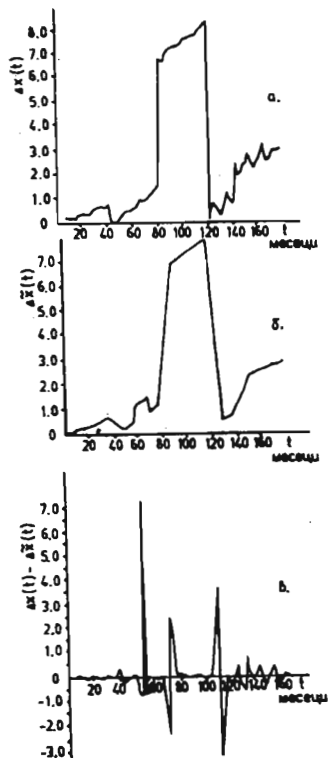
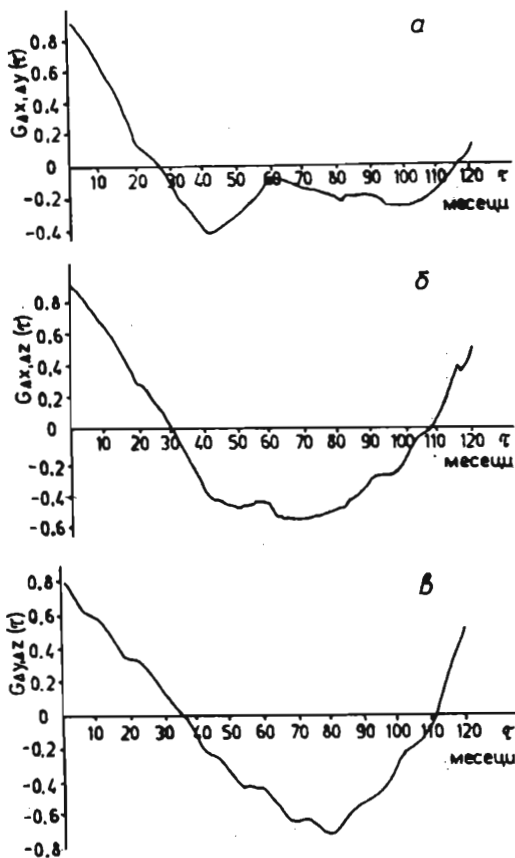


Фиг. 1. Схема на закрепване на уреда ТМ-71



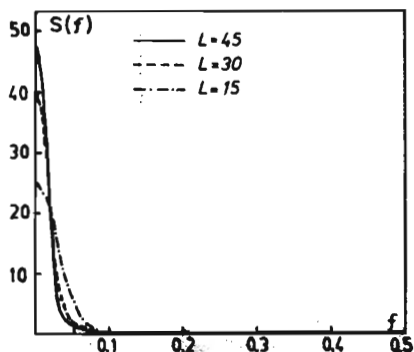
Фиг. 2. Автокорелационни функции на параметрите на пълзене по координатните оси

Фиг. 3. Кроскорелационни функции на отклоненията и температурата

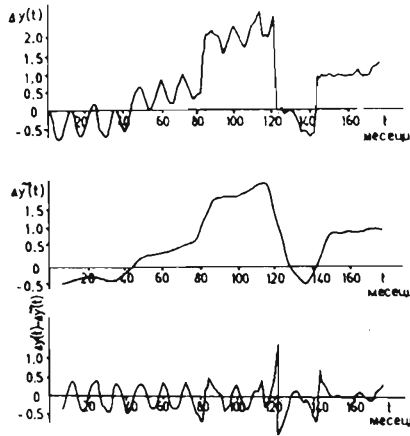


Фиг. 4. Кроскорелационни функции на отклоненията и температурата

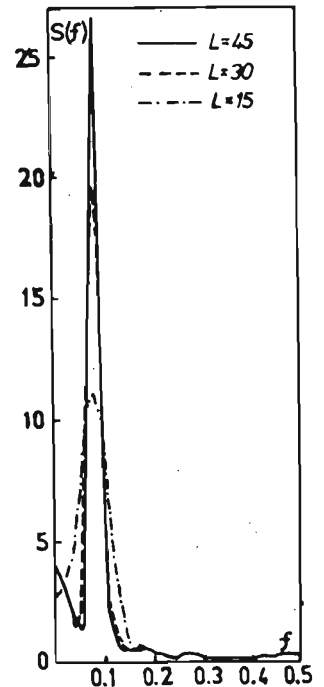
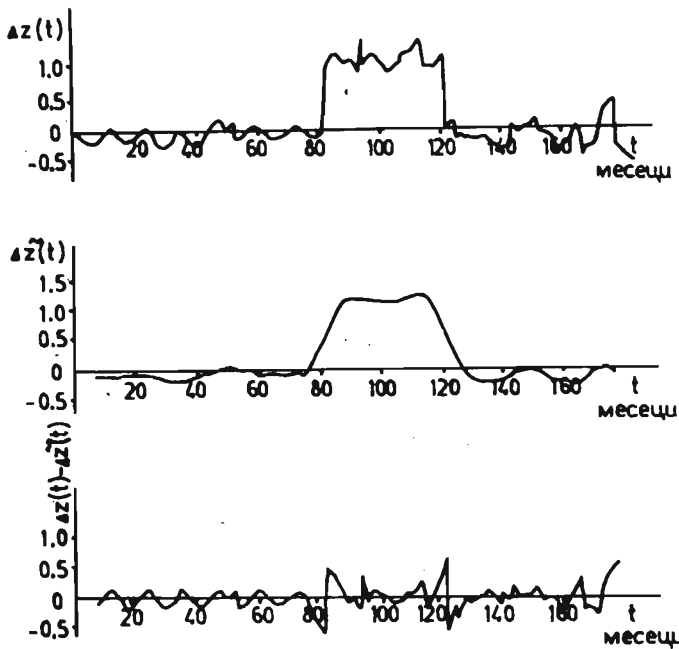
Фиг. 6. а — инструментално регистрираното движение на свлачището по координата x ; б — изгладеното движение след обработката; в — филтър



Фиг. 5. Спектр на отклонението на параметъра Δx при три точки на отсичане



Фиг. 7. а — инструментално регистрираното движение на свлачището по координата y ; б — изгладеното движение след обработката; в — филтър



Фиг. 8. а — инструментално регистрираното движение на свлачището по координата z ; б — изгладеното движение след обработката; в — филтър

Фиг. 9. Спектр на отклонението съгласно функция (7) при три точки на отсичане