

Н. А. КУЦЕРЫБ, Г. И. ЛЕБЕДЬ, П. Г. ЧЕРНЯГА

ОПЫТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СМЕЩЕНИЙ ОПОЛЗНЯ ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

На основе длительных геодезических наблюдений за динамикой оползня, расположенного в Карпатах на трассе нефтепровода «Дружба», нами выполнено прогнозирование его смещений.

В результате геодезических наблюдений были получены смещения реперов, заложенных в оползневое тело. По значениям этих смещений построены кинематические модели смещения отдельных

участков оползневого тела, имеющих примерно одинаковые скорости смещения. Кинематическая модель одного из таких участков представлена на рисунке. Из рисунка видно, что смещение оползня носит периодический характер и приурочено к временам года. Такие кривые лучше всего аппроксимировать рядами Фурье. При этом вполне достаточно пользоваться формулами для приближенного гармонического анализа.

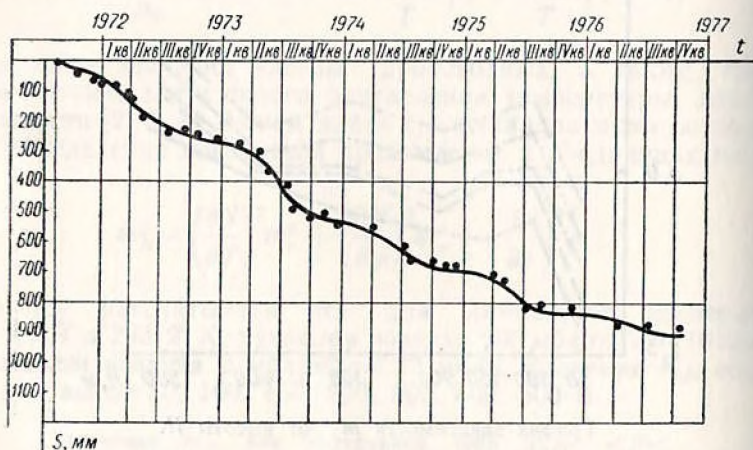


График смещений активного оползня.

Если период T , равный одному году, разбить на 12 равных частей, то формула для приближенного гармонического анализа будет иметь вид

$$S_k = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos k \cdot 30^\circ + a_2 \cos 2k \cdot 30^\circ + a_3 \cos 3k \cdot 30^\circ + \\ + a_4 \cos 4k \cdot 30^\circ + a_5 \cos 5k \cdot 30^\circ + a_6 \cos 6k \cdot 30^\circ + b_1 \sin k \cdot 30^\circ + \\ + b_2 \sin 2k \cdot 30^\circ + b_3 \sin 3k \cdot 30^\circ + b_4 \sin 4k \cdot 30^\circ + b_5 \sin 5k \cdot 30^\circ, \quad (1)$$

где $k=0, 1, 2, \dots, 12$ — номера точек деления периода T на 12 равных частей; $a_0, a_1, \dots, a_6, b_1, b_2, \dots, b_5$ — коэффициенты, определяемые для каждого периода T .

После вычисления коэффициентов $a_0, a_1, a_2, \dots, a_6, b_1, b_2, \dots, b_5$ по схеме для приближенного гармонического анализа и подстановки их в (1) получены следующие уравнения кривых смещений оползня для соответствующих периодов времени T :

1. Первый период 1. 09. 1971—1. 09. 1972 гг.

$$S_k = 115,2 - 10,4 \cos k30^\circ - 30,6 \cos 2k \cdot 30^\circ - 18,7 \cos 3k \cdot 30^\circ - \\ - 19,7 \cos 4k \cdot 30^\circ - 21,4 \cos 5k \cdot 30^\circ - 9,2 \cos 6k \cdot 30^\circ - \\ - 96,7 \sin k \cdot 30^\circ - 34,6 \sin 2k \cdot 30^\circ - 17,1 \sin 3k \cdot 30^\circ - \\ - 15,8 \sin 4k \cdot 30^\circ - 3,3 \sin 5k \cdot 30^\circ. \quad (2)$$

2. Второй период 1. 09. 1972—1. 09. 1973 гг.

$$\begin{aligned} S_k = & 319,2 + 22,4 \cos k \cdot 30^\circ - 18,6 \cos 2k \cdot 30^\circ - 22,0 \cos 3k \cdot 30^\circ - \\ & - 24,6 \cos 4k \cdot 30^\circ - 23,2 \cos 5k \cdot 30^\circ - 11,2 \cos 6k \cdot 30^\circ - \\ & - 86,7 \sin k \cdot 30^\circ - 47,0 \sin 2k \cdot 30^\circ - 27,2 \sin 3k \cdot 30^\circ - \\ & - 15,0 \sin 4k \cdot 30^\circ - 6,0 \sin 5k \cdot 30^\circ. \end{aligned} \quad (3)$$

3. Третий период 1. 09. 1973—1. 09. 1974 гг.

$$\begin{aligned} S_k = & 563,4 + 8,8 \cos k \cdot 30^\circ - 14,5 \cos 2k \cdot 30^\circ - 15,7 \cos 3k \cdot 30^\circ - \\ & - 15,3 \cos 4k \cdot 30^\circ - 14,6 \cos 5k \cdot 30^\circ - 7,0 \cos 6k \cdot 30^\circ - \\ & - 5,4 \sin k \cdot 30^\circ - 29,2 \sin 2k \cdot 30^\circ - 16,0 \sin 3k \cdot 30^\circ - \\ & - 8,7 \sin 4k \cdot 30^\circ - 3,7 \sin 5k \cdot 30^\circ. \end{aligned} \quad (4)$$

4. Четвертый период 1. 09. 1974—1. 09. 1975 гг.

$$\begin{aligned} S_k = & 730,6 + 12,7 \cos k \cdot 30^\circ - 21,2 \cos 2k \cdot 30^\circ - 17,2 \cos 3k \cdot 30^\circ - \\ & - 8,9 \cos 4k \cdot 30^\circ - 11,6 \cos 5k \cdot 30^\circ - 7,5 \cos 6k \cdot 30^\circ - \\ & - 52,8 \sin k \cdot 30^\circ - 32,0 \sin 2k \cdot 30^\circ - 7,8 \sin 3k \cdot 30^\circ - \\ & - 6,2 \sin 4k \cdot 30^\circ - 5,6 \sin 5k \cdot 30^\circ. \end{aligned} \quad (5)$$

Оценку аппроксимации проводили путем сравнения вычисленных и фактических смещений. Средняя квадратическая погрешность аппроксимации во всех случаях не превышала 11 мм.

Имея численные значения коэффициентов $a_0, a_1, a_2, \dots, a_6, b_1, b_2, \dots, b_5$ для отдельных периодов, можно найти их зависимость от времени и затем получить уравнение для прогнозирования значений смещений оползня.

Из количественного анализа полученных коэффициентов следует, что у всех них, кроме a_0, a_1 и b_1 , в исследуемый период амплитуда колебаний значений имеет тенденцию к затуханию, и поэтому изменения коэффициентов существенного влияния на прогнозирование смещений не оказывают.

Коэффициенты a_0, a_1 и b_1 имеют тенденцию к возрастанию с некоторыми флуктуациями. Представим их зависимость от номера N периода T следующими выражениями:

$$\begin{aligned} a_0 = c_0 + c_1 N + c_2 N^2; \quad a_1 = d_0 + d_1 N + d_2 N^2; \\ b_1 = l_0 + l_1 N + l_2 N^2, \end{aligned} \quad (6)$$

которые после определения коэффициентов $c_0, c_1, c_2, d_0, d_1, d_2, l_0, l_1, l_2$ по способу наименьших квадратов примут вид:

$$\begin{aligned} a_0 = & 109,34 + 236,64 N - 9,20 N^2; \\ a_1 = & - 8,48 + 38,68 N - 13,58 N^2; \\ b_1 = & - 106,70 + 64,35 N - 14,35 N^2. \end{aligned} \quad (7)$$

Коэффициенты a_2, a_3, a_4, a_5, a_6 и b_2, b_3, b_4, b_5 из (2)—(5) изменяются незначительно, поэтому для прогнозирования смещений можно принять их средние значения:

$$\begin{aligned} \bar{a}_2 &= -21,2; & \bar{a}_3 &= -18,4; & \bar{a}_4 &= -17,1; \\ \bar{a}_5 &= -17,7; & \bar{a}_6 &= -8,7; & \bar{b}_2 &= -35,7; \\ \bar{b}_3 &= -17,0; & \bar{b}_4 &= -11,4; & \bar{b}_5 &= -4,6. \end{aligned}$$

Подставляя полученные коэффициенты в (1), после некоторых преобразований получаем формулу для определения прогнозируемого смещения оползня $S_{N,k}$ в заданное время

$$\begin{aligned} S_{N,k} &= 109,34 + 236,64 N + 38,68 N \cos k \cdot 30^\circ + 64,35 N \sin k \cdot 30^\circ - \\ &\quad - 9,20 N^2 - 13,58 N^2 \cos k \cdot 30^\circ - 14,35 N^2 \sin k \cdot 30^\circ - \\ &\quad - 8,48 \cos k \cdot 30^\circ - 21,22 \cos 2k \cdot 30^\circ - 18,45 \cos 3k \cdot 30^\circ - \\ &\quad - 17,12 \cos 4k \cdot 30^\circ - 17,70 \cos 5k \cdot 30^\circ - 8,72 \cos 6k \cdot 30^\circ - \\ &\quad - 106,70 \sin k \cdot 30^\circ - 35,70 \sin 2k \cdot 30^\circ - 17,00 \sin 3k \cdot 30^\circ - \\ &\quad - 11,42 \sin 4k \cdot 30^\circ - 4,65 \sin 5k \cdot 30^\circ. \end{aligned} \quad (8)$$

По (8) вычисляем прогнозируемые смещения оползня для пятого периода времени. Полученные результаты сравниваем с фактическими смещениями. Средняя квадратическая погрешность, вычисленная по отклонениям прогнозируемых значений смещений от фактических, составила 35 мм. Такую точность прогнозирования следует признать вполне приемлемой.

Поскольку всякий оползневый процесс имеет периодический характер, то предложенная методика прогнозирования смещений оползня во времени применима и для других оползней.