ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2003. Т. LVI, № 3.

УДК 624.012 СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

В.С. САРКИСЯН, Г.А. АДИЛХАНЯН

# ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОПОЛЗНЕВОГО МАССИВА

Описывается применение метода оценки остаточных деформаций откосов для прогноза перемещений оползневых массивов под воздействием землетрясений.

***Ключевые слова***: оползень, землетрясение, акселерограмма, перемещение, остаточная деформация, коэффициент запаса.

Республика Армения - страна с весьма пестрым геологическим строением, пересеченная множеством горных хребтов, изобилующая опасными геологическими явлениями, такими как: землетрясения, обвалы, оползни различного генезиса.

Прогнозирование этих процессов имеет важное значение. В частности, это относится к оползням, движение которых угрожает населенным пунктам, жизни и хозяйственной деятельности людей. На скорость перемещения оползней, как показывает анализ накопленных данных и материалов наблюдений, влияют такие факторы, как: водный режим в оползневом теле и прилегающих участках склона, землетрясения, погодные условия и т.д. Эти факторы могут стать пусковым механизмом прогрессирующего движения оползней и быть причиной периодической активизации процесса перемещений.

Методика прогнозирования влияния водного режима и погодных условий на скорость движения и перемещения оползня еще не разработана. Для приближенной оценки характера перемещений и скорости движения оползня во время землетрясения, при определенных допущениях и условиях, могут быть применены уравнения динамики. Такими условиями-допущениями являются: перемещения во время землетрясения малы по сравнению с размерами оползня; не прогнозируется разжижение грунтов; есть предпосылки рассматривать движение оползня, как твердого, нерасчленяемого и недеформируемого в процессе движения тела; поверхности сдвига могут быть аппроксимированы в виде круглоцилиндрической поверхности.

Скорости и перемещения оползневого тела могут быть получены из решения плоской задачи об угле поворота призмы обрушения грунтовых откосов для круглоцилиндрической поверхности скольжения при сейсмическом воздействии, заданном акселерограммой. Эта методика успешно применяется при расчете остаточных деформаций откосов грунтовых плотин [1-3].

Искомые величины могут быть получены путем интегрирования уравнения динамики для вращательного движения:

$$J_0 \frac{d^2\psi}{dt^2} = M_A - M_P + M_C; \quad M_C = \mu_c \frac{d^2x}{dt^2}; \quad \mu_c = \int_{(S)} \gamma(x,y) f(y)(y_0 - y)dxdy, \quad (1)$$

где $J_0$ - момент инерции оползня относительно оси, проходящей через центр дуги скольжения; $\psi$ - угол поворота оползня; $M_A$ и $M_P$ - сумма моментов статических активных и пассивных сил; $M_c$ - сумма моментов сейсмических инерционных горизонтальных сил; x - сейсмические горизонтальные перемещения ложа оползня; $\gamma(x,y)$ - удельный вес грунта; $(y_0-y)$ - плечо сейсмического воздействия относительно центра вращения; f(y) - функция отклика, для оползней f(y)=1.

Основное уравнение сводится к виду

$$\frac{d^2\psi}{dt^2} = a\left(\frac{d^2x}{dt^2} - n\right); \qquad a = \frac{\mu_c}{J_0}; \qquad n = \frac{M_P - M_A}{\mu_c}. \qquad (2)$$

Вторая производная сейсмических перемещений ложа оползня - суть функция ускорений ложа по времени, т.е. является акселерограммой землетрясения, которая может быть задана реальной записью или подобрана по аналогу.

Интегрирование этого дифференциального уравнения реализовано численными методами и продолжается до момента времени, при котором скорость движения обращается в нуль, или до тех пор, пока прекращается снижение скорости движения по инерции.

Очевидно, что нарастание скорости движения для оползней, находящихся в предельном состоянии, начинается с началом землетрясения, так как разность моментов активных и пассивных сил $M_A - M_P \cong 0$, следовательно, $n \cong 0$, и торможение движения осуществляется только обратным воздействием землетрясения.

На основе этой методики произведен прогноз перемещений шести оползней на территории Армении. Для моделирования сейсмического воздействия использовалась акселерограмма Эль-Центро (рис.1), которая приводилась к расчетной интенсивности землетрясения.

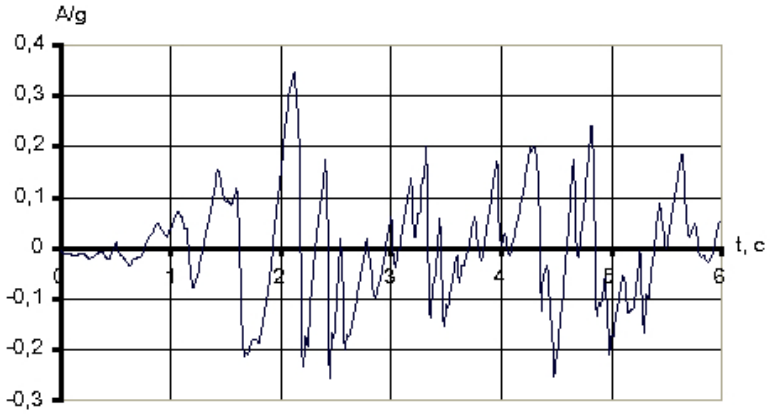

Рис.1. Акселерограмма Эль-Центро

За отсутствием данных по прочностным параметрам на поверх-ности сдвига предварительно последние определялись обратным расчетом устойчивости без учета сейсмических воздействий. Так как скорость движения оползня весьма мала, то можно считать, что в условиях отсутствия сейсмических воздействий коэффициент запаса устойчивости приблизительно равен единице, т.е. оползень находится практически в предельном состоянии. Это позволяет подобрать прочностные характеристики на поверхности скольжения такими, чтобы расчетный коэффициент запаса оказался равным единице в условиях отсутствия землетрясения. При этом сцепление принималось равным нулю, так как состояние движения оползня позволяет предполагать нарушенность структурных связей в грунте, учитывая при этом способность связных грунтов к значительному снижению сцепления при динамических нагрузках. Результаты прогнозов приводятся в табл. 1.

*Таблица 1*

| № | Оползень | A, *доли "g"* | R, *м* | φ, *град.* | K | n | a | $V_{max}$, *см/с* | $V_c$, *см/с* | L за время $t_з$, *см* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Вохчаберд-ский | 0,3 | 9125,9 | 8,45 | 0,295 | 0 | 0,00107 | 53,2 | 31,18 | 131,9 |
| | | 0,55 | | | 0,186 | | | 97,54 | 57,17 | 240,8 |
| 2 | Дилижан-ский N1 | 0,3 | 1050,0 | 18,6 | 0,465 | 0 | 0,00903 | 51,66 | 30,28 | 127,5 |
| | | 0,55 | | | 0,322 | | | 94,71 | 55,51 | 233,8 |
| 3 | Дилижан-ский N2 | 0,3 | 10028,3 | 21,03 | 0,472 | 0 | 0,00095 | 51,91 | 30,42 | 128,2 |
| | | 0,55 | | | 0,328 | | | 95,16 | 55,78 | 234,9 |
| 4 | Дилижан-ский N3 | 0,3 | 3385,7 | 32,77 | 0,584 | 0 | 0,00270 | 49,81 | 29,19 | 123,0 |
| | | 0,55 | | | 0,434 | | | 91,31 | 53,52 | 225,4 |
| 5 | Ванадзор-ский N1 | 0,3 | 9745,0 | 20,75 | 0,499 | 0 | 0,00097 | 51,50 | 30,19 | 127,2 |
| | | 0,55 | | | 0,352 | | | 94,42 | 55,34 | 233,1 |
| 6 | Ванадзор-ский N2 | 0,3 | 2520,2 | 21,4 | 0,510 | 0 | 0,00381 | 52,32 | 30,66 | 129,2 |
| | | 0,55 | | | 0,362 | | | 95,91 | 56,22 | 236,8 |

Здесь A - интенсивность сейсмического воздействия ложа оползня; R - радиус круглоцилиндрической поверхности, аппроксимирующей реальную поверхность сдвига; φ- угол внутреннего трения на поверхности сдвига; K - коэффициент запаса устойчивости с учетом сейсмических воздействий; n - интенсивность сейсмического воздействия ложа, приводящая оползень в состояние предельного равновесия; $V_{max}$ - максимальная скорость движения, достигаемая в продолжительности $t_з$ землетрясения; $V_c$ - скорость движения в момент окончания землетрясения; L - перемещение по дуге сдвига.

Приведенные в табл.1 оползни в течение года в среднем перемещаются от 0,5 до 1 *м*, причем эти перемещения связаны с периодами активности, обусловленными водным режимом и погодными условиями, т.е. оползни оказываются то в состоянии предельного, то допредельного равновесия.

Продолжительность землетрясения $t_з$=6 с, за это время оползни перемещаются на величину, сравнимую и даже превосходящую их годовые перемещения. Однако с окончанием землетрясения движение продолжается с постоянной скоростью $V_c$ (рис.2, этот и приводимые ниже графики иллюстрируют движение Вохчабердского оползня при интенсивности сейсмического воздействия 0,3g). Следовательно, землетрясение может стать пусковым механизмом прогрессирующего движения и неограниченного увеличения его перемещений (рис.3), если поверхность ложа дальнейшего перемещения не будет оказывать дополнительного сопротивления. Причиной дополнительного сопротивления могут стать: боковое стеснение и уменьшение среднего уклона ложа, восстановление утерянной по причине динамических нагрузок прочности грунтов на поверхности сдвига или смена сопротивляющихся сдвигу грунтов.

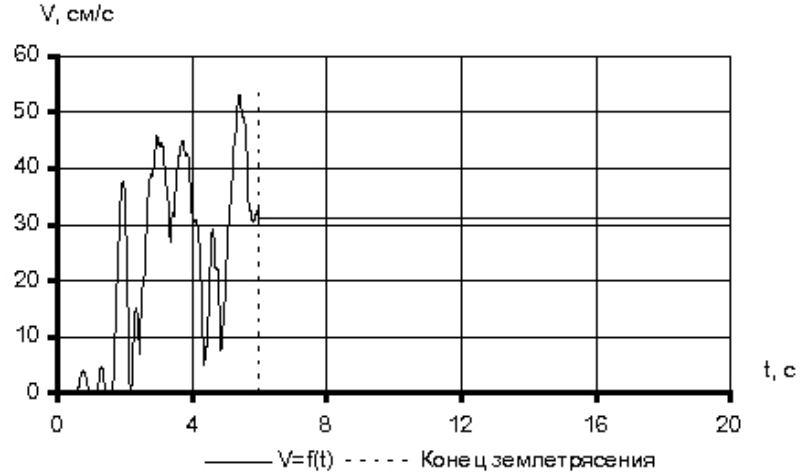


Рис.2. График скорости по нижним пикам акселерограммы

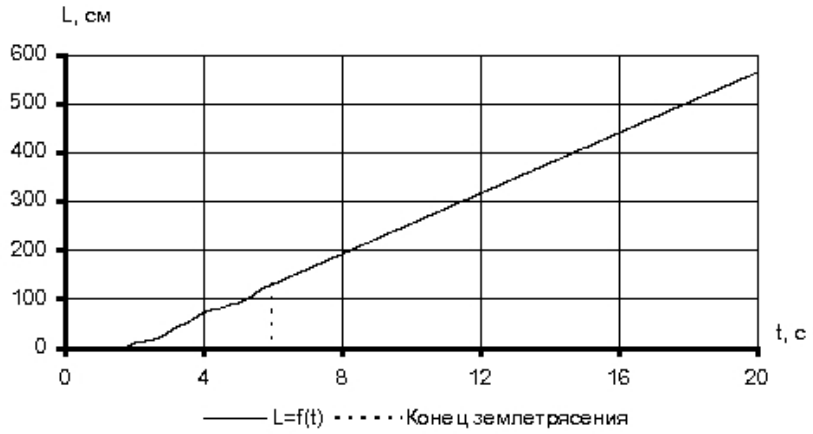


Рис.3. График перемещений по нижним пикам акселерограммы

Во всех рассмотренных оползнях резервы такого дополнительного сопротивления имелись. Величина интенсивности сейсмического воздействия ложа, приводящая оползень в состояние предельного равновесия, при весьма осторожной оценке (с запасом) сил сопротивления определена всего в n=0,001. Повтор прогнозов с новым параметром привел к результатам, приведенным в табл. 2, в которой $T_p$ - момент времени полной остановки движения (V=0); $V_p$ - скорость в момент $T_p$; $L_p$ - перемещение по дуге сдвига в момент $T_p$.

Осторожность оценки n очевидна из сравнения величин $V_{max}$, $V_c$ и L за время $t_з$ обеих таблиц.

Учитывая, что акселерограмма подобрана априори и при корректном подборе в качестве аналоговой могут быть подобраны акселерограммы землетрясений с большей продолжительностью, то естественно ожидать значительного увеличения перемещений. Необходимо отметить, что инерционные характеристики этих оползней разнятся на порядок, однако они влияют на величину перемещений незначительно.

Для наглядности на рис.4 приведен график скорости движения, а на рис.5 график перемещений по времени для того же оползня.

*Таблица 2*

| 1 | Оползень | A , *доли "g"* | n, *доли "g"* | $T_p$, *с* | $V_p$, *см/с* | $V_{max}$, *см/с* | $V_c$, *см/с* | $L_p$, *см* | L за время $t_з$, *см* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Вохчаберд-ский | 0,3 | 0,001 | 33,94 | 0 | 50,06 | 27,47 | 505,7 | 124,05 |
| | | 0,55 | | 60,41 | 0 | 94,40 | 56,81 | 1680,0 | 233,3 |
| 2 | Дилижан-ский N1 | 0,3 | 0,001 | 33,94 | 0 | 48,61 | 26,67 | 491,1 | 120,5 |
| | | 0,55 | | 60,41 | 0 | 91,66 | 51,90 | 1631,3 | 226,7 |
| 3 | Дилижан-ский N2 | 0,3 | 0,001 | 33,94 | 0 | 48,85 | 26,80 | 493,4 | 121,0 |
| | | 0,55 | | 60,41 | 0 | 92,10 | 52,15 | 1639,1 | 227,8 |
| 4 | Дилижан-ский N3 | 0,3 | 0,001 | 33,94 | 0 | 46,87 | 25,72 | 473,5 | 116,1 |
| | | 0,55 | | 60,41 | 0 | 88,37 | 50,14 | 1572,8 | 218,6 |
| 5 | Ванадзор-ский N1 | 0,3 | 0,001 | 33,94 | 0 | 48,46 | 26,59 | 489,6 | 120,1 |
| | | 0,55 | | 60,41 | 0 | 91,38 | 51,75 | 1626,3 | 226,0 |
| 6 | Ванадзор-ский N2 | 0,3 | 0,001 | 33,94 | 0 | 49,23 | 27,01 | 497,3 | 122,0 |
| | | 0,55 | | 60,41 | 0 | 92,82 | 52,56 | 1652,0 | 229,6 |

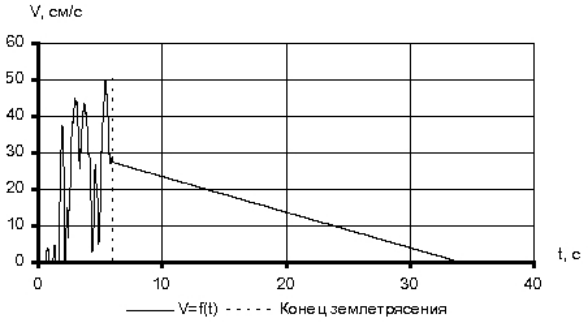


Рис.4. График скорости по нижним пикам акселерограммы

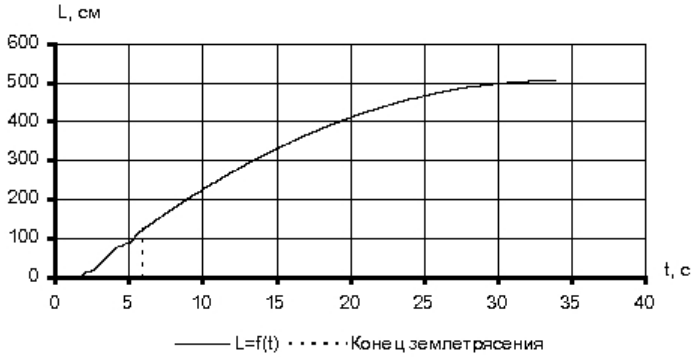


Рис.5. График перемещений по нижним пикам акселерограммы

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **П 17 - 85/ ВНИИГ.** Учет сейсмических воздействий при проектировании гидротехнических сооружений: Пособие к разделу 5 СНиП II - 7 - 81. –Л.: ВНИИГ, 1986. – С. 310.
2. **Бирбраер А. Н., Красников Н. Д.** Динамический расчет устойчивости откосов с учетом возможности их перемещения // Труды координационных совещаний по гидротехнике. – 1973. –Вып.80. –С.35-41.
3. **Красников Н.Д.** Сейсмостойкость гидротехнических сооружений из грунтовых материалов. –М.: Энергоиздат,1981. –240с.

ЕГУАС. Материал поступил в редакцию 10.11.2001.

### Վ.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Հ.Ա. ԱԴԻԼԽԱՆՅԱՆ
### ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԸ ԵՎ ՆՐԱ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՍՈՂԱՆՔԱՅԻՆ ՋԱՆԳՎԱԾՆԵՐԻ ՏԵՂԱՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Նկարագրվում է երկրաշարժերի ազդեցությունից սողանքային զանգվածների տեղափոխությունների գնահատման համար շեպերի մնացորդային դեֆորմացիաների որոշման մեթոդի կիրառությունը:

### V.S. SARKISYAN, H.A. ADILKHANYAN
### EARTHQUAKE AND ITS INFLUENCE ON THE LANDSLIDE MOTION PROCESS

Estimation method application of residual earth slope deformations for predicting landslide motion process affected by an earthquake is described.