

УДК 624:550.34

## СЕЙСМОУСТОЙЧИВАЯ КРУТИЗНА ОТКОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Доцент Байболов Канат Сейтжанович, PhD Артыкбаев Дархан Жаксылыкович

Университет имени Ж.А.Ташенева, Шымкент, Казахстан

E-mail: [kanat-bai@mail.ru](mailto:kanat-bai@mail.ru), [artykbaevd@mail.ru](mailto:artykbaevd@mail.ru)

**Abstract:** The main part of modern hydraulic engineering and road construction consists of dams, dams and embankments of various sizes and composition of soils. Ground structures often turn out to be poorly resistant to earthquakes and for this reason require the use of various antiseismic measures. Antiseismic measures should include: compaction of soil, replacement of weak soils with stronger ones, loading of the slope surface, slope alignment, changing the shape of the slope, drainage devices, use of various fences in the slope (diaphragms, screens), etc. Analysis of these measures shows that each of them, along with a positive effect, has a certain disadvantage associated with limited application, imperfection of technology, high cost, most importantly, completely not achieving the goal.

This circumstance dictates that additional research should be conducted to develop methods that ensure the dynamic stability of slope structures and, first of all, the seismic stability of their steepness. The article presents the result of the author's research conducted in this direction.

**Keywords:** earthquake-resistant steepness, soil, ground structure, soil resistance, earthquake.

### Аннотация:

Основной частью современного гидротехнического и дорожного строительства составляют плотины, дамбы и насыпи из различных по крупности и составу грунтов. Грунтовые сооружения нередко оказываются малоустойчивыми по отношению землетрясений и по этой причине требуют применения различных антисейсмических мероприятий.

К антисейсмическим мероприятиям следуют отнести: уплотнение грунта, замена слабых грунтов более прочными, пригрузка поверхности откоса, уположение откоса, изменение формы откоса, устройства дренажей, использование различных ограждений в откосе (диафрагмы, экраны) и т.п.

Анализ этих мероприятий показывает, что каждый из них наряду с положительным влиянием обладает определенным недостатком, связанным с ограниченностью применения, несовершенностью технологии, дороговизной, самый главный, полностью не достижением поставленной цели.

Это обстоятельство диктует о проведении дополнительных исследований по разработке методов, обеспечивающих динамическую устойчивость откосных сооружений и, в первую очередь, сейсмостойчивости их крутизны.

В статье излагаются результат исследования автора, проведенные в этом направлении.

**Ключевые слова:** сейсмостойчивая крутизна, грунт, грунтовые сооружение, сопротивление грунта, землетресение.

В практике строительства и эксплуатации грунтовых откосов (плотины гидросооружений, насыпи автомобильных и железных дорог, дамбы и т.п.) нередко наблюдались случаи сползания, оплывания, оседания, разжижения в результате воздействия на них различных динамических нагрузок. В большинстве случаев они также возникали при сильных землетрясениях и приносили огромный ущерб народному

хозяйству. Специалисты, изучившие последствия землетрясений, отметили ряд причин, приводивших к аварии откосов при колебаниях. К основным из них относятся: недостаточная прочность грунта в составе откоса, несоответствие плотности грунта требованиям ГОСТа, дополнительное увлажнение грунта в процессе эксплуатации сооружений, неучет динамического напора, возникающего в поровой воде при дополнительном уплотнении грунта в условиях колебания и проблемы, связанные с высотой и крутизной откоса и т.п.

Влажностные состояния большинства грунтовых сооружений оказывают отрицательное влияние на их динамическую устойчивость, что связано с применением дополнительных мер во избежании неблагоприятных случаев при эксплуатации.

Кроме того обеспечение динамической устойчивости водонасыщенных грунтов в составе сооружений является весьма сложной и требующей специальных исследований проблемой [1,2]. Если учесть разнообразность динамических воздействий (сотрясение от движения транспортов, волна в водоемах и т.п.) и особенно колебаний от неповторимых по проявлению землетрясений намного усиливает сложность рассматриваемой проблемы.

Грунтовые сооружения нередко оказываются малоустойчивыми по отношению землетрясений и по этой причине требуют применения различных антисейсмических мероприятий.

К антисейсмическим мероприятиям следуют отнести: уплотнение грунта, замена слабых грунтов более прочными, пригрузка поверхности откоса, уположение откоса, изменение формы откоса, устройства дренажей, использование различных ограждений в откосе (диафрагмы, экраны) и т.п.

Анализ этих мероприятий показывает, что каждый из них обладает определенным недостатком, связанным с ограниченностью применения, несовершенностью технологии, дороговизной, самый главный, полностью не достигением поставленной цели.

Это обстоятельство диктует о проведении дополнительных исследований по разработке методов, обеспечивающих динамическую устойчивость откосных сооружений и, в первую очередь, сейсмостойчивости их крутизны.

Ниже излагается результат исследования автора, проведенные в этом направлении.

Обратимся к рис. 1. Рассмотрим состояние устойчивости малого объема толщиной  $z^1$  установленного на плоский откос с наклоном  $\beta$ .

Коэффициент запаса устойчивости  $k_z$  выделенного объема можно выразить в виде:

$$k_z = \frac{T}{Q}, \quad (1)$$

где  $T$  - сила сопротивления сдвигу выделенного объема;

$Q$  – сила сдвигающая выделенный объем.

В соответствии с этим нарушение устойчивости откоса может произойти при следующих случаях:

- 1) повышение сейсмического касательного напряжения ( $\tau_c$ );
- или
- 2) снижение сопротивляемости сдвигу грунта ( $S_{\sigma,w}$ ).

Первое случае, относящееся к касательному воздействию землетрясения ( $\tau_c$ ), как известно, связано с природными условиями, в нашем случае выражается сейсмическим ускорением ( $\alpha_c$ ) в виде [1 – 3]:

$$\tau_c = \frac{\gamma_w}{\pi g} 2H\alpha_c \quad (2)$$

или

$$\tau_c = 0,64 \gamma_w H k_c, \quad (3)$$

где  $k_c$  – коэффициент сейсмичности.

Сопротивляемость сдвигу грунта под воздействием сейсмического ускорения  $\alpha_c$  для общего случая выражается в виде [1,4,5]:

$$S_{\sigma,w} = \sigma_{дин} tg\varphi_w + c_v, \quad (4)$$

где  $\sigma_{\text{дин}}$  - динамические напряжения от внешней нагрузки и собственного веса грунта ( $\sigma_{\text{дин}} = p + \gamma_w H$ ).

В случаях сотрясения в условиях  $a_c > a_m$  (где  $a_c$  – максимальное сейсмическое ускорение,  $a_{кр}$  – критическое ускорение, ниже которого грунт сохраняет свою статическую структуру и, одновременно, выше его значения начинается нарушение структуры грунта и процесс его уплотнения [1]),

имеем:

$$S_{\sigma,w}(t) = (\sigma_{\text{дин}} - \gamma_w h_{z,t}) \operatorname{tg} \varphi_w + c_{v,t} \quad (5)$$

При отсутствии внешней нагрузки на поверхности грунта, т.е ( $p=0$ ):

$$S_{\sigma,w}(t) = (\gamma_w H - \gamma_w h_{z,t}) \operatorname{tg} \varphi_w + c_{v,t} \quad (6)$$

Отсюда, сейсмоустойчивая крутизна откоса в соответствии с выражением (1), обеспечивается при коэффициенте запаса:

$$k_3 = \frac{0,64 \gamma_w H k_c}{\sigma_{\text{дин}} \operatorname{tg} \varphi_w + c_v} \quad (7)$$

Если обозначим вес выделенного элемента через  $P$  (рис.1), тогда сила  $Q$ , сдвигающая элемент, запишется в виде:

$$Q = P \cdot \sin \beta \quad (8)$$

В то же время, сила  $T$ , обеспечивающая устойчивость откоса будет:

$$T = P \cdot \cos \beta \quad (9)$$

В условиях равновесия  $a_c = a_{кр}$  сопротивляемость сдвигу грунта в самом простом виде, т.е при отсутствии сцепления ( $c_v = 0$ ) согласно (4) представляется в виде:

$$S_{\sigma,w} = T \cdot \operatorname{tg} \varphi_w, \quad (10)$$

где  $T = \sigma_{\text{дин}}$

в случае учета (6):

$$P \cdot \sin \beta = P \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi_w \quad (11)$$

Тогда

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \varphi_w \quad (12)$$

или

$$\beta = \varphi_w \quad (13)$$

Выражения 12 и 13 свидетельствующие равенства углов откоса и сопротивления сдвигу в условиях равновесия откоса имеют важное значение для наших рассуждений. Это в свою очередь дает возможность выразить коэффициента запаса устойчивости в условиях равновесия откоса в виде:

$$k_3 = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (14)$$

где  $\alpha$  – угол наклона.

На базе равенств (7) и (14) сейсмоустойчивую крутизну  $\beta$  колеблющегося откоса можно определить в виде:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(\sigma_{\text{дин}} \operatorname{tg} \varphi_w + c_v) \operatorname{tg} \varphi_w}{0,64 \gamma_w H k_c} \quad (15)$$

Выражение 15 позволяет определить крутизну откоса в условиях сейсмических колебаний. При этом любая крутизна, которая меньше значения, вычисленного по формуле (15) будет выстоять на воздействия соответствующего сейсмического колебания, обеспечивая устойчивость самого откосного сооружения.

В соответствии с выражением (15), сейсмоустойчивая крутизна откоса, в общем случае, зависит от интенсивности воздействующего землетрясения ( $k_c$ ) и прочностных характеристик грунтов ( $\varphi_w, c_v$ ). Вторая часть зависимости указывает на возможность обеспечения устойчивости сооружения при данной крутизны, путем увеличения прочностных показателей грунта

Кроме отмеченных выше, роль нормального напряжения ( $\sigma_{\text{дин}}$ ), состоящего из внешней пригрузки ( $\sigma_{\text{дин}}$ ) и собственного веса грунта ( $\gamma_w \cdot H$ ) также значителен. Путем

регулирования значения  $\sigma_{дин}$  также появится возможность обеспечения устойчивой крутизны откоса.

В случаях когда на поверхности откоса отсутствует пригрузка, т.е. при  $p_0=0$  (15) формула приобретает вид:

$$tg\alpha = \frac{tg\varphi_w}{0,64 k_c} (tg\varphi_w + \frac{c_v}{\gamma_w H}) \quad (16)$$

Известно, что в условиях сейсмического воздействия при  $a_c > a_{кр}$  происходит изменение (уменьшение) прочностных показателей грунта за счет уменьшения связности  $c_{w,t}$  и взвешивающего воздействия динамического напора  $h_{z,t}$  [6 – 9]. Динамический напор, в определенных условиях, может оказать катастрофическое влияние на устойчивости откоса. Так, при условии  $h_{z,t} = \sigma_{дин}$  величина  $c_{v,t}$  также будет ближе к нулю. Такое, крайнее состояние свидетельствует о том, что любая крутизна откоса в рассматриваемых условиях не сможет обеспечить устойчивость сооружения и в результате разжижения грунта образуются оползни, в определенных условиях громадных размеров, со всеми вытекающими отсюда последствиями ( например, сейсмические деформации дорожных насыпей в последствиях Чилийского (2010г) и Непалского (2015г) землетрясений) [9,11]).

Следует подчеркнуть, что выражения 5 и 6 описывают случай изменения общего сцепления ( $c_{v,t}$ ) и возникновения динамического напора ( $h_{z,t}$ ) в условиях  $a_c > a_m$  колебаний грунта. Однако, как было отмечено выше, такое положение редко имеет место в искусственных откосах, т.к. при возведении таких сооружений им предъявляется особое требование относительно плотности грунта. В таких случаях в формуле (6) следует рассмотреть параметров  $c_{v,t} = c_v$  и  $h_{z,t} = 0$ . Такой случай имеющий место в в условиях  $a_c < a_{кр}$  описывается формулой 16.

Следует отметить, что формула 16 составляет основу предлагаемого метода сейсмоустойчивой крутизны откосных сооружений. С ее помощью можно прогнозировать сейсмоустойчивость любого откоса в условиях воздействия землетрясений. Данный метод очень прост и удобен в практическом пользовании.

#### Литература

1. Расулов Х.З., Расулов Р.Х., Артыкбаев Д.Ж., Байболов К.С. Натурные исследования сеймопросадочной деформации лессовых грунтов. Вестник КазНУ №6 (136), Алматы 2019г.
2. Расулов Х.З., Артыкбаев Д.Ж. Предельная нагрузка на основание плотин при сейсмическом колебании. Технические науки: проблемы и решения. 116 Сборник статей по материалам XXI международной научно-практической конференции, Москва 2019г., №3 (19).
3. Артыкбаев Д.Ж., Байболов К.С., Расулов Х.З. Критерии устойчивости откосов при сейсмических условиях. Вестник Кызылординского государственного университета имени Коркыт Ата, №2 (53) 2019г
4. Rasulov H.Z., Artykbayev D.Z. Critical of Slopes Stability at Seismic Flactuation // OEAPS: Fundamental find applied scientific research, International scientific and practical conference. - Berlin, 2019. – P. 68-71.
5. Артыкбаев Д.Ж. Изменение параметров прочности грунта в теле откоса при динамических воздействиях // Вестник КазНУ. – Алматы, 2018. - №6(130).– С. 217-221.
6. Расулов Х.З., Артыкбаев Д.Ж., Байболов К.С. Сейсмоустойчивая крутизна откосов // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. Тынышпаева. – 2018. - №3(106). - С.17-21.
7. Расулов Х.З., Артыкбаев Д.Ж., Байболов К.С. Порог сеймопросадочности как критерий устойчивости структуры лессовых грунтов 118 // Вестник Казахско-Британского технического университета. – 2019. - №2. – С.49.

8.Artykbaev D. Zh., Rasulov H.Z., Baibolov K.S. Influence of Soil Density and Moisture on Seismic Stability of Slope Structures // International Journal of Engineering Research and Technology. – 2019. -Vol.12, Iss. 8. – P. 1259-1262.

8.Rasulov H.Z., Artykbaev D.Zh. Criteria of slopes stability at seismic fluctuation // OEAPS: Fundamental and applied scientific research: International scientific and practical conference. - Berlin, 2019. – P.68-71.

9.Artykbaev D. Zh., Baibolov K.S.. Seismic subsidence deformations of loess soils and their studies // ICITE-2019: Industrial technologies and engineering: VI International annual conference. – Shymkent, 2019. – P.199-204.

10.Расулов Х.З., Расулов Р.Х., Артыкбаев Д.Ж. Деформация увлажненных лессов при сейсмических воздействиях // Механика деформируемых твердых тел: сб. докл. для респуб. науч.-практ. конф. – Ташкент, 2018. – С.312-315.

11. Расулов Х.З. Прогноз деформации сооружений в результате пластического течения грунтов при землетрясениях // Труды 1-го ЦентральноАзиатского геотехнического симпозиума. – Астана, 2000. - Т.1. – С. 266-270.