

УДК 519.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАГЛУБЛЕНИЯ СВАИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СКЛОНОВ

МЕНАБДИШВИЛИ П. З., *акад. ГИА, д.т.н, проф.*

Национальное бюро судебной экспертизы им. Л. Самхараули Центр строительной механики, сейсмостойкости и инженерной экспертизы, аллея Д. Агмашенебели 10-ый километр, 0131, г.Тбилиси, Грузия, тел. +995599166882, e-mail: [Papuna\\_m@rambler.ru](mailto:Papuna_m@rambler.ru), ORCID ID: 0000-0002-3476-0353

**Аннотация.** *Цель.* Проблемы оценки и устойчивости склонов и прогноза оползней приобрели особую актуальность в последние десятилетия. В настоящее время интерес инженеров к проблемам оценки устойчивости склонов все больше возрастает в связи с освоением горно-складчатых областей в богатых рудными месторождениями, строительством транспортных магистралей, разработкой карьеров глубиной до нескольких сотен метров открытым способом, с развитием городской инфраструктуры. Оценка устойчивости естественных склонов, как правило, связана со строительством и эксплуатацией инженерных сооружений. Для обеспечения устойчивости и нормальных условий эксплуатации сооружений, взаимодействующих с оползневыми склонами, необходимо оценить устойчивость данного склона с учетом оползнеобразующих факторов. Поэтому в каждом конкретном случае следует выбирать расчетную схему отвечающую механизму данного оползневого процесса. Целью данной работы является, с применением численных экспериментов, исследовать влияние заглубления сваи на устойчивость склонов. *Методика.* Для оценки влияния заглубления сваи на устойчивость склонов предлагается расчетная модель единой системы «склон + сваи + возводимые здания». *Результаты.* Как показал анализ результатов проведенных численных экспериментов, предложенная модель расчёта устойчивости склона обеспечивает соответствующие изменение напряжённо-деформированного состояния склона даже при небольших изменениях в исходных данных. Поэтому надёжность и достоверность полученных результатов целиком зависит от точности данных инженерно-геологических обследований конкретного исследуемого объекта. Анализ результатов проведенных численных экспериментов показал, что в сложных инженерно-геологических условиях и в сейсмически опасных регионах даже в тех случаях, когда строительная площадка согласно строительным нормам неблагоприятная (угол уклона рельефа больше 15°) и при катаклическом составе склона возможно повышение коэффициента устойчивости склона до такого значения, которое удовлетворяет требования строительных норм. *Научная новизна.* Предложенная расчетная модель единой системы «склон + сваи + возводимые здания» позволит максимально приближаться к реальному положению: учесть рельеф, состав, наклон и физико-механические характеристики грунтов; состав, геометрия и расположения фундаментов, величины нагрузок, передаваемые на основание с учетом физической нелинейности грунтов и сеймики; в единой системе рассмотреть и оценить НДС и устойчивость склона; с применением численных экспериментов выбирать оптимальный вариант фундаментов для возводимых зданий. *Практическая значимость.* По сравнению с существующими нормами и эмпирическими зависимостями использование предложенной расчетной модели существенно улучшит точность, достоверность и надежность полученных результатов для оценки влияния нового строительства на устойчивость склона.

**Ключевые слова:** сваи; устойчивость склонов; метод конечных элементов; сейсмика; расчетная модель

## INVESTIGATION OF PILE EMBEDDING INFLUENCE ON THE SLOPE STABILITY

MENABDISHVILI P.Z., Acad. of GEA, Dr. Sc. (Tech) Prof.

Levan Samkharauli National Forensics Bureau. Kiriak Zavriev Center of Structural Mechanics Earthquake Engineering and Expertize. D. Agmashenebeli alley, 10<sup>th</sup> km, 0131, Tbilisi, Georgia. Phone: +995 599 166882, e-mail: [Papuna\\_m@rambler.ru](mailto:Papuna_m@rambler.ru), ORCID ID: 0000-0002-3476-0353

**Abstract.** *Purpose.* The problem of slope stability assessment and landslide prediction acquire the special actuality in last decades. At present, interest of engineers to the problem of the slope stability is growing in connection with development of the mountainous-folded regions, having rich mineral deposits, development of thoroughfares, elaboration of mines with depth up to hundred meters by open-cut mining, advance of the city infrastructure. The assessment of the stability of natural slopes, as a rule, connected with the construction and exploitation of engineering structures. For the ensuring of the stability and normal exploitation conditions of the structures, interacting with the sliding slopes, the assessment of the given slope, considering the landslide forming factors, is necessary. So, the design model, corresponding to the mechanism of the given sliding process should be chosen for the every instance. The goal of the present work is the investigation of the pile embedding influence on the slope stability, using the numerical experiments. *Methodology.* For the assessment of the pile embedding influence on the slope stability design model of the uniform system `slope + pile + building under construction is proposed. *Findings.* As analysis of conducted numerical experiments has shown, the proposed model of slope stability design ensures corresponding change of slope deformation mode even at the small changes in the raw data. Therefore the reliability and credibility of results obtained entirely depends on the preciseness of the data of engineering-geological investigations of the special object under investigation. The analysis of conducted numerical experiments has

shown that in complex engineering-geological conditions and in earthquake prone regions, even in case, when the building area, according to construction standards, unfavorable (inclination angle greater than  $15^\circ$ ) and at cataclinal structure of the slope, the factor of slope stability can be increased up to the value, meeting the standard requirements. **Originality.** The proposed model „slope + pile + building under construction“ allows to approximate maximally to the real state: considering the relief, structure, inclination and the soil physical-mechanical properties; structure, geometry and location of foundations; the value of the loading, passing to the foundation, considering the soil physical nonlinearity and seismicity; to examine in the uniform system and assess the slope deformation mode and stability; to select the optimum version of the foundations for the buildings under construction. **Practical value.** In comparison with the existing standards and empirical dependences, the use of the proposed design model will substantially improve the preciseness, trustworthiness and reliability of the results obtained for the assessment of the new construction on the slope stability.

**Keywords:** pile; slope stability; method of finite elements; seismic; design model

### Введение

Проблемы оценки и устойчивости склонов и прогноза оползней приобрели особую актуальность в последние десятилетия. В настоящее время интерес инженеров к проблемам оценки устойчивости склонов все больше возрастает в связи с освоением горно-складчатых областей, в богатых рудными месторождениями, строительством транспортных магистралей разработкой карьеров глубиной до нескольких сотен метров открытым способом, с развитием городской инфраструктуры.

Оценка устойчивости естественных склонов как правило, связана со строительством и эксплуатацией инженерных сооружений. Для обеспечения устойчивости и нормальных условий эксплуатации сооружений взаимодействующих с оползневыми склонами, необходимо оценить устойчивость данного склона с учетом оползнеобразующих факторов. Поэтому в каждом конкретном случае следует выбирать расчетную схему отвечающую механизму данного оползневого процесса.

### Цель

Целью данной работы является, с применением численных экспериментов, исследовать влияния заглубления сваи на устойчивость склонов.

### Методика.

В связи с развитием информационных технологий, вычислительной техники и программного обеспечения широкое распространение для решения геотехнических задач получили численные методы. Наиболее часто для этих целей используется метод конечных элементов (МКЭ). МКЭ может решать геотехнические задачи, аналитические решения которых представляют значительные математические трудности. Полученные при решении результаты обладают хорошей представительностью и, при использовании адекватных математических моделей достаточной точностью. Численное моделирование является достаточно тонким процессом, в полной мере зависящим от опыта инженера.

В данной работе для оценки влияния заглубления сваи на устойчивость склонов, предлагается расчетная модель единой системы «склон + сваи + возводимые здания».

С целью установления влияния заглубления сваи на устойчивость склонов, была проведена серия численных экспериментов, в частности: тестовые задачи и семь вариантов расчета на принятую модель.

До обработки основной модели были выполнены две тестовые задачи с различными граничными условиями, где были моделированы слои как песчаников, так и

аргиллитов. В этих моделях размеры элементов для песчаников составляли 1.0 м. по длине и 0.5 м. по ширине, для аргиллитов 1.0м. и 0.2м. соответственно.

В упомянутых тестовых задачах для оценки работы модели было выполнено множество вариантов расчёта, в частности, менялись как граничные условия, так и исходные данные слоёв песчанника и аргиллита.

Расчётные склоны состоят из слоёв песчанника и аргиллита, расположенных попеременно. Толщина песчаников 0.38м., аргиллитов же 0.02м. уклон слоёв равен  $29^\circ$ ; физико-механические показатели песчанников следующие:  $E = 0.84 \times 10^5 \text{ МПа}$ ,  $\nu = 0.27$ ,  $R_0 = 2.41 \text{ г/см}^3$ ,  $R_C = 3.72 \text{ МПа}$ ,  $\phi = 24.56^\circ$ ,  $R_S = 0.75 \text{ МПа}$ ; для аргиллитов  $E = 0.2 \times 10^5 \text{ МПа}$ ,  $\nu = 0.37$ ,  $R_0 = 2.41 \text{ г/см}^3$ ,  $R_C = 0.13 \text{ МПа}$ ,  $\phi = 24.56^\circ$ ,  $R_S = 0.026 \text{ МПа}$ .

Задача рассматривается по схеме плоской деформации с учётом сдвига.

Реализовано преимущество метода конечных элементов по сравнению с другими методами, расчётная модель максимально приближена к реальному состоянию. Расчётная модель точно описывает профиль склона, уклон слоёв, расположение и геометрию существующих на нём свай. Также точно моделированы по своим геометрическим размерам два туннеля, которые расположены в этом разрезе склона. Число конечных элементов составляет 29553, а количество уравнений 84050.

Граничные условия следующие: низ сечения закреплён в направлении Z оси, а стороны в направлении X оси. Для уменьшения влияния граничных условий длина сечения увеличена на 20метров.

Расчёт произведён про двух нагрузках. первая - когда на склон действует нагрузка, передаваемая от сооружения с учётом 8 бальной сейсмичности, и вторая - когда на склон действует только собственный вес. Нагрузка на склон передаётся посредством свай.

### Результаты.

В результате расчета получено напряжённо-деформированное состояние сечения в плоскости XOZ. Посредством главных напряжений определено поле устойчивости склона и соответственно поверхность возможного скольжения. В этом случае коэффициент устойчивости составляет 1.24, что для данных склонов надо считать недостаточным. С целью проверки полученных результатов частоту сетки расчётной модели увеличили в 2 раза. Сравнение полученных результатов показывает, что они почти идентичны, что доказывает их достоверность.

Для повышения коэффициента устойчивости склона было проведено три численных эксперимента, в частности:

удлинение сверху свай 4 и 5 на 0.9 и 3.3 м. соответственно практически не повлияло на коэффициент устойчивости. Удлинение сверху свай 2 на 1.9 метра увеличило коэффициент устойчивости до 1.3-х. Удлинение сверху свай 1 и 2 на 2.7 и 0.9 м. соответственно увеличило коэффициент устойчивости и он стал равным 1.57, что полностью удовлетворяет определяемую строительными нормами допустимую величину коэффициента устойчивости склона.

#### Научная новизна и практическая значимость

Предложенная расчетная модель единой системы «склон + сваи + возводимые здания» позволит максимально приближаться к реальному положению: учесть рельеф, состав, наклон и физико-механические характеристики грунтов; состав, геометрия и расположения фундаментов; величины нагрузок, передаваемые на основание, с учетом физической нелинейности грунтов и сеймики; в единой

системе рассмотреть и оценить НДС и устойчивость склона; с применением численных экспериментов выбирать оптимальный вариант фундаментов для возводимых зданий.

По сравнению с существующими нормами и эмпирическими зависимостями использование предложенной расчетной модели существенно улучшит

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Ильюшин А.А., Механика сплошной среды, изд. Московского университета 1990.

Ilyushin A.A., Mechanics of continuum, publishing house of the Moscow University, 1990.

2. Маслов Н. Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии, изд. «ВЫСШАЯ ШКОЛА», Москва – 1968.

Maslov N.N. Basis of soil mechanics and engineering geology, Publishing house 'Vishaiia Shkola', Moscow, 1968.

3. Менабдишвили П. З., Оценка устойчивости и откосов в неблагоприятных инженерно-геологических и сейсмических условиях. Международная научная конференция. Ашхабад, 12-14 июня 2013.

Menabdishvili P.Z., Assessment of slope stability in disadvantageous engineering-geological and seismic conditions. International Scientific Conference. Ashkhabad, 12-14 June, 2013.

4. Менабдишвили П. З., Оценка влияния нового строительства на фундаменты существующих зданий при любом составе и форме рельефа. // сб. научн. трудов. Вып. 69,-Дн-вск, ГВУЗ ПГАСА, 2013. – 659с. с. 338-341.

Menabdishvili P.Z. Assessment of the influence of the new construction on the foundations of existing buildings at the any composition and form of the relief. Proceedings of scientific reports, issue 69, SIHE PSACA, 2013, pp.659, p.338-341.

5. Менабдишвили П. З., Оценка устойчивости оползневых склонов в неблагоприятных инженерно-

точность, достоверность и надежность полученных результатов для оценки влияния нового строительства на устойчивость склона.

#### Выводы

Как показал анализ результатов проведенных численных экспериментов, предложенная модель расчёта устойчивости склона обеспечивает соответствующие изменение напряжённо-деформированного состояния склона даже при небольших изменениях в исходных данных. Поэтому надёжность и достоверность полученных результатов целиком зависит от точности данных инженерно-геологических обследований конкретного исследуемого объекта.

Анализ результатов проведенных численных экспериментов показал, что в сложных инженерно-геологических условиях и в сейсмически опасных регионах даже в тех случаях, когда строительная площадка согласно строительным нормам неблагоприятная (угол уклона рельефа больше 15°) и при катаклическом составе склона возможно повышение коэффициента устойчивости склона до такого значения, которое удовлетворяет требования строительных норм.

геологических и сейсмических условиях. // сб. научн. трудов. Вып. 77,-Дн-вск, ГВУЗ ПГАСА, 2014. – 273с. с. 107-111.

Menabdishvili P.Z. Assesment of the stability of the sliding slopes in disadvantageous engineering-geological and seismic conditions. Proceedings of scientific reports, issue 77, SIHE PSACA, 2014, pp 107-111.

6. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов, ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1984. – 80.

Recommendations concerning the numerical assessment of the sliding slope stability. ПНИИИС.- М, СТРОИИДАТ, 1984. – 80.

7. Ухов С. Б.; Семенов В. В, Знаменский В. В, Тер-Мартиросян З. Г, Чернышев С.М.- Механика грунтов, основания и фундаменты - М. АСВ 1994-524 с.

Ukhov S. B., Cemionov V.V, Znamenski V.V., Ter-Martirosian Z.G., Chernishev S.M. Soil Mechanics, basis and foundations. M., ACB 1994, p. 524.

8. Хуан Я.Х., Устойчивость земляных откосов, Москва, Стройиздат, 1988.

Khuian I. Kh. Stability of earthy slopes, Moscow, СТРОИИДАТ, 1988.

9. Biondy G., Cascone E., Rampello S. (2007a). Performance based pseudo-static analysis of slopes. Proc. 4<sup>th</sup> Int. Conference Earthquake Geotechnical Engineering. 4ICEGE, Thessaloniki, 25-28 June.

Бионди Г., Касконе Е., Рамрелло С. (2007). Псевдостатический анализ на основе рабочих характеристик. Труды четвертой международной конференции по сейсмике и инженерной геологии. Тесалоники, 25-28 Июня.

10. Biondi G., Maueri M., Kaskone E ((2007b) Displacement-based seismic analysis of rigid retaining walls.

Proc. 14<sup>th</sup> ECSMGE, ERTC12 Workshop "Geotechnical aspect of EC8", Madrid.

Бионди Г., Маугери М., Касконе Е (2007). Сейсмический анализ жестких подпорных стен на основе перемещений. Труды 14-ой конференции "Геотехнические аспекты EC8", Мадрид.

11. Biondi G., Cascone E., Maugeri M. (2002). Flow and deformation failure of sandy slopes. Soil dynamics and Earthquake Engineering, 22. pp. 1103-1114.

Бионди Г., Касконе Е., Маугери М (2002). Текучесть и разрушение на основе деформаций песчаных откосов. Динамика грунтов и сейсмостойкое строительство. с. 1103-1114.

12. Bandini V., Cascone E., Biondi G., A Gle multi-block model for the evaluation of seismic displacements of slopes. 2008 Seismic Engineering Conference, commemorated to 1908 Messina and Reggio Calabria Earthquake. pp. 485-492.

Бандини В., Касконе Е., Бионди Г., Многоблочная модель для оценки сейсмических перемещений откосов, 2008. Инженерная конференция, посвященная столетней годовщине землетрясения Мессина и Калабрия 1908 года в Италии, в 8-11 Июля, 2008, с. 485-492.

13. Gazetes G., N. Udin N., Permanent deformation of preexisting sliding surfaces in dams., Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 120(11), 2041-2061 (1994).

Газетес Г., Удин Н., Остаточная деформация заранее существующих поверхностей скольжения в плотинах", Журнал геотехнического строительства, ASCE 120(11), 1994, pp. 2041-2061.

14. Papuna Menabdishvili, Nelli Eremadze, Assessment of Slope Stability and Interference of Structures Considering Seismicity in Complex Engineering-Geological Conditions Using the Method of Finite Elements, 2008 Seismic Engineering Conference Commemorating the 1908 Messina and Reggio Calabria Earthquake Reggio Calabria, Italy, 8-11 July, 2008, 535-541.

Папуна Менабдишвили, Нелли Еремадзе, Оценка устойчивости склонов и влияние зданий с учетом сейсмичности в сложных инженерно-геологических условиях с использованием метода конечных элементов. Инженерная конференция, посвященная столетней годовщине землетрясения Мессина и Калабрия 1908 года в Италии, в 8-11 Июля, 2008, с. 535-541.

Статья поступила в редколлегию 07.08.2015