

УДК 519.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА И СОСТАВА ПОРОД НА УСТОЙЧИВОСТЬ СКЛОНОВ В НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ИНЖЕНЕРНО – ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

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: [Paruna\\_m@rambler.ru](mailto:Paruna_m@rambler.ru), ORCID ID: 0000-0002-3476-0353

**Аннотация.** *Цель.* 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. Согласно мировой статистике, в современной обстановке с инженерно-хозяйственной деятельностью связано около 80% оползневых смещений. 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 рельефа и состава пород на устойчивость склонов с учетом возводимых зданий и сейсмических воздействий. *Методика.* С применением метода конечных элементов (ПК ЛИРА) разрабатывается методика расчета склонов с учетом возводимых зданий и сейсмических воздействий, предлагается расчетная модель единой системы «грунтовый массив+ фундаменты + возводимые здания». *Результаты.* Анализ результатов проведенных численных экспериментов показал, что точность и достоверность расчета прямо зависит от исходных данных, полученных от инженерно-геологических изысканий, поэтому без полноценных и качественных инженерных изысканий расчеты теряют практического смысла и полученные результаты могут привести к аварийным последствиям. При возрастании содержания песчаника на 15% и 30% сильно истощенных и истощенных породах сдвиг сначала уменьшается, потом полностью исчезает, поэтому при расчете устойчивости склонов обязательно, что расчетная модель склона точно опишет расположение слоев грунта и их геометрических размеров. *Научная новизна.* Предложенная расчетная модель единой системы «грунтовый массив + фундаменты + 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 сейсмике; в единой системе рассмотреть и оценить напряженно-деформированного состояния (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:** свай; устойчивость склонов; метод конечных элементов; сейсмика; расчетная модель

## INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF RELIEF AND ROCK COMPOSITION ON THE STEADINESS OF SLOPES IN DISADVANTAGEOUS ENGINEERING-GEOLOGICAL AND SEISMIC CONDITIONS

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: [Paruna\\_m@rambler.ru](mailto:Paruna_m@rambler.ru), ORCID ID: 0000-0002-3476-0353

**Abstract. Purpose.** At present time the interest of engineers to the problem of assessment of slope stability progressively increases in connection with adoption of mountain-folded regions rich in ore deposits, construction of transport highways, elaboration of quarries of depth up to hundreds meter by the open cut method, development of urban infrastructure. According to world statistic, in present situation, 80% of landslides are connected to engineering-production activities. For the ensuring of the stability and normal operation conditions of structures interacting with landslide slopes, the assessment of the given slope stability considering the landslide generative factors has been necessary. Therefore, in each concrete case the design scheme, corresponding to the land sliding process, should be selected. The **purpose** of present work is the investigation, using the numerical experiments, of the influence of

relief and composition of rocks on the slope stability, considering the buildings under construction and seismic effect. **Methodic.** Using the method of finite elements (LIRA) the methodic of slope calculation, considering the buildings under construction and seismic effect, is elaborated. The analytical model of uniform system 'soil massif + foundations + structures under construction' is proposed. **Results.** The analysis of results, obtained by the conducted numerical experiments have shown that the preciseness and trustworthiness of calculation directly depends on initial data, obtained by engineering-geological research, therefore, without of full and qualitative engineering investigation the calculation loses the practical sense and results obtained could lead to the accident. At increasing of sandstone content on 15% and 30% in very exhausted and exhausted rocks, the share at first is decreasing, then disappearing at all, therefore in slope stability calculation, the slope calculation model to describe precisely the disposition of soil layers and their geometrical sizes, is necessary. **Scientific novelty.** Proposed calculation model of uniform system 'soil massif + foundations + structures under construction' will allow maximum approximation to the real position: consideration of relief, composition, inclination and physical-mechanical properties of soil; composition, geometry and disposition of foundations; values of loadings, transmitted to the foundations, physical nonlinearity of soils and seismic effect, consideration and assessment of slope deformation mode and stability in uniform system; selection of the optimum versions of foundations for buildings under construction using the numerical experiments. **Practical meaning.** Comparatively to existing norms and empirical expressions, the use of proposed calculation model will substantially improve the preciseness, trustworthiness and reliability of results of the assessment of influence of new construction on the slope stability.

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

### Введение

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. Согласно мировой статистике, в современной обстановке с инженерно-хозяйственной деятельностью связано около 80% оползневых смещений. 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. Грандезные по объему и катастрофически развивающиеся оползни, обвалив разных странах привели к огромному материальному ущербу и гибели людей. Так например Оползень образовавшийся в 1920 в Китае вызванным с землетрясением, жертвой 100000 человек; оползень р. Войонт в Италии, 1963 года склон горы Монте Ток длиной 2 км и шириной почти километр с оглушительным шумом сполз в чашу водохранилища. Пласт горных пород объемом около 260 миллионов кубометров за 45 секунд полностью погрузился в воду, наполнив собой водохранилище до отметки 170 метров. Вода, в считанные секунды вытесненная из водохранилища колоссальной массой, поднялась на 250 метров над уровнем плотины и через мгновение обрушилась в ущелье, создав волну высотой 90 метров. Чудовищная волна, двигаясь со скоростью до 12 м/с (около 40 км/ч), сносила все на своем пути, и даже понижение ее высоты до 20 метров при выходе из ущелья не спасло от гибели жителей лежащих в долине деревень. Все кончилось очень быстро, уже через 7 минут не существовало пяти деревень, А сама долина превратилась в огромное грязевое озеро.

### Цель

Целью данной работы является, с применением численных экспериментов, исследовать влияние рельефа и состава пород на устойчивость склонов с учетом возводимых зданий и сейсмических воздействий.

### Методика.

Наиболее распространенным способом оценки устойчивости склонов и откосов являются расчеты, выполнение которых неизбежно связано со значительной схематизацией всего явления, необходимостью достоверного установления положения поверхности скольжения и ее формы, определения прочности пород в пределах поверхности скольжения и т. д. Такая схематизация часто вызывает существенные отклонения схемы расчета от действительной природы оползня, что приводит к неверной оценке устойчивости склона. Происходит это потому, что реальная поверхность скольжения имеет гораздо более сложную конфигурацию, чем предусмотренная схемой расчета или потому, что действительное смещение осуществляется не по одной поверхности, а в пределах зоны, сложенной грунтами пониженной прочности или повышенных скальвающих напряжений. В большей части расчетов недостаточно полно учитывается напряженное состояние пород в зоне скольжения, распределение напряжений в оползневом склоне и его влияние на формирование прочности и устойчивости грунтов. Несмотря на относительную простоту расчетов, получаемые оценки устойчивости склонов и откосов во многих случаях не обладают необходимой надежностью. Наиболее достоверными они оказываются в простейших случаях: при однородном строении массивов пород и относительно простой конфигурации поверхности оползневых склонов. При необходимости учета неоднородности геологического строения, отсутствии сведений о механизме смещения и положении поверхности скольжения, изложенные выше расчеты усложняются и часто оказываются бесполезными. Все они могут быть использованы, при строгом выполнении тех упрощений и допущений, на которые каждый из них базируется.

С применением метода конечных элементов (ПК ЛИРА) разрабатывается методика расчета склонов с учетом

возводимых зданий и сейсмических воздействий. 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 рельефа и состава пород на устойчивость склонов с учетом возводимых зданий и сейсмических воздействий предлагается расчетная модель единой системы «грунтовый массив + фундаменты + возводимые здания».

Задача рассматривается по схеме плоской деформации с учётом сдвига.

Объект исследования представляет склон, на котором строится многоэтажный дом. Склон состоит из трех зон: сильно истощенные, истощенные и слабо истощенные породы.

Реализовано преимущество метода конечных элементов по сравнению с другими методами, расчетная модель максимально приближена к реальному состоянию. Расчетная модель точно описывает рельеф склона, уклон, состав слоёв и их геометрию.

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.

Для оценки влияния рельефа и состава пород на устойчивость склонов с учетом возводимых зданий и сейсмических воздействий было выполнено 10 вариантов расчёта: менялись как граничные условия, варианты фундаментов, так и исходные данные слоёв песчаника и аргиллита, в частности:

Обоснование фундамента осуществляется на слабо истощенный слой на сваях. Сильно истощенные и истощенные породы моделированы как аргиллиты. Истощенные породы на правую сторону здания не срезаны. Нагрузки на сваях по направлению Z составляют 193,229,211,153, по X 38.6 45.8, 42.2, 30.6 т.;

Обоснование фундамента осуществляется на слабо истощенный слой на сваях. Сильно истощенные и истощенные породы моделированы как аргиллиты, которые содержат 15% песчаника. Истощенные породы на правую сторону здания срезаны;

Обоснование фундамента осуществляется на слабо истощенный слой на сваях. Сильно истощенные и истощенные породы моделированы как аргиллиты, которые содержат 30% песчаника. Истощенные породы на правую сторону здания срезаны;

Обоснование фундамента осуществляется на слабо истощенный слой на сваях. Сильно истощенные и истощенные породы моделированы как аргиллиты, которые содержат 30% песчаника. Истощенные породы на правую сторону здания не срезаны;

Обоснование фундамента осуществляется на слабо истощенный слой на сваях. Сильно истощенные и истощенные породы моделированы как аргиллиты, которые содержат 30% песчаника. Истощенные породы на правую сторону здания срезаны на половину;

Обоснование фундамента осуществляется на слабо истощенный слой на монолитную железобетонную плиту. Сильно истощенные и истощенные породы моделированы как аргиллиты, которые содержат 30% песчаника. Истощенные породы на правую сторону здания не срезаны;

Обоснование фундамента осуществляется на слабо истощенный слой на монолитную железобетонную плиту. Сильно истощенные и истощенные породы моделированы как аргиллиты, которые содержат 30% песчаника. Истощенные породы на правую сторону здания срезаны;

Обоснование фундамента осуществляется на слабо истощенный слой на сваях. Сильно истощенные и истощенные породы моделированы как аргиллиты, которые содержат 30% песчаника. Истощенные породы на правую сторону здания срезаны. Сторону наклона по направлению оси X снята закрепление.

Обоснование фундамента осуществляется на слабо истощенный слой на сваях. Сильно истощенные и истощенные породы моделированы как аргиллиты, которые содержат 30% песчаника. Истощенные породы на правую сторону здания не срезаны. Действует только сейсмические нагрузки грунта;

Обоснование фундамента осуществляется на слабо истощенный слой на сваях. Сильно истощенные и истощенные породы моделированы как аргиллиты, которые содержат 30% песчаника. Истощенные породы на правую сторону здания не срезаны. Без сейсмических нагрузок;

## Результаты.

В результате проведенных численных экспериментов для всех вариантов расчета получено напряженно-деформированное состояние сечения в плоскости XOZ. Посредством главных напряжений определено поле устойчивости склона и соответственно поверхность возможного скольжения.

## Научная новизна и практическая значимость

Предложенная расчетная модель единой системы «грунтовый массив + фундаменты + 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 точность, достоверность и надежность полученных результатов для оценки влияния нового строительства на устойчивость склона.

### Выводы

Анализ результатов проведенных численных экспериментов показал, что точность и достоверность расчета прямо зависит от исходных данных, полученных от инженерно-геологических изысканий, поэтому без полноценных и качественных инженерных изысканий расчеты теряют практического смысла и полученные результаты могут привести к аварийным последствиям.

При возрастании содержания песчаника на 15% и 30% сильно истощенных и истощенных породах сдвиг сначала

уменьшается, потом полностью исчезает, поэтому при расчете устойчивости склонов обязательно, что расчетная модель склона точно описал расположение слоев грунта и их геометрических размеров.

Если в сторону наклона по направлению оси X частично снимать закрепление, тогда происходит сдвиг освобожденных слоев и образуется оползневый процесс. Таким образом когда склон имеет катаклинический характер без предварительного укрепления сторону наклона обрезаение склона недопустимо.

Срезание возвышенного участка истощенных пород на правую сторону здания улучшает как НДС склона так и устойчивость. В этом случае, с учётом 8 бальной сейсмичности, коэффициент устойчивости составляет 1.8, что удовлетворяет требования строительных норм.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Ильюшин А.А., Механика сплошной среды, изд. Московского университета 1990. Iliushin 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, ГБУЗ ПГАСА, 2013. – 659с. с. 338-341. Menabdishvili P.Z. Assesment 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-геологических и сейсмических условиях. // сб. научн. трудов. Вып. 77,-Дн-вск, ГБУЗ 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-Мартirosян З. Г, Чернышев С .М- Механика грунтов, основания и фундаменты - М. АСВ 1994-524 с. Ukhov S. B., Semionov 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. 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.
10. 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.
11. 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.