

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2021, №5, Том 13 / 2021, No 5, Vol 13 <https://esj.today/issue-5-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/39SAVN521.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Чубка, П. Ю. Сравнение методов расчета устойчивости массивов грунтов / П. Ю. Чубка, Ю. Ш. Чубка // Вестник евразийской науки. — 2021. — Т. 13. — № 5. — URL: <https://esj.today/PDF/39SAVN521.pdf>

For citation:

Chubka P.Yu., Chubka Yu.Sh. Comparison of methods for calculating the stability of soil arrays. *The Eurasian Scientific Journal*, 13(5): 39SAVN521. Available at: <https://esj.today/PDF/39SAVN521.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

Чубка Павел Юрьевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Аспирант
E-mail: 89085029206@mail.ru

Чубка Юсра Шукриевна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Ассистент
E-mail: yousra_12@mail.ru

Сравнение методов расчета устойчивости массивов грунтов

Аннотация. Изменение ландшафтов и рельефов, создание антропогенных нагрузок на почвы может привести к снижению устойчивости грунтов и, как следствие этого, к оползням, обрушениям и иным перемещениям грунтов или отдельных их пластов. Любое сооружение, передает существенные нагрузки, в том числе собственный вес, на грунтовое основание. При проектировании подпорных сооружений, разработки котлована, строительстве зданий или размещении механизмов на склонах, а также при любых работах с наклонными грунтовыми поверхностями необходимо выполнять оценку степени их устойчивости в соответствии с требованиями обеспечения безопасности и надежности. Оценка степени устойчивости выполняется путем вычисления коэффициента устойчивости. Определение коэффициента устойчивости откосов более совершенным методом является актуальной темой при изучении особенностей и принципов работы грунтовых массивов. Тем самым предотвращая грунты от эрозионных и оползневых разрушений в природных и техногенных средах. В статье рассмотрены основные методы расчетов структурной целостности грунтовых откосов. Авторами был проведен сравнительный анализ расчетов ручным способом с помощью метода круглоцилиндрических поверхностей скольжения Г.М. Шахунянца, а также выполнен расчет с помощью программных комплексов GEO5 и Plaxis3D. При написании статьи использовались автоматизированные расчетные программы, которые помогли значительно сократить время для выполнения расчетов. Выполненные вычисления проводились методами предельного равновесия и методом снижения прочности. В качестве примера был принят однородный откос, без условия дополнительных нагрузок, отсутствия воды, сейсмичности и других возможных внешних воздействий.

Ключевые слова: метод предельного равновесия; метод численного моделирования; поверхность скольжения; грунтовый массив; устойчивость откосов; коэффициент устойчивости; метод Г.М. Шахунянца; GEO5; Plaxis3D

Введение

При проектировании подпорных сооружений, разработки котлована, строительстве зданий или размещении механизмов на склонах, а также при любых работах с наклонными грунтовыми поверхностями необходимо выполнять оценку степени их устойчивости в соответствии с требованиями обеспечения безопасности и надежности [1].

Оценка степени устойчивости выполняется путем вычисления коэффициента устойчивости, который характеризуется отношением сил удерживающих сил массива грунта на наклонной поверхности к силам, сдвигающим этот массив.

Устройство пологих откосов экономически не выгодно, т. к. увеличиваются объемы работ, в следствии таких мероприятий происходит удорожание строительства. Устройство крутых откосов может привести к катастрофе и повлечь за собой большой ущерб. Нахождение оптимальной крутизны склона уменьшает затраты и трудоемкость работ [2].

Любое сооружение, передает существенные нагрузки, в том числе собственный вес на основание под фундаментом здания. Основанием является различные слои грунтов, образованные в разные временные периоды.

Деформирование грунтов в основании в основном происходит от нагрузки под подошвой фундамента здания. Соответственно при проектировании фундаментов любых зданий и построек необходимо учитывать совместную работу грунтов и конструкций сооружения [3].

Грунтовое основание может обладать большой деформативностью, в следствии наличия грунтовых вод, сейсмической активности и других возможных факторов. Правильный выбор фундамента здания и расчет оснований позволяет избежать деформаций надземных строительных конструкций зданий, что приводит к уменьшению сроков строительства и стоимости на капитальный ремонт. При этом увеличивается срок службы строения [4].

Основания и фундаменты являются важнейшей частью здания поэтому необходимо не допускать просчетов, и повышать качество выпускаемой документации, так как в указанной отрасли до сих пор не изжит ручной труд, поэтому низка производительность труда, что сказывается на сроках строительства. Решать данную проблему следует путем интенсификации расчетов, в т. ч. за счет максимальной индустриализации и автоматизации работ, не допуская при этом возведения ненадежных фундаментов, так как это может привести к обрушению зданий и сооружений [5].

С появлением расчетных программ значительно сократилось время для выполнения расчетов. Усовершенствовалась и упростилась корректировка и доработка проектной документации.

В настоящее время существует большое количество расчетных программ в том числе узко специализированных (для расчета оснований и фундаментов).

Использование современных компьютерных механизмов расчета основания и фундаментов зданий и сооружений становится более простым и технологичным. В основу таких программ положена ручная техника расчета, с использованием формул, уравнений и различных построений.

Благодаря значительным уменьшением сроков проектирования, увеличением производительности труда, уменьшением цены на проектирование фундаментов и оснований и в следствии на проект в целом. При расчете оснований и фундаментов используются программные комплексы.

Методы исследований

В настоящее время существует несколько способов определения коэффициента надежности среди которых и программные методы.

Любой вид расчета как правило использует следующие методы:

1. Метод предельного равновесия.
2. Метод численного моделирования.

Метод предельного равновесия

Все расчетные методики оценки склонов и насыпи основаны на применение теории предельного равновесия. Рассматривают предельно-напряженное состояние грунтового массива, однако в данном случае в расчетной модели принимается ряд условностей и допущений:

- Условная форма поверхности скольжения.
- Некоторые методы расчета не учитывают силы взаимодействия между отсеками, на которые разбивается оползневой блок.
- Рассматривается узкая полоса склона, а полученные условия работы сохранятся для всего склона. В данном случае мы не можем учесть пространственную работу склона, насыпи или подпорного сооружения [6].

Однако данный метод является наиболее распространенным и простым в использовании. Существуют множество различных методик, которые основаны на методе предельного равновесия (метод круглоцилиндрических поверхностей, метод Чугаева, метод горизонтальных сил, графоаналитический метод многоугольников сил Шахунянца и др.).

Метод предельно равновесия не позволяет обеспечить распределение напряжений и перемещений в сложных геологических условиях.

Данный метод сложно и трудоемко использовать при наличии большого количества подпорных (удерживающих) или ограждающих сооружений.

Полученные вычисления могут не отображать реальных полевых условий, однако это не значит, что полученный коэффициент устойчивости не верен.

Метод предельно равновесия допускается если склон является простым, и в нем не наблюдаются сложных процессов (ползучесть грунтов, значительные увеличения внутренних деформаций, разжижение слабых слоев почвы и пр.) [7].

Метод численного моделирования.

Данный метод является относительно молодым при использовании в расчетах устойчивости откосов. Определенные факторы ограничивали применение метода в прошлом:

- отсутствие средств автоматизации для создания моделей;
- длительное время вычислений (ручным способом);
- сложности с учетом гидрогеологических и геологических условий [8].

Метод базируется на условии прочности Мора-Кулона и использует сдвиговые и прочностные характеристики модели (модуль деформации, коэффициент Пуассона, угол

внутреннего трения, угол делатации, удельное сцепление грунта; прочность на разрыв и т.д.) [9].

Коэффициент устойчивости определяется отношением расчетных сдвиговых характеристик к сниженным сдвиговым характеристикам.

$$K_r = \frac{C_i}{C_{lim}} = \frac{tg\varphi_i}{tg\varphi_{lim}}$$

где C_i , $tg\varphi_i$ — расчетные сдвиговые характеристики грунтов; C_{lim} , $tg\varphi_{lim}$ — расчетные сдвиговые характеристики грунтов.

Данная методика основывается на последовательном снижении либо увеличении сдвиговых характеристик грунтов, а именно сцепление и тангенса угла внутреннего трения. Разрушение в данном случае будет начинаться тогда, когда решение задачи перестанет сходиться поскольку равновесие системы не сможет быть обеспечено [10].

Перед расчетом нам необходимо задаться некоторыми предпосылками: K_{st} — начальное значение коэффициента устойчивости; величина приращения данное число обуславливает на сколько будет увеличиваться либо уменьшаться характеристики (сцепление и тангенс угла внутреннего трения) грунта.

Интересной особенностью данного метода является то, что поверхность скольжения является не вводным параметром, а результатом расчета.

Достоинством данного метода расчета можно выделить:

При расчете методом снижения прочности нет необходимости учитывать различные предпосылки или упрощения относительно поведения отсеков друг относительно друга и положения поверхности скольжения или обрушения.

Данным методом более точно происходит моделирование различных подпорных и укрепительных конструкций.

В результате расчетов методом численного моделирования мы получаем величину деформаций.

При данном методе получается наиболее вероятная поверхности обрушения.

Результаты и обсуждения

Рассмотрим несколько самых распространённых способов расчета на примере простого откоса представленного на рисунке 1:

1 — Насыпной грунт Суглинок:

Удельный вес: $\gamma = 17,40$ кН/м³

Угол внутреннего трения $\varphi_{ef} = 25,00$

Удельное сцепление грунта $C_{ef} = 1,00$ кПа

2 — Песок:

Удельный вес: $\gamma = 18,10$ кН/м³

Угол внутреннего трения $\varphi_{ef} = 32,00$

Удельное сцепление грунта $C_{ef} = 2,00$ кПа

3 — Суглинок:

Удельный вес: $\gamma = 21,60 \text{ кН/м}^3$

Угол внутреннего трения $\varphi_{ef} = 20,00$

Удельное сцепление грунта $C_{ef} = 23,00 \text{ кПа}$

4 — Глина:

Удельный вес: $\gamma = 17,60 \text{ кН/м}^3$

Угол внутреннего трения $\varphi_{ef} = 14,00$

Удельное сцепление грунта $C_{ef} = 48,00 \text{ кПа}$

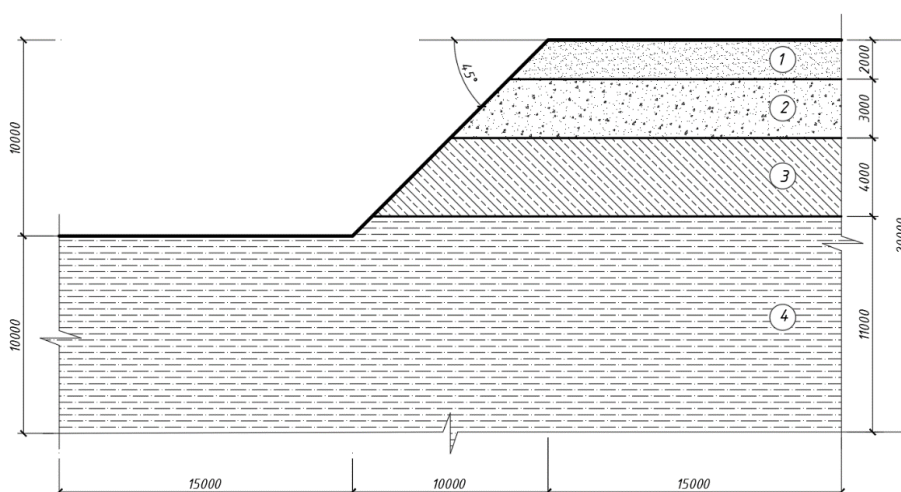


Рисунок 1. Грунтовый откос

Круглоцилиндрический метод расчета ручным способом

Как показывают исследования и практика, в гомогенных грунтах, обладающих трением и сцеплением, разрушение склонов или насыпей происходит по поверхности, близкой к круглоцилиндрической.

В данном расчете используем достаточно известный метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения Г.М. Шахунянца.

Построим несколько круглоцилиндрических поверхностей радиусом R , с центром в точке O_i , выделив призму обрушения $A_iB_iC_i$ рисунке 2.

Равнодействующая сила на поверхности скольжения равна сумме сил тяжести каждого отсека с его внешней нагрузкой. Равнодействующую силу F_i раскладываем на два компонента: N_i — сила действующая перпендикулярно относительно поверхности скольжения; T_i — сила действующая по касательной относительно поверхности скольжения.

В данном случае коэффициент надежности определяем как соотношение момента удерживающих сил и момента сдвигающих сил (формула 1).

$$Y_n = \frac{M_{rt}}{M_s} = (\sum_{i=1}^n N_i f_i + \sum_{i=1}^n C_i l_i + \sum_{i=1}^n T_{i,rt}) / \sum_{i=1}^j T_{i,s}, \quad (1)$$

где f_i , C_i — коэффициент внутреннего трения и удельного сцепления на i -м участке поверхности скольжения; l_i — длина дуги поверхности скольжения на i -м участке;

$T_{i,rt}$ — касательная составляющая, направленная по ходу движения призмы обрушения;
 j — число отсеков, приводящих к сдвигающим силам T_{is} .

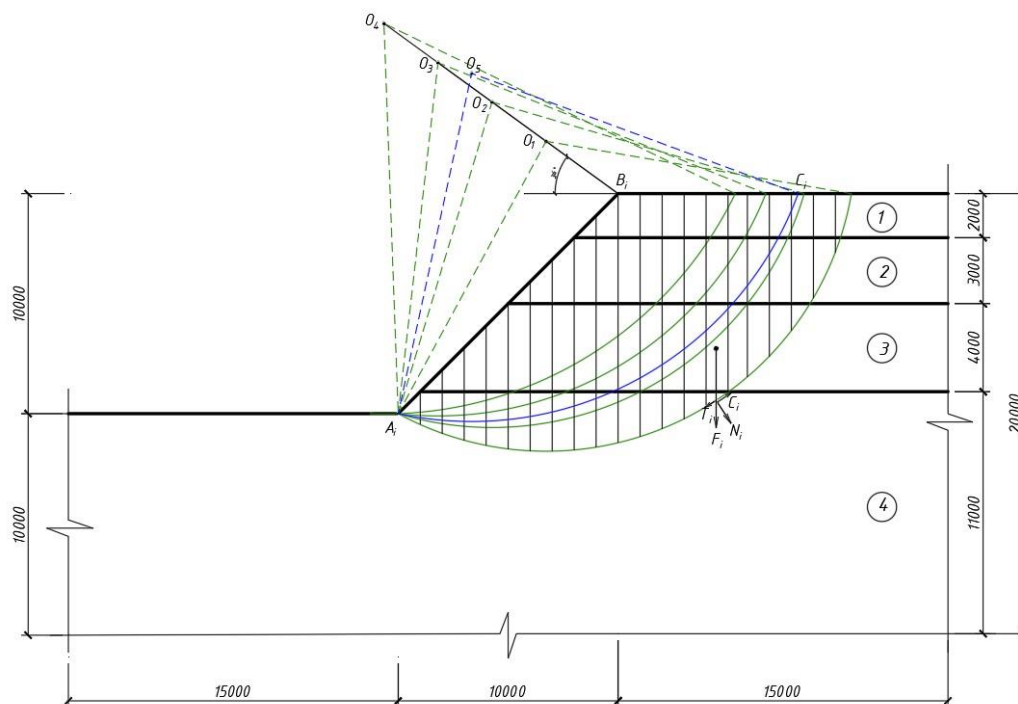


Рисунок 2. Круглоцилиндрические поверхности скольжения

После выполнения расчета получим:

$$K_y(O_1) = (683,53+985,95) / 1024,7 = 1,69 > 1,2$$

$$K_y(O_2) = (443,21+792,43) / 734,52 = 1,68 > 1,2$$

$$K_y(O_3) = (325,99+647,35) / 651,77 = 1,49 > 1,2$$

$$K_y(O_4) = (239,49+608,61) / 556,08 = 1,52 > 1,2$$

В пределах точек O_1 – O_4 построим круглоцилиндрическую поверхность с минимальным значением коэффициента надежности — O_5 и выполним расчет уравнения 1.

$$K_y(O_5) = (608,61+396,22) / 694,79 = 1,45 > 1,2$$

Программный комплекс GEO5

Для расчета устойчивости метод предельного равновесия могут быть использованы программные комплексы, считающие метод предельного равновесия. При расчете в таких программах необходимо задать поверхность скольжения, которая может быть ломанной, круглоцилиндрической или комбинированной.

Воспользовавшись программным комплексом GEO5 задаем характеристики грунта для геолого-литологического разреза (рис. 3).

Задаем условия расчета:

Тип воды: Воды нет.

Землетрясение не принято в расчет.

Проектная ситуация — постоянная.

Задаем круглоцилиндрическую поверхность скольжения.

Параметры грунтов - эффективное напряжённое состояние





№	Имя	Рисунок	Φ_{ef} [°]	C_{ef} [кПа]	γ [кН/м ³]
1	Насыпной суглинок		25,00	1,00	17,40
2	Песок		32,00	2,00	18,10
3	Суглинок		20,00	23,00	21,60
4	Глина		14,00	48,00	17,60

Рисунок 3. Параметры грунтов

После определения всех параметров рассчитываем склон (рис. 4).

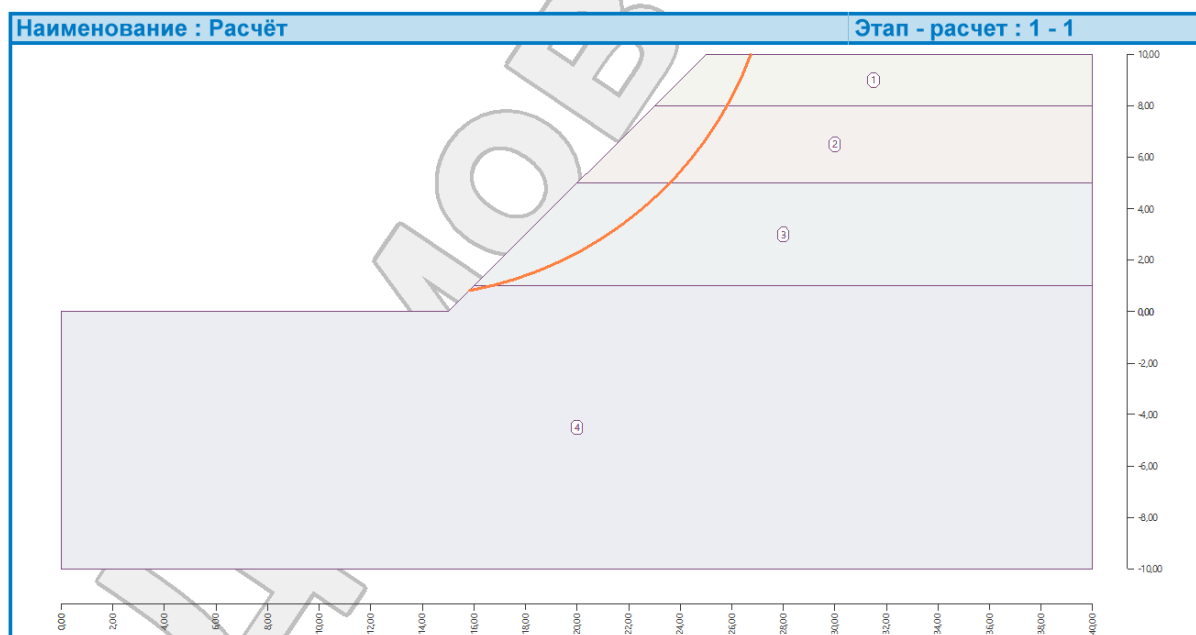


Рисунок 4. Рассчитываемый откос

Проверка устойчивости откоса

При расчете разными способами получаем разные данные коэффициента запаса устойчивости.

Метод Бишопа $FS = 1,53 > 1,20$

Метод Феллениус / Петтерсон $FS = 1,47 > 1,20$

Метод спенсера $FS = 1,53 > 1,20$

Моргенштерн-Прайс $FS = 1,48 > 1,20$

Программный комплекс PLAXIS 3D

Метод численного моделирования использует специальный метод расчета устойчивости названный методом снижения прочности, и позволяет выполнять оценку устойчивости альтернативным методом предельного равновесия (рис. 5, 6).

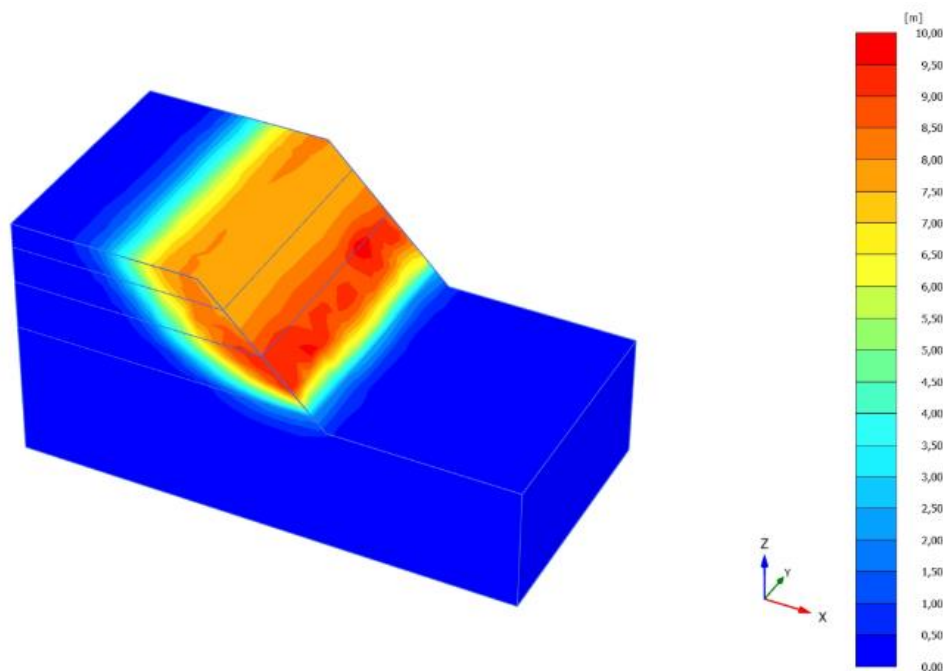


Рисунок 5. Поверхность скольжения

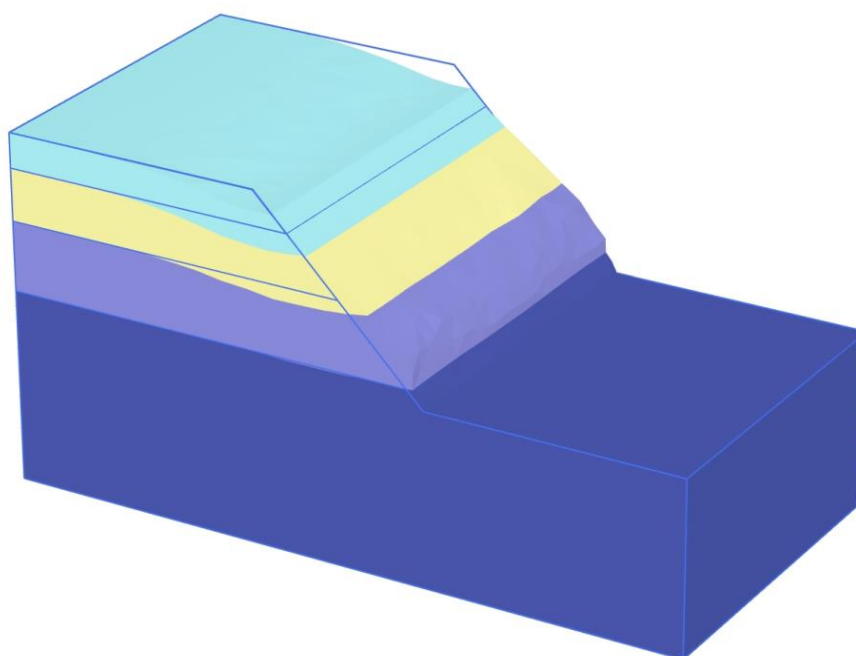


Рисунок 6. Разрушение откоса

Данные расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1

Данные расчета Plaxis 3D

Calculation information				
Step info				
Phase	Phase_1 [Phase_1]			
Step	Initial			
Step type	Safety			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	1,000			
Relative stiffness	0,2069E-3			
Multipliers				
Prescribed displacements	M_{Disp}	0,000	ΣM_{Disp}	0,000
Load system A	M_{LoadA}	0,000	ΣM_{LoadA}	1,000
Load system B	M_{LoadB}	0,000	ΣM_{LoadB}	1,000
Soil weight	M_{LoadB}	0,000	ΣM_{Weight}	1,000
Acceleration	M_{Accel}	0,000	ΣM_{Accel}	0,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,3515E-3	ΣM_{sf}	1,562
Calculation information				
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0,000	ΣM_{Area}	1,000
Active proportion of stage	M_{Stage}	0,000	ΣM_{Stage}	0,000
Forces				
F_x	0,000 kN			
F_y	0,000 kN			
F_z	0,000 kN			
Consolidation				
Realised $P_{Excess,Max}$	4098 kN/m ²			

Выводы

Результаты проведенного нами анализа позволяют сделать выводы, представляющие интерес для нашего исследования:

При расчете методом предельного равновесия, требуются многочисленные проверки с различным положением и формой линии поверхности скольжения.

При расчете методом снижения прочности, не требуется определять форму и проводить оптимизацию поиска поверхности скольжения.

Результаты проведенного нами анализа на примере однородного откоса при отсутствии дополнительных нагрузок, отсутствие воды, сеймики и какие-либо внешних воздействий, позволяют получить данные приведенные в таблице 2.

Таблица 2

Результаты проведенного анализа на примере однородного откоса

Ручной расчет методом Шахунянца	Программный комплекс GEO5				Программный комплекс PLAXIS 3D
	метод Бишопа	метод Феллениус / Петтерсон	метод спенсера	Моргенштерн-Прайс	
1,45	1,53	1,47	1,53	1,48	1,56

Наряду с этим необходимо отметить, что, сравнивая данные методы расчета на примере однородного откоса, когда нет дополнительных нагрузок, отсутствует вода, сеймика и какие-либо внешние воздействия, то мы получаем примерно одинаковые значения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болдырев Г.Г., Малышев М.В. Механика грунтов. Основания и фундаменты (в вопросах и ответах). Издание 4-е, переработанное и дополненное. Пенза 2009. 27–43 с.
2. L. Panasiuk, V. Turina D. Stupina. The supported landslide slopes' operation simulation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 698, Construction mechanics, building materials and theory of structures, civil and industrial engineering. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/2/022020434/150>.
3. Ухов С.Б. и др. Механика грунтов, основания и фундаменты. М.: Высшая школа, 2010, 565 с.
4. M.V. Kuznetsov, Ye.V. Marinchenko, A.V. Chmshkyan. The study of materials for soil stabilization and their practical application. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/2/022059>.
5. Чубка П.Ю., Чубка Ю.Ш., Тюрина В.С. Зависимость деформаций водонасыщенного грунта от прилагаемой нагрузки. Инженерный вестник Дона, 2020, № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6735.
6. Prokopov A., Prokopova M., Rubtsova Ya. The experience of strengthening subsidence of the soil under the existing building in the city of Rostov-on-Don. MATEC Web of Conferences. Vol. 106. 2017. URL: doi.org/10.1051/mateconf/201710602001.
7. Lee W. Abramson, Thomas S. Lee Sunil Sharma, Glenn M. Boyce Slope stability and stabilization methods. Second Edition. New York: Wiley Pages, 2002. 501 p.
8. L. Panasiuk V. Turina. The stress-strain state simulation of slopes with dynamic loads. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 698, Construction mechanics, building materials and theory of structures, civil and industrial engineering. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/2/022021781/350>.
9. G. Kravchenko and L. Pudanova. Resistance of fractal structures to natural and man-made influences. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1001/1/012096>.
10. V. Akopyana, A. Akopyana. Experimental and Theoretical Investigation of the Interaction of the Reinforced Concrete Screw Piles with the Surrounding Soil. URL: <https://www.researchgate.net/publication/305788067>.

Chubka Pavel Yur'yevich

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: 89085029206@mail.ru

Chubka Yusra Shukrievna

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: yousra_12@mail.ru

Comparison of methods for calculating the stability of soil arrays

Abstract. Changing landscapes and reliefs, creating anthropogenic loads on soils can lead to a decrease in soil stability and, as a result, to landslides, collapses and other movements of soils or their individual layers. Any structure transfers significant loads, including its own weight, to the ground base. When designing retaining structures, excavation, construction of buildings or placing mechanisms on slopes, as well as during any work with inclined ground surfaces, it is necessary to assess the degree of their stability in accordance with the requirements of safety and reliability. The degree of stability is estimated by calculating the stability coefficient. The determination of the slope stability coefficient by a more advanced method is an urgent topic when studying the features and principles of soil massifs. Thereby preventing soils from erosion and landslide destruction in natural and man-made environments. The article discusses the main methods of calculating the structural integrity of soil slopes. The authors carried out a comparative analysis of calculations by hand using the method of circular cylindrical sliding surfaces by G.M. Shakhunyants, and also performed the calculation using software complexes GEO5 and Plaxis3D. When writing the program, automated calculation programs were used, which helped to significantly reduce the time for performing calculations. The calculations performed were carried out by the methods of marginal equilibrium and the method of strength reduction. As an example, a homogeneous slope was adopted, without the condition of additional loads, lack of water, seismic and other possible external influences.

Keywords: limit equilibrium method; numerical modeling method; sliding surface; soil mass; slope stability; stability coefficient; G.M. Shakhunyants method; GEO5; Plaxis3D