

ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ЛИНИЙ СКОЛЬЖЕНИЯ В ОТКОСАХ И СКЛОНАХ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ МЕСТНОЙ НАГРУЗКИ ОТ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Известно, что существуют как аналитические методы определения устойчивости откосов и склонов (далее, откосов) с нагрузкой на поверхности, основанные на известных решениях В.В. Соколовского [1], Н.Н. Маслова [2], Г.К. Клейна [3] и других ученых, так и инженерные методы, имеющие ряд допущений и предположений. Выбор метода расчета устойчивости тесно связан с инженерно-геологическими условиями площадки, поэтому, в основном, применяют инженерные методы, позволяющие учитывать различные геологические напластования грунтов, гидрогеологические и сейсмические условия территорий, тогда как точные аналитические решения применяются только для идеализированных расчетных схем однородных массивов.

В существующей справочной литературе [4] предлагаются инженерные методы расчета устойчивости откосов в зависимости от выбора формы поверхности скольжения (произвольная, ломаная, круглоцилиндрическая и плоская) для различных вариантов грунтовых условий, где рекомендуется «неустойчивую» область откоса разбивать на отдельные элементарные отсеки с вертикальными границами между ними. При этом устойчивость грунтового отсека выявляется из рассмотрения условий предельного равновесия его отдельных элементов и всего отсека в целом. Эти методы основаны на *методе отсеков*, который был впервые предложен Петтерсоном в 1916 г. для случая образования прямой линии скольжения в откосе, а получил развитие в работах Фелениуса, Бишопа, Терцаги, Тейлора, Спенсера, Янбу, Крея–Флорина и других [5, 6], где в качестве поверхности сдвига также принималась круговая (кругоцилиндрическая) поверхность. При этом, в перечисленных работах местные распределенные нагрузки

на откосе учитываются в виде дополнительной силы тяжести в пределах элементарного отсека, на которые разбивается «неустойчивая» область откоса.

В справочной и учебной литературе [4, 7, 8] наиболее широкое распространение получил метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения (КЦПС) (см. рис. 1), где предполагается потеря устойчивости откоса в результате вращения «неустойчивой» его части вдоль поверхности скольжения с радиусом R относительно некоторого центра (т. O), а критерием оценки устойчивости является коэффициент, равный

$$k = \frac{\sum M_{sr}}{\sum M_{sa}}, \tag{1}$$

где $\sum M_{sr}$ и $\sum M_{sa}$ - сумма моментов (кН·м) удерживающих и сдвигающих сил относительно центра вращения (т. O).

С учетом влияния местной нагрузки q от фундамента сооружения на рис. 1 пунктирной линией показана поверхность скольжения для случая фундамента на естественном основании, а сплошной – для свайного фундамента.

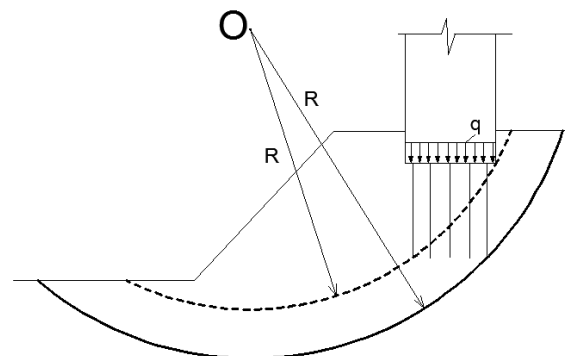


Рис. 1. Положение круглоцилиндрических линий скольжения в откосе с учетом влияния местной нагрузки от фундаментов сооружения

Однако, одним из недостатков метода КЦПС является итерационный процесс поиска наименьшего коэффициента

устойчивости из-за неопределенности центра (т. О) вращения «неустойчивой» части откоса. Поэтому, здесь следует отметить работу П.И. Яковлева [6], где автор предлагает использовать техническую теорию предельного напряженного состояния (ТТПНС) для построения единой линии скольжения в откосе, имеющем на поверхности распределенную нагрузку. Исходя из этой теории, во всех точках рассматриваемой области обрушения имеется предельное напряженное состояние и в каждой из этих точек возникают две площадки скольжения, пересекающиеся между собой под углом $90-\varphi$. Также представляют интерес работы зарубежных исследователей [9, 10], где рассматривается устойчивость нагруженного откоса на основе анализа его напряженного состояния, в том числе с помощью компьютерного моделирования и расчета методом конечных элементов.

В настоящее время мощные расчетные комплексы типа ANSYS, SOFISTIK, Plaxis позволяют оценивать устойчивость откосов с учетом влияния различных факторов и их сочетаний, что инженерными методами достичь невозможно. Однако, считаем, что разработка обоснованных методов, сочетающих точные аналитические решения и проверенные инженерные подходы к расчету устойчивости нагруженных грунтовых откосов, является актуальной задачей.

Поэтому, целью статьи является предложение и обоснование графо-аналитического метода построения линий скольжения в откосе с учетом влияния местной нагрузки от фундаментов сооружений.

На основании анализа данного вопроса на рис. 2 предлагается рассмотреть построение 2-х вариантов линий скольжения в откосе с учетом местной распре-

ленной нагрузки q шириной b , полученных на основании известных решений теории предельного равновесия в плоской постановке:

- пунктирная линия I – равноустойчивая поверхность откоса, полученная на основании строгого решения В.В. Соколовского [1], координаты x и z которой зависят от физико-механических характеристик грунта (γ , φ и c) и интенсивности сплошной равномерно-распределенной нагрузки q на поверхности откоса;

- т. A_1 – точка пересечения линии I и прямой A_1A_1' , которая является частью подошвы устойчивого естественного откоса, наклоненного под углом β к горизонту, высотой, полученной Г.К. Клейном [3], и равной

$$H_{\beta} = \frac{c \cdot \sin \beta \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot \sin^2 \left(\frac{\beta - \varphi}{2} \right)}, \quad (2)$$

где γ , φ и c – объемный вес грунта (кН/м^3), угол внутреннего трения грунта (град.) и удельное сцепление (кН/м^2) соответственно;

- т. A_2 – точка пересечения линии I с поверхностью откоса;

- круглоцилиндрические линии A_1BC и A_2BC с центрами в точках O_1 , O_2 и радиусами R_1 , R_2 соответственно, образуемые за счет концентрации сдвиговых напряжений в т. B местной нагрузки q и т. C – прямой линии скольжения BC , наклоненной под углом $\theta = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}$ к горизонту при сдвиге условного фундамента высотой d .

В частном случае действия сплошной равномерно-распределенной нагрузки q , т.е. при $b \rightarrow \infty$, следует рассматривать линии скольжения A_2O и $A_1'A_1O$, которые отвечают точным аналитическим решениям теории предельного равновесия В.В. Соколовского [1] и Г.К. Клейна [3].

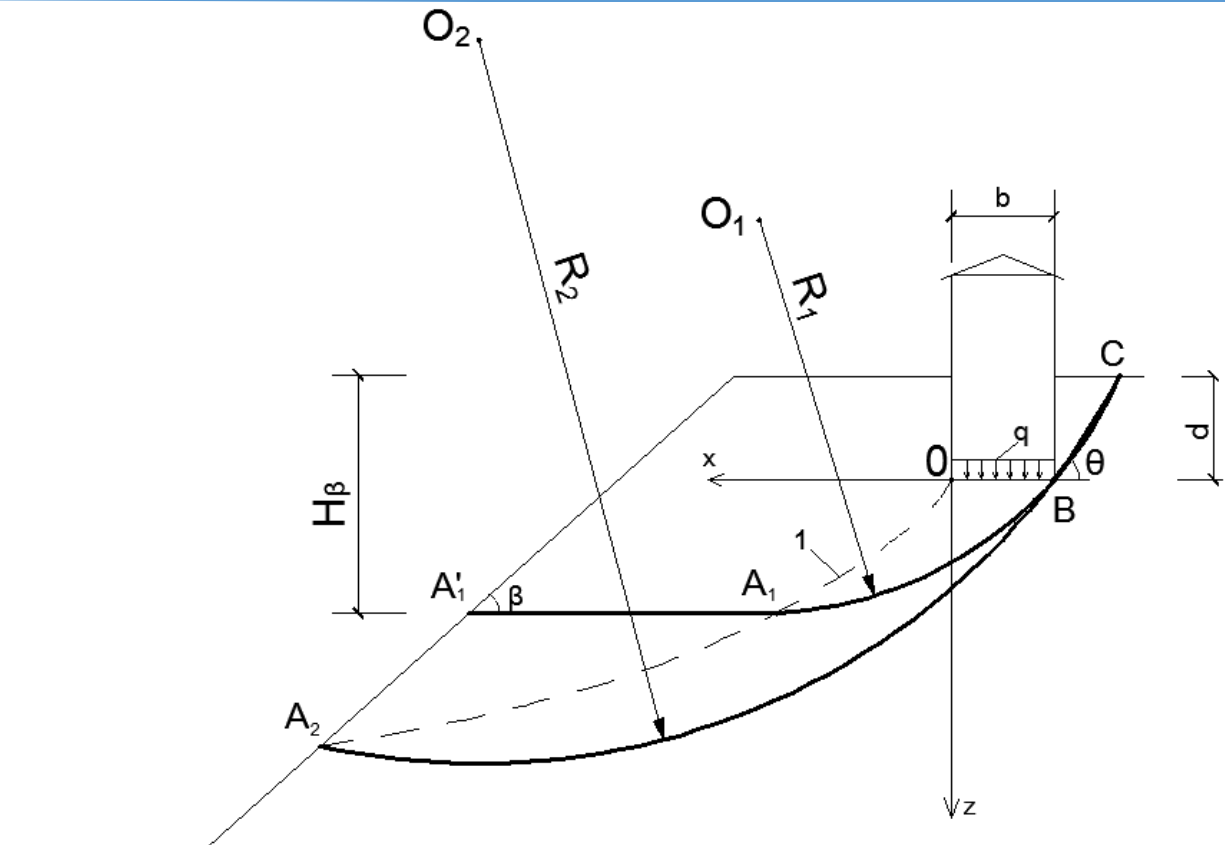


Рис. 2. К построению линий скольжения A_2BC и A_1A_1BC в откосе с учетом влияния местной нагрузки от фундамента сооружения

Выводы.

1. В существующей технической литературе отсутствует единый инженерный метод построения линий скольжения в откосах, сложенных дисперсными грунтами, при наличии местных нагрузок от фундаментов сооружений.
2. Предложен обоснованный графо-аналитический метод построения линий скольжения в откосах, нагруженных местной нагрузкой от фундаментов сооружений, на основании точных теоретических решений теории предельного равновесия грунтовой среды В.В. Соколовского и Г.К. Клейна, а также инженерных подходов.
3. Предварительные расчеты оценки устойчивости откосов с использованием данного метода построения линий скольжения не противоречат классическому методу КЦПС, а частные случаи предложенной расчетной схемы приводят к использованию точных аналитических решений.

4. Построение только 2-х вариантов линий скольжения позволяет производить качественной оценки устойчивости откосов инженерами-проектировщиками, например, при возведении зданий на склонах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. – М.: Физматгиз, 1960. – 240 с.
2. Основы инженерной геологии и механики грунтов: Учебник для вузов./ Н.Н. Маслов – М: Высш. школа, 1982. - 511с., ил,
3. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1977. – 256 с.
4. Основания, фундаменты и подземные сооружения / М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др.; Под общ. ред. Е.А. Сорочана, Ю.Г. Трофименкова – Москва: Стройиздат, 1985. – 480 с., ил. - (Справочник проектировщика).
5. Харр М.Е. Основы теоретической механики грунтов. М.: Стройиздат, 1971. – 320с.

6. Взаємодія споруд із ґрунтом і пальові основи / Яковлев П.І., Готман А.Л., Курмаєв Р.Г. - Одеса: Астропринт, 2004. - 512 с.
7. Проектирование фундаментов зданий и промышленных сооружений: Учебн. пособие для студентов вузов по спец. «ПГС» / Б.И. Далматов, Н.Н. Морарескул, В.Г. Науменко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 239 с., ил.
8. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: Підручник / М.Л. Зощенко, В.І. Коваленко, А.В. Яковлев, О.О. Петраков, В.Б. Швець, О.В. Школа, С.В. Біда, Ю.Л. Винников. – Полтава: ПНТУ, 2004. – 568 с.
9. Цветкова Е.В. Разработка метода расчета и прогноза устойчивости нагруженных откосов и склонов как оснований сооружений на основе анализа напряженного состояния грунтов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Цветкова Елена Владимировна; ВГАСУ. – Волгоград, 2007. – 23 с.
10. Bowmen E.T. General Report of TC 208. Slope Stability in Engineering Practice / E.T. Bowmen, R.J. Fannin // Proc. of the 18th Inter. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Challenges and Innovation in Geotechnics. – France, Paris: Press and Pons, 2013. – P. 2137–2144.

УДК 624.012

Яровой С.Н.

Проектный и научно-исследовательский институт «Харьковский Промстройинипроект»

Дорофеев Е.Ю.

Научно-производственный консорциум «Спецгеопарк», г.Москва

ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ И ПРИЧИНЫ ОБРУШЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭСТАКАДЫ ПОД ФАКЕЛЬНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ КОМПЛЕКСА РИФОРМИНГА ООО «ЛУКОЙЛ-НИЖЕГОРОДНЕФТЕОРГСИНТЕЗ»

Технологическая эстакада под факельные трубопроводы комплекса риформинга ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез» г. Кстово Нижегородской обл. построена и введена в эксплуатацию в 1997 году по проекту института «Нижегородниинефтепродукт. Общая длина обследуемого участка металлической эстакады – 520.50м и насчитывает - 29 металлических стоек. На металлические стойки эстакады и пролетные строения на разных отметках опираются технологические трубопроводы и кабельная трасса (рис.1).

Металлические стойки технологической эстакады представляют собой сквозные колонны. Расстояние между ветвями колонн - 2400мм. Шаг колонн, в основном, - 12.00м -15.00м. Высота стоек – от 7600мм до 8900мм. Ветви стоек изготовлены из широкополочных двутавров 40Ш1 и 30Ш1.



Рис.1. Общий вид металлической технологической эстакады после обрушения балок кабельной трассы.

В нижней части стойки, до пролетных строений, ветви связаны крестовой решеткой из уголков 75х6. В верхней части стойки развязаны треугольной решеткой из двух парных уголков 75х6. В уровне оголовка ветви стойки связаны