

И.Р. Сивко, инженер
Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций,
Запорожское отделение, Украина

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКИХ БЕЗАНКЕРНЫХ ПОДПОРНЫХ СТЕНОК МЕТОДОМ КРУГЛОЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Рассмотрен расчет стойкости тонких безанкерных подпорных стенок методом круглоцилиндрических поверхностей. Предложен метод автоматизации расчета.

Розглянуто розрахунок стійкості тонких безанкерних підпірних стінок методом круглоциліндричних поверхонь. Запропонований метод з автоматизації розрахунку.

Calculation of stability thin no anchor retaining walls by method circular cylindrical surfaces is considered. The method on automation of calculation is offered.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами. Потеря общей устойчивости, т.е. обрушение вместе с окружающим массивом грунта, – наиболее тяжелый возможный вид аварии тонких подпорных стенок. Среди известных расчетных методов проверки общей устойчивости подпорных сооружений для тонких стенок различных типов наиболее актуальным является расчет по круглоцилиндрической поверхности скольжения. Надежность этого метода применительно к тонкостенным конструкциям всесторонне проверена многолетней практикой проектирования и эксплуатации. Метод опирается на известный из опыта факт, что обрушение подпорных сооружений при потере общей устойчивости происходит по кривой, достаточно близкой к дуге окружности.

Анализ последних исследований. При расчете общей устойчивости рассматривается условие предельного равновесия, ограниченного возможной круглоцилиндрической поверхностью скольжения грунтового массива, в котором находится сооружение. Расчетные зависимости выводятся из анализа сил, действующих на некоторый, выделенный двумя плоскостями элемент грунтового тела. Расчетная схема для выполнения расчета устойчивости тонкой подпорной стенки по круглоцилиндрической поверхности скольжения указана на рисунке 1. Сила веса элемента g раскладывается на две составляющие: по касательной к дуге скольжения t и по нормали к ней N , которые равны

$$N = g \cdot \cos \alpha; \quad t = g \cdot \sin \alpha; \quad \alpha = \arcsin(r/R), \quad (1)$$

где r – радиус поверхности скольжения;

r – расстояние от центра вращения до оси выделенного элемента, принимают со знаком “плюс” для полосок, расположенных справа от центра вращения, и со знаком “минус” для полосок слева от него.

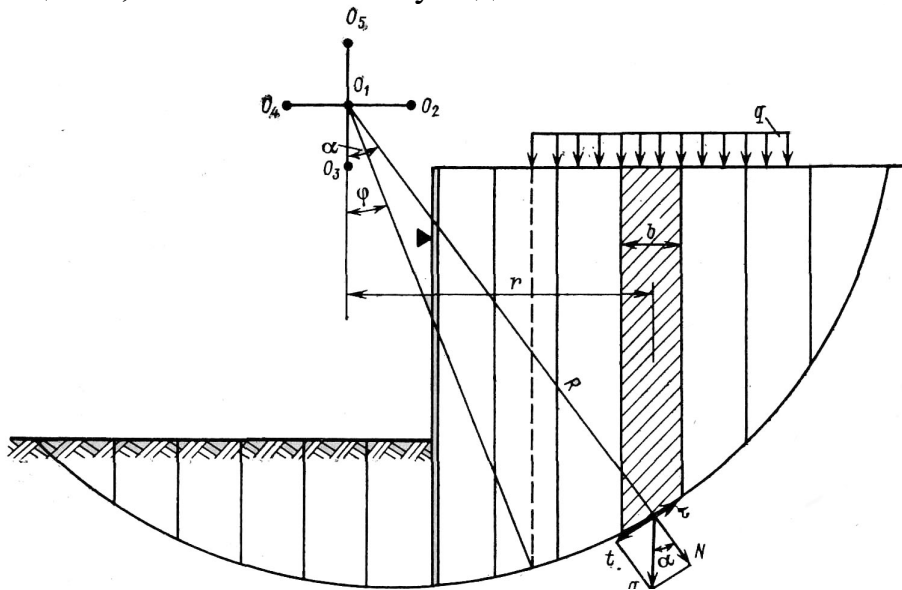


Рис. 1. Расчетная схема устойчивости тонкой подпорной стенки

Реактивная сила трения по поверхности обрушения в рассматриваемой точке действует по одной прямой с силой t , но направлена в противоположную сторону

$$\tau = N \cdot f = g \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

где $f = \operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент трения.

Таким образом, суммарное сопротивление сдвигу по подошве элемента имеет вид

$$T = g \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} j + c \cdot l, \quad (3)$$

где c – удельное сцепление грунта;

l – длина участка дуги скольжения в пределах элемента.

Соотношения для моментов сил t и T относительно центра вращения O_1 соответственно равны:

$$M_t = R \cdot t = g \cdot \sin \alpha; \quad (4)$$

$$M_T = R \cdot T = R(g \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} j + c \cdot l). \quad (5)$$

Коэффициент запаса общей устойчивости равен

$$K = \sum M_T / \sum M_t = R(\sum g \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + \sum c \cdot l) / \sum g \cdot r \geq 1. \quad (6)$$

При записи данной формулы не принимается в расчет ряд существенных факторов, влияющих на устойчивость грунтового массива: не учтены силы взаимодействия между соседними полосками, суммирование действующих сил произведено алгебраически, а не векторно и др. В результате изложенная методика дает определенные запасы, что позволяет считать общую устойчивость сооружения вполне достаточной при $K=1$ [1, 2].

Выделение ранее нерешенных частей общей проблемы. Поскольку коэффициент запаса общей устойчивости K существенно зависит от

координат центра круглоцилиндрической поверхности скольжения O_1 , при расчете необходимо найти такой центр окружности, который отвечает минимальному значению этого коэффициента K_1 . То есть необходимо, чтобы соблюдалось условие – взятые четыре точки вокруг центра предполагаемой поверхности скольжения имели коэффициенты $K_{2-5} > K_1$. Исходя из этого условия видно, что для решения задачи необходимо выполнять большое количество итераций.

Цель работы. Учитывая значительное количество переменных (неизвестных), которые необходимо определять для каждого отдельно взятого грунтового элемента, выделенного вертикальными плоскостями, и определение этих неизвестных для каждого из центров круглоцилиндрических поверхностей (всего 5 центров для одной итерации), предлагается вести расчет в табличной форме [1]. Выполнение расчетов в табличной форме упрощает задачу, но не уменьшает количество неизвестных, а соответственно и расчетов. Таким образом, целью данного исследования стало сокращение затрачиваемого времени для определения наиболее опасного центра скольжения, т.е. автоматизация расчета.

Изложение основного материала. Для выполнения расчета выбирается некоторый центр поверхности скольжения, и для него определяется величина коэффициента общего запаса устойчивости K , затем вокруг этого центра выбираем четыре другие точки и для них также определяем значения коэффициентов запаса. При выполнении расчета появляется необходимость определения большого количества связанных между собой переменных.

Радиус круглоцилиндрической поверхности скольжения

$$R = \sqrt{(d + h_c)^2 + a^2}, \quad (7)$$

где a – расстояние от верха подпорной стенки до точки O_1 по горизонтали;

d – расстояние от верха подпорной стенки до точки O_1 по вертикали;

h_c – полная высота подпорной стенки с заглубленным концом в грунт.

Ширина грунтового элемента:

– справа от подпорной стенки

$$b = \frac{\sqrt{R^2 - d^2} - a}{5}; \quad (8)$$

– слева от подпорной стенки

$$b = \frac{\sqrt{R^2 - (d + h_c - k)^2} + a}{5}, \quad (9)$$

где k – величина заглубления подпорной стенки в грунт.

Высота грунтового элемента справа от подпорной стенки

$$h = \sqrt{R^2 - r^2} - d. \quad (10)$$

Высота грунтового элемента слева от подпорной стенки элемента

$$h = \sqrt{R^2 - r^2} - E, \quad (11)$$

где E – расстояние от нижнего уровня земли до точки O_1 .

Вес грунтового элемента

$$p = \rho \cdot L \cdot b \cdot h, \quad (12)$$

где ρ – удельный вес грунта;

L – длина грунтового элемента.

Длина участка дуги скольжения в пределах элемента справа от подпорной стенки

$$l = \frac{\pi \cdot R}{180} \cdot \beta, \quad (13)$$

где $\pi = 3,14$ – постоянная;

$$\beta = \arcsin \frac{a + \sum_i^n b}{R} - \arcsin \frac{a + \sum_{i-1}^n b}{R} - \text{центральный угол дуги.}$$

Длина участка дуги скольжения в пределах элемента слева от подпорной стенки

$$l = \frac{\pi \cdot R}{180} \cdot \gamma, \quad (14)$$

$$\text{где } \gamma = \arcsin \frac{\sum_i^n b - a}{R} - \arcsin \frac{\sum_{i-1}^n b - a}{R} - \text{центральный угол дуги.}$$

Формулы расчета приведены согласно [1, 2, 3].

Анализ принципа расчета безанкерных подпорных стенок (приведенный выше) на общую устойчивость по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения позволяет сделать вывод, что все неизвестные (переменные), фигурирующие в расчете, зависят и определяются при помощи шести основных величин (при известных параметрах грунтов c , φ , ρ):

- координат центра поверхности скольжения по отношению к верху подпорной стенки (a ; b);
- высоты подпорной стенки;
- величины погружения подпорной стенки в грунт;
- расстояния от нижнего уровня земли до центра круглоцилиндрической поверхности;
- внешней нагрузки q (рис. 1).

Исходя из анализа расчета и предложенной ранее [1] табличной формы расчета, актуальным является выполнение итераций при решении данной инженерной задачи автоматизированным способом, т.е. при помощи электронных таблиц «Microsoft Excel», куда вводятся все зависимости переменных. В первой итерации основными параметрами для расчета являются перечисленные выше основные шесть величин. В последующих итерациях основными параметрами для подбора наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения являются только два параметра координат центра поверхности скольжения по отношению к верху подпорной стенки (a ; b), при помощи варьирования которыми и

определяется центр поверхности скольжения.

Данный способ разработан и применен при проектировании [4] тонкой безанкерной подпорной стенки на площадке строительства жилого дома в г. Запорожье, по ул. Киевской, 70.

Выводы из данного исследования и перспективы последующего развития в данном направлении:

1. Автоматизация расчета при использовании возможностей электронных таблиц "Microsoft Excel" приводит к уменьшению затрат времени (на порядок) на поиск центра наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения.

2. Учитывая, что расчет производится по определенно заданному алгоритму, исключается погрешность, связанная с человеческим фактором.

3. На основании предложенного метода может быть разработано программное обеспечение по расчету безанкерных тонких подпорных стенок.

Литература

1. Будин А.Я. *Тонкие подпорные стенки* / А.Я. Будин. – Л.: Стройиздат, 1974. – 191 с.

2. Снитко Н.К. *Статическое и динамическое давление грунтов и расчет подпорных стенок* / Н.К. Снитко. – Л.: Стройиздат, 1970. – 205 с.

3. Гусев В.А. *Справочные материалы. Математика* / В.А. Гусев, А.Г. Моркович. – М.: Просвещение, 1990. – 416 с.

4. *Проект устройства подпорной стенки по ул. Киевской, 70 в г. Запорожье.* –ЗО НИИСК, Запорожье, 2008. – 14 с.