

разогрева. Но в камерах с горячими стенками можно обеспечить более высокую скорость разогрева садки, так в данном случае разогрев происходит от горячих стенок и тлеющим разрядом. Так, например, увеличение мощности тлеющего разряда (в пределах его устойчивого существования в форме аномального), позволило при разогреве садки деталей в камере с горячими стенками сократить время разогрева садки до температуры 720 °С на 64 минуты – с 250 минут до 186 минут.

В случае же разогрева только тлеющим разрядом существуют ограничения по удельной мощности разряда [1], превышение которой приводит к переходу разряда из тлеющего в дуговой, что недопустимо.

Таким образом, можно сделать вывод, что в камерах с горячими стенками, выбирая определенный баланс между температурой стенки и мощностью тлеющего разряда, можно достаточно гибко управлять скоростью разогрева садки до достижения температуры изотермической выдержки.

Список использованных источников

1. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б. Н. Арзамасов [и др.]. – М.: Изд. МГТУ им. Баумана, 1999. – 400 с.

УДК 622.363

Анализ предельных характеристик грунтовых отвалов

Павич Е. С., студент

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: профессор Воронова Н. П.

Аннотация:

Рассматриваются проблемы выбора предельных характеристик отвалов грунта при копании траншей для прокладки путепроводов, выбор предельной высоты отвала, устойчивость выбранной породы, условия равновесия при распределении веса породы. На основании метода математического моделирования определяется максимально допустимый угол грунтового отвала.

Рассмотрим задачу выбора предельных характеристик отвалов грунта при копании траншей для прокладки путепроводов. Важными характеристиками в этом процессе являются выбор предельной высоты отвала, устойчивость выбранной породы. При оценке устойчивости слагающего откоса необходимо учитывать нарушение равновесия нагруженного массива с поверхности, наличие неуравновешенных внутренних сил на боковой поверхности отвала. Это происходит из-за неравномерного распределения веса породы на одном и том же уровне. Процесс отвала откосов также возникает благодаря дополнительной нагрузке, создаваемой работающей техникой (бульдозеры, ...).

Рассмотрим физическое обоснование возможного оползания откоса и его математическое описание. Известно [1], что для породы в откосах сопротивление сдвигу обуславливается не только внутренним трением, но и сцеплением частиц породы, это дает решение, зависящее от высоты отвала. Плоская поверхность обрушения достаточно полно описывается с помощью угла наклона α этой плоскости к линии горизонта.

Обозначим через h высоту плоского откоса, l – длина следа плоскости обрушения, d – длина следа поверхности откоса. Тогда положение поверхности обрушения в плоской проекции можно изобразить в виде рисунка 1.

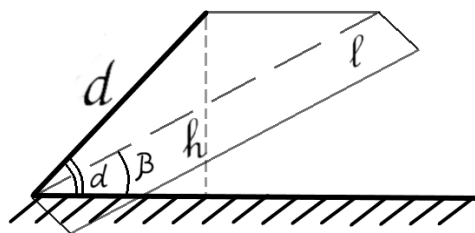


Рис. 1 – Положение плоскости обрушения откоса сыпучей породы.

Угол β – угол между l и линией горизонта. Из прямоугольных треугольников через катет и гипотенузу выразим:

$$l = \frac{h}{\sin \beta}, \quad (1)$$

$$d = \frac{h}{\sin \alpha}, \quad (2)$$

Вес обрушенной породы P можно вычислить по формуле [2]:

$$P = \gamma \frac{ld}{2} \sin(\alpha - \beta) = \frac{1}{2} \gamma \frac{h}{\sin \beta} \frac{h}{\sin \alpha} \sin(\alpha - \beta) = \frac{\gamma h^2 \sin(\alpha - \beta)}{2 \sin \alpha \sin \beta}, \quad (3)$$

где γ – объемный вес породы.

На плоскости сдвига действуют следующие силы [3]: касательное усилие Q , направленное параллельно плоскости обрушения и полученное при разложении силы собственного веса P на две взаимно перпендикулярные составляющие Q и R . Составляющая R перпендикулярна плоскости обрушения (рисунок 2).

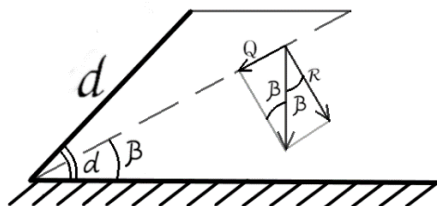


Рис. 2 - Силы, действующие на плоскости обрушения.

Из прямоугольных треугольников найдем силы при предельном равновесии породы.

$$\begin{aligned} Q &= P \sin \beta, \\ R &= P \cos \beta. \end{aligned} \quad (4)$$

Сила внутреннего трения T направлена в сторону, обратную действию силы Q и равна:

$$T = P \cos \beta \operatorname{tg} \varphi, \quad (5)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент внутреннего трения. Сила сцепления F действует с одинаковой интенсивностью по всей плоскости сдвига также в сторону, обратную ожидаемому сдвигу, равна:

$$F = \frac{\kappa h}{\sin \beta}, \quad (6)$$

где κ – коэффициент, характеризующий интенсивность сцепления.

При отнесении сил (4), (5), (6) к единице площади сдвига запишем общее уравнение равновесия:

$$Q = T + F. \quad (7)$$

С учетом (1)–(3) уравнение (7) примет вид:

$$P \sin \beta = P \cos \beta \operatorname{tg} \varphi + \frac{\kappa h}{\sin \beta} = \frac{\gamma h^2 \sin(\alpha - \beta)}{2 \sin \alpha \sin \beta} \sin \beta = \frac{\gamma h^2 \sin(\alpha - \beta)}{2 \sin \alpha \sin \beta} \cos \beta \operatorname{tg} \varphi + \frac{\kappa h}{\sin \beta}. \quad (8)$$

Домножим обе части уравнения (8) на $\frac{\sin \beta}{h}$, получим:

$$\frac{\gamma h \sin(\alpha - \beta) \sin \beta}{2 \sin \alpha} = \frac{\gamma h \sin(\alpha - \beta)}{2 \sin \alpha} \cos \beta \operatorname{tg} \varphi + \kappa. \quad (9)$$

Выразим из уравнения (9) величину κ :

$$\begin{aligned} \kappa &= \frac{\gamma h \sin(\alpha - \beta)}{2 \sin \alpha} (\sin \beta - \cos \beta \operatorname{tg} \varphi) = \frac{\gamma h \sin(\alpha - \beta)}{2 \sin \alpha} \left(\sin \beta - \frac{\cos \beta \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) = \\ &= \frac{\gamma h \sin(\alpha - \beta)}{2 \sin \alpha \cos \varphi} (\sin \beta \cos \varphi - \cos \beta \sin \varphi). \end{aligned}$$

Применяем формулу синуса разности углов:

$$\kappa = \frac{\gamma h \sin(\alpha - \beta)}{2 \sin \alpha \cos \varphi} \sin(\beta - \alpha). \quad (10)$$

Коэффициент интенсивности сцепления из формулы (10) отражает величину сцепления, обеспечивающего предельное равновесие на плоскостях поверхностей сдвига, что может быть использовано

для нахождения высоты отвала при копании траншей. При возникновении сдвига плоскостей, необходимо обеспечение предельного равновесия при наибольшем значении величины сцепления. В этом случае на остальных плоскостях будет устойчивое равновесие и соответственно будет обеспечиваться устойчивость всего массива вынудой породы в целом.

Наибольшее значение функции κ рассматривается на плоскости обрушения, где угол наклона к горизонту β . Поэтому исследуем функцию $\kappa(\beta)$ на экстремум. Для этого найдем критические точки из уравнения

$$\begin{aligned} \kappa'(\beta) &= 0 \text{ [4].} \\ \kappa'_\beta &= \frac{\gamma h}{2 \sin \alpha \cos \varphi} \frac{1}{(-\cos(\alpha - \beta) \sin(\beta - \varphi) + \sin(\alpha - \beta) \cos(\beta - \varphi))} = \\ &= \frac{\gamma h}{2 \sin \alpha \cos \varphi} \sin(\alpha - \beta - \beta + \varphi) = \frac{\gamma h}{2 \sin \alpha \cos \varphi} \sin(\alpha - 2\beta + \varphi). \end{aligned}$$

Проверяем необходимое условие экстремума, т.е. ищем точки, где $\kappa'_\beta = 0$ или не существует. κ'_β не существует, если $\sin \alpha = 0$, $\alpha = \pi n$, $n \in \mathbb{Z}$; или $\cos \varphi = 0$, $\varphi = \frac{\pi}{2} + \pi m$, $m \in \mathbb{Z}$. Эти значения углов α и φ не соответствуют постановке задачи. Тогда рассмотрим случай $\kappa'_\beta = 0$, т. е.

$$\sin(\alpha - 2\beta + \varphi) = 0. \text{ Тогда } \alpha - 2\beta + \varphi = 0, 2\beta = \alpha + \varphi, \beta = \frac{\alpha + \varphi}{2}.$$

Проверим выполнение достаточного условия экстремума. Вычисляем вторую производную функции $\kappa(\beta)$ и находим знак $\kappa''(\beta)$ в точке $\beta = \frac{\alpha + \varphi}{2}$.

$$\kappa''_{(\beta)} = \frac{\gamma h}{2 \sin \alpha \cos \varphi} \cos(\alpha - 2\beta + \varphi)(-2) = -\frac{\gamma h}{\sin \alpha \cos \varphi} \cos(\alpha - 2\beta + \varphi).$$

$$\text{При } \beta = \frac{\alpha + \varphi}{2} \quad \kappa''_{(\beta)} = -\frac{\gamma h}{\sin \alpha \cos \varphi} \cos 0 = -\frac{\gamma h}{\sin \alpha \cos \varphi} \text{ и } \kappa''_{(\beta)} < 0,$$

следовательно $\beta = \frac{\alpha + \varphi}{2}$ – точка максимума.

Максимальное значение величины k получается при $\beta = \frac{\alpha + \varphi}{2}$, следовательно по биссектрисе угла, образованного следом откоса и линией, проведенной к горизонту под углом внутреннего трения горизонта породы φ , проходит след плоскости, наиболее опасной в отношении сдвига. При различных значениях угла уклонов поверхности откоса α получаются различные положения опасных плоскостей обрушения β . Следовательно, зная угол обрушения, можно определить величину наибольшего сцепления грунта k_{max} , которое необходимо для предельного равновесия на самой опасной плоскости обрушения. Подставив значение $\beta = \frac{\alpha + \varphi}{2}$ в формулу (10), найдем условие устойчивости всего отвала.

$$k_{max} = \frac{\gamma h \sin(\alpha - \frac{\alpha + \varphi}{2})}{2 \sin \alpha \cos \varphi} \sin(\frac{\alpha + \varphi}{2} - \varphi) = \frac{\gamma h \sin(\frac{\alpha - \varphi}{2}) \sin(\frac{\alpha - \varphi}{2})}{2 \sin \alpha \cos \varphi} = \frac{\gamma h \sin^2(\frac{\alpha - \varphi}{2})}{2 \sin \alpha \cos \varphi}. \quad (11)$$

Исследуем функцию (11) в зависимости от углов α и φ . Очевидно, что при $\alpha = \varphi$ величина $k_{max} = 0$ и равновесие соблюдается при любой высоте откоса. Если $\alpha > \varphi$, то сцепление на плоскости сдвига зависит от высоты откоса h . При малых значениях высоты предельное равновесие соответствует большему значению угла α , т. е. более крутому наклону.

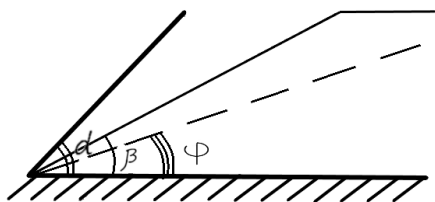


Рис. 3 – Расположение углов

Наиболее вероятная поверхность обрушения под углом $\beta = \frac{\alpha + \varphi}{2}$.

Список использованной литературы

1. Гончаров, С. А. Термодинамические процессы: Учеб. для вузов / С. А. Гончаров, К. И. Наумов. – М.: Издательство «Горная

книга», Издательство Московского государственного горного университета. – 2009. – 397 с.

2. Смычник, А. Д. Технология и механизация разработки калийных месторождений: учеб. пособие/А. Д. Смычник, Б. А. Богатов, С. Ф. Шемет. 2-е изд. доп. и перераб. Мл.: Юнипак, – 2005. – С.– 224 с.

3. Воронова, Н. П. Математическое Моделирование и управление теплотехнологиями промышленных производств: монография / Н. П. Воронова. – Минск: БНТУ, – 2009. – С. – 260 с.

4. Рябушко, А. П. Высшая математика: теория и задачи: учеб. пособие. В 5ч. – Ч.1. Линейная и векторная алгебра. Аналитическая геометрия. Дифференциальное исчисление функций одной переменной / А. П. Рябушко, Т. А. Жур, 2-е изд. – Минск: Высшая школа, – 2017. – С. 303.

УДК 539.23

Повышение качества нанопленок

Пантеенко В. Е., студент,

Петров С.В., студент

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: старший преподаватель Орлова Е. П.

Аннотация:

В данной статье рассматривается проблема недостаточного сцепления нанопленок с поверхностью материала, а также пути решения данной проблемы.

Тонкие пленки представляют собой слой конденсированного вещества менее 2,5 мкм. Они широко применяются в качестве упрочняющих, проводящих и диэлектрических материалов при изготовлении контактов и интегральных схем в микроэлектронике.

Нанесение нанопленок на интегральные микросхемы схемы позволяют уменьшить массу и габариты, увеличить надежность и проводимость схемы. Благодаря нанопленкам, платы и схемы меньше греются и в последствии этого не так изнашиваются, как при нанесении толсто пленочных покрытий.