

ОБЗОР МЕТОДОВ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ И ОСОБЕННОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВОГО ОТКОСА

А.А. Будников

Научный руководитель доцент В.В. Крамаренко

Национальный исследовательский томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время наблюдается рост объемов строительных работ, что в свою очередь, отражается на увеличении объемов инженерных изысканий, и в частности инженерно-геологических. Существующая нормативная база устанавливает минимум требований, обязательных к выполнению при проведении инженерно-геологических изысканий – при выполнении изысканий на территории, подверженной склоновым процессам, обязательным условием является проведение расчета устойчивости склонов и подготовка заключения о его устойчивости. При добыче полезного ископаемого открытым способом очень часто встает вопрос о попутной добыче грунтовых строительных материалов и расчете устойчивости бортов карьеров. В инженерной геологии накоплен значительный методологический потенциал, позволяющий выполнить предварительное определение параметров устойчивости карьерного откоса уже на стадии изысканий. Это дает возможность на предпроектной стадии принимать решения, оптимизирующие процесс основного проектирования, что определяет актуальность данного исследования.

Целью представленной работы является обзор методов расчета устойчивости склонов и особенность их применения для определения параметров устойчивых карьерных откосов в разных инженерно-геологических условиях.

В процессе исследования решались следующие задачи: знакомство с теоретическими основами устойчивости карьерных откосов, в том числе с основными понятиями открытых горных работ (элементы и параметры карьера, виды нарушений устойчивости, факторы, влияющие на устойчивость и т.д.); обзор существующих методов расчета устойчивости откосов; расчет параметров устойчивости карьерного откоса на примере карьера по попутной добыче грунтовых строительных материалов на Июньском месторождении Кемеровской области.

В ходе работы использовались методы систематизации и обработки исходных данных, их сравнения и моделирование поведения грунтов в откосе карьера.

В настоящее время известно более двухсот подходов к расчету устойчивости склонов. Заслуживает внимания классификация методов, основанная на определении параметров устойчивого откоса, предложенная М.Е. Певзнером [3]. Вся совокупность методов можно разделить на пять классов.

К первому классу (класс А) относятся методы, которые можно назвать методами предельного равновесия. В данном случае речь идет об определении контура откоса, ограничивающего зону, во всех точках которой удовлетворяется условие предельного равновесия. Сюда относятся основной метод В.В. Соколовского, расчетные способы и схемы И.С. Мухина и А.И. Срагович, А.М. Сенкова и др.

Ко второму классу (класс Б) принадлежат методы, определяющие контур откоса, вдоль которого угол наклона касательной равен углу сопротивления сдвигу (методы Н.Н. Маслова, М.Н. Троицкой).

Третий класс методов (класс В) основан на определении поверхности скольжения, вдоль которой удовлетворяется условие предельного равновесия. В зависимости от формы поверхности скольжения, по которой производится расчет устойчивости откоса, выделяют пять групп методов:

По плоской поверхности скольжения (методы Л.Н. Бернацкого и П.Н. Цымбаревича);

По круглоцилиндрической поверхности скольжения (методы В. Феллениуса, Д. Тейлора, Н. Янбу, М.Н. Гольдштейна и др.);

По логарифмической спирали (методы Г. Крея – К. Терцаги, Р.Р. Чугаева, А. Бишоп, Г.М. Шахунянца, Е. Спенсера, Н. Моргенштерна – В. Прайса);

По поверхности скольжения сложной криволинейной формы (методы Л. Рендулика, Н.П. Пузыревского – П.И. Кожевникова, Ю.С. Козлова — В.П. Будкова, Г.Л. Фисенко, Л.В. Савкова, А.Г. Дорфмана, конечных элементов);

По поверхности скольжения ломаной формы (методы А.П. Ясюнас, Н.Н. Маслова, Р.Р. Чугаева).

Четвертый класс методов (класс Г) основан на поиске такой поверхности скольжения, вдоль которой удовлетворяется условие специального предельного равновесия (методы ВНИМИ – Г.Л. Фисенко, Н.Н. Куваева, Э.Л. Галустяна, методы ГИГХС – М.Е. Певзнера; Э.Г. Газиева, В.И. Речицкого, Гидропроекта – Э.А. Фрейберга, ВНИИЦветмета – Л.В. Савкова, МГИ – П.Н. Панюкова, КарПи – И.И. Попова и Р.П. Окатова).

Пятый класс методов (класс Д) — методы, предусматривающие вероятностную оценку устойчивости откосов на основе статистических оценок определяющих факторов [3].

Под склоном понимается наклонная поверхность, которая образована природным путем [6], а откосом называют искусственно созданную поверхность, которая ограничивает природный грунтовый массив, выемку или насыпь [1]. Исходя из определений, данных выше, основное отличие между склоном и откосом заключается в том, что откос является результатом хозяйственной деятельности человека, в то время как склон – это природное явление. Эта особенность находит отражение в особенности расчетов, которые определяют устойчивость откоса. В данном случае, говоря об откосе, имеется в виду карьерный откос, т.е. откос, сформированный при добыче полезного ископаемого.

Действующие отечественные инструкции по расчёту устойчивости бортов откосов требуют выполнять все расчёты с применением метода Г. Л. Фисенко (ВНИМИ) [5]. Специалистами ВНИМИ разработаны типовые расчетные схемы расчета устойчивости, учитывающие характер деформирования откосов в различных

**СЕКЦИЯ 6. ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ.
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ.**

инженерно-геологических условиях. Расчетная схема состоит из способа построения поверхности скольжения и метода поверочного расчета [2].

В данном случае главная задача расчетов состоит не в определении коэффициента запаса устойчивости, а в определении параметров устойчивых карьерных откосов, таких как высота и угол наклона при заданном коэффициенте запаса устойчивости.

В качестве практического применения рекомендуемых методик, автором было выполнено определение параметров устойчивого карьерного откоса на примере Июньского месторождения в Кемеровской области с учетом инженерно-геологических условий.

Для определения угла откоса при известной высоте или высоты при известном угле, при отсутствии в приоткосном массиве поверхностей ослабления (слоистости, сланцеватости, тектонических нарушений и крупных трещин), с которыми может совпадать поверхность скольжения, используется схема V ВНИМИ.

Поверхность скольжения, по которой выполнялось сравнение сдвигающих и удерживающих сил, была принята монотонной, близкой по форме к круглоцилиндрической. Расчеты проводились методом алгебраического сложения сил отдельно для каждого инженерно-геологического элемента (суглинок бурый аллювиально-делювиальный легкий пылеватый, суглинок бурый и темно-бурый аллювиальный легкий пылеватый и глина элювиально-делювиальная легкая пылеватая) в программном комплексе Slide 6.0 Rocscience с использованием метода Бишопа, Ямбу, Morgenштерн-Прайса. Для расчета использовались такие показатели физико-механических свойств грунтов как плотность, угол внутреннего трения, удельное сцепление.

В районах, для которых сила землетрясения оценивается в 7 баллов и выше, расчеты необходимо производить с учетом сейсмичности. Сейсмические воздействия рассматриваются как дополнительные горизонтальные и вертикальные нагрузки в оползневом массиве. Для расчетов устойчивости была принята максимальная величина сейсмичности по Кемеровской области – 8 баллов (по картам ОСП-2015).

Путем многочисленных расчетов с учетом коэффициента сейсмичности и без него получена закономерность: при определении параметров устойчивости с учетом сейсмичности (для сейсмичности 8 баллов), коэффициент запаса устойчивости увеличивается в 1,223 раза – для суглинка аллювиально-делювиального; в 1,146 раза – для суглинка аллювиального; в 1,108 раза – для глины.

Наибольшее увеличение коэффициента запаса устойчивости с учетом сейсмичности наблюдается у суглинка аллювиально-делювиального, что связано с наименьшим показателем удельного сцепления этого грунта.

Для бортов карьеров на предельном контуре коэффициент запаса устойчивости составляет $n = 1,3$ [4].

Таким образом, общая величина коэффициента запаса устойчивости, определяемая как произведение частных коэффициентов, составит для суглинка аллювиально-делювиального $n = 1,3 \cdot 1,223 \approx 1,59$, для суглинка аллювиального $n = 1,3 \cdot 1,146 \approx 1,49$, для глины $n = 1,3 \cdot 1,108 \approx 1,44$.

Результаты расчетов параметров устойчивости откосов на предельном контуре с учетом полученных коэффициентов запаса устойчивости приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры карьерного откоса

| Характеристика пород, слагающих откос | Углы наклона откоса на предельном контуре (град.) при их высоте (м) | | | |
|--|---|----|------|----|
| | 5 | 10 | 20 | 30 |
| Суглинок бурый аллювиально-делювиальный легкий пылеватый | 29 | 19 | 15,5 | 15 |
| Суглинок бурый и темно-бурый аллювиальный легкий пылеватый | 48 | 38 | 29,5 | 23 |
| Глина элювиально-делювиальная легкая пылеватая | 65 | 57 | 51 | 46 |

Наибольший допустимый угол откоса наблюдается у глины, потом идет суглинок аллювиальный. Наименьшее значение угла наклона – у суглинка аллювиально-делювиального. Полученные результаты объясняются жесткой обратной зависимостью, существующей между величиной коэффициента запаса устойчивости и параметрами карьерного откоса: чем больше угол наклона откоса, тем меньше коэффициент запаса устойчивости и допустимая высота.

В результате проведенного исследования была осуществлено знакомство с теоретическими основами устойчивости карьерных откосов, выполнен краткий обзор существующих методов расчета устойчивости. На конкретном примере (Июньское месторождение Кемеровской области) выполнено определение параметров устойчивого карьерного откоса.

Литература

1. Абуханов А.З. Механика грунтов: учебное пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2006.
2. Бахаева С.П. Расчет устойчивости откосов при открытой геотехнологии: учебное пособие; ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева». – Кемерово, 2011.
3. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ: Учебник для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003.
4. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов, строящихся и эксплуатируемых карьеров. — Ленинград : ВНИМИ, 1972.
5. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. - СПб.: ВНИМИ, 1998.
6. Пьянков С.А. Механика грунтов: учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2008.