

УДК 627.8.064.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ СКЛОНОВ, СЛОЖЕННЫХ АНИЗОТРОПНЫМИ ГРУНТАМИ

Ким Э.А.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

В статье приводится модельный анализ надежности склонов с учетом влияния анизотропии свойств грунтов. Исследовано влияние анизотропных условий как на положение расчетной поверхности скольжения, так и на величину коэффициента устойчивости склона.

Ключевые слова: анизотропия свойств грунтов, количественная оценка устойчивости склона, геомеханическая схема, поверхность скольжения, мгновенная устойчивость склона, изотропная среда.

АНИЗОТРОПТУК КЫРТЫШТАРДАН ТУРГАН ЖАНТАЙМАЛАРДЫ МОДЕЛДЕШТИРҮҮ

Ким Э.А.

КР УИАнын Геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институту

Макалада кыртыштын касиеттеринин анизотропиясынын таасирин эске алуу менен жантаймалардын ишенимдүүлүгүнүн моделдик анализи берилген. Анизотроптук шарттардын эсептелген жылма беттин абалына тийгизген таасири, эңкейиштин туруктуулук коэффициентинин тактыгы жана чоңдугу изилденген.

Баштапкы сөздөр: кыртыштын касиеттеринин анизотропиясы, эңкейиштин туруктуулугун сандык баалоо, геомеханикалык схема, жылма бет, эңкейиштин көз ирмемдик туруктуулугу, изотроптук чөйрө.

MODELING OF SLOPES COMPLETED BY ANISOTROPIC SOILS

Kim E.A.

Institute of Mechanical Science, Automation and Geomechanics
of National academy of Sciences K.R.

The article provides a model analysis of slope reliability taking into account the influence of anisotropy of soil properties. The influence of

anisotropic conditions on both the position of the calculated sliding surface and the value of the slope stability coefficient was studied.

Key words: anisotropy of soil properties, quantitative assessment of slope stability, geomechanical scheme, sliding surface, instantaneous slope stability, isotropic medium.

Одним из главных этапов выполнения работ по количественной оценке устойчивости склонов является схематизация при построении математической модели. Такого рода схематизация может быть обобщенной и специальной. Под обобщенной схематизацией в данном контексте следует понимать процесс упрощения реального природного объекта, обладающего бесконечной степенью сложности, до концептуальной модели, с одной стороны, ограниченной рамками научного познания, а с другой - степенью информационной обеспеченности, достигнутой при выполнении инженерно-геологических работ. Специальная схематизация предполагает упрощение концептуальной модели до специализированной (геомеханической) схемы, способной в рамках поставленной задачи сохранить в должной мере адекватность полученной схемы и исходной концептуальной модели, а в конечном итоге обеспечить с требуемой детальностью описание реального природного объекта. Цель специальной схематизации может быть выражена в виде следующего тезиса: максимальное упрощение при минимальной потере адекватности. Этот тезис может служить также основой для математической постановки задачи. Обоснование схематизации является одной из важнейших задач при описании процесса построения математической модели, нередко решаемых при инженерных изысканиях [1].

Собственно, выполнение специальной схематизации можно разделить на несколько взаимосвязанных этапов: схематизацию структуры склонового массива, схематизацию свойств грунтов, которая, в свою очередь, определяет поведение склонового массива при моделировании, и схематизацию состояния склона - объекта

моделирования, которая в случае расчета устойчивости склона сводится к оценке «устойчив/неустойчив» и зависит от выбранного критерия прочности грунтов.

Безусловно, одним из ключевых факторов адекватности схематизации свойств грунтов при построении специализированной (геомеханической) схемы является концептуализация воззрений на распределение этих свойств. В принципе концептуальных схем распределения свойств грунтов в склоновом массиве может быть несколько - принятие однородного, неоднородного, кусочнооднородного (как частного случая неоднородного) распределения. Вместе с тем важным аспектом при оценке устойчивости склонов является соотношение выявленной неоднородности с направлением склона, то есть учет наличия определенной ориентированности выявленной неоднородности. Для описания неравномерности/неоднородности свойств, зависящей от направления, используется понятие «анизотропия».

В общем случае анизотропия связана с системой координат, в которой исследуемая горная порода может проявлять анизотропные свойства.

Очевидно, что корректное и точное описание геологической структуры и свойств грунтов представляет собой важную часть построения геомеханической модели, оказывая существенное влияние на результаты численного анализа устойчивости склона. Это является относительно несложной задачей при простом геологическом строении и тривиальной модели поведения грунтов. Вместе с тем для природных условий наиболее типичным является сложное геологическое строение склонов и неоднородное, нередко анизотропное, распределение свойств в массиве грунтов. При этом, несомненно, точность оценки устойчивости склона определяется выбором концептуальной модели распределения свойств грунтов, а также используемым в расчете

критерием прочности. При неполной адекватности расчетной модели реальной ситуации она может оказаться недостаточной.

Анализ возможного характера анизотропии свойств грунтов склонового массива позволяет выделить два типа анизотропности [2]. Первый из них определяется природными особенностями слагающих склон грунтов, а второй связан с формированием неоднородностей их свойств под влиянием особенностей поля напряжений, действующих в присклоновой части массива. Таким образом, при анализе склона целесообразно рассматривать два типа анизотропии, требующие учета при моделировании устойчивости склонов:

I - когда характер распределения свойств грунтов в массиве связан с природной (структурной или литогенетической) анизотропностью;

II - когда характер распределения свойств грунтов в массиве обусловлен созданием анизотропных условий при формировании зон скольжения в виде геотехнического горизонта основных деформаций.

Первый тип анизотропии (изменчивости свойств, зависящей от направления) должен рассматриваться в декартовой системе координат, а второй - в цилиндрической. Очевидно, что в декартовой системе координат, в которой, как правило, выполняется моделирование склонового массива, II тип представляет собой неоднородность. Таким образом, описываемый II тип анизотропии (анизотропии свойств грунтов в цилиндрической системе координат) также может быть терминологически определен как неоднородность склонового массива (в декартовой системе координат), формирующаяся при развитии оползневого процесса.

Создание анизотропных условий II типа вызвано трансформацией исходной структуры склонового массива (сопровождаемой изменением состава и свойств грунтов) в зоне скольжения в процессе развития в ее пределах максимальных касательных напряжений. Наблюдаемые при

этом уменьшение коэффициента устойчивости склона за счет изменения свойств массива и формирование зоны скольжения в виде геотехнического горизонта основных деформаций (II типа анизотропии/неоднородности) обуславливают появление эффекта длительной устойчивости. Вместе с тем моделирование устойчивости склона с учетом структурной анизотропии свойств грунтов (I типа анизотропии) при подобном подходе позволяет оценивать мгновенную устойчивость склона.

При расчете устойчивости с учетом структурной анизотропии свойств грунтов (анизотропии I типа) используют следующие зависимости (сцепления c и угла внутреннего трения φ):

$$c = c_h \cos^2 \alpha + c_v \sin^2 \alpha; \quad (1)$$

$$\varphi = \varphi_h \cos 2 \alpha + \varphi_v \sin 2 \alpha, \quad (2)$$

где α - угол уклона плоскости анизотропии; нижние индексы h и v обозначают горизонтальное и вертикальное направление (по и перпендикулярно напластованию соответственно) в определении свойств [3].

Рассмотрим модель откоса с I типом анизотропии с водоносным горизонтом, залегающим ниже предполагаемой плоскости скольжения.

Склон сложен неоднородным суглинистым грунтом. Схематически в массиве склона можно выделить 3 слоя с разными прочностными свойствами. Во всех случаях в диалоговых окнах представлены показатели сцепления C и угла внутреннего трения f в горизонтальном и вертикальном направлениях напластования.

1 слой: плотность – 19 kN/m³, сцепление – 5;1 kN/m², угол внутреннего трения – 19;17⁰, коэффициент фильтрации - 0,05 м/сут. Расчетная схема откоса с прочностными свойствами 1-го слоя представлена на рис. 1.

2 слой: плотность – 18 kN/m^3 , сцепление – 3 kN/m^2 , угол внутреннего трения -18° , коэффициент фильтрации - $0,05 \text{ м/сут}$. То есть этот слой представляет изотропную среду (рис.2).

3 слой: плотность – 20 kN/m^3 , сцепление – $5; 10 \text{ kN/m}^2$, угол внутреннего трения -19° , коэффициент фильтрации - $0,04 \text{ м/сут}$ (рис.3).

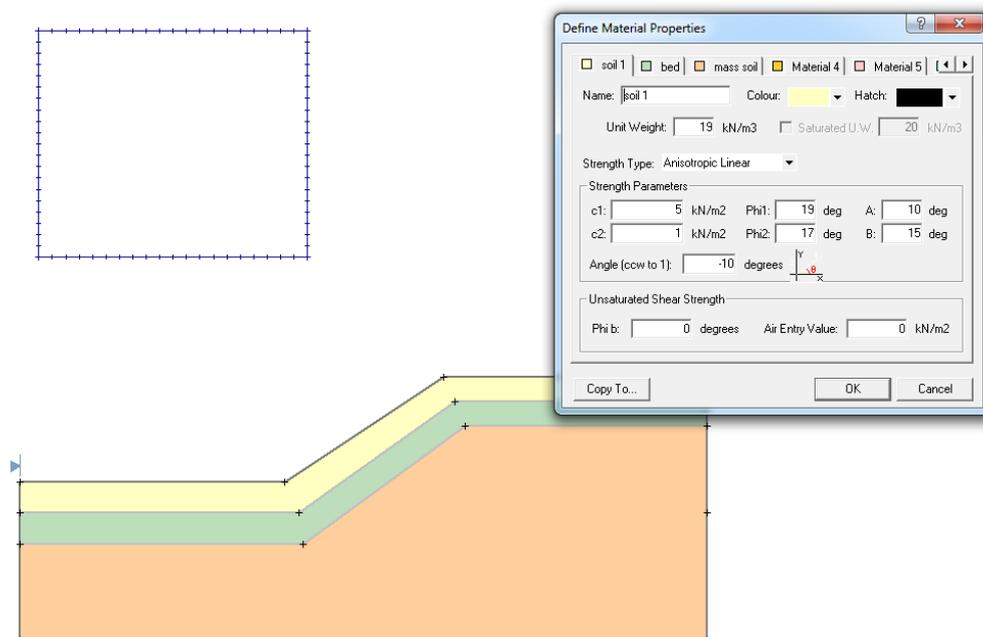


Рис. 1. Расчетная схема откоса с прочностными свойствами 1-го слоя.

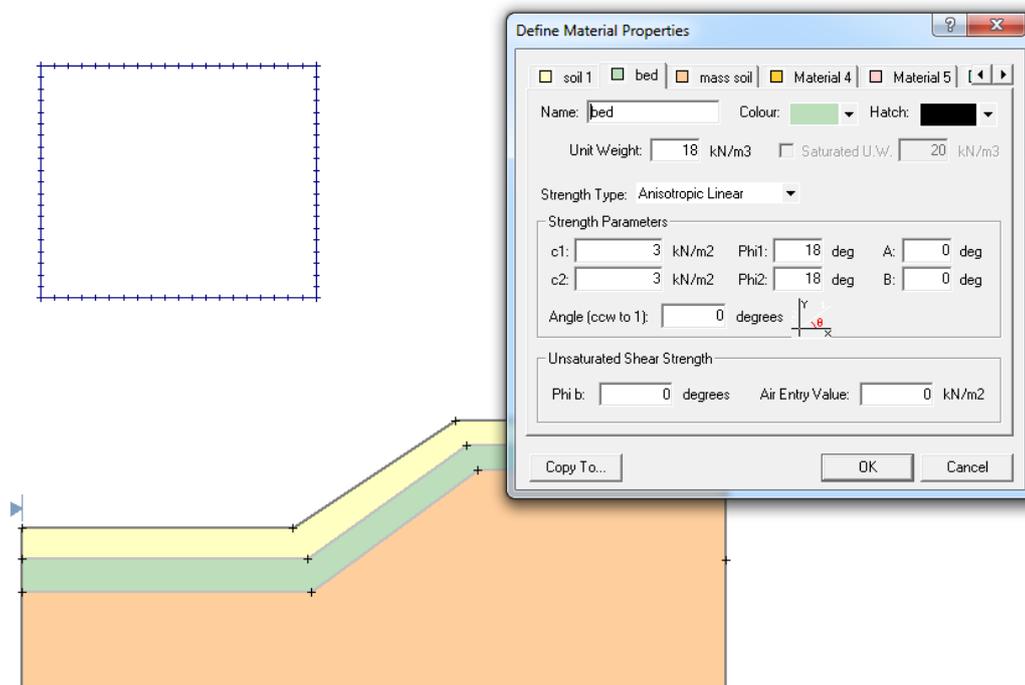


Рис. 2. Расчетная схема откоса с прочностными свойствами 2-го слоя.

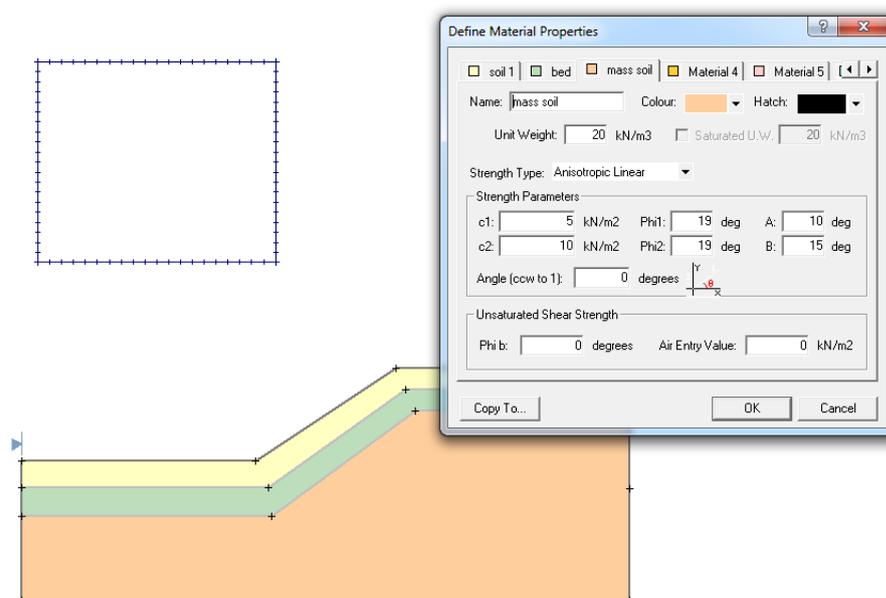


Рис. 3. Расчетная схема откоса с прочностными свойствами 3-го слоя.

Расчет устойчивости рассматриваемого склона с учетом анизотропии I типа показал, что склон неустойчив с $K_y = 0,537$ (рис. 4).

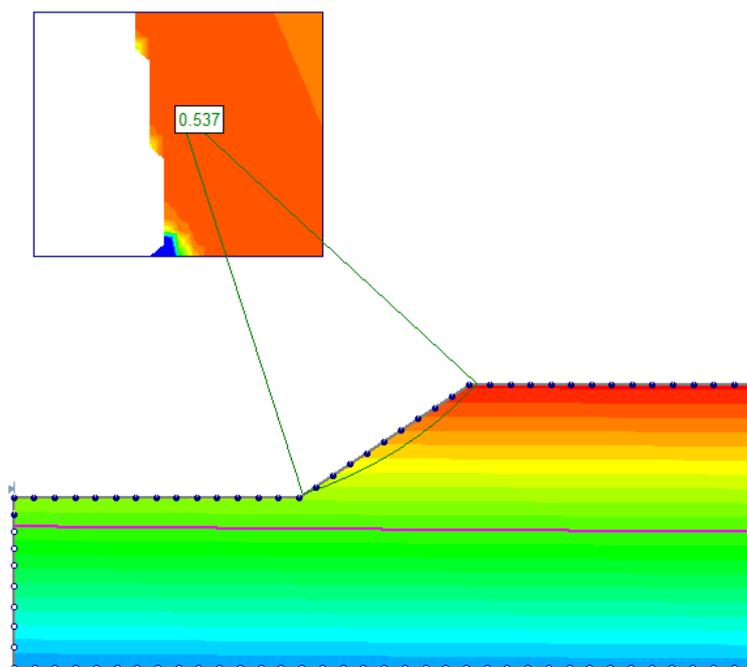


Рис. 4. Результат статического расчета устойчивости склона с учетом анизотропии I типа.

Для сравнения был произведен расчет устойчивости аналогичного склона с изотропным суглинистым материалом (рис. 6).

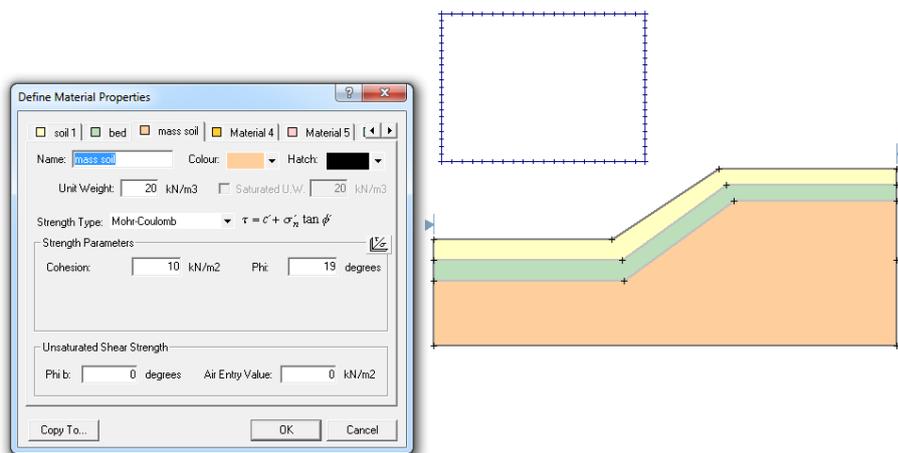


Рис. 5. Расчетная схема изотропного суглинистого склона.

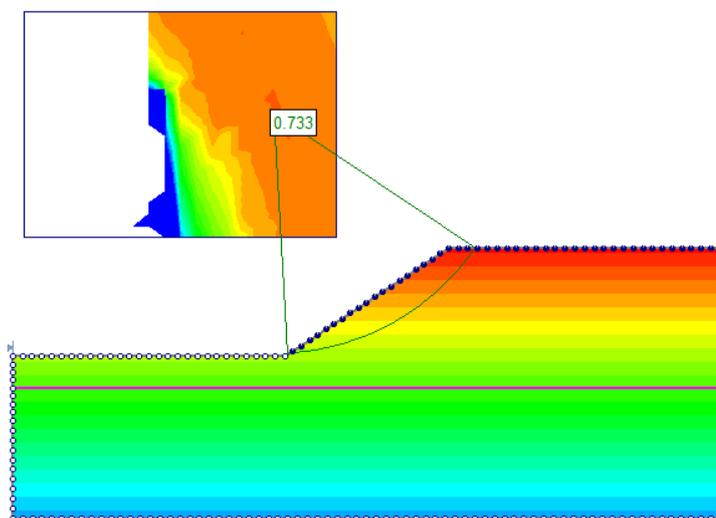


Рис. 6. Результат статического расчета устойчивости изотропного суглинистого склона.

Как видно из результатов расчетов, склон в обоих случаях неустойчив. Но в изотропной среде коэффициент устойчивости выше (0,733) по сравнению с анизотропной средой с $K_u=0,537$. То есть структурная или литогенетическая анизотропность массива (I тип анизотропии) оказывает влияние на мгновенную устойчивость склона.

Выводы

1. Одним из главных этапов выполнения работ по количественной оценке устойчивости склонов является схематизация при

построении математической модели. Безусловно, одним из ключевых факторов адекватности схематизации свойств грунтов при построении специализированной (геомеханической) схемы является концептуализация воззрений на распределение этих свойств.

2. Для оценки влияния анизотропии свойств грунтов на результаты анализа устойчивости склонов были проведены стандартные расчеты с использованием метода Бишопа, в которых слагающие массив грунты рассматривались как анизотропные (I тип анизотропии) и как изотропные.
3. Модельный анализ общей оценки устойчивости склонов с учетом влияния анизотропии свойств грунтов показал, что она оказывает влияние как на положение расчетной поверхности скольжения, так и на величину коэффициента устойчивости склона. Введение в расчетную геомеханическую схему анизотропных условий I типа показывает более низкие значения коэффициента устойчивости по сравнению с результатами расчетов, выполненных в изотропной среде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеркаль О.В. Оценка влияния анизотропии свойств грунтов на устойчивость склонов / Журнал «Инженерные изыскания», № 9/2013, С. 44 -51.
2. Фоменко И.К. Математическое моделирование напряженного состояния инженерно-геологического массива, сложенного анизотропными горными породами: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М., 2000. 24 с.
3. Гольдин А.Л., Рассказов Л.Н. Проектирование грунтовых плотин. М.: Энергоатомиздат, 1987. 304 с.