

УДК: 621.2.1

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОПОЛЗНЕОПАСНОГО СКЛОНА г. КОК-ЖАНГАК МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (в программе PLAXIS)

АБДИРАШИТОВА Нургуль Абдилакимовна

старший преподаватель

Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и
архитектуры им. Н. Исанова
г. Бишкек, Кыргызстан

В предлагаемой статье изучена оценка напряженно-деформированного состояния оползнеопасного склона в программе PLAXIS, а также исследованы климатические условия данного склона расположенный в городе Кок-Жангак. Большое влияние на интенсивное развитие экзогенных процессов, оказывают, количество атмосферных осадков, температура воздуха, и их распределение в течение года (не только в теплое и холодное полугодие, но и в течение суток). Целью данной работы является оценка напряженно-деформированного состояния оползнеопасного склона г. Кок-Жангак с использованием программы PLAXIS, позволяющей выполнять расчет на основе метода конечных элементов.

Ключевые слова: конечный элемент, разбиение, деление, оползень, напряжение, деформация, программа PLAXIS.

Для г. Кок-Жангак характерен типично континентальный климатический режим с большой амплитудой годовых температур воздуха. Климат является общей причиной многих экзогенных процессов, в том числе оползнеобразований. Последние отчетливо уменьшаются по мере поднятия в горы, а также увеличивается количество атмосферных осадков. Поэтому климатические условия оказывают свое влияние на характер и интенсивность оползнеопасных процессов различно в зависимости от разной высоты.

Более 60-70% оползней формировались в весенний период (март, апрель, май), когда количество выпавших атмосферных осадков превышает среднегодовую норму. Установлено, что оползни в этом районе могут происходить на всех склонах с крутизной от 25° до 50°.

Наиболее вероятная форма рельефа для формирования зон повышенного увлажнения и локального водонасыщения – вогнутая, при этом вероятность образования оползней достигает более 90%.

Метод конечных элементов – является численным методом решения дифференциальных уравнений встречающихся в физике и технике, решение которых связано с ми-

нимизацией некоторого функционала. Основная идея метода конечных элементов состоит в том, что любую непрерывную величину, такую как температура, давление и перемещение, можно аппроксимировать дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей.

Программа PLAXIS – конечно – элементный программный комплекс, предназначенный для расчета напряженно-деформированного состояния и устойчивости не только оползнеопасного склона, но и для расчета геотехнических систем. Благодаря, простому и удобному интерфейсу программы PLAXIS, смогли получить результаты численного моделирования оползнеопасного склона г. Кок-Жангак [4].

Для оценки напряженно-деформированного состояния оползнеопасного склона, подвергающегося анализу, важно в первую очередь создать геометрическую модель (рисунок 1). Геометрическая модель – это представление реальной задачи, и она состоит из точек, линий и кластеров. Геометрическая модель должна включать типовое разделение подстилающих грунтов по отдельным слоям,

структурным объектам, этапам строительства и нагрузкам. Ниже приводится подробное описание трех типов элементов геометрической модели.

1. *Точки* – образуют начало и конец линий. Точки также могут использоваться для установки анкеров, сосредоточенных усилий, закрепления точек и для локального измельчения сетки конечных элементов.

2. *Линии* – используются для определения физических границ геометрии, границ модели и разрыва в геометрии, напр., шпунтовых

стенок, разделения отдельных слоев грунта или этапов строительства. Линия может иметь различные функции или свойства.

3. *Кластеры* – это участки, полностью замкнутые линиями. PLAXIS автоматически распознает кластеры на основе введения геометрических линий. В пределах одного кластера свойства грунтов однородны. Следовательно, кластеры могут рассматриваться как часть слоев грунта. Действия, выполняемые на кластерах, применяются ко всем элементам кластера.

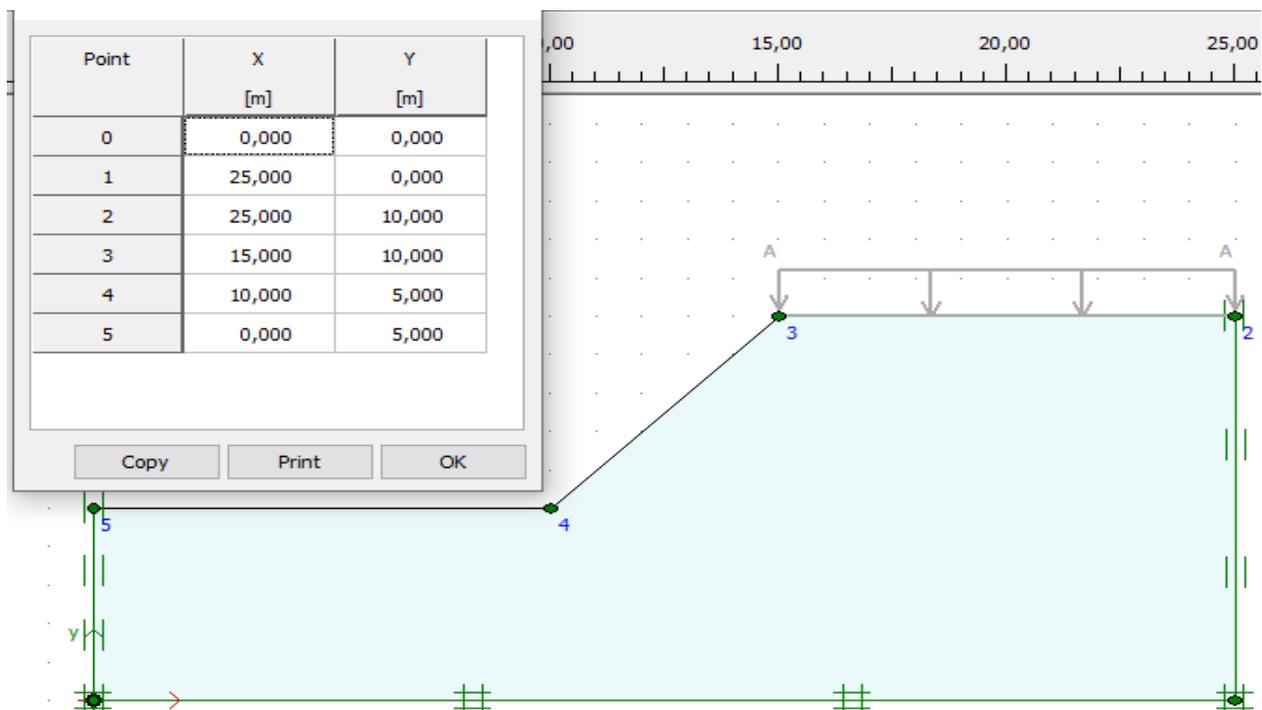


Рисунок 1. Геометрическая модель оползнеопасного склона

После создания геометрической модели создается модель конечных элементов с уч-

том состава кластеров и линий на геометрической модели (рисунок 2).

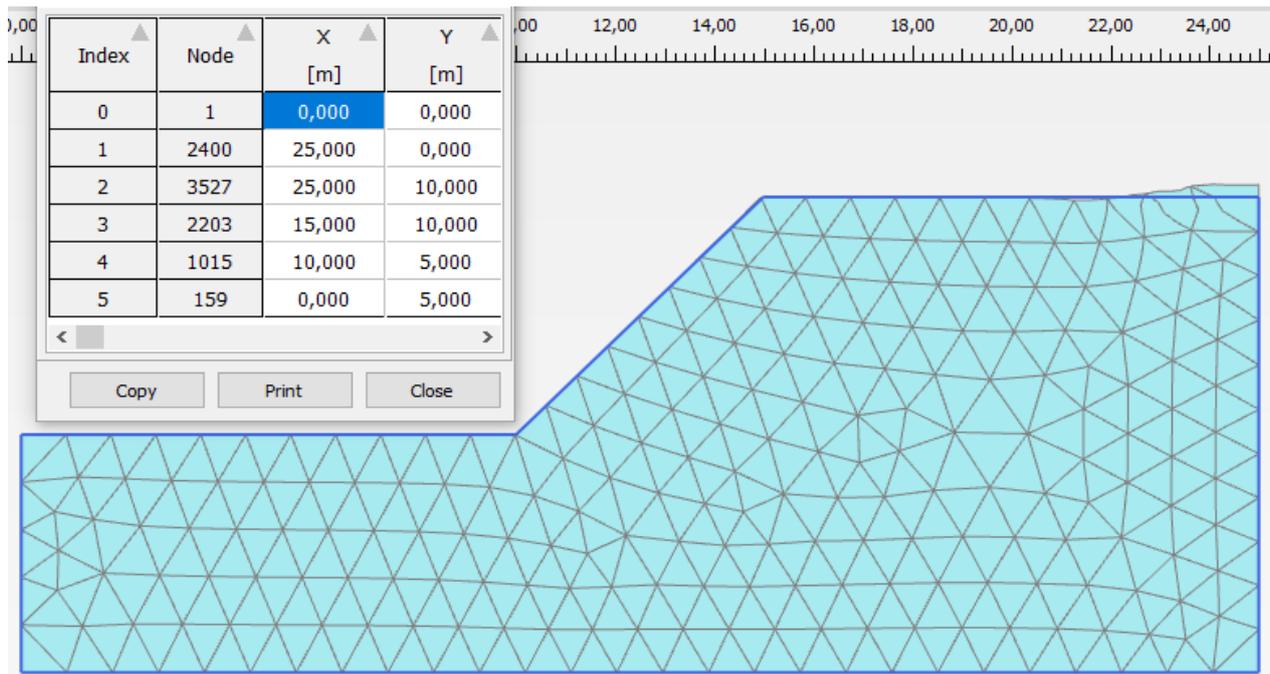


Рисунок 2. Сетка конечных элементов

В сетке конечных элементов различаются три типа компонентов:

Элементы. При формировании сетки кластеры разбиваются на треугольные элементы. Треугольный элемент, принимаемый по умолчанию, – это 6-узловый элемент. Кроме того, для более точного расчета напряжений и разрушающих нагрузок (особенно для осесимметрической геометрии) используются 15-узловые треугольники. Учитывая такое же распределение элементов (напр., при создании сетки по умолчанию), пользователь должен убедиться в том, что сетки, состоящие из 15-узловых элементов, фактически являются более тонкими и намного гибкими, но расчеты с этими сетками также более трудоемкие в сравнении с 6-узловыми элементами.

Узлы. 15-узловый треугольник состоит

из 15 узлов, а 6-узловый – из 6 узлов. Распределение узлов по элементам показано на рисунок 2.1. При расчете конечного элемента смещения рассчитываются по узлам. Узлы могут предварительно отбираться для создания кривых зависимости смещения от нагрузки.

Точки напряжения. В отличие от смещений, напряжения лучше рассчитывать в отдельных интегральных точках Гаусса (или точках напряжения), чем в узлах. 15-узловый треугольный элемент содержит 12 точек напряжения, указанных на рисунок 2.1 а, а 6-узловый треугольный элемент содержит 3 точки напряжения, как показано на рисунок 2.1 б. Точки напряжения могут предварительно отбираться для создания цепи напряжений или эпюр напряжений [3].

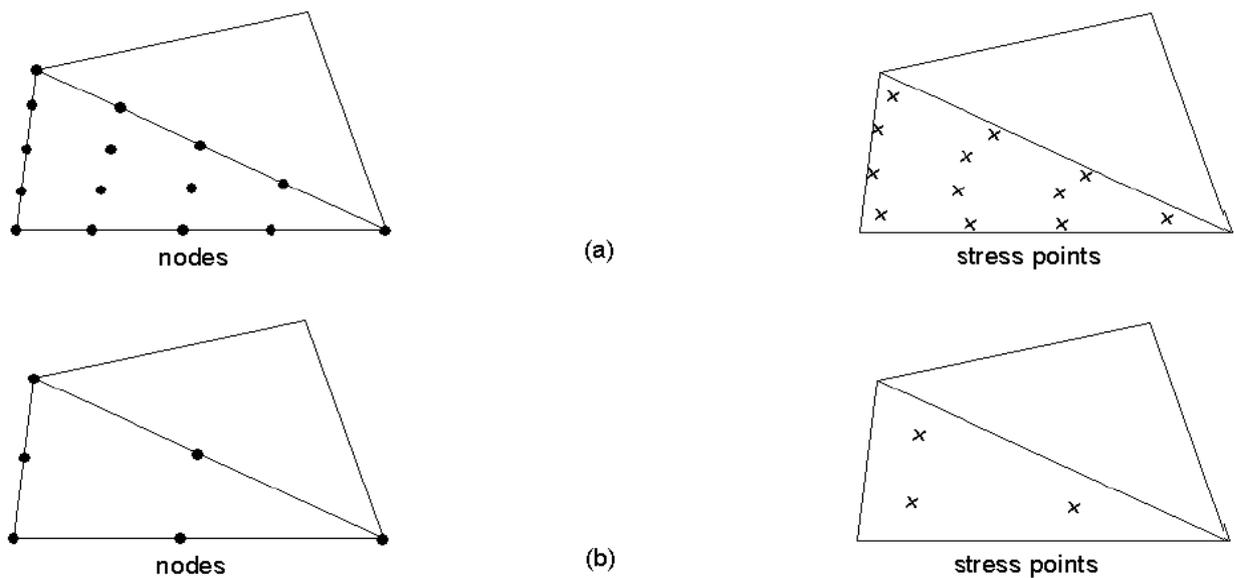


Рисунок 2.1. Узлы и точки напряжений: а, б – узлы, точки напряжений

Моделирование природного состояния выполняется путем постепенного приложения к кластерам заданного собственного веса грунта. Особенностью данного расчета является отсутствие строго горизонтальной поверхности для начальной геологической обстановки, из этого следует, что на начальной фазе калькуляции необходимо воспользоваться процедурой Gravity loading (рисунок 3). Этот вариант расчета начального напряжен-

ного состояния обеспечивает корректное формирование поля напряжений для негоризонтальных слоев и поверхностей. Напряженно-деформированное состояние НДС при действии равномерно распределенной нагрузки. Загружение оползнеопасного склона равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью 10 кПа приводит к изменению природного напряженного состояния (рисунок 4).

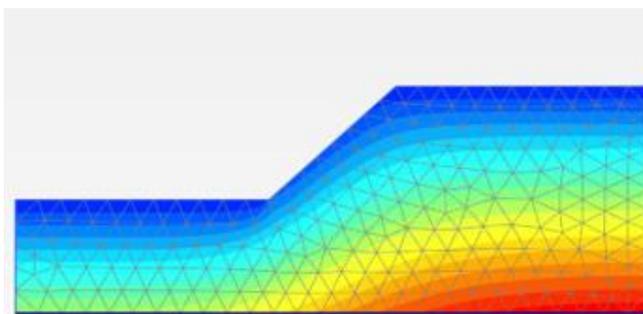


Рисунок 3. Результаты моделирования природного напряженного состояния в виде изополей вертикальных напряжений

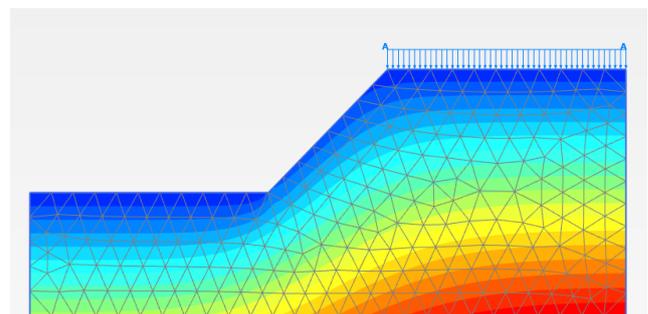


Рисунок 4. Напряженное состояние (вертикальные напряжения) при равномерной нагрузке

Оценка устойчивости и анализ результатов. Расчет устойчивости в программе PLAXIS (используется тип расчета Safety) выполняется на основе снижения прочностных характеристик грунтов. Напряженное состояние, полученное в результате сниже-

ния прочности, определяет потенциально ослабленную зону, имеющую наименьший коэффициент устойчивости [6].

В результате расчета Safety можно увидеть, как происходит разрушение склона в процессе изменения прочностных характе-

ристик по возникновению и развитию точек пластических деформаций (точки красного цвета). Точки пластических деформаций определяют нарушение условия прочности Кулона-Мора по напряжениям: максимальное значение сопротивления сдвигу τ_{max} , определяемое снижающимися прочностными характеристиками достигает мобилизованного сопротивления сдвигу τ_{mob} , вычисленного в ходе расчета НДС на предыдущей фазе (рисунок 5) [6]. Точки белого цвета соответствуют областям работы грунта на растяжение, что можно интерпретировать как

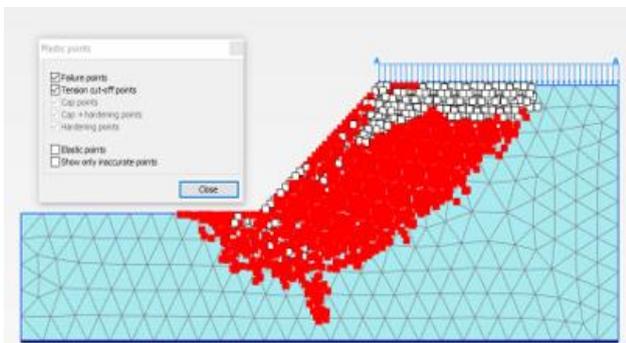


Рисунок 5. Формирование области пластических деформаций в процессе снижения прочности

В результате расчета определено значение коэффициента устойчивости равно $K_{уст}=1,0$, что свидетельствует о не достаточной устойчивости и надежности равновесия, которое может привести к деформации оползнеопасного склона.

Выводы:

1. Оценка напряженно-деформированного состояния оползнеопасного склона г. Кок-Жангак в программе PLAXIS демонстрирует возможности программы для выполнения оценки устойчивости оползневых склонов.

2. Используемый метод конечных элементов является альтернативным методом предельного равновесия и позволяет выполнять контроль результатов.

3. По результатам расчета с приложением равномерно распределенной нагрузки получено значение коэффициента устойчивости

места образования трещин отрыва.

Основными результатами, необходимыми при выполнении расчетов устойчивости являются: величина коэффициента устойчивости ($K_{уст}$) и поверхность скольжения. На рисунке 6 показаны изополя полных перемещений, полученные в ходе расчета фазы Safety численные значения которых не имеют физического смысла, однако сформированная в результате область смещения иллюстрирует поверхность скольжения, проходящую на границе между смещаемой и не смещаемой (синий цвет) областями.

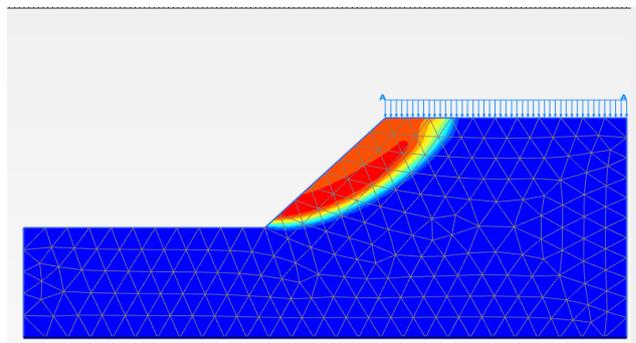


Рисунок 6. Результаты расчетов устойчивости

$K_{уст}=1,0$.

4. Установлена поверхность скольжения для фрагмента оползнеопасного склона, расположенного в г. Кок-Жангак, которая определена в процессе снижения прочности и возникновение пластических деформаций ($\tau_{mob} = \tau_{max}$). Поверхность скольжения позволяет выбирать положение противооползневых мероприятий.

5. Автор выражает искреннюю благодарность Евгению Владимировичу Федоренко, научному консультанту «НИИ Информатика», который дал бесценные научные консультации и внес существенный вклад в работу в период подготовки этой статьи. Благодаря ему стало возможным разобраться с особенностями теории рассматриваемой проблемы и практического использования программы PLAXIS.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вешняков В.А.* Численное моделирование в программно-вычислительном комплексе Plaxis 2D. Сборник задач с примерами решений. – Архангельск, 2014.

2. Кожоголов К.Ч., Никольская О.В. Геомеханическая оценка оползневой опасности в бассейнах крупных рек Юга Кыргызстана. – Бишкек, 2011. – С. 41-49.
3. Учебное пособие по PLAXIS. Версия 7 / НИИ Информатика. – СПб, 2012.
4. Федоренко Е.В. Геотехника и геосинтетика в вопросах и ответах. Справочное пособие. – СПб, 2016 – С. 43-65.
5. Федоренко Е.В. Метод расчета устойчивости путем снижения прочностных характеристик. – СПб, 2016.
6. Федоренко Е.В. Напряжения. Прочность. Практикум по PLAXIS Часть 2. – СПб, 2016.

EVALUTION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE LANDSLIDE HAZARDOUS SLOPE OF THE CITY OF KOK- ZHANGAK BY THE FINITE ELEMENT METHOD (in the PLAXIS program)

ABDIRASHITOVA Nurgul Abdilakimovna

Senior Lecturer

Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov
Bishkek, Kyrgyzstan

In this article, the stress-strain state of a landslide-hazardous slope is studied in the PLAXIS program, and the climatic conditions of this slope located in the city of Kok-Zhangak are also studied. A great influence on the intensive development of exogenous processes is exerted by the amount of precipitation, air temperature, and their distribution during the year (not only in the warm and cold six months, but also during the day). The aim of this work is to assess the stress-strain state of a dangerous landslide slope of the city of Kok-Zhangak using the PLAXIS program, which allows calculations based on the finite element method.

Key words: Finite element, partition, division, landslide, stress, deformation, PLAXIS program.
