НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ОТКОСА

Кусбекова М.Б.¹, Жамбакина З.М.², Пермяков М.Б.³

¹Кусбекова Маруан Балабековна - кандидат технических наук, доцент;

²Жамбакина Зауреш Мажитовна - кандидат технических наук, доцент,
кафедра строительства,

Казахский национальный исследовательский университет имени К.И. Сатпаева,
г. Алматы;

³Пермяков Михаил Борисович - доцент, кандидат технических наук, доктор Ph.D., директор,
Институт строительства, архитектуры и искусства,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск

Аннотация: в статье приводятся результаты расчета напряженно-деформированного состояния откоса. Решена двумерная задача в упругопластической постановке с использованием численного метода. Рассмотрена плоская задача в упругопластической постановке с использованием для среды модели Кулона-Прандтля, предполагающая упругое поведение среды при напряжениях ниже предела текучести и равнообъемное (с нулевой дилатансией) пластическое течение при напряжениях на пределе текучести. Рассматриваемая площадка для исследования влияния склона на подпорные стенки, расположена в Алматинской области у подножия гор Алатау.

Ключевые слова: грунт, суглинки, оползни, дефекты, дорога, откосы.

Имеющиеся абсолютные отметки поверхности земли колеблются в пределах от 916,0 до 985,835 м, что составляет перепад 69,835 м. В геолого-литологическом строении принимают участие нижнечетвертичные эоловые отложения, представленные лессовидными просадочными суглинками (Q_1), а также верхнечетвертичные аллювиально-пролювиальные отложения ($арQ_{III}$), представленные галечниковыми грунтами, перекрытыми суглинками и современным почвенно-растительным слоем (Q_{IV}

11 мая 2016 года с восточной стороны горы Мохнатка зафиксирован сход земляного грунта примерным объемом около 700 кубометров. Из них 220 кубов сошли на автодорогу Медео - Шымбулак. В просадочных лессовых грунтах возникают проблемы обрушения массива откоса склона при полном или частичном водонасыщении грунтов за счёт значительного ухудшения значения расчетных параметров (сцепления, угла внутреннего трения и модуля деформации). Необходимо проанализировать напряженно-деформированное состояние склона гор сложными просадочными грунтами для оценки устойчивости склона. Для анализа напряженно деформированного состояния откоса решена двумерная задача в упруго пластической постановке с использованием численного метода [1].

В результате инструментального обследования склонов и водоотводных систем выявлены многочисленные дефекты, допущенные в процессе проектирования и укрепления геосинтетическими материалами склона гор, которые влекут угрозу безопасной эксплуатации автомобильной дороги и сооружения. Склон откоса в течение года подвержен воздействию атмосферных и паводковых вод.

Выявленные дефекты указывают на разрушения и не качественного укрепления откоса склон гор вдоль автомобильной дороги.

По данным исследования из физико-геологических явлений в предгорных районах юга Казахстана отмечено следующее: плоскостной срыв, оврагообразование, просадочность, сейсмические явления. На площадке откосы сложены суглинистыми грунтами буровато-серого цвета, от твердой до тугопластичной консистенции, карбонатизированные, до глубины 15,5-21,0 м – просадочные. Грунтовые воды до 40,0 м не вскрыты. При этом характеристики для суглинков по результатам лабораторных испытаний составляют: плотность - 15-16 кН/м³; коэффициент пористости - $e > 0,9$ с низкими значениями механических свойств.

Согласно результатам компрессионных испытаний суглинки, залегающие до глубины 15,5-21,0 м, при замачивании проявляют просадочные свойства. При этом ухудшаются прочностные свойства грунтов до 50%. Начальное просадочное давление изменяется от 0,028 до 0,361 МПа (0,112) до и после водонасыщения.

При оценке напряженно-деформированного состояния откоса склона рассматривалась поведение просадочных грунтов. При этом просадочные грунты откоса характеризуются: изменчивостью физико-механических свойств (уменьшением пористости, модуля деформации, сцепления, угла внутреннего трения); изменением напряжённого состояния, в связи с их перераспределением после замачивания; изменением слагающих тензора деформаций, в связи с развитием упругопластических и вязкопластических деформаций [2, 3]. При водонасыщении в просадочных грунтах возникает искомое напряжённое состояние, которое в значительной степени отличается от начального. Рассмотрена плоская задача в упругопластической постановке с использованием для среды модели Кулона-Прандтля,

предполагающая упругое поведение среды при напряжениях ниже предела текучести и равнообъемное (с нулевой дилатансией) пластическое течение при напряжениях на пределе текучести. Напряжения на пределе текучести описываются уравнением Кулона [1]:

$$\sigma_{\max} = S + \lambda \sigma_{\min}, \quad (1)$$

где $\lambda = \operatorname{ctg}^2(\pi/4 - \varphi/2)$ - коэффициент пассивного давления грунта;

$S = 2 C \operatorname{ctg}(\pi/4 - \varphi/2)$ - предел прочности при одноосном сжатии;

$\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$ - максимальное и минимальное главные напряжения.

В области растяжения критерий текучести (разрыва) имеет вид:

$$\tau_{\min} = -T, \quad (2)$$

где T - прочность на растяжение, принимаемая в программе, равной $C/5$.

После возникновения разрыва при напряжении $\tau = -C/5$ в дальнейшем анализе прочность элемента на растяжение принимается равной нулю ($T=0$). Уругопластическое решение реализовано методом конечных элементов и достигается известным методом "начальных напряжений" с использованием итерационной процедуры Ньютона-Рафсона с неизменной матрицей жесткости, но с переменным вектором нагрузок, пополняемым в ходе итерационного процесса "начальными силами" в пластических элементах.

Погрешность в результате расчёта МКЭ складывалась из погрешности дискретизации, обусловленной заменой тела, обладающего бесконечным числом степеней свободы, моделью с конечным числом степеней свободы, и погрешности округления чисел при выполнении вычислительных операций на ЭВМ [4, 5].

Анализ результатов численного решения при моделировании устойчивости откоса показывают, что наиболее опасными являются развития максимальных горизонтальных деформаций, обусловленные сдвиговыми напряжениями. Зона распространения сдвиговых деформации охватывает большой объём грунтов откоса. Просадочные грунты, проседая от собственного веса на склоне, при водонасыщении ухудшается первоначальное значение сцепление, угол внутреннего трения, модуля деформации изменяя напряженно-деформированное состояние [8]. Траектории движения частиц просадочных грунтов при изменении напряженно-деформированного состояния откоса показывают, что движение частиц грунта происходит на границе просадочных и не просадочных суглинков. Расчёты при численном решении показывают, что откос склона горы сложенными просадочными грунтами, является не устойчивым и скольжение грунта происходит только в объеме просадочных грунтов.

Выводы

В геолого-литологическом строении принимают участие нижнечетвертичные эоловые отложения, представленные лессовидными суглинками (Q_1).

В результате инструментального обследования склонов и замеров откоса и водоотводных систем выявлены многочисленные дефекты и повреждения, допущенные в процессе проектирования и строительства, которые влекут угрозу безопасной эксплуатации автомобильной дороги и сооружения.

Согласно результатам компрессионных испытаний суглинки, залегающие до глубины 15,5-21,0 м, при замачивании проявляют просадочные свойства. Начальное просадочное давление изменяется от 0,028 до 0,361 МПа (0,112). Расчёты показывают, что величина суммарной просадки составляет 8,8-73,51 см.

Расчёты устойчивости откоса вдоль автомобильной дороги, расположенных у склона горы, проведенные численными методами показали, что в водонасыщенном состоянии является оползневым. Анализ результатов численного решения при моделировании напряженно-деформированного состояния откоса показывают, что наиболее опасными являются развития максимальных горизонтальных деформаций, обусловленные сдвиговыми напряжениями склона откоса.

Список литературы

1. Morgenstern, N.R. & Price, V.E., 1967. A numerical method for solving the equations of stability of general slip surfaces. *Computer Journal* 9. P. 388-393.
2. Маслов Н.Н., 1982. Основы инженерной геологии и механики грунтов. Москва.
3. Малышев М.В., 1994. Прочность и устойчивость основания сооружений. Москва.
4. Brinkgreve R.B.J et al., 1997. PLAXIS, Version 8. Balkema.
5. Парамонов В.Н.. Метод конечных элементов при решении нелинейных задач геомеханики. Группа компаний «Геоинженерия». Санкт-Петербург. 2012
6. Пермяков М.Б., Веселов А.В., Токарев А.А., Пермякова А.М. Исследование технологии погружения забивных свай различных конструкций // *Архитектура. Строительство. Образование*, 2015. № 1 (5). С. 12-17.

7. Пермяков М.Б., Пермякова А.М. Архитектурно-строительному факультету -70 // Архитектура. Строительство. Образование, 2012. № 1. С. 9-17.
8. Пермяков М.Б., Чернышова Э.П. и др. Архитектурно-строительный факультет: 1942-2012 гг.: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 102 с.
9. Permyakov M.B. Building residual life calculation at hazardous production facilities // Advances in Environmental Biology. Volume 8, Number 7, 2014. Pp. 1969-1973.
10. Chernyshova E., Permyakov M., Chernyshov E., Galimshina A. Sustainable living in Sweden – passive house approach // Архитектура. Строительство. Образование, 2016. № 1 (7). С. 142-146.
11. Пермяков М.Б. Анализ аварий производственных зданий и сооружений // Архитектура. Строительство. Образование, 2014. № 1 (3). С. 264-270.
12. Пермяков М.Б., Чернышова Э.П., Пермякова А.М. Предотвращение аварий эксплуатируемых зданий и сооружений // Сборник научных трудов Sworld «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития». - Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. Т. 50. № 3. С. 38-43.