

УДК 539.3

## НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ГРУНТА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ПОДВИЖНЫМ ИНДЕНТОРОМ

М. Х. АБДУЛКАДЕР

Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТРАНСПОРТА»

Гомель, Беларусь

При решении ряда технических задач возникает необходимость расчетов контактного взаимодействия деформируемых твердых тел с грунтом. В частности, важно знать, какие нагрузки возникают при бурении скважин, чтобы обеспечить оптимальные режимы работы оборудования.

Напряженно-деформированное состояние грунтов описывается сложными упруго-пластическими моделями, для которых предел текучести формирует так называемую поверхность текучести. Ее уравнение принимают в зависимости от критерия прочности, по которому производят расчет. Целью работы является анализ влияния физических характеристик грунтов, упруго-пластические свойства которых описываются моделью Друкера-Прагера, на их напряженно-деформированное состояние при взаимодействии с упругим индентором.

Для моделирования использован программный комплекс ANSYS. Рассматривалось вдавливание с касательным смещением сферического металлического индентора диаметром 10 мм в деформируемое основание, которое моделировалось цилиндром диаметром 20 мм и высотой 30 мм. Для удобства создания мелкой конечноэлементной сетки этот цилиндр в геометрической модели сделан составным (диаметр внутренней части 10 мм). Материал индентора считался линейно упругим, изотропным с модулем упругости  $E_{и} = 2 \cdot 10^{11}$  Па и коэффициентом Пуассона  $\nu_{и} = 0,3$ . Расчеты выполнялись для значений модуля упругости основания  $E_0 = 600$  МПа при коэффициенте Пуассона  $\nu = 0,2$ . Параметры модели Друкера-Прагера: когезия  $c = 2,9$  МПа, угол трения  $\varphi = 32^\circ$ .

С учетом симметрии системы выполнен расчет половины конструкции. При создании конечноэлементной модели использован восьмиузловой конечный элемент SOLID65, который учитывает способность к пластической деформации. Общее число элементов модели оказалось близким к 81000.

Результаты расчетов показывают, что при учете упруго-пластических деформаций в соответствии с моделью Друкера-Прагера максимальные эквивалентные напряжения в основании оказываются в 1,5–1,7 раза меньшими по сравнению с упругой моделью для случая, при котором смещение индентора вдоль плоскости основания в пять раз превышает их сближение. Отметим, что увеличение модуля упругости основания приводит

к постепенному ухудшению сходимости, что связано, по нашему мнению, с уменьшением размера контактной площадки и необходимостью создания более мелкой конечноэлементной сетки. Наличие достаточно больших первых главных напряжений в материале основания (рис. 1, а) свидетельствует об образовании трещин в нем, как это и происходит на практике при осуществлении бурения скважин в мягких грунтах.

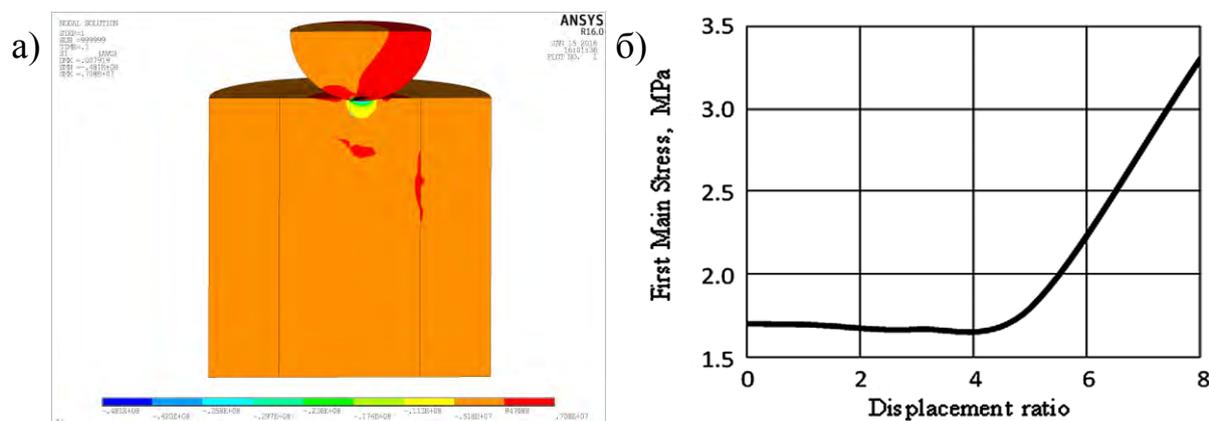


Рис.1. Первые главные напряжения: а – схема распределения, Па; б – зависимость от соотношения между горизонтальными и вертикальными перемещениями индентора

Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния для разных соотношений между вертикальными и горизонтальными смещениями индентора показали, что по мере увеличения горизонтального смещения уровни большинства напряжений увеличиваются. Исключение представляют главные напряжения. Первые главные напряжения вначале демонстрируют некоторое снижение, а затем достаточно быстрый рост. Третьи главные напряжения наоборот, вначале незначительно увеличиваются, а потом быстро уменьшаются. Этот факт может быть объяснен перераспределением материала, обусловленным недостаточной когезией между его частицами.

Выполненные исследования показали, что учет упруго-пластических деформаций приводит к существенному уменьшению значений напряжений, возникающих в основании, по сравнению с упругой моделью. При этом максимальные напряжения снижаются на 50–70 % и более. Анализ зависимости напряжений в основании от отношения между горизонтальными и вертикальными перемещениями индентора показал незначительное изменение напряжений в диапазоне изменения отношений от 0 до 4 и значительный их рост при отношениях, превышающих 4 (рис.1, б).