

УДК 539.1:517.97:004.9

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ ДЕЙСТВИЯ ТЯЖЕЛЫХ ШТАМПОВ НА НЕОДНОРОДНОЕ ОСНОВАНИЕ

к. т. н., доц. Власенко Ю. Е., д. ф.-м. н., проф. Кузьменко В. И.**,
Кривенкова Л. Ю.**

** ГВУЗ «Приднепровская Государственная академия строительства
и архитектуры», г. Днепропетровск*

*** ГВУЗ «Днепропетровский национальный университет им.
О. Гончара», г. Днепропетровск*

Построение моделей поведения неоднородных оснований под действием тяжелых сооружений различного типа (зданий, резервуаров, водонапорных башен и т.д.) является актуальной задачей современного строительства. Однако такая модель требует разработки более частных моделей, относящихся как к механическим свойствам оснований, так и к способам взаимодействия сооружения с основанием. Что касается последнего, то наиболее полной моделью для решения сформулированной задачи является использование контактных задач механики. Действительно, деформации, получаемые сооружением, на порядки меньше деформаций самого основания и, следовательно, сооружение вполне можно рассматривать как жесткий тяжелый штамп на неоднородном основании. Однако обычные задачи контактного взаимодействия рассматривают два типа внешнего воздействия на штамп: либо заданные фиксированные силы и моменты, приложенные к штампу, либо заданные движения штампа как жесткого целого. В реальных условиях сооружение на неоднородном основании перемещается только под воздействием одной силы - силы собственной тяжести. В процессе деформации основание, содержащее разнородные материалы, пустоты, а в условиях городов иногда и коммуникационные сооружения, приобретает неоднородные деформации. Это приводит не только к осадкам сооружений, но и к их поворотам (кренам). За счет крена тяжелого сооружения возникают дополнительные моменты действующих на него сил. Величина этих моментов не может быть указана заранее, т.к. является производной величиной от неоднородной деформации основания. Таким образом, модель рассматриваемых задач усложняется и приводит к рассмотрению т.н. связанных контактных

задач [1], в которых действие внешних сил зависит от деформации тела.

Рассматривая модели описания физических свойств основания, наиболее полно, на наш взгляд, подходит модель упругопластического основания. Решая задачи деформации упругопластического основания можно получать не только напряженно деформированное состояние неоднородного основания, но и исследовать его изменение в местах включений, пустот и других неоднородностей. Эти изменения могут возникать как от вполне естественного процесса строительства самого сооружения, а, следовательно, изменений веса сооружения и его центра тяжести, так и по причинам изменения свойств физической среды вследствие, например, проникновения сточных вод из-за больших осадков, наводнений, прорыва подземных коммуникаций и, возможно, других внешних факторов. Таким образом, анализ результатов расчетов напряженного состояния и его изменения при изменении веса сооружения позволит выделить зоны основания, в которых напряжения могут достигать критических значений (например, появляются или резко увеличиваются зоны пластических деформаций). Это позволит принять дополнительные меры в будущем для увеличения безопасности эксплуатации сооружения.

Создание модели упругопластической среды. Опишем свойства материала основания соотношениями теории малых упругопластических деформаций с использованием деформационной теории пластичности. Если под T понимать интенсивность касательных напряжений, а под Γ – интенсивность деформаций сдвига, то интенсивность касательных напряжений можно записать следующим образом [2]:

$$T = g(\Gamma) \Gamma \quad (1)$$

Если аппроксимировать функцию $g(\Gamma)$ следующим образом:

$$g(\Gamma) = \begin{cases} G, & \Gamma \leq \Gamma_s, \Gamma_s = \tau_s / G \\ G - G \alpha \frac{(\Gamma / \Gamma_s - 1)^\beta}{\Gamma / \Gamma_s}, & \Gamma > \Gamma_s \end{cases} \quad (2)$$

где G, τ_s – модуль упругости и предел упругости; параметры α и β удовлетворяют условиям $\beta \geq 1, 0 \leq \alpha \leq 1$, то меняя значения α и β можно получить широкий спектр диаграмм $T - \Gamma$.

Постановка описанной задачи для плоской деформации подробно рассмотрена в работах [2, 3]. Сокращенно по постановке задачи можно сказать следующее. Для неизвестных компонент вектора перемещений u_i и тензора малых деформаций ε_{ij} записываются соотношения Коши. Для компонент тензора напряжений σ_{ij} - уравнения равновесия. К этим уравнениям добавляются соотношения (1) с учетом (2). Неизвестные осадки Δ_n и повороты φ_n жестких штампов учитываются с помощью уравнений внешних сил, которые добавляются к описанным ранее соотношениям. Если к полученным соотношениям добавить граничные условия, а также условия на границах включений основания, получим замкнутую систему уравнений, описывающих сформулированную задачу. В дальнейшем задача решается с использованием вариационной постановки. Дискретизация области производится с применением прямоугольных конечных элементов. Идея расщепления связанной задачи заключается в том, что строится последовательность решений для заданных значений осадок Δ_n и поворотов φ_n жестких штампов.

Пример решения задачи деформации основания, включающего пустоту прямоугольного типа, тяжелым штампом в условиях плоской деформации. Рассмотрим одно сооружение, расположенное на упругопластическом основании с пустотой прямоугольной формы. Пустоты такого рода появляются обычно при прокладке транспортных или коммуникационных туннелей в условиях городской застройки. Основание работает в условиях плоской деформации. Схема расположения тяжелого сооружения и пустоты на основании представлена на рис. 1. Значения всех геометрических параметров рис. 1 приведены в таблице 1, а значения параметров, описывающих физические характеристики основания, - в таблице 2. Значения всех параметров даны в безразмерном виде следующим образом:

$$x'_i = x_i / a, \quad \sigma'_{ij} = \sigma_{ij} / \tau_s, \quad \varepsilon'_{ij} = \varepsilon_{ij} G_1 / \tau_s, \quad u'_i = u_i G / (a \tau_s) \quad (3)$$

Таблица 1
Значения геометрических параметров задачи

a	a_1	a_3	a_4	a_5	b	b_1	b_2
3	1	1	0,18	0,97	2	0,8	0,4

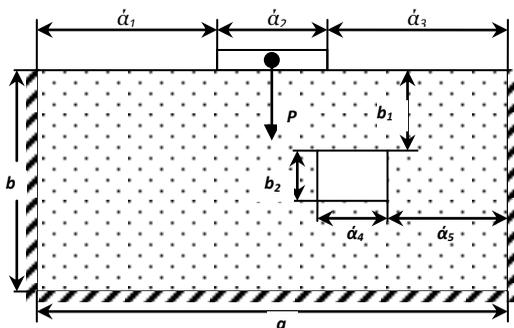


Рис. 1 Схема задачи для упругопластического основания с пустотой.

Значения безразмерных физических параметров основания согласно (1) и (2) приняты следующими: модуль упругости $G=1$; коэффициент Пуассона $\mu=0,3$; $\tau_s=1$; $\alpha=0,95$; $\beta=1$.

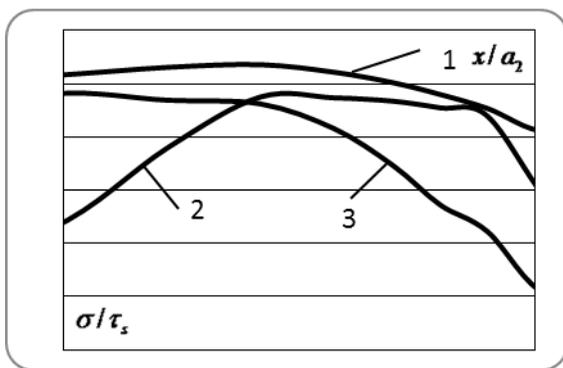
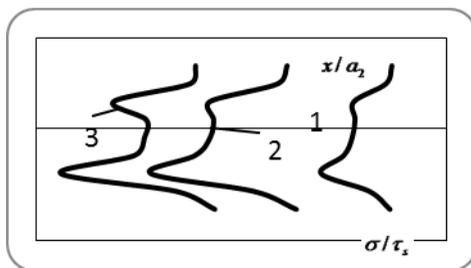


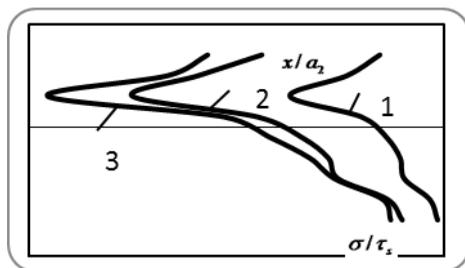
Рис 2 Эпюры напряжений σ_x на верхней границе пустоты

На рис.2 представлены эпюры напряжений σ_x . Они построены на горизонтальном сечении основания, проходящем по верхней грани пустоты, для значений веса штампа $P=1,2\tau_s a_2$, $P=2,4\tau_s a_2$ и $P=3,6\tau_s a_2$ (кривые 1, 2 и 3 соответственно). Заметим, что при начальных значениях веса штампа напряжения достаточно малы даже независимо от того, что они значительно увеличиваются слева от пустоты при весе

штампа $P = 2,4\tau_s a_2$. Результаты расчетов показали, что при указанном весе штампа активно формируются зоны пластических деформаций. Увеличение напряжений перед пустотой может способствовать обвалу левой стенки пустоты.



a) левая стенка



b) правая стенка

Рис. 3. Эпюры напряжений σ_y на вертикальных границах пустоты, а) – левой; б) – правой.

На рис. 3 представлены эпюры вертикальных напряжений на левой и правой границах пустоты. Анализ показывает, что с точки зрения нежелательных последствий наиболее опасными зонами являются левая нижняя и правая верхняя части пустоты.

Выводы. Предложенные модели для исследования поведения нелинейных оснований под действием тяжелых штампов позволяют определять зоны возникновения концентраций напряжений. Результаты подобных исследований могут быть использованы строителями при прокладке подземных коммуникаций.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Власенко Ю.Є. Зв'язані контактні задачі механіки деформівного тіла/ Ю.Є. Власенко, В.І. Кузьменко, К.І. Шумельчик //Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: зб. наук. праць – Дніпропетровськ: Ліра, 2012. Вип. 19. – С. 41-47.
2. Власенко Ю.Є. Компьютерное моделирование поведения упруго-пластических оснований сложной структуры. / Ю.Є. Власенко, В.И. Кузьменко // Проблемы обчислювальної механіки і міцності конструкцій. Дніпропетровськ. Вид-во «Наука і освіта», 2008. – Вип. 12, с. 113-122.
3. Кузьменко В.И. Моделирование неравномерных осадок сооружений на упруго–пластических основаниях. / В.И. Кузьменко, Ю.Є. Власенко // Новини науки Придніпров'я, № 6, 2006, с. 34–40.