

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПАКЕТОВ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ

к.т.н., доц., Власенко Ю. Е., Кривенкова Л. Ю.

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

Моделирование поведения неоднородных оснований под действием массивных сооружений как-то: водонапорных башен, резервуаров с жидкостью или сыпучими материалами, высотных сооружений, приводит к задачам, которые отличаются от традиционных постановок задач строительной механики. В обычных постановках либо указываются фиксированные силы и моменты, которые приложены к сооружению, либо рассматриваются фиксированные движения сооружения как жесткого тела. Обычно в постановках строительной механики такие сооружения называют жесткими штампами. Однако в строительстве основной внешней силой является сила притяжения, которая при наличии под сооружением полостей, коммуникационных тоннелей, включений всевозможных материалов, в том числе и естественных пород, приводит к неоднородности основания. В результате чего возникают повороты или крены сооружений, что приводит к появлению дополнительных моментов сил притяжения. Причем, крены сооружений обусловлены деформацией основания и потому заранее не известны. Реальная нагрузка на сооружение заранее также не известна, а является результатом деформации основания под действием силы тяжести. Следует также отметить, что сооружения, имеющие одинаковый вес, но разную высоту, например, водонапорная башня и высотное здание, будут по-разному деформировать основание и, следовательно, система сил, приложенных к указанным сооружениям, будет различна.

Постановка описанных задач достаточно полно изложена в работах [1, 2]. В указанных работах показывается, что для нахождения неизвестных осадок штампов Δ_i и кренов φ_i , где $i = 1, 2, \dots, n$, n – количество штампов, следует, в случае плоской деформации, к уравнениям «классической» контактной задачи добавить $2n$ уравнений равнове-

сия. Там же показано, что решение плоской задачи можно получить путем минимизации функции:

$$F(\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n) = \sum_{i=1}^n f(\Delta_i, \varphi_i), \quad (1)$$

где

$$f(\Delta_i, \varphi_i) = \left(\int_{\Gamma_k} \sigma_y(\Delta_i, \varphi_i) dx - P \right)^2 + \left(\int_{x_n}^{x_k} \left[\tau_x(\Delta_i, \varphi_i) \left(\Delta_i - (x_{c_i} - x) \varphi_i \right) + \sigma_y(\Delta_i, \varphi_i) x \right] dx - P_i \left(x_{c_i} + \frac{b}{2} \varphi_i \right) \right)^2$$

а $\tau_x(\Delta_i, \varphi_i)$ и $\sigma_x(\Delta_i, \varphi_i)$ - компоненты поля напряжений, которые получаются путем решения классической контактной задачи при фиксированных значениях осадок Δ_i и кренов φ_i штампов. В вариационной постановке для плоской задачи это приводит к минимизации функционала [1, 2]:

$$\Phi^{(p)}[u, v] = \sum_{m=1}^N \frac{G_m}{G_1} \left\{ \int_{\Omega_m} \left(\frac{2}{3} \frac{1+\nu_m}{1-2\nu_m} \varepsilon^2 + \Gamma^2 \right) dC - \alpha_m \int_{\Omega_{p,m}} \frac{(\Gamma_{s1} \Gamma^{(p-1)} / \Gamma_{sm} - 1)^{\beta_m}}{\Gamma_{s1} \Gamma^{(p-1)} / \Gamma_{sm}} \Gamma^2 dC \right\}$$

Учитывая то, что данная статья посвящена разработке вычислительного комплекса для численной реализации представленной задачи, укажем требования, предъявляемые к такой компьютерной программе.

1. Программа должна решать задачу не только при заданных весах штампов и их высотах, но и отслеживать поведение штампов и изменение напряженно деформированного состояния основания при постепенном увеличении весов штампов и их высот. Такой подход позволит моделировать, например, строительство сооружения, или, допустим, заполнение резервуара жидкостью или сыпучим наполнителем. Таким образом, еще до начала работ появится возможность провести анализ поведения сооружения согласно результатам расчетов и, может быть, избежать эффекта «Пизанской башни».

2. Учитывая, что задача нахождения минимума функции (1) решается в перемещениях, необходимо в начале решения иметь начальное поле перемещений.

3. Каждый следующий шаг решения желательно начинать с поля перемещений, приближенного к окончательному решению для сокращения вычислительной емкости решаемой задачи.

Требования, сформулированные в пунктах 1 – 3 выходят за рамки компьютерных технологий и относятся скорее к вопросам математики и строительной механики. Поэтому реализация в создаваемом алгоритме комплекса методов строительной механики, математических методов и вычислительных алгоритмов представляет, на наш взгляд, разработку компьютерной технологии решения задач указанного типа. Чем больше шагов нужно предпринять для минимизации функции (1), тем более громоздкой становится задача. Как бы ни были развиты компьютерные технологии, искать выход в быстроедействие современных ПЭВМ без учета требований 1 – 3 не приходится.

Представленный первый этап тесно связан со вторым, поэтому остановимся на их решении подробнее. Обычно в литературе указывают, что выбор начального поля перемещений целиком зависит от опыта и интуиции исследователя. Интуиция не является хорошим подспорьем для таких задач, а вот любые методы строительной механики, позволяющие приблизительно получить решение или оценить каким-либо образом будущее решение, вполне могут подойти. Другими словами, следует подобрать метод или методику решения, позволяющую в нашем случае получить начальное поле перемещений. Такой союз компьютерных технологий с методами или методиками, разработанными для решения более простых задач специальной отрасли знаний, может существенно уменьшить вычислительную ёмкость решаемой задачи. В качестве такого метода предлагается на первом и втором этапе создаваемого вычислительного комплекса использовать метод перемещений. Метод перемещений – метод строительной механики для определения усилий и перемещений в статически неопределимых конструктивных системах. В качестве основных неизвестных выбираются линейные и угловые перемещения.

Этот метод в строительной механике применяется в основном для расчета статически неопределимых рам. Несмотря на то, что метод перемещений содержит ряд допущений, относящихся к конструктивным системам, и применяется для расчетов в рамках теории упругости, применим его не для окончательного решения поставленной задачи, а всего лишь для рационального выбора начального поля перемещений и начальных значений кренов и осадок штампов. Для этого на каждый штамп наложим дополнительные связи, препятствующие его перемещениям. Для плоской задачи таких связей будет $2n$, где n – количество штампов. Доставляя каждой связи перемещение, равное единице, получаем $2n$ задачи «классической» механики. В результа-

те, определив значения коэффициентов канонических уравнений метода перемещений, получаем начальное поле перемещений основания и начальные перемещения жестких штампов. Как уже отмечалось, начальные значения поля перемещений в дальнейшем уточняются путем изменения осадок штампов Δ_i и кренов φ_i вплоть до достижения минимума функции (1). Для удовлетворения требований пункта 3 желательно учесть тенденции и закономерности изменения полей перемещений, которые проявились на предыдущих этапах. С этой целью используется линейная, а в дальнейшем - квадратичная экстраполяция полей перемещений, что также позволяет существенно сократить затраты машинного времени.

С помощью созданного на описанной основе вычислительного комплекса были решены различные прикладные задачи строительной механики [3–5].

Выводы.

1. Использование метода перемещений позволяет получить как начальное поле перемещений, так и начальные значения осадок и кренов штампов, что значительно сокращает вычислительные затраты.

2. Линейная и квадратичная экстраполяция, применяемые в дальнейшем вычислительном процессе, позволяют значительно сократить вычислительные затраты и получать решения прикладных задач строительной механики для неоднородных упругопластических оснований (с пустотами, включениями, коммуникационными сооружениями и т.д.).

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьменко В.И. Компьютерное моделирование поведения упругопластических оснований сложной структуры. / В.И. Кузьменко, Ю.Е. Власенко // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. Дніпропетровськ. Вид-во «Наука і освіта», 2008. – вип. 12, с. 113–122.
2. Кузьменко В.И. Моделирование неравномерных осадок сооружений на упругопластических основаниях. / В.И. Кузьменко, Ю.Е. Власенко, // Новини науки Придніпров'я, № 6, 2006, с. 34–40.

3. Власенко Ю.Е. Моделирование работы оснований в окрестности подземных инженерных сооружений. / Ю.Е. Власенко, В.И. Кузьменко // Строительство, материаловедение, машиностроение, сб. научн. трудов. вып. 48, ч. 2, – Дн-вск, ПГАСА, 2009, с. 200–206.
4. Власенко Ю.Е. О влиянии свойств упругопластических многослойных оснований на осадки и повороты массивных сооружений. / Ю.Е. Власенко, В.И. Кузьменко // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2008. №1 – 2, с. 57–65.
5. 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/Дніпропетр. нац. ун-т. – Дніпропетровськ: Ліра. 2012. – 19. –с. 41-47.