



Рис. 9.4. Влияние увеличения отношения  $\Delta t/T$  на перемещения в  $\theta$ -методе Вилсона при  $\theta = 1,4$

уравнений в форме (9.5). Мы видим, что уравнения, для которых отношение  $\Delta t/T$  мало, интегрируются точно, а при большей величине отношения  $\Delta t/T$  решения получаются с малой точностью.

Выбор соответствующего временного шага  $\Delta t$  является важной задачей. Для метода центральных разностей  $\Delta t$  должен быть меньше  $\Delta t_{ст}$ , вычисленного в прим. 9.1; это означает, что  $\Delta t$  должен быть достаточно мал для точного интегрирования практически всех  $n$  уравнений в (9.4). При использовании устойчивых схем интегрирования  $\Delta t$  может быть значительно больше, несмотря на то, что должен быть достаточно мал для точного вычисления реакций по тем формам, которые вносят существенный вклад в суммарную реакцию конструкции. Реакции по остальным формам вычисляются неточно, однако эти ошибки несущественны, так как сами реакции незначительны.

Для безусловно устойчивых алгоритмов временной шаг может выбираться путем анализа рис. 9.3. Так как при численном интегрировании форм с большим значением отношения  $\Delta t/T$  получается значительное снижение амплитуды, рассмотрим этот случай. Пусть применяется метод Вилсона с  $\theta = 1,4$ , временной шаг выбран из условия  $\Delta t/T_1 = 0,01$ , где  $T_1$  — основной период системы с шестью степенями свободы и  $T_{i+1} = T_i/10$ ,  $i = 1, \dots, 5$ . Пусть начальные условия те же, что и в (9.42), и интегрирование производится для 100 временных шагов. На рис. 9.4 показаны реакции по основной и второй формам. Снижение амплитуды, вызванное численным интегрированием, эффективно "фильтрует" реакции высших форм. Аналогичный эффект наблюдается при применении метода Хоболта, в то время как при использовании метода Ньюмарка высокочастотные составляющие реакции остаются в решении. Для получения снижения амплитуды в методе Ньюмарка необходимо принять  $\delta > 0,5$  и соответственно

$$\alpha = \frac{1}{4} (\delta + 0,5)^2.$$