

УДК 531(575.2)(04)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Г.В. Косивцов, А.А. Землянский

Предлагается бесконтактный цифровой метод фиксации входных параметров напряженно-деформируемого состояния конструкции и расчета уровней устойчивости исследуемого объекта. Приведены результаты исследований деформирования отдельных строительных конструкций на базе механических испытаний на устойчивость стального стержня.

*Ключевые слова:* устойчивость; фазовый портрет; процесс деформирования.

Динамический расчет и моделирование массивных сооружений и строительных конструкций, представленных в виде двумерных динамических систем, основан на использовании экспериментальных данных.

В данной работе предлагается бесконтактный цифровой метод фиксации входных параметров напряженно-деформируемого состояния конструкции и расчета уровней устойчивости исследуемого объекта. Представление строительной конструкции в виде двумерной динамической системы требует соответствия между эволюцией особых точек фазовых портретов и фактическим напряженно-деформируемым состоянием каждого фрагмента. Установив такую зависимость, с помощью дистанционного контроля возможно характеризовать и прогнозировать поведение исследуемого объекта. Механические испытания на устойчивость проводились с бетонными кубиками, бетонными призмами, арматурой и композициями. В статье приводится пример контроля потери устойчивости металлических стержней.

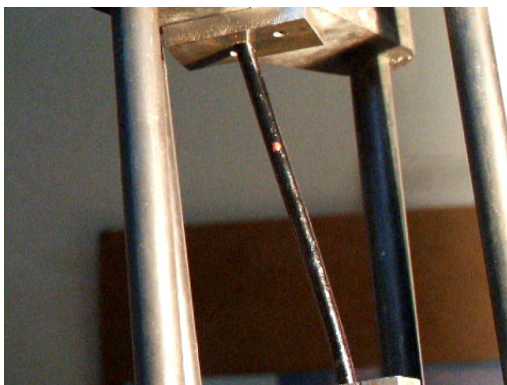


Рисунок 1

Задача данного исследования – определить зависимость напряженно-деформируемого состояния стержня от особых точек фазового портрета, т. е. корней характеристического уравнения динамической системы и установить возможность контроля состояния и поведения конструкций по дистанционно фиксированным данным перемещений фрагментов этой конструкции. На рисунке 1 показаны механические испытания на устойчивость стальных стержней диаметром 7 мм, длиной 150 мм.

Фиксируя цифровым методом начало и окончание процесса деформирования стального стержня путем распознавания [1–3] точек-маркеров, получаем таблицы ортогональных приращений перемещений.

Запись диаграммы напряжения от деформации –  $\sigma(\epsilon)$  регистрируется синхронно с цифровым контролем перемещений стержня, это является основой, связывающей качественный метод с физическими условиями процесса деформирования.

На рисунках 2–7 показан процесс распознавания горизонтальных и вертикальных приращений перемещений, скоростей и ускорений с помощью разработанного программного обеспечения [2, 4, 5].

Поле особых точек (рисунок 8) фазовой плоскости [4–6] исследуемого массива по времени получается путем создания уравнений динамических систем с учетом вводимых вертикальных и горизонтальных приращений скоростей.

Визуально приводится эволюция особой точки фазового портрета (переходный процесс) по времени [1–3], синхронно характеризующая потерю устойчивости стержня.

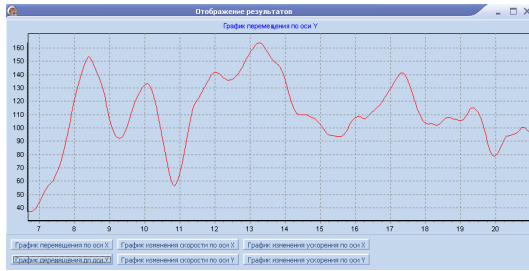


Рисунок 2

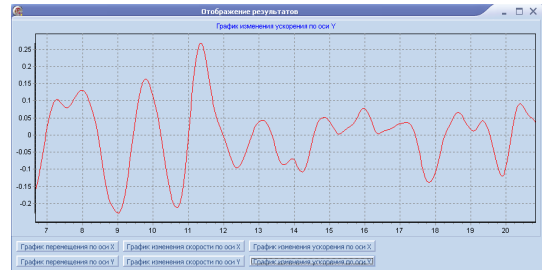


Рисунок 6

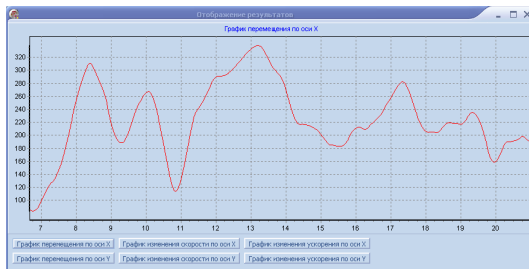


Рисунок 3

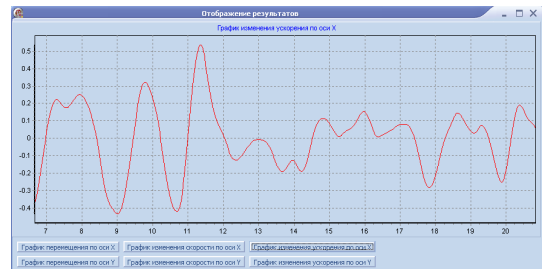


Рисунок 7

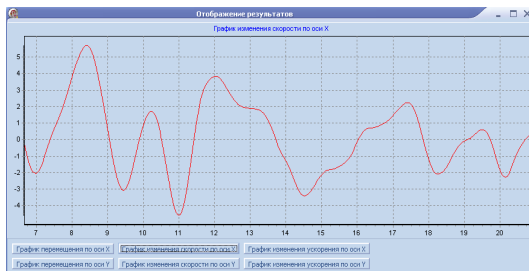


Рисунок 4

№ точки	W1	W2	B	C	Тип особой точки
1	3057.661650	0.000627	-3057.662277	1.916390	Неустойчивый Узел
2	223.912570	0.008558	-223.921128	1.916135	Неустойчивый Узел
3	39.633624	0.048333	-39.681957	1.915601	Неустойчивый Узел
4	10.566250	0.181134	-10.747385	1.913912	Неустойчивый Узел
5	2.886010	0.661803	-3.547813	1.909969	Неустойчивый Узел
6	0.580813+1.251073i	0.580813-1.251073i	-1.161625	1.902526	Неустойчивый Фокус
7	0.102307+1.371104i	0.102307-1.371104i	-0.204613	1.890393	Неустойчивый Фокус
8	-0.115434+1.363576i	-0.115434-1.363576i	0.230869	1.872664	Устойчивый Фокус
9	-0.221934+1.341516i	-0.221934-1.341516i	0.443868	1.848919	Устойчивый Фокус

Рисунок 8

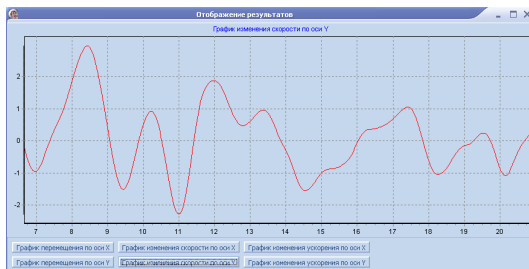


Рисунок 5

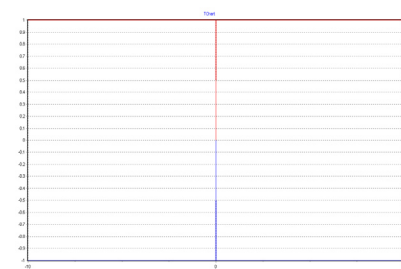


Рисунок 9

Бифуркация описывается особыми точками фазового портрета:

- “неустойчивый узел” (рисунки 9–11);
- после потери устойчивости стержня при максимальном значении силы – “неустойчивый фокус” (рисунки 12–14);

- после потери устойчивости и обретения стержнем другого устойчивого состояния – “устойчивый фокус” [3, 4, 6].

Последняя особая точка (рисунок 14 – устойчивый фокус), которая соответствует снижению силы (разгрузке), после потери устойчивости повторяется.

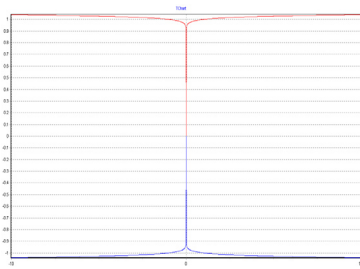


Рисунок 10

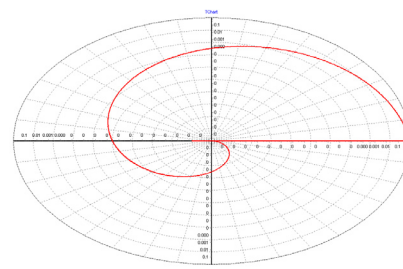


Рисунок 13

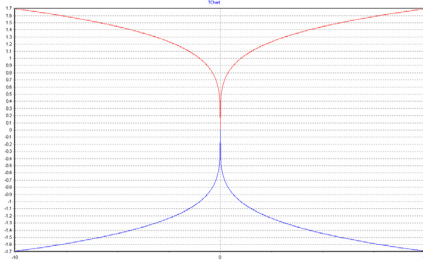


Рисунок 11

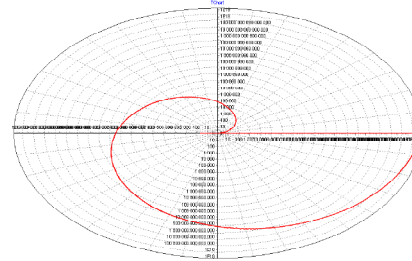


Рисунок 14

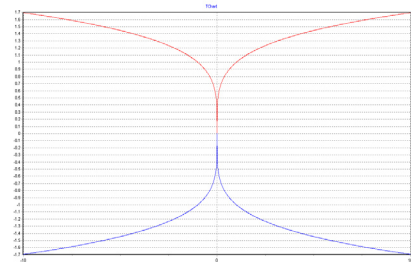


Рисунок 12

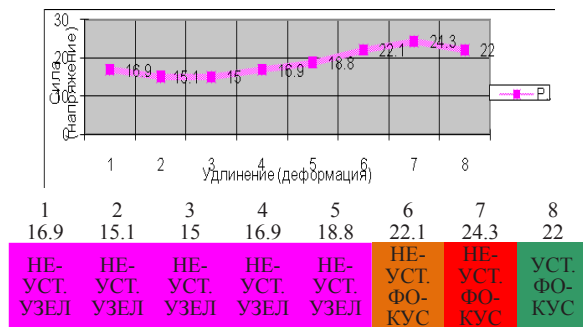


Рисунок 15

Далее (рисунок 15) устанавливаем пошаговую [2, 5] зависимость по времени  $\sigma(\epsilon)$  от соответствующих особых точек фазового портрета. Функцию  $\sigma(\epsilon)$  можно использовать для сравнения в виде таблицы или получить в виде степенного полинома.

Таким образом, определено поле особых точек фазовых портретов по времени. Установлена пошаговая зависимость по времени  $\sigma(\epsilon)$  от соответствующих особых точек фазового портрета. Дискретные значения силы (напряжения) через приращения перемещений (деформаций) формируют во времени соответствующую особую точку на фазовой плоскости. Это дает возможность по изменениям особой точки судить о приближении потери устойчивости или отдалении катастрофы исследуемого объекта.

### Литература

1. Потемкин В.Г., Рудаков П.И. МАТЛАВ 5 для студентов. 2-е изд. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1999. 448 с.
2. Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1984. 271 с.
3. Ильюшин А.А., Ленский В.С. Сопротивление материалов. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит.-ры, 1959. 371 с.
4. Бобровский С. Delphi 5: учебный курс. СПб.: Питер, 2001. 640 с.
5. Землянский А.А. Нелинейная динамика массивных сооружений (на примере плотины Токтогульской ГЭС). Бишкек: Илим, 2008. 107 с.
6. Каудерер Г. Нелинейная механика / пер. с нем. Я.Г. Пановко. М.: Изд-во иностр. лит.-ры, 1961. 777 с.