Вплив запізнення на граничні множини неідеальної системи "бак з рідиною-електродвигун"

І. А. Сеїт-Джеліль[1]

[1]Національний технічний університет України "КПІ ім. Ігоря Сікорського", Київ, Україна
ilmiseitdzelil17@gmail.com

Розглядається неідеальна за Зоммерфельдом-Кононенком динамічна система "бак з рідиною-електродвигун", що описує процес нелінійної взаємодії коливань вільної поверхні рідини в жорсткому циліндричному баку і обертання вала електродвигуна обмеженої потужності з врахуванням запізнення впливу електродвигуна на коливання бака з рідиною, а також запізнення оберненого впливу коливального навантаження на функціонування джерела збудження [1, 2]:

$$
\begin{aligned}
&\frac{dp_1(\tau)}{d\tau} = \alpha p_1(\tau) - [\beta(\tau-\delta) + \frac{A}{2}(p_1^2(\tau) + q_1^2(\tau) + p_2^2(\tau) + q_2^2(\tau))]q_1(\tau) + \\
&+ B(p_1(\tau)q_2(\tau) - p_2(\tau)q_1(\tau))p_2(\tau); \\
&\frac{dq_1(\tau)}{d\tau} = \alpha q_1(\tau) + [\beta(\tau-\delta) + \frac{A}{2}(p_1^2(\tau) + q_1^2(\tau) + p_2^2(\tau) + q_2^2(\tau))]p_1(\tau) + \\
&+ B(p_1(\tau)q_2(\tau) - p_2(\tau)q_1(\tau))q_2(\tau) + 1; \\
&\frac{d\beta(\tau)}{d\tau} = N_3 - \mu_1 q_1(\tau-\rho) + N_1\beta(\tau); \\
&\frac{dp_2(\tau)}{d\tau} = \alpha p_2(\tau) - [\beta(\tau-\delta) + \frac{A}{2}(p_1^2(\tau) + q_1^2(\tau) + p_2^2(\tau) + q_2^2(\tau))]q_2(\tau) - \\
&- B(p_1(\tau)q_2(\tau) - p_2(\tau)q_1(\tau))p_1(\tau); \\
&\frac{dq_2(\tau)}{d\tau} = \alpha q_2(\tau) + [\beta(\tau-\delta) + \frac{A}{2}(p_1^2(\tau) + q_1^2(\tau) + p_2^2(\tau) + q_2^2(\tau))]p_2(\tau) - \\
&- B(p_1(\tau)q_2(\tau) - p_2(\tau)q_1(\tau))q_1(\tau).
\end{aligned} \tag{1}
$$

Для вивчення впливу зміни величини запізнення на динамічну поведінку системи (1) застосовувались два способи апроксимації запізнення.

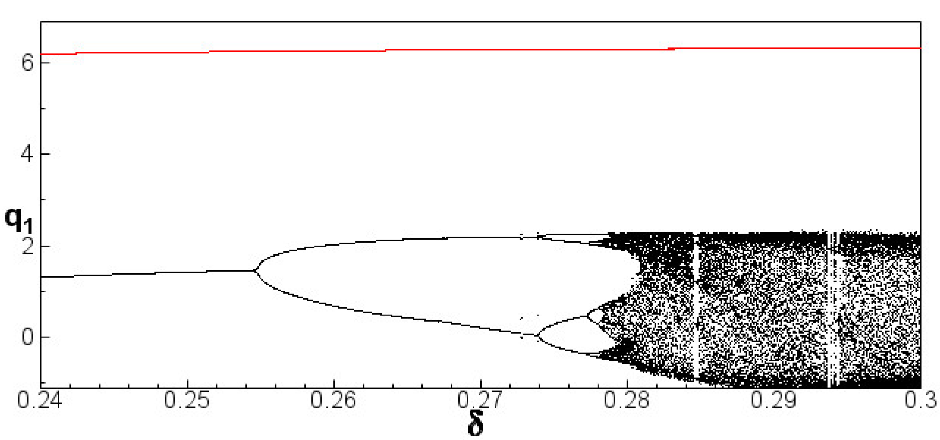

Рис. 1: Фазо-параметрична характеристика (біфуркаційне дерево) системи

На рис. 1 наведено фазо-параметричну характеристику системи (1), що графічно зображає зміну динамічної поведінки системи в залежності від значення параметра. Через якісно різний вигляд множин точок, нанесених червоним (*що відповідають першому* *способу апроксимації запізнення*, $q_1 > 6$) та чорним (*відповідні другому способу*, $q_1 < 6$) кольорами, було виконано додаткове вивчення динамічної поведінки при таких значеннях параметру, що характеризує запізнення. Виконано порівняння результатів, отриманих за допомогою кожного зі способів, а також встановлено інтервали значень параметрів, за яких доцільно застосовувати кожен з них.

Виконано опис основних динамічних режимів, що виникають в системі (1) за розглянутих значень параметрів, та переходів між різними динамічними режимами (*сценарії переходу до хаосу*) внаслідок зміни значення параметрів, що характеризують запізнення в системі (1), в тому числі переходу за новим сценарієм узагальненої переміжності [3]. Також описане явище "перемикання" симетричних атракторів системи (1), яке свідчить про перебудову басейнів притягання атракторів внаслідок зміни значення параметру запізнення.

[1] Сеїт-Джеліль І. А., Швець О. Ю., Вплив запізнення на регулярну та хаотичну динаміку системи "бак з рідиною – електродвигун", *Нелінійні коливання* **28** (2025), 1, 127–140.

[2] Сеїт-Джеліль І., Швець О., Фактори запізнення та генеза граничних множин неідеальної системи "бак з рідиною–електродвигун", *Український математичний журнал* **78** (2026), 3–4, 257–273.

[3] Shvets A., Overview of Scenarios of Transition to Chaos in Nonideal Dynamic Systems, *Springer Proceedings in Complexity* (2021), 853–864.