Симонов Д. І.
молодший науковий співробітник,
Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова
Національної академії наук України
м. Київ, Україна
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6648-4736
Горбачук В. М.
доктор фіз.-мат наук, старший науковий співробітник,
Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова
Національної академії наук України
м. Київ, Україна
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5619-6979

DOI: https://doi.org/10.36059/978-966-397-290-9-46

ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ХАОТИЧНИХ СИСТЕМ В ЦИКЛІ ПОСТАЧАННЯ

Функціонування ланцюгів постачання пов'язане с постійним реагуванням на стохастичні коливання в межах певного циклу, в той час можливість реагувати на невизначеність в циклі – є вимогою для забезпечення якості процесу постачання. Задача визначення ресурсної спроможності реагувати на невизначеності в ланцюгах постачання є актуальним завданням для менеджерів. В статті розглянуто фактори впливу на якість функціонування ланцюгів постачання в хаотичної системі, розглянуто метод досягнення асимптотичної стійкості в динамічній системі по Ляпунову. Запропоновано метод отримання інформації особами, що приймають рішення для мінімізації ризиків, пов'язаних з забезпеченням функціонування ланцюгів постачання.

Ланцюги постачання забезпечують рух товарно-матеріальних цінностей та послуг від виробника до споживача (виробника нового виду товару або послуги) с подальшим розподілом до споживача «нового товару». Ланцюги постачання мають відповідати за стабільність потоку матеріалів, інформації та фінансових елементів, необхідних у виробничому процесі [1]. Виробники складних типів товарів іноді мають ланцюги постачання, що складаються з тисяч логістичних потоків та сотень ланок, які в кінцевому результаті зводяться до однієї ланки. Функціонування ланцюгів пов'язане с постійним реагуванням на стохастичні коливання в межах певного циклу. Відповідно, можливість реагувати на невизначеність в циклі є вимогою для забезпечення якості процесу постачання, а, в кінцевому результаті, визначає конкурентоспроможність організації. Отже, задача визначення ресурсної спроможності реагувати на невизначеності в ланцюгах постачання є **актуальним завданням** для менеджерів, відповідальних за постачання та розподіл продукції. Узагальнену модель системи, в якої доводиться функціонувати організації, можливо виразити наступним рівнянням [2]:

$$x = f(x,t);\ x(t_0) = x_0;\ t = \overline{0,n}, \tag{1}$$

де x_0 – початковий стан системи; t_0 – початковий момент часу; f – неперервна диференційована за параметрами функція.

Система буде мати можливість функціонувати якщо будуть виконані умови [2]:

$$f(x) = x_0 + \int_{t_0}^{t} f(\Theta, x(\Theta))dt, \tag{2}$$

де Θ – параметри хаотичної системи, $\Theta = \left\{\overline{\Theta_0, \Theta_n}\right\} \in R_n$.

Таким чином, функціонування системи має безпосередню залежність від її початкового стану та функції f, на яку мають значний вплив параметри хаотичної системи.

Необхідно визначити параметри стійкості режиму функціонування ланцюга постачання відповідно до малих коливань стохастичних процесів в ланках.

Хаотичні системи визначаються як нелінійні динамічні системи, чутливі до початкових умов [3]. Зробимо припущення, що ланцюг постачання можливо характеризувати як консервативну хаотичну систему, якої властиво збереження об'єму.

В хаотичних системах поведінка системи залежить від двох основних факторів, таких як початкові умови та зміни параметрів функції, що описує систему. Завдання оптимізації зводиться до оцінки параметрів хаотичної системи за допомогою мінімізації цільової функції. Низьке значення коливань свідчить про рівновагу системи.

Узагальнену модель n-мірної хаотичної системи можливо представити у вигляді:

$$x = \left\{x \in X \mid f(x, x_0, \Theta)\right\}, \tag{3}$$

де x_0 – задає початковий стан ланцюга постачання; x – вектор параметрів стану ланцюга постачання, $x = \left\{\overline{x_0, x_n}\right\} \in R_n$.

На рисунку 1 зображена схема алгоритму аналізу поточного стану у порівнянні з бажаним (ідеальним) станом, що можливо визначити як:

$$\hat{x} = \left\{ \hat{x} \in X \mid f(\hat{x}, x_0, \hat{\Theta}) \right\}, \tag{4}$$

де $\hat{x}$ – вектор параметрів ідеального стану ланцюга постачання, $\hat{x} = \left\{ \overline{x_0, \hat{x}_n} \right\} \in R_n$; $\hat{\Theta}$ – параметри хаотичної системи, що проектується, як ідеальна $\hat{\Theta} = \left\{ \overline{\Theta_0, \hat{\Theta}_n} \right\} \in R_n$.

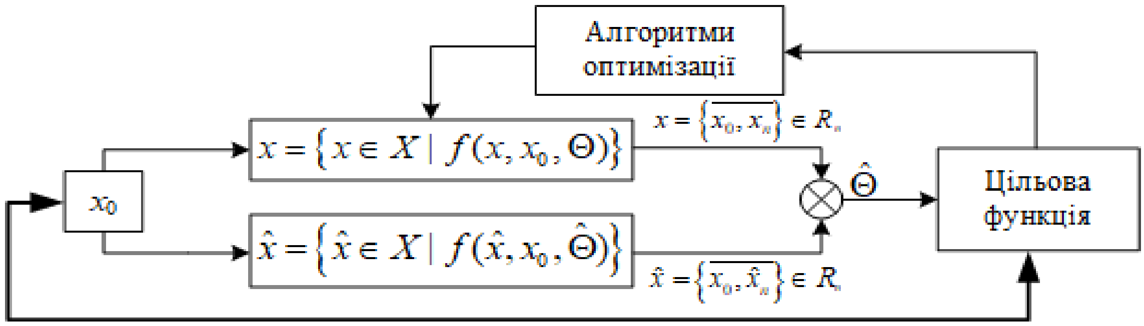

Рис. 1. Принцип оцінки параметрів хаотичних систем в циклі постачання

В процесі аналізу спроможності функціонувати ланцюга постачання в хаотичної системі доцільно розглядати три фактори: вплив коливань на обмеження ресурсів в певної ланці ланцюга або в певний період циклу; рівень загальних відхилень по циклу, що нівелює доцільність виконання циклу (наприклад, нерентабельність здійснення постачання); рівень невизначеності факторів певного циклу (але ця тема потребує більш детального розгляду та в межах даної статті не буде розглядатися).

Для визначення стійкості до малих коливань будемо використовувати параметр стійкості по Ляпунову. Відповідно, сформулюємо параметри, що визначають стійкість да двома параметрами:

– для ситуації критичного навантаження на ресурси в певний час або в певній ланці:

$$\forall x_i(t) = \left\{ x_i \in X \mid \left(\left\| x_i(t) - \hat{x}_i(t_0) \right\| \le q_i \right), \forall q_i (q_i \notin \varnothing) \right\}, \tag{5}$$

де q_i – наявні ресурси в певний час циклу або в певній ланці ланцюга постачання; i – номер аналізованого циклу або часового виміру.

– для ситуації аналізу загальних відхилень по циклу:

$$\forall x_j(t)=\left\{x_j\in X\mid\left(\sum_{j=1}^{n}\left\|x_j(t)-\hat{x}_j(t_0)\right\|\le b_j\right),\forall b_j(b_j\notin\varnothing)\wedge b_i>0,\ j=\overline{1,n},n=\overline{1,\infty}\right\},\quad(6)$$

де b_j – узгоджений бюджет на певний цикл постачання; j – номер аналізованого циклу.

Для динамічної системи, в якої виникає хаотичні коливання, найбільшу зацікавленість виникає можливість досягнути асимптотичної стійкості, тобто досягнути стану:

$$\forall x_i(t)=\left\{x_i\in X\mid\left(\left\|x_i(t)-\hat{x}_i(t_0)\right\|\to 0\right)\right\},\quad(7)$$

або

$$\forall x_j(t)=\left\{x_j\in X\mid\left(\sum_{j=1}^{n}\left\|x_j(t)-\hat{x}_j(t_0)\right\|\to 0\right),\ j=\overline{1,n},n=\overline{1,\infty}\right\}.\quad(8)$$

Стійкість системи по Ляпунову визначається регресією змін хаотичних коливань в межах параметрів змінних цільової функції. Відповідно, показник Ляпунова (λ_i або λ_j) можливо визначити як узагальнений показник траєкторії матриці лінеаризації [5]:

$$\sum_{i=1}^{n}\lambda_i=\lim_{t\to\infty}\frac{1}{t-t_0}\int_{t_0}^{t}devF(x,\Theta)dt\ .\quad(9)$$

На стійкість системи постачання значний вплив оказує ступінь її автономності. Недоліком зазначеного методу є відсутність системного методу для пошуку функції Ляпунова, але це можливо вирішити за допомогою аналізу накопичених даних по минулим поставкам, або використати експерименти (наприклад, A/B-тестування).

Використання наведеного алгоритму дозволяє отримати необхідну інформацію для осіб, що приймають рішення, для визначення доцільності запуску циклу, або прийняття рішень про корегування ключові параметри системи (наприклад, переузгодити бюджет на цикл, або прийняти рішення про пошук нових постачальників товару або послуг).

Література:

1. Симонов Д. І. Алгоритм визначення оптимального потоку в ланцюгах постачання з урахуванням багатокритеріальних умов та стохастичності процесів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Серія фізико-математичні науки*. 2021. Вип. (2). С. 109–116.

2. Халил Х. К. *Нелинейные системы*. Москва – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований. 2009. 832 с.

3. Ahmad Taher Azar, Sundarapandian Vaidyanathan. (2016). *Advances in Chaos Theory and Intelligent Control*. Switzerland, Cham: Springer International Publishing. 873 pages. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-30340-6.

4. Christos H Skiadas, Ioannis Dimotikalis, Charilaos Skiadas. (2010). *Chaos Theory: Modeling, Simulation And Applications – Selected Papers From The 3rd Chaotic Modeling And Simulation International Conference.* USA, Danvers : World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 468 pages.

5. Мартинюк А.А. (2020) Про оцінку функції Ляпунова на розв’язках квазілінійної дробово-по діб ної системи. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* (с. 3–8). (11) листопад, 2020. Київ, Україна: Нац. акад. наук Укр. DOI: https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.11.003.