УДК 656.135.073
к.т.н., доцент Линник І. Е.,
Харківська національна академія міського господарства

ЯКІСНИЙ АНАЛІЗ ЕВОЛЮЦІЇ ЕРГОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ «ВОДІЙ – ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ – ТРАНСПОРТНА МЕРЕЖА – СЕРЕДОВИЩЕ»

У статті виконаний якісний аналіз еволюції системи «водій - транспортний засіб – транспортна мережа – середовище» із залученням теорії динамічних систем і теорії подоби. Побудовані фазові траєкторії і інтегральні криві руху компонентів системи.

Ключові слова: *еволюція, інтегральні криві, фазові траєкторії.*

Якісний аналіз еволюції системи і її частин виконаний із залученням якісної теорії динамічних систем і теорії подоби [1 – 3].

Динамічна характеристика системи «водій – транспортний засіб – транспортна мережа – середовище» (ВТМС) в інтервалах розімкнутого стану представляється диференціальним рівнянням

$$\frac{dV_S}{dt}+V_S=e^{-\alpha(t_з)}\left[a\cos\beta(t_з)+b\sin(t_з)\right]. \qquad (1)$$

При початкових умовах $V_S(t_з)=V_{S0}$, $\dot{V}_S(t_з)=\dot{V}_{S0}$ часткове рішення рівняння (1) виглядає так:

$$V_S=C_3e^{-(t_з)}+e^{-\alpha(t_з)}\left[A\cos\beta(t_з)+B\sin\beta(t_з)\right]. \qquad (2)$$

Увівши позначення $V_S=Z_3$, $\dot{V}_S=Z_4$ і початкові умови $Z_3(t_з)=V_{S0}$, $Z_4(t_з)=\dot{V}_{S0}$, перетворимо рівняння (1) у систему двох рівнянь і отримаємо часткове рішення:

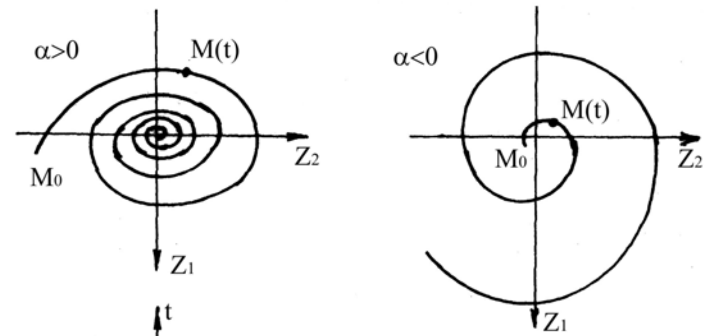
$$\begin{aligned}
&Z_3=C_3e^{-(t_з)}+e^{-\alpha(t_з)}\left[A\cos\beta(t_з)+B\sin\beta(t_з)\right],\\
&Z_4=-C_3e^{-(t_з)}-\alpha e^{-\alpha(t_з)}\left[A\cos\beta(t_з)+B\sin\beta(t_з)\right]+\\
&+\beta e^{-\alpha(t_з)}\left[B\beta\cos\beta(t_з)-A\sin\beta(t_з)\right].
\end{aligned} \qquad (3)$$

Уводячи позначення $\rho_\alpha=\sqrt{A^2+B^2}$, отримаємо

$$\frac{\left[Z_3-C_3e^{-(t_з)}\right]^2}{\left[\rho_\alpha e^{-\alpha(t_з)}\right]^2}+\frac{\left[(Z_4+\alpha Z_3)-C_3(\alpha-1)e^{-(t_з)}\right]^2}{\left[\beta\rho_\alpha e^{-\alpha(t_з)}\right]^2}=1. \qquad (4)$$

Рівняння (4) допомагає з'ясувати вигляд кривої на площині $Z_3\,Z_4$, що описується параметричними рівняннями (3). Фазова траєкторія усталеного руху представляється у вигляді еліптико-логарифмічної напівспіралі (рис. 1). Точка $M(t)$ починає свій рух у момент $t=t_з$ від точки $M_0(V_{c0},\dot{V}_{c0})$ і рухається по спіралі у напрямку годинникової стрілки. Через те, що в інтервалах замкнутого стану першого циклу еволюції $\alpha > 0$, тоді фазова траєкторія системи в цей період часу представляється у вигляді спіралі, що згортається. В інтервалах замкнутого стану другого циклу еволюції $\alpha < 0$. Тому в цих інтервалах фазовій траєкторії системи відповідає спіраль, що розгортається. У просторі $t\ Z_1\ Z_2$ система рівнянь (3) зображує лінію перетинання двох циліндрів, що одночасно лежить і на зазначеному спіральному циліндрі. Змінна точка $N(t)$ цієї лінії перетинання починає свій рух у момент $t = t_з$ від точки $N_0(t_з, V_{c0}, \dot{V}_{c0})$ і зі зростанням t піднімається цією лінією так, що в кожний момент t її координати $Z_1\ Z_2$ збігаються з відповідними координатами точки $M(t)$ на фазовій траєкторії. Через те, що точка $M(t)$ рухається у напрямку годинникової стрілки, то траєкторія точки $N(t)$ представляє собою ліву гвинтову лінію на спіральному циліндрі, що виходить із точки N_0. При $\alpha > 0$ дана лінія зі зростанням наближається до осі t, а при $\alpha < 0$ необмежено віддаляється від осі t (рис. 1).

а)



б)

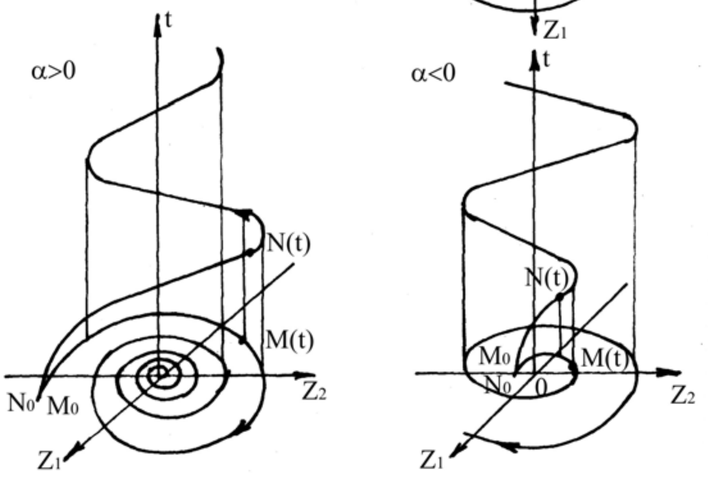


Рис. 1. Фазові траєкторії (а) і інтегральні криві (б) компонентів системи

У сполученій системі координат фазові траєкторії частин системи представляються у вигляді сімейства еліптико-логарифмічних спіралей, що ніде не перехрещуються одна з другою. Фазова траєкторія системи ВТМС перехрещується з фазовими траєкторіями її компонентів (рис. 2).

У точках перехрещення швидкість зміни стану системи дорівнює швидкості зміни стану того компонента, з яким здійснюється перехрещення. Отже, сума швидкостей зміни інших компонентів системи в цій точці дорівнює нулю.

Тому ці компоненти не впливають на еволюцію системи. Останнє показує, що в інтервалі часу між послідовними перехрещеннями фазових траєкторій еволюція системи ВТМС іде, насамперед за рахунок тих її частин, які є останніми в попередніх перетинаннях. Інакше кажучи, система ВТМС еволюціонує не суцільним фронтом (не як єдине ціле), а висуваючи поперемінно то одну то іншу із своїх частин у якості провідної. Частина системи, що висунулася вперед, стає лідером в еволюції. Як тільки протиріччя (різниця швидкостей зміни стану) між можливостями провідної частини і можливостями інших частин усуваються, лідируюче значення провідної частини губиться і на її місце висувається інша. Причому тепер в якості лідера стає не одна яка-небудь частина, а їхня група (підсистема). У підсумку одиночний лідер замінюється груповим. Так, наприклад, якщо в початковий момент часу лідером в еволюції системи є водій, то потім лідируюче місце займає підсистема «водій – транспортний засіб» і, нарешті, система ВТМС в цілому. Потім ситуація повторюється.

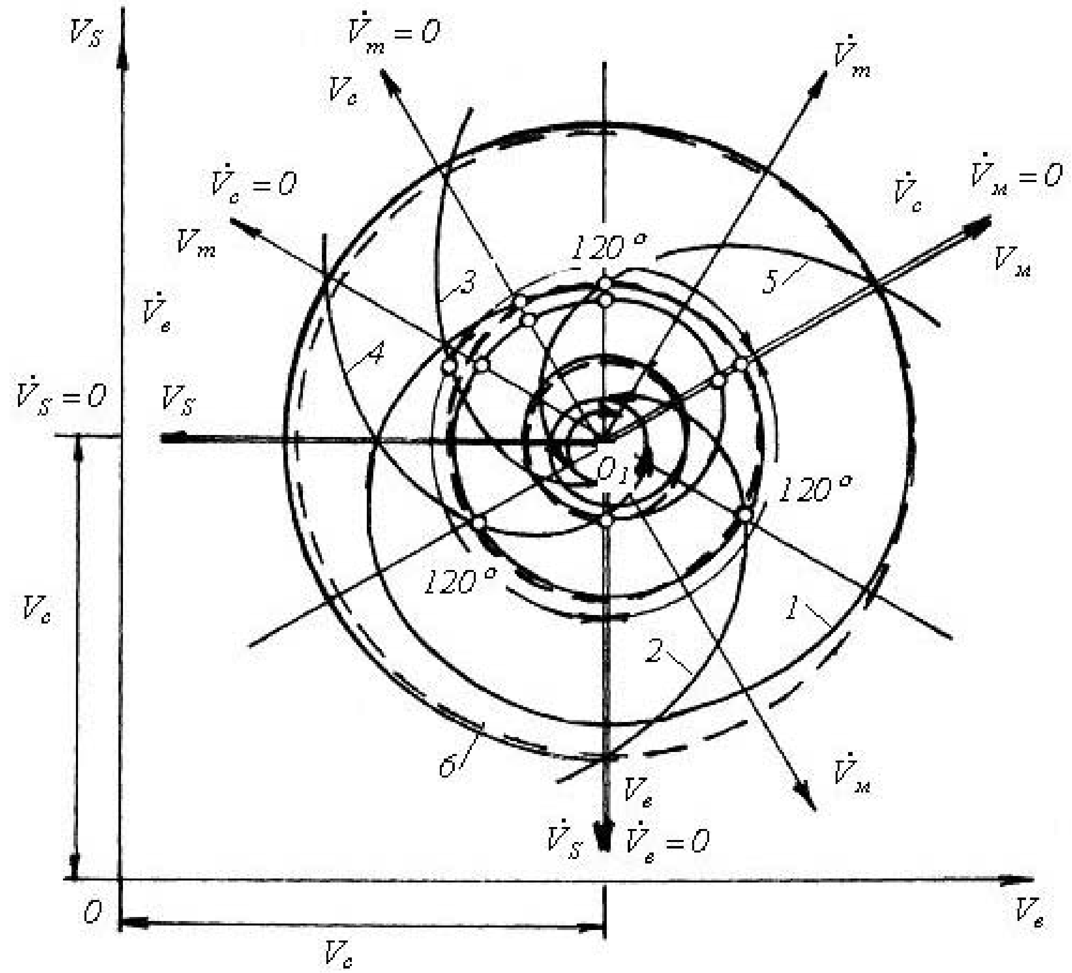


Рис. 2. Фазові траєкторії системи ВТМС і її компонентів:
1 – системи ВТМС у замкнутому стані; 2 – водія; 3 – середовища; 4 – транспортного засобу; 5 – транспортної мережі; 6 – системи ВТМС у розімкнутому стані

Для досягнення стану динамічної рівноваги фазова траєкторія системи ВТМС зливається з фазовою траєкторією водія у розімкнутому стані. При цьому рух точки здійснюється по окружності радіуса R із центром у точці перехрещення головних ізоклін системи.

У площині $V_в 0 V_S$ траєкторія системи ВТМС розходиться із траєкторією водія у розімкнутому стані у момент перехрещення фазових траєкторій середовища руху і водія у розімкнутому стані. Розбіжність фазових траєкторій свідчить про замикання системи і перехід її на більш високий структурний рівень.

Розглянуті закономірності поведінки системи ВТМС і її компонентів підтверджують думку про те, що дана система є системою, що обумовлена станом. Така система має властивість, коли при даному початковому стані однозначно визначається траєкторія її поведінки незалежно від того, яким чином система прийшла до початкового стану. Доведено, що рух системи ВТМС представляється у вигляді еліптико-логарифмічної напівспіралі. На першому циклі еволюції дана спіраль зі зростанням часу згортається, прагнучи до початку координат. На другому циклі еволюції спіраль розгортається, необмежено віддаляючись від початку координат.

Література

1. Андронов А.А. Собрание трудов / Андронов А.А. – М. : Изд. АНСССР, 1956. – 542 с.

2. Арнольд В.И. Дополнительные главы теории обыкновенных дифференциальных уравнений / Арнольд В.И. – М. : Наука, 1978. – 304 с.

3. Качественная теория динамических систем второго порядка / [Андронов А.А., Леонтович Е.Д., Гордон И. И., Майер А.Г.]. – М. : Наука, 1966. – 454 с.

Аннотация

В статье выполнен качественный анализ эволюции системы «водитель – транспортное средство – транспортная сеть – среда» с привлечением теории динамических систем и теории подобия. Построены фазовые траектории и интегральные кривые движения компонентов системы.

Ключевые слова: *эволюция, интегральные кривые, фазовые траектории.*

Annotation

In article the qualitative analysis of evolution system «the driver – a vehicle – a transport network – environment» with attraction of dynamic systems and similarity theories is made. Phase trajectories and integrated curve movements of components of system are constructed.

Keywords: *evolution, integrated curves, phase trajectories.*