

Список використаних джерел

5. Garey M. R. Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness / M. R. Garey, D. S. Johnson // Freeman, New York, – 1979 – 338p.
6. Eroh L. A comparison between the metric dimension and zero forcing number of trees and unicyclic graphs/ L. Eroh, C. X. Kang, Y. Eunjeong // Acta Math. Sin., Engl. Ser. – 2017 – **33** – №6 – P. 731–747.
7. Chartrand G. Resolvability in graphs and the metric dimension of a graph/ G. Chartrand, L. Eroh, M. A. Johnson // Discrete Appl. Math. – 2000 – P. 99–113.
8. Sudhakara G. Graphs with metric dimension two — a characterization / G. Sudhakara, A. R. Hemanth Kumar // Adv. and Appl. in Disc. Math. – 2009 – **4** – №2 – P.169–186.
9. Dudenko M. On unicyclic graphs of metric dimension 2/ M. Dudenko, B. Oliynyk // Algebra and Discrete Math. – 2017 – **23** – №2 – P. 216–222.
10. Дуденко М. А. Уніциклічні графи метричної розмірності 2 / М. А. Дуденко // Наукові записки НаУКМА – 2015 – **165** – P. 7–10.
11. Дуденко М. А. Метрична розмірність уніциклічних графів, що містять не більше однієї основної вершини/ М. А. Дуденко // Вісник Львівського університету – 2017 – **83** – P. 189–195.
12. Sebo A. On Metric Generators of Graphs/ A. Sebo, E. Tannier // Mathematics of Operations Research – 2004 – **29** – №2 – P.383–393.
13. Dudenko M. On unicyclic graphs of metric dimension 2 with vertices of degree 4 / M. Dudenko, B. Oliynyk // Прикарпатські математичні публікації – 2018 (в друці).

References

5. GAREY, M. R. and JOHNSON, D. S. (1979) “Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness”, Freeman, New York, 338 p.
6. EROH, L., KANG, C. X. and EUNJEONG, Y. (2017) “A comparison between the metric dimension and zero forcing number of trees and unicyclic graphs”, Acta Math. Sin., Engl. Ser., **33**:6, pp. 731–747.
7. CHARTLAND, G., EROH, L. and JOHNSON, M. A. (2000) “Resolvability in graphs and the metric dimension of a graph”, Discrete Appl. Math., pp. 99–113.
8. SUDHAKARA, G. and HEMANTH KUMAR, A. R. (2009) “Graphs with metric dimension two — a characterization”, Adv. and Appl. in Disc. Math., **4**:2, pp.169–186.
9. DUDENKO, M. and OLIYNYK, B. (2017) “On unicyclic graphs of metric dimension 2”, Algebra and Discrete Math., **23**:2, pp. 216–222.
10. DUDENKO, M. A. (2015) “Unicyclic graphs with metric dimension 2”, Nauk. Zapysky NaUKMA, **165**, pp. 7–10.
11. DUDENKO, M. A. (2017) “Metric dimension of unicyclic graphs with at most one main vertex”, Visnyk of the Lviv Univ. Series Mech. Math., **83**, pp. 189–195.
12. SEBO, A. and TANNIER, E. (2004) “On Metric Generators of Graphs”, Mathematics of Operations Research, **29**:2 , pp. 383–393.
13. DUDENKO, M. and OLIYNYK, B. (2018) “On unicyclic graphs of metric dimension 2 with vertices of degree 4”, Carpathian Mathematical Publications , (in print) .

Received: 11.07.2017

**ДИФЕРЕНЦІАЛЬНІ
РІВНЯННЯ,
МАТЕМАТИЧНА ФІЗИКА
ТА МЕХАНІКА**

УДК 539.376

Коновалюк Т. П., к.ф.-м.н., м.н.с.
Краснопольська Т. С., д.ф.-м.н., пр.н.с.
Печук Є. Д., к.ф.-м.н., н.с.
Соболь Т. В., к.ф.-м.н., м.н.с.

Внутрішня взаємодія як збуджувач хаосу в серцево-респіраторній системі

Інститут гідромеханіки НАНУ,
03680, м. Київ, вул. Желябова 8/4
e-mail: t.krasnopolskaya@tue.nl

T. P. Konovalyuk, PhD.
T. S. Krasnopolskaya, Dr.Sci.(Phys.-Math.)
E. D. Pechuk, PhD.
T. V. Sobol, PhD.

Internal interaction as chaos trigger in cardiorespiratory system

Institute of hydromechanics NASU,
03680, Kyiv, Zhelyabov str. 8/4
e-mail: t.krasnopolskaya@tue.nl

Хаотичні режими є характерними для динаміки кардіосистем здорової людини, тому одним з найбільш перспективних підходів до вивчення динаміки такого роду систем є нелінійно-динамічний підхід. Досліджено закономірності динаміки моделі ДеБура взаємодії серцево-судинної та респіраторної систем при врахуванні залежності параметрів респіраторної дії від характеристик кардіоінтервала. При цьому розглянуті лінійні наближення невідомих функціональних залежностей зворотного впливу. Методами теорії динамічних систем досліджено вплив параметрів зворотних зв'язків на сукупну кардіореспіраторну динаміку. Виявлено, що зворотний вплив частоти серцевих скорочень на частоту дихальних осциляцій призводить до іррегулярності динамічного режиму сукупної системи, тобто збуджувачем хаосу у серцево-респіраторній системі є внутрішня взаємодія підсистем: серцево-судинної та респіраторної.

Ключові слова: серцево-судинна система, респіраторна система, зворотній зв'язок, хаос.

The chaotic regimes are typical for the dynamics of a cardiosystem of a healthy man, that is why the most modern approach in the study of such system dynamics is the nonlinear dynamics approach. Laws of dynamics of the DeBoer's model of the cardiovascular and respiratory systems are studied taking into account dependence of parameters of a respiratory action on cardiointerval characteristics. The linear approximation of unknown functional dependences of feedback influence are investigated. By methods of the modern theory of dynamical systems the steady-state regimes of the modified models are studied. It is shown that a reverse influence of parameters of a cardiosystem frequency on frequency of respiratory oscillations results in irregularity of the dynamic mode of the combined system, i. e. a cause of chaos appearance in the cordially-respiratory system is internal interaction of subsystems : cardiovascular and respiratory.

Key Words: cardiovascular system, respiratory system, feedback, chaos.

Статтю представив д.ф.-м.н., проф. Жук Я.О.

1. Вступ

Дослідженню динаміки серцевих ритмів присвячено багато важливих наукових робіт [1-3]. Хаотичні режими є найбільш типовими і характерними для динаміки кардіосистем здорової людини, що доведено у сучасних наукових роботах [2]. Тому одним з найбільш перспективних підходів до вивчення динаміки кардіосистем здорової людини є нелінійно-динамічний підхід [4]. Добре відомою і фізіологічно коректною є модель ДеБоєра серцево-судинної системи, що запропонована в

роботі [1], яка не враховує зворотного впливу діяльності серця на параметри дихання. Вперше для цієї моделі зворотний вплив по типу оптимального керування було враховано та досліджено в моделі Грінченко – Рудницького [3]. Метою даної роботи є класифікація і дослідження закономірностей усталених режимів моделі [1,3] з внутрішньою взаємодією серцево-судинної та респіраторної систем методами сучасної теорії динамічних систем. Для цього розглянуті лінійні наближення невідомих функціональних залежностей зворотного впливу.