

## СИСТЕМНО-СИГНАЛЬНА КОНЦЕПЦІЯ – ПІДСТАВА СТАТИСТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ РИТМІКИ СЕРЦЕВО- СУДИННОЇ СИСТЕМИ ЯК СТОХАСТИЧНОГО КОЛИВНОГО ОБ’ЄКТА

© Драган Я., Дунець В., 2011

**Підкреслено важливу роль серцево-судинної системи як транспортної мережі забезпечення життєдіяльності організму та варіабельності її коливних характеристик як показника потенційної її адаптивності до змін життєвого середовища. Наведено аргументи за вибір змін ритміки кардіосигналу як індикатора при статистичному оціненні цієї адаптивності.**

**Ключові слова:** статистичний аналіз, ритміка кардіосигналу, періодично корельований випадковий процес, індикатор стану серцево-судинної системи.

**The essential role of cardiovascular system as transport network for security of organism vital activity and variability of its oscillatory characteristics as estimator of potential adaptivity to environment changes is underlined. The arguments for choose the alteration of cardiosignal rhythemics as indicator under statistical estimation of this adaptivity are given.**

**Key words:** statistical analysis, cardiosignals rhythemics, periodically correlated random process, state of cardiovascular system indicator.

### Вступ

Установлені багатьма дослідниками факти, особливо здобутки археології [1,2], засвідчують: початок формування людської цивілізації в останній післяльодовниковий період був на наших землях – у північному Причорномор’ї. Звідси вона поширилась не тільки до стародавньої Еллади і Риму, а й на Близький Схід, до Єгипту, Ханаану, Вавилону, бо як твердить знаменитий афоризм московського дослідника А. Кифішина: “зі стін Кам’яної Могили на нас дивляться 140 століть нашої державності” [1]. А за традиційними поглядами, близько 5 тисяч років тому вавилоняни та єгиптяни винайшли календар [3–5], коли людина почала обробляти землю (поле), що відносять до повеней Нілу, не беручи до уваги навіть применшеної дати з афоризму Кифішина.

Хоч тепер земляни повсюдно користуються поясным часом, проте астрофізики для опису розвою Всесвіту завели єдиний у стилі Ньютона для всього доступного спостереженню Всесвіту космологічний час [4] і ним характеризують, зокрема, “розбігання галактик” [4], а для потреб астрономії – час ефемерид, тобто положень небесних тіл, розрахованих за законами класичної (Ньютонової) небесної механіки [5], а також час астрономічний з урахуванням спотворень спостережень через атмосферу Землі [3]. Спеціальний час для потреб інтернету (оновлення WEB-сторінок повсюдно в той самий момент) винайшла швейцарська фірма Swatch [3]. “Час надає рухові структуру”, – як твердив ще Арістотель (див. [6]).

У небесній механіці вважають, що рухи принаймні планет Сонячної системи узгоджені з собою. Та астрономи відрізняють неспівмірність навіть ритмічного руху Сонця (сезонного ритму) і добового обертання Землі (циркадного ритму), а на додаток – і фаз місяця, що є причиною календарних клопотів [4, 5] і що навело латвійського математика П. Боля на думку запровадження так званих квазіперіодичних функцій, які являють собою суми скінченної кількості періодичних функцій з неспівмірними періодами (1893 р.) як зародку теорії майже періодичних функцій, а вже в наш час – концепції поліритміки.

Що ж до проблеми часу живих організмів, то вони виробили (упродовж годі тепер сказати – якого часу) ефективні механізми циклічного чергування спокою та активності, який забезпечує оптимізацію їхньої просторово-енерго-інформаційної організації і сприяє незалежній часовій організації їх [7, 8]. У живих системах принципово не може бути строго періодичних у часі процесів, бо адаптивно-присосовна діяльність організму ґрунтується на безперервному налаштуванні всіх підсистем відповідно до запитів і потреб цілісної системи, а це виражається у мінливості періодів, амплітуд і фаз коливних процесів у підсистемах. Тому прийнято говорити про такі процеси, як про ритми, що містять якусь повторність значень ознак, але зі значною “домішкою” випадковості. Науковці добре усвідомлюють, що людський організм дотримується часової послідовності елементарних актів завдяки циркадним ритмам. Можливо, й сезонні цикли регулює циркадний годинник [3].

Цикли активності Сонця – (11-річний чи з урахуванням переполяризації електромагнетного поля – 22-річний) через те, що Земля віддалена всього на 107 його діаметрів, вона перебуває в полі величезної інтенсивності. Тому енергія Сонця – основне джерело фізико-хімічних явищ у гідроаерокосмосі (див. [9]), а також інформаційних взаємозв’язків [10].

Циркадна ритміка поряд зі сезонними змінами умов існування, зумовлені рухами Землі – обертовим і кружлянням навколо Сонця, та сонячної активності є суттєвими екологічними факторами, що визначили вироблення та узгодження фізіологічних механізмів відліку часу. Найбільше значення мають макроінтервали часу – добові й сезонні ритми середовища, бо вони синхронізують клітинні, органні і системні ритми та забезпечують інтеграцію цих ритмів у всьому організмі з урахуванням кліматогеографічних, побутових і соціально-виробничих стосунків, що й визначає часову ієрархію станів організму.

### **Формулювання проблеми**

Згідно з системно-сигнальною концепцією ідентифікація стану складної системи, зокрема організму людини, якщо враховувати багатогранність впливів і взаємопов’язаність різних факторів довкілля і самого організму, має відбуватись на підставі даних неінвазивного обстеження, видобутих як вислід опрацювання відповідних сигналів. Практика показує, що важливим індикатором стану людського організму є ритм і сила серцевих пульсацій, тобто носієм відомостей у цьому випадку є кардіосигнал. Тому яким би не був механізм його формування, для ідентифікації цього стану застосовна вся теорія ритміки.

Оскільки у багатьох публікаціях (див. [10–12]) показано, що ефективною адекватною ситуації математичною моделлю стохастичного коливання є періодично корельований випадковий процес (ПКВП) – в разі однопіриодного ритму (інакше: проста модель стохастичного коливання) та споріднені з ним поліперіодично корельовані випадкові процеси – в разі коливань, що підлягають кільком ритмам (згадані були вже природні ритми довкілля та “свої специфічні” внутрішні ритми організму), то не можна не брати цього факту до уваги. Тому постає проблема обґрунтування моделі і засобів визначення стану організму за кардіосигналами.

### **Системний аналіз оцінювання стану організму**

Система кровообігу є універсальним транспортером – доставляє поживні речовини, кисень, продукти залоз внутрішньої секреції, засоби імунітету, ліки до всіх без винятку клітин, органів і систем та відводить продукти розпаду. Серце під впливом синусового вузла задає її ритм, який хвильоподібно поширюється всією серцево-судинною мережею. Воно працює як релаксаційний пульсатор (Осухівська). Допомагають його роботі і м’язи (особливо м’язи ніг). Серце гостро реагує на всі запотребування організму (не тільки фізіологічні, але й емоційні), змінюючи належним чином свій ритм. Тому віддавна його використовували як індикатор стану всього організму. Як колись пульс, так і тепер кардіограми різних видів (електро-, балісто- тощо) дають відомості про кардіоритм. Кардіограми є засобами зображення коливань відповідних фізичних величин, зареєстрованих у певних характерних точках відведень (наприклад, потенціалів), що їх визначають узаконені методики. Ці коливання в силу механізму породження й формування їх мають саме

ритмічний характер. А багатьма працями підтверджено адекватність та ефективність моделі стохастичного коливання, яка поєднує у конструктивний спосіб у своїй структурі як повторність (періодичність, спричиненою роботою серця), так і у випадковість (спричинену впливами зовнішніх та внутрішніх факторів). Сенс такого “розділення змінних” докладно описано у праці [13].

У межах енергетичної теорії стохастичних сигналів такі засоби врахування, як пов’язаності гармонічних складових, так і зміни ймовірнісних характеристик у часі, має модель у вигляді періодично корельованого випадкового процесу (ПКВП), кореляційна функція якого задовольняє умову  $R_x(t+T, s+T) = R_x(t, s)$ ,  $T > 0$  для всіх  $t, s \in \mathbf{R}$ , і який має зображення через стаціонарні компоненти  $x_k(t), k \in \mathbf{Z}$  – стаціонарні і стаціонарно пов’язані процеси:

$$x(t) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} x_k(t) e^{i\Lambda k t}, \quad (1)$$

Де  $e^{i\Lambda k t}$  – модуляційна періодична складова кардісигналу,  $\Lambda = \frac{2p}{T}$  – базова частота, а  $T$  – період

корельованості кардісигналу;  $x_k(t) = m_k + \overset{\circ}{x}_k(t)$  – стохастична складова кожної  $k$ -тої стаціонарної компоненти кардісигналу,  $m_k$  – її матсподівання, а  $\overset{\circ}{x}_k(t)$  – відхилення від нього (флюктуація).

Зображення (1) адекватне та ефективне при моделюванні кардісигналу у вигляді ПКВП, що обґрунтовує застосовність до нього синфазного методу опрацювання для обчислення статистичних оцінок його ймовірнісних характеристик, які є показниками стану організму людини.

Синфазний метод ґрунтується на тому, що відліки значень ЕКС через період корельованості при різному виборі початку відліку (початкової фази)  $t_0 \in [0, T)$  утворюють стаціонарну ергодичну векторну випадкову послідовність  $\{x_k(t_0), k \in \mathbf{Z}\}$ , де  $x_k(t_0) = \{x(t_0 + kT), t_0 \in [0, T)\}$ . На основі цього методу характеристики кардісигналу (коваріаційні компоненти  $\hat{b}_x(t, u)$ ), які дають змогу оцінити часову мінливість сигналу, обчислено за виразом:  $\hat{b}_x(t, u) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \overset{\circ}{x}(t+u+kT) \overset{\circ}{x}(t+kT)$ .

Оскільки характеристики кардісигналу є періодичними функціями від часу, тому подані за допомогою розкладів типу рядів Фур’є:  $\hat{b}_x(t, u) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} \hat{B}_k(u) \exp\left(ik \frac{2p}{T} t\right)$ , де  $\hat{B}_k(u)$  – оцінки спектральних компонент, які кількісно характеризують фазово-часову структуру електрокардісигналу  $\hat{B}_k(u) = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{b}_x(t, u) \exp\left(-ik \frac{2p}{T} t\right) dt$ ,  $k \in \mathbf{Z}$ .

Використовуючи алгебру алгоритмів В.К. Овсяка [14], яка на відміну від вербального та блок-схемного описів, забезпечує точний опис та мінімізацію за кількістю дій (унітермів), розроблено формулу алгоритму синфазного опрацювання кардісигналу.

Розроблений алгоритм комп’ютерного опрацювання кардісигналу синфазним методом (рис.1) дає змогу розробити програмне забезпечення для оцінювання його характеристик на основі математичної моделі у вигляді ПКВП із дискретним часом з метою виявлення моменту прояву змін у функціонуванні серцево-судинної системи.

Для обґрунтування математичної моделі та статистичного методу її опрацювання використано кардіосигнал із змінним періодом (ритмом), який спровоковано подразником у вигляді функціональної проби Руф’є. Ця методика є загальноприйнятою для дослідження серцево-судинної системи у функціональній діагностиці. Зареєстрований кардіосигнал під час фізичного навантаження зображено на рис. 2.

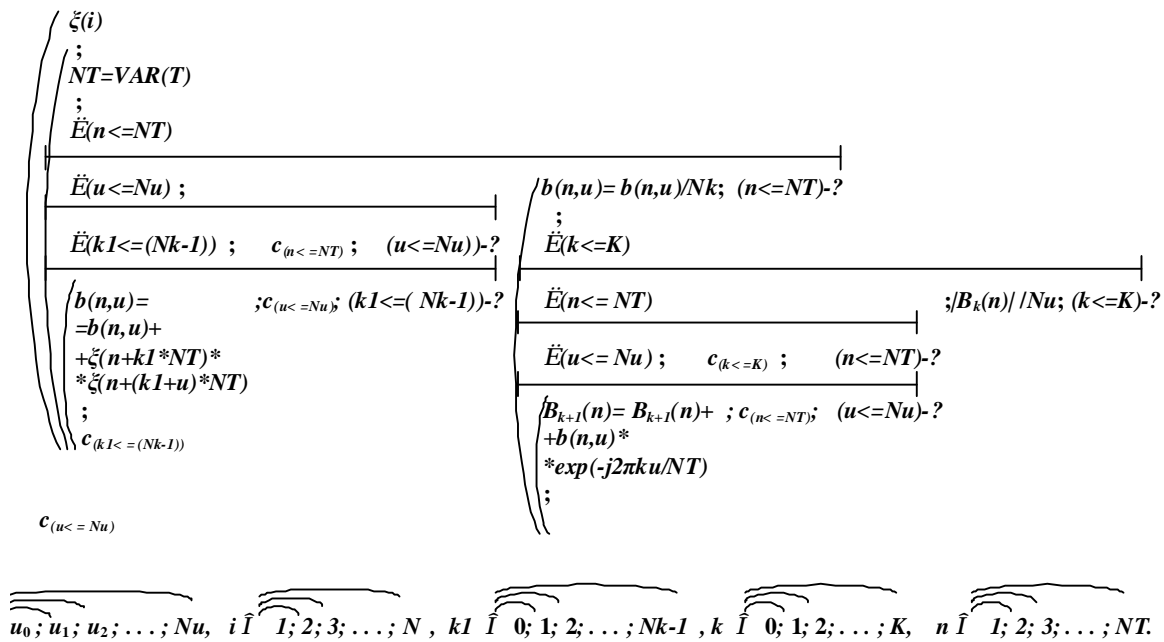


Рис. 1. Формула алгоритму опрацювання кардіосигналу синфазним методом:  $\xi(i)$  – кардіосигнал,  $NT$  – період,  $b(n,u)$  – кореляційні компоненти,  $B_k(n)$  – спектральні компоненти,  $K$  – кількість спектральних компонент,  $Nu$  – максимальна довжина дискретного зсуву,  $Nk$  – кількість кореляційних компонент.

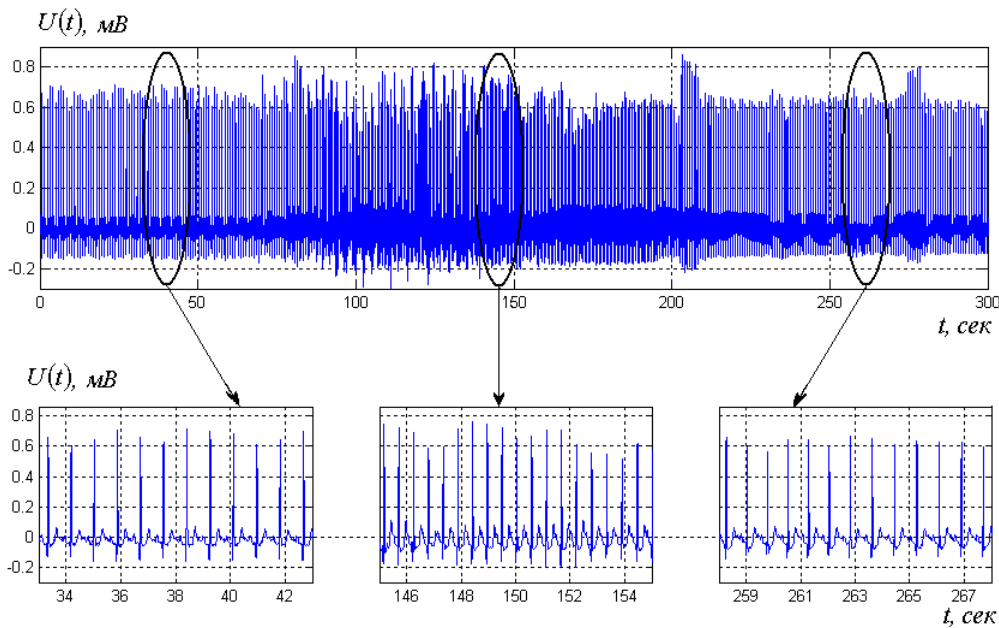


Рис. 2. Зареєстрований електрокардіосигнал під час виконання функціональної проби Руф'є

Отже, на основі обґрунтованої математичної моделі кардіосигналу та розробленої формули алгоритму синфазного методу опрацьовано вибірки із реалізації кардіосигналу, які наведено на рис. 3.

Оцінку математичного сподівання реалізацій спектральних компонент  $\hat{B}_k(u)$  визначено за виразом:  $M_u \{ \hat{B}_k(u) \} = \frac{1}{N_u} \sum_{u=1}^{N_u} \hat{B}_k(u)$ ,  $u = \overline{1, N_u}$ ,  $k = \overline{1, N_k}$ , де  $k$  – номер спектральної компоненти кардіосигналу,  $u$  – зсув,  $N_u$  – кількість зсувів,  $N_k$  – кількість компонент.

Реалізації оцінок математичного сподівання від спектральних компонент кардіосигналу зображено на рис. 4.

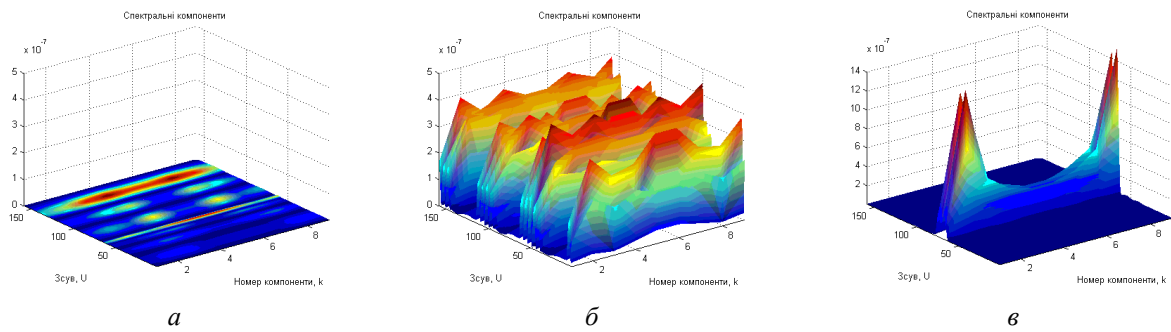


Рис. 3. Реалізації спектральних компонент кардіосигналу, обчислених синфазним методом: а – стан спокою; б – стан фізичного навантаження; в – стан у відновлювальному періоді

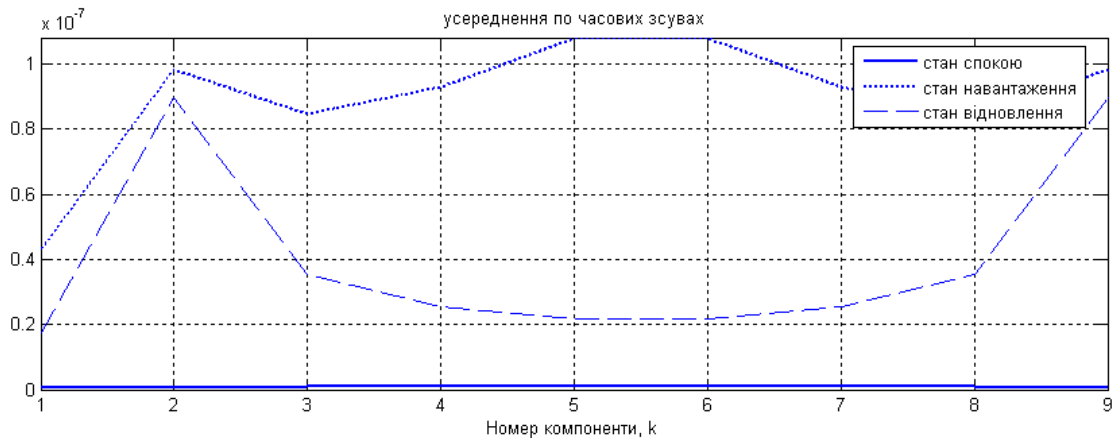


Рис. 4. Оцінки математичного сподівання спектральних компонент електрокардіосигналу

Шляхом візуального порівняння (рис. 4) з'ясовано, що оцінки математичного сподівання від спектральних компонент електрокардіосигналу зосереджені на одних і тих самих частотах, проте їх амплітудні значення різняться між собою, що свідчить про чітку зміну в функціонуванні ССС системи, а саме: стан спокою, стан навантаження та стан відновлення ССС під час виконання ФП Руф'є.

Тому кардіосигнал слід трактувати як ефективний індикатор стану не тільки серцево-судинної системи, але й усього організму як цілості. А тоді статистичні оцінки ймовірнісних характеристик кардіосигналу, обчислені за коректно математично обґрунтованими статистиками, зокрема обчислені синфазним методом, можуть слугувати показниками стану організму, точніше, його адаптаційних можливостей, які забезпечують пристосовницьку здатність як всього організму, так і його окремих підсистем: і до змін у довкіллі, що їх описує енвіроніка, і до внутрішніх його ендогенних ритмів. Змогу опису можливих впливів на оцінення стану відкриває врахування значної різномасштабності ритмів: повільність зміни характеристик довкілля за рахунок інерційності процесів порівняно з кардіоритмом, як це описано у праці [15].

Із вказаної ролі м'язів при формуванні потоку крові у серцево-судинній системі впливає ефективність функційних проб (фізичних навантажень) при дослідженні стану організму та його адаптивності до змін. Перехід цієї системи в інший стан доцільно трактувати як "розладку" ймовірнісного режиму, а тому для виявлення її епохи (положення) використати так званий метод узгодженого фільтру – взаємну кореляцію ритмограм – до і після проби (інакше: метод ковзного вікна).

А тлумачити сенс цієї розладки тоді природно як перелаштування на інший пристосовний ритм згідно з принципом Слуцького: коливна система може тільки коливатись за притаманним їй тим самим законом, хоч з відмінними від попередніх характеристиками, а установлення їх (перехідні процеси – технічною мовою) при цьому до розгляду не входять.

## Висновок

На всі процеси в Сонячній системі і біосфері Землі істотно впливають процеси на Сонці і рухи Землі – обертання навколо своєї осі та кружляння довкола Сонця. Живі організми по-різному адаптуються до зумовленої цими факторами мінливості їхнього життєвого середовища, виробивши, поряд з належними реакціями на екзогенні впливи, і свою ендегенну ієрархію часових ритмів.

Серцево-судинна система як автономна внутрішня транспортна мережа забезпечення життєдіяльності усього організму й направлення різного роду розладів (пошкоджень) чутливо реагує на зумовлені ними порушення гомеостазу. Оскільки мотором її є серце з помічною йому співдією кровоносних судин (зокрема вен) великих м'язів (особливо м'язів ніг), то це є підставою того, що зміни характеристик кардіоритму цілком оправдано взяти за сигнали про потенційну адаптивність цієї системи і здатність її забезпечити нормальну життєдіяльність організму за різних, зокрема й екстремальних умов у його довкіллі. Тоді для визначення показника цієї адаптивності закономірно застосовна вся теорія і статистика моделі ритміки у вигляді періодично корельованого та споріднених із ним випадкових процесів і нові критерії, що випливають із цього факту, коли застосувати їх до результатів функціональних проб. А для тлумачення вислідів їх доконче має бути врахована ієрархія ритмів, принаймні сезонно-добова для обґрунтування методів мікрохронометрії щодо піддатних мірянню й опрацюванню кардіосигналів для отримання числових показників фізіологічних ознак ритму

1. Губко О. Психологія українського народу. Кн.1. Психологічний склад праукраїнської народності / О. Губко. – К.: Видавець С. Наливайко, 2010. – 504 с. 2. Чмихов М. Від яйця-райця до ідеї Спасителя / М. Чмихов. – К.: Либідь, 2001. – 432 с. 3. Стікс Г. Дійсний час. Темп життя невпинно зростає, але повне розуміння часових понять нам ще недоступне / Г.Стікс // Світ науки (Scientific american), 2003, №3-4 (19-20). – С.18–20. 4. Климишин І.А. Календар природи і людини / І.А.Климишин. – Львів: Вища школа / Вид-во при Льв. держ. ун-ті ім. І.Франка, 1983. – 176с. 5. Zajdler L. Dzieje zegara / L.Zajdler. – Warszawa: Wiedza powszechna, 1980. – 392s. 6. Время и современная физика. / ред.. Д.А.Франк-Каменецкий. – М.: Мир, 1970. – 152с. 7. Баевский Р.М. Временная организация функций и адаптационно-приспособительная деятельность организма / Р.Баевский // Теоретические и прикладные аспекты анализа временной организации биосистем. – М.: Наука, 1976. – С. 88–111. 8. Харабуга С.Г. Суточный ритм и работоспособность. / С.Г.Харабуга // Люди, пространство и время. – М.: Знание, 1976. – С.50–59. 9. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь / А.Л.Чижевский. – М.: Мысль, 1973. — 350 с. 10. Информационные связи биогелиогеофизических явлений и элементы их прогноза. / К.С. Войчишин, Я.П. Драган, В.И. Куксенко, В.Н. Михайловский. – К.: Наук. думка, 1974. – 208 с. 11. Драган Я.П. Ритмика морского волнения и подводные акустические сигналы / Я.П. Драган, И.Н. Яворский. – К.: Наукова думка, 1982. – 246 с. 12. Драган Я.П. Поліперіодично корельовані випадкові процеси як адекватні моделі кратної ритміки природних явищ і технологічних процесів / Я. Драган, П. Євтух, Л. Сікора, Б. Яворський // Комп'ютерні технології друкарства. – 2000. – №1. – С.69–90. 13. Драган Я.П. Статистичне оцінювання станів стохастичної коливної системи: індикативність її сигнальної моделі та кондиційність стохастичних даних // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2011. – №694. – С.418–424. 14. Овсяк В. Синтез і дослідження алгоритмів комп'ютерних систем / В. Овсяк, В. Бритковський, О. Овсяк, Ю. Овсяк. – Львів: УАД, 2004. – 276 с. 15. Драган Я.П., Дедів Л.Є. Системний аналіз двоперіодної ритміки й обґрунтування моделі та статистичного опрацювання в разі різномасштабності періодів / Ярослав Драган, Леонід Дедів // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, “Комп'ютерні науки та інформаційні технології”. – 2011. – №694. – С.250–254.