

МЕЖА БРЕМЕРМАНА, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ І ОНТОЛОГІЯ СКЛАДНОСТІ МОДЕЛЕЙ СОЦІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

© Драган Я., 2010

Наведено результати системного аналізу моделей соціотехнічних систем, зокрема їхніх стохастичних коливань (ритміки) у вигляді періодично корельованих випадкових процесів, та засобів математичного і програмного забезпечення теоретичного і статистичного аналізу обґрунтованих енергетичною теорією стохастичних сигналів, яка ґрунтується на методах сучасного функціонального аналізу та інноваційних технології стосовно розглядуваних систем.

There are presented the results of system analysis for social and technical systems in particular for their stochastic vibration (rhythmics) models in the form of periodically correlated random processes and also theoretical and practical means for study of this problem, i.e. mathematical and software support grounding in the frame of energy theory of stochastic signals which is an innovation technique under studying of systems in question.

Вступ

Нашу добу окреслюють часто як другу науково-технічну революцію: перша замінила (а фактично істотно полегшила) фізичну працю людини, а друга – розумову. Провідна роль тут належить (замість колишньої енергетики) автоматичі, кібернетиці, теорії систем [1], інформатиці – науці про опрацювання даних (відомостей) переважно за допомогою автоматичних засобів. Європа прийняла таку назву, а у США вживають термін computer science (наука обчислень) [2], у нас же чомусь (хіба що мавпуючи росіян) запанував термін комп’ютерні науки (хоч невідомо, що це за науки, бо якщо не інформатика, то чи не краще було б казати, комп’ютика як механіка, акустика, гідравліка і т.д., а гіршим є комп’ютинг, що означає вміння користуватись комп’ютером the skill of using computers [3]). Зауважимо, що так звані комп’ютерні науки трансформуються у програмну інженерію, яку трактують як одну з форм комп’ютингу [4].

Ці наукові дисципліни названі з претензією на всеохопність, універсальність. Тут спадає на гадку афоризм одного знайомого про універсальний костюм, що ніби придатний для всіх часів і всіх народів та за всякої нагоди. А життєвий досвід показує, що він не годиться власне за ніякої нагоди і що це, крім знаних суспільно-історичних, як наднаука штибу марксо-ленінського вчення, є ще одним із прикладів утопії, а словник іншомовних слів [5] каже: утопія – це мрія, вигадка, химера. Щоб переконатись у цьому, достатньо заглянути у той самий словник, де сказано, що «інформатика – це наука, що вивчає будову й загальні властивості наукової інформації, а також закономірності її створення, перетворення, передавання й використання в різних галузях діяльності людини».

На такий самий фактично універсалізм претендує загалом цікава книжка Дж. Кліра [1], у якій розглянуто методи розв’язання певних класів задач у контексті так званого універсального розв’язувача системних задач. Але тут уже загострюється увага на понятті складності, яка має різні форми залежно від типу системи й задачі, тому тут складність – це по суті складність моделі системи. Вона за Кліром є настільки фундаментальним поняттям науки про системи, наскільки таким є поняття енергії у природничих науках. І тепер пробиває собі дорогу теза, що й програмна інженерія має бути зорієнтована на розв’язання проблем у конкретній предметній області,

ґрунтуючись на принципах пошуку потрібних відомостей, строгого математичного й теоретичного обґрунтування [4].

Формулювання задачі

Соціотехнічні проблеми, крім можливості виявлення й дослідження сподіваної закономірності, мають враховувати істотну стохастичність, яка описується ймовірнісною «компонентою» адекватної ситуації моделі. Аналіз складних стохастичних об'єктів (систем, явищ, процесів) спершу розвивався на підставі теорії стаціонарних випадкових процесів та інваріантних систем. Ця концепція мотивувалась фактом кінченості статистичної, а отже, й ймовірнісної однорідності даних для обґрунтованої застосовності методів (і засобів) статистичного опрацювання.

При практичному проведенні статистичного аналізу обчислюють за теоретично обґрунтованими засобами теорії ймовірностей формулами (які у статистичному аналізі називають ще статистиками) на підставі таблиць (інакше масивів даних) статистичні оцінки ймовірнісних характеристик моделі явища, процесу, яку покладають в основу обґрунтування вигляду (і властивостей) цих статистик.

Ця модель є відповідним об'єктом теорії ймовірностей, бо, як завжди, математична модель має бути належно коректно означеним у відповідній галузі математики математичним об'єктом, щоб до нього були застосовні всі правила дій цієї галузі, бо це автоматизує логіку, тобто гарантує, що з істинних тверджень як наслідок застосування цих дій отримуються істинні твердження.

Модель як математичний образ (вже наявного чи проєктованого, планованого об'єкта) має відображати у своїй структурі суттєві (визначальні) для розв'язання конкретної задачі чи, частіше, певного класу задач, властивості об'єкта. Модель має бути адаптивною, тобто допускати зміну як при зміні об'єкта дослідження, так і при зміні задач щодо нього.

Оцінки, як і дані, на підставі яких їх розраховують, є числовими, тому тут постають вимоги до точності даних та оцінок, обсягу розрахунків, а також в силу факту стохастичності, до якості статистичного матеріалу, до забезпечення його однорідності та якості оцінок, для досягнення якої обсяг цього матеріалу є достатнім.

Ці питання пов'язані зі складністю об'єкту, опису його і засобів опрацювання – наявних і потрібних.

Проблема складності і простоти й антологія моделювання

Під час аналізу складних систем фігурує поняття складності. Воно, за словами Дж. Кліра [1], є багатограним, і форма вираження його залежать передовсім від типу системи та від розв'язуваної задачі і по суті є фундаментальним у науці про системи – системології – подібно, як поняття енергії в природничих науках. Загалом ступінь складності пов'язаний з кількістю розрізняваних частин і мірою взаємопов'язання їх. Крім того, поняття складності має суб'єктивну зумовленість, оскільки пов'язане зі здатністю зрозуміння розглядуваного об'єкта чи використання його. А звідси вже – те, що складне для одного, може виявитись простим для іншого. У цьому сенсі складність не є невід'ємною (притаманною) властивістю досліджуваного об'єкта, а радше видається наслідком способу, що визначає, як дослідник взаємодіє з ним. Тобто, фактично йдеться тут не стільки про складність об'єктів, а про складність систем, означених на цих об'єктах, – їхніх моделей, що є наслідком взаємодії об'єктів і задач щодо них. Часто під складністю розуміють кількість відомостей, кінчену для опису реальної системи (а фактично – її моделі).

Системи з організованою складністю аналізують детермінованими н'ютоновими критеріями, а для доволі складних неорганізованих справедливі статистичні оцінки. Особлива ситуація, коли ця складність недостатня для отримання якісних статистичних оцінок, і навіть якщо вдається знайти розв'язок задачі засобами комп'ютики, то його слід врешті-решт спростити настільки, щоб людина змогла скористуватись цим розв'язком. Спрощення вважають добрим, коли мінімізується втрата потрібних відомостей. Ще одним зі способів спрощення опису складних систем є припущення неточності в описі даних. Вона може бути як статистичною, так і описуваною фазі – засобами теорії нечітких множин Л. Заде.

Сказане цілком узгоджується з відомою тезою нашого філософа Г. Сковороди, яку тут сформулюймо як афоризм Сковороди: дякуймо Богові, що створив світ таким, що в ньому все потрібне – просте, а все складне – непотрібне [6]. Зрозуміло, що у збірці [7] місця для нього не знайшлося (пор. наведений там афоризм 8 і коментар).

Складність систем і задач визначає потрібну складність обчислювальних засобів дослідження їх. Наведімо підхід до аналізу цієї проблеми за Дж. Кліром [1]. Зрозуміло, що для опрацювання дані мають бути фізично закодовані. Якщо для закодування маємо енергію E , і енергетичні рівні визначаються з точністю до ΔE , тоді інтервал $[0, E]$ можна розділити щонайменше на $N = E / \Delta E$ однакових підінтервалів, кожному з яких відповідатиме енергія ΔE . Якщо ж ще завжди буде зайнято не більше одного рівня, то за допомогою енергії E (з урахуванням ще нульового рівня) можна виразити $\log_2(N+1)$ бітів. Якщо ж використати не один, а водночас $K \in [2, N]$ маркерів (міток), то можна виразити $K \log_2(1 + N/K)$ бітів. Оптимальним буде використання енергії при застосуванні N маркерів і в цьому разі можна виразити N бітів даних. Для запису більшого обсягу даних слід зменшити ΔE . Максимальну точність визначає принцип Гайзенберга: енергію ΔE можна виміряти за час Δt , якщо тільки $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$, де h – стала Планка, то $N \leq E \cdot \Delta t / h$.

Коли ж тепер виразити енергію відповідною кількістю маси згідно з формулою Гевісайда–Айнштейна $E = mc^2$, де c – швидкість світла у вакуумі, то для найоптимістичнішої межі числа N отримуємо, що $N = mc^2 \Delta t / h = 1.36 \cdot m \Delta t \cdot 10^{47}$. А тоді для маси $m = 1$ г та часу $\Delta t = 1$ с буде $N = 1.36 \cdot 10^{47}$.

Це межа опрацювання даних грамом маси за секунду процесорного часу. Застосувавши цю межу для оцінення продуктивності гіпотетичної комп'ютерної системи з масою порядку маси Землі $6 \cdot 10^{27}$ г за час порядку віку Землі 10^{10} р., а рік має порядку $3 \cdot 14 \cdot 10^7$ с, Г. Бремерман знайшов як продуктивність такого комп'ютера величину порядку $2.56 \cdot 10^{97}$ або, після заокруглення до степеня числа 10, порядку 10^{97} бітів. Це число зазвичай називають межею Бремермана, а задачі, що вимагають більше бітів, називають трансобчислювальними. Ця межа хоч отримана за слабких допущень, є доволі строгим обмеженням. Насправді для розв'язання багатьох задач потрібно більшого обсягу даних.

Межа Бремермана дає надто просте розбиття за складністю, тому реальних практичних обчислювальних обмежень не відображає! Але все-таки, на думку Р. Ешбі – автора закону про кінчену розмаїтість, є корисною віхою для попереднього оцінення ситуацій. Ешбі отримав значення 10^{80} із межі Бремермана, коли замість 1 г маси, 1 с часу розглянув «століття і тонни комп'ютерів», а саме 10 тис. століть, тобто 10^{15} с, проте в даному разі різниця між 10^{93} та 10^{80} не істотна.

За Ешбі, розум науки не зможе використати більше ніж 10^{80} бітів даних, а наука може намагатись досягти цієї межі. Але принципово вже сучасні комп'ютери мають майже таку швидкість, якої вони взагалі коли-небудь зможуть досягти. Люди, такі, як вони є – результат природного добру, тому цей процес можна оцінити інформаційною мірою і що межі 10^{80} наука не досягне, а буде тільки прямувати до неї. Це наш інформаційний світ, а все поза цією межею – не пізнанне.

Конкретні обчислювальні засоби задають строгіші обмеження на складність потенційно розв'язних за допомогою них задач.

При опрацюванні даних про складні системи давно виявлено, що в них маємо справу з переплетенням дискретних (інакше – цифрових) механізмів з неперервними (континуальними), з одного боку, а також детермінованого й імовірнісного принципів дії – з іншого. Тому постає питання, які ж обсяги даних можуть уже створити якісну своєрідність складності явищ? На потреби достатньої розмаїтості наголошував англійський кібернетик Р. Ешбі. Конкретні оцінки дав у 1961 р. московський професор А. Колмогоров [8], виокремивши числа – малі, середні, великі й надвеликі. Ця класифікація не є розбиттям: не можна сказати, що певне число є середнім, а наступне вже великим. Тут виокремлені категорії теж з точністю до порядку величин. Означення їх ґрунтується на понятті перебору в такий спосіб: 1. Число мале, якщо практично можна перебрати всі схеми із

такої кількості елементів з двома входами й двома виходами чи виписати для них функції алгебри логіки з такою кількістю аргументів; 2. Число середнє, якщо можна перебрати самі тільки ці елементи; 3. Число велике, якщо не в стані перебрати таку кількість елементів, а можна тільки установити систему позначень для них; 4. Число надвелике, якщо й цього зробити не можна.

У доповіді у Московському державному університеті Колмогоров (див.[8,9]) навів приклади, а основну тезу проілюстрував таблицею:

| Числа | Людина | Множина |
|---------|------------|----------------|
| Малі | 3 | 10 |
| Середні | 1000 | 10^{10} |
| Великі | 10^{100} | $10^{10^{10}}$ |

Категорії чисел для людини й машини різні за рахунок більшої надійності й швидкості останньої. Але важливо, що вони близьких порядків та, головне, між числами різних категорій неперехідна межа: числа середні для людини не стають малими для машини, а великі для людини – середніми для машини. Обсяг пам'яті як живої системи, так і машини характеризують середніми числами, а багато задач, розв'язуваних шляхом простого перебору, – великими. І найважливіше, що підкреслює Колмогоров, проблеми, що їх не можна розв'язати без великого перебору, залишаються за межами можливостей машини на як завгодно високому ступені розвитку техніки і культури: тут діалектика не нескінченного, а великого числа.

Поняття складності дає засоби для з'ясування логічного статусу математичного моделювання – онтології, тобто логічної причини як існування, так і ефективності. Дж. Клір [1] наводить слова Г. Саймона – дослідника штучного інтелекту, що людство зобов'язане своїм збереженням і процвітанням «не потужності і швидкості обчислювань, а тому, що цікаві для нього системи є дуже частковими випадками, які піддаються аналізу відносно простими засобами, що дають змогу визначити їхню глибинну структуру. Отже, потрібна стратегія пошуку такої структури, стратегія структурної індукції (ця здатність добре розвинута у тваринному світі) плюс конкретний аналіз і евристичні методи розв'язування задач, а не прямолінійний аналіз дуже загальних класів сильно пов'язаних складних систем».

Підсилюють ці слова міркування фізика Е. Телера щодо моделей на прикладі епізоду з історії музики – 14-річний Моцарт послухав у Римі тільки раз на таємній месі «Мізерарі» Алегрі і зумів пізніше цей твір відтворити цілком не стільки завдяки дивовижній пам'яті, а тому, що ця меса була твором мистецтва і через це «тяжіла до простоти. Суттю мистецтва є структура». І хоч Моцарт міг не запам'ятати у подробицях цей складний твір, але визначив основні моменти і затамив їх, а потім за ними зміг відтворити й деталі. Нелегко виявити ці основні моменти в музиці чи в науці. Для того, щоб їх розглядіти, потрібні праця й досвід. Проте глибинна простота існує, і якщо її віднайти, то можна відкрити нові й потужніші взаємопов'язання. Цю тезу назвімо у стилі фізиків постулатом Телера.

Потім Клір посилається на системолога Дж. Вайнберга, який пропонує науку про системи означити як науку про спрощення, і, описавши знамените спрощення, з успіхом застосовано Ньютоном у механіці, підкреслює: «Геній Ньютона не у винятковій обчислювальній силі його мозку. Навпаки, геніальною є його здатність спрощувати, ідеалізувати і виділяти головне так, щоб світ повною мірою став збагненним і для звичайної людини».

Простота і складність ритміки соціотехнічних систем

Проблема аналізу ритміки розглядається в багатьох джерелах. Коли ж йдеться про стохастичні її моделі, то пригадується опис дискусій 60-х років минулого століття в колишньому Союзі щодо статусу кібернетики – від «буржуазної псевдонауки» і до повного її визнання. У цих

дискусіях важливу роль зіграв виступ Колмогорова «Автомати і життя» [8], який власне був зачинателем цих дискусій [9]. І Колмогоров згадував, що раз один із учасників дискусії, говорячи про медицину, сказав, що «найголовніше в ній – це циклічні процеси, що проходять у людському організмі. А такі процеси якраз описують рівняння, що вивчаються в теорії автоматичного регулювання. Так що вивчати медицину в медичному інституті тепер ніби застаріло – її треба передати у відання технічних вищих шкіл та математичних факультетів». Далі Колмогоров, погоджуючись із тим, що якщо фахівці й зможуть зробити свій внесок у розв'язання певних проблем медицини, але «їм передовсім потрібна колосальна перекваліфікація, бо досвід, нагромаджений медициною – однією з найстаріших наук, величезний, і щоб зробити в ній щось серйозне, слід спершу опанувати його».

Історія підтвердила цілковиту слушність цього зауваження, але водночас видається дивним факт, що Колмогоров не розвинув далі ідеї про циклічність процесів у медицині і не тільки в ній, хоч є у нього публікації як із загальної теорії коливань, так і часткової – теорії турбулентності. Зокрема, пригадаймо тут принагідно, що ще 1947р., оглядаючи розвиток теорій стохастичних коливань, на основі ймовірнісного трактування їх у праці [10] обмежився моделлю їх у вигляді стаціонарного випадкового процесу. Подібна ситуація і в теорії турбулентності: і там знову ж фігурує однорідність як часова стаціонарність і просторова ізотропність. Може, причина цього криється у тиску на нього після коректного ймовірнісного трактування законів Менделя з генетики, проти якої з донкіхотською впертістю «боролись» адепти так званої передової мічурінської біологічної науки, очолювані недоброї слави академіком Т. Лисенком [11].

Зародок теорії стохастичних коливань за адекватною моделлю, у вигляді періодично корельованого (чи майже періодично корельованого) випадкового процесу, з'явився у працях О. Коронкевича – аспіранта В. Гнеденка, що був, своєю чергою, учнем А. Колмогорова аж у 1957 р. [11, 12], хоча ідея бере початок вже з праць фундатора теорії випадкових процесів нашого знаменитого науковця Е. Слуцького з проблем економічних циклів [13], який співпрацював із Колмогоровим після переїзду з Києва до Москви [11, 14].

Концепція Е. Слуцького з урахуванням пізнішого розвитку досліджень з теорії стохастичних коливань і ритміки природних явищ набула явного вираження у працях автора з колегами [15–18]. А завершення і обґрунтування цей напрямок знайшов у створенні автором енергетичної теорії стохастичних сигналів [15]. Зокрема вже пізніше розглянуто такі аспекти проблеми, як кількість і збережність даних у сигналах ритміки [17], інноваційність теорії і розроблення на підставі її статистичних методів аналізу [19], математично-програмного забезпечення комп'ютерного опрацювання [18].

Висновки

Підводячи підсумки, наголосімо за Кліром, що складність та її протилежність – простота є поняттями, пов'язаними з багатьма фундаментальними проблемами філософії математики і техніки, психології, комп'ютики як обчислювальної математики і техніки. При цьому підкреслимо, що системний аналіз має в основі свого трактування пріоритет задачі на протигагу прикладній математиці, що має в основі пріоритет методів, а комп'ютинг – навіть пріоритет засобів. Ці факти практично ілюструє досвід аналізу й опрацювання ритміки складних соціотехнічних процесів.

Згадана вже проблема «складність–простота» має на меті, ґрунтуючись на постулаті Талера (що є по суті спеціалізацією афоризму Сковороди, а разом вони розкривають її онтологію), будувати моделі складних систем, які є доволі частковими прикладами, що піддаються аналізу порівняно простими засобами і розкривають глибинну структуру систем. Тому, вивчаючи досвід стратегій пошуку такої структури, методів спрощення та евристичних методів розв'язання задач, фахівець з теорії систем сподівається досягти того, щоби розвиток людських знань менше залежали від геніяльності дослідника.

Стохастична теорія ритміки власне й ілюструє простоту ідеї поєднання в одному математичному об'єкті – її моделі як повторності, так і випадковості, а пов'язання цієї моделі у

вигляді періодично корельованого та споріднених з ним випадкових процесів з теорією і статистикою стаціонарних розкриває її просту глибинну структуру, яка й забезпечує можливість розроблення ефективних методів і засобів теоретичного й статистичного аналізу ритмічних об'єктів – процесів і систем. Складність методів при цьому оцінюється засобами обчислювальної складності.

1. Клар Дж. Автоматизация решения системных задач. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с. 2. Бауэр Ф.Л., Гооз Г. Информатика: Вводный курс. В 2-х частях; Ч.1. – М.: Мир, 1990. – 336 с., Ч. 2. – 424 с. 3. Oxford Wordpower Dictionary / ed. by S. Wehmeier. – Oxford: Oxford Univ. Press, 1998. – 750p. 4. Рекомендации по преподаванию программной инженерии и информатики. – М.: Инна – уч-к информ. технологий (ИНТУИТ.РУ), 2007. – 462 с. 5. Словник іношомовних слів / За ред. О.С. Мельничука. – К.: Гол. редакція УРЕ, 1974. – 776 с. 6. Ушкалов Л. Скворода та інші. Причинки до історії української літератури. – К.: Факт, 2007. – 552 с. 7. Скворода Г. Байки харківські. Афоризми. – Харків: Прапор, 1972. – 132 с. 8. Колмогоров А.Н. Автоматы и жизнь. – М., 1988, Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова <http://w.w.w.mtonline.ru/message.php?mid=1398>. 9. Успенский В.А. Колмогоров, каким я его помню. <http://w.w.w.mtonline.ru/message.php?mid=1892>. 10. Колмогоров А.Н. Статистическая теория колебаний с непрерывным спектром // Юбилейный сборник АН СССР, ч. 1. – М.: Изд-во АН СССР, 1947. – С.242–252. 11. Я.П.Драган Я.П., Феномен Слуцького і корені системного аналізу проблеми обґрунтування стохастичної моделі ритміки // Комп'ютерні технології друкарства, №14, 2005. – С.89–118. 12. Коронкевич О.І. Лінійні динамічні системи під дією випадкових сил // Наукові записки Львів. держ. ун-ту ім. Ів. Франка. Ч. 44, вт.5, 1957. – С.175–183. 13. Слуцький Є. Визнання. Творча спадщина з погляду сучасності (Славні постаті) / За ред. В.Д. Базилевича. – К.: Знання, 2007. – 919 с. 14. Драган Я., Системний аналіз ідей та наукових здобутків Є.Слуцького як джерело й основи розроблення концепцій і апарату аналізу ритміки складних екобіотехнічних систем // Збірник матеріалів на посаду д.е.к., проф., засл. діяча науки і техніки України Степана Злупка. – Львів: вид. центр НУ ім. Ів. Франка, 2006. – С.583–606. 15. Драган Я.П. Енергетична теорія стохастичних сигналів. – Львів: Центр стратегічних досліджень екобіотехнічних систем, 1997. – 349 с. 16. Драган Я., Євтух П., Сікора Л., Яворський Б. Поліперіодично корельовані випадкові процеси як адекватні моделі сигналів кратної ритміки природних явищ і технологічних процесів // Комп'ютерні технології друкарства. №4, 2000. – С.269–290. 17. Драган Я., Сікора Л., Ткаченко Н., Яворський Б., Системний аналіз повідомлень-таблиць даних і реєстрів сигналів та зображення інформативності їхніх подань при комп'ютерному опрацюванні // Комп'ютерні технології друкарства, №16, 2006. – С.231–244. 18. Драган Я., Математичне й алгоритмічно-програмне забезпечення комп'ютерних засобів статистичного опрацювання коливань (ритмічних процесів) // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка», № 621, 2008. – С.124–130. 19. Драган Я.П., Ткаченко Н.М. Інноваційна концепція дослідження коливань і ритміки соціотехнічних систем на підставі розвитку ідей і наукових здобутків Є. Слуцького та С. Злупка // Проблеми інтеграції науково-освітнього, інтелектуального потенціалу в державотворчому процесі. – Тернопіль: Вид. держ. техн. ун-ту ім. Ів. Пулюя. – 2007. – Вип.5. – С.107–113.