

УДК 519.7

Д. О. Поліщук, О. Д. Поліщук, М. С. Яджак

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Methods to evaluation of complex objects and processes and main areas of its application are considered. Necessity is substantiated and method of the search of unsatisfactorily function elements of complex systems on the base of multi parameters and multi criterion analysis of its behavior is proposed.

Key words: *complex systems, methods of evaluation, parallel computations, supercomputers.*

Розглянуто методи оцінювання складних об'єктів і процесів та основні сфери їхнього застосування. Обґрунтовано необхідність та запропоновано метод пошуку незадовільно функціонуючих елементів складних систем на підставі багатопараметричного та багатокритеріального аналізу їхньої поведінки.

Ключові слова: *складні системи, методи оцінювання, паралельні обчислення, суперкомп'ютери.*

Теорію оцінювання якості складних систем (СС) започаткував 1908 року академік А. М. Крилов [42] розробкою методу вирішення проблеми вибору найкращого проекту лінійного корабля з-поміж 50 поданих. Слід було здійснити узагальнену оцінку кожного з цих проектів відповідно до великої кількості характеристик, які визначали ефективність та надійність окремих систем судна. Для одержання цієї оцінки необхідно було дати відповідь на такі запитання: 1) характеристики яких елементів системи потрібно включити в розгляд для одержання обґрунтованого узагальненого висновку; 2) як оцінити значення кожної з характеристик; 3) як визначити пріоритетність характеристик, які розглядають; 4) який спосіб обрати для узагальнення оцінок заданого набору характеристик? Відповіді на ці запитання дали змогу А. М. Крилову запропонувати метод порівняльної оцінки складних об'єктів, який почали називати методом звідних показників [43]. Зазначені відповіді і досі визначають основні етапи побудови глобальних оцінок, які внаслідок згортки агрегують локальні оцінки характеристик СС [7, 15, 19, 37, 47, 56]. З того часу, особливо з появою можливостей комп'ютерної обробки інформації, загальна кількість і кількість типів СС, які потребують оцінювання, значно збільшилася, зокрема завдяки динамічним системам [3, 37, 41]; класи систем, характеристики яких задаються постійними величинами, розширилися СС, поведінка яких описується функціональними залежностями [53, 55], результатами статистичних досліджень [1, 27, 41], стохастичними процесами [5, 17] тощо. Крім цього, поглибився зміст задач та збільшився спектр параметрів оцінки; як елемент оцінювання додалося прогнозування [8, 13, 32]; розробляються методи нечіткого моделювання та оцінювання систем за неповної інформації чи невизначеності [18, 27, 43]. Розроблено методи, які дають можливість оцінювати різні якісні характеристики: ефективність та надійність складних технічних пристроїв і технологічних процесів [4, 21, 32, 44], цінність та корисність наборів побутових товарів чи послуг [2, 46], переваги проектних [13, 32], організаційних [10] чи управлінських [18, 25, 49] рішень, спрямованість фінансових [12] та соціально-економічних процесів [41], рівень екологічних проблем регіонів [3, 35], розвиток демографічних процесів [29], зміни, пов'язані із розвитком захворювань серед населен-

© Д. О. Поліщук, О. Д. Поліщук, М. С. Яджак, 2010

ня [26, 35] тощо. Зауважимо, що оцінка може стосуватися внутрішнього стану об'єкта [55], впливу на його функціонування зовнішніх чинників [26], впливу об'єкта на довкілля [3] чи комплексного стану об'єкта та його оточення [18, 30]. Зазначимо, що оцінювання є базовим елементом таких дисциплін, як математична теорія надійності [5, 6], кваліметрія [2, 4], теорія корисності [46], теорія індексів [24], теорія прийняття рішень [20, 28] тощо.

У цій роботі здійснено огляд та порівняння методів оцінювання якості функціонування СС, а також розглянуто деякі проблеми застосування таких методів на практиці.

Складні системи та їх глобальне оцінювання. На цей час загальноприйнятого формального визначення СС не існує [22, 48]. Навіть у таких виданнях, як “Математичний енциклопедичний словник” складною називають таку систему, яка не має простого опису [33]. Для конкретизації предмета розгляду вважатимемо, що СС – це об'єкт [14, 23], який утворюють деякі підсистеми, об'єднані в єдине ціле відповідно до певних принципів або зв'язані між собою заданими відношеннями. Кожну таку підсистему можна розкласти на скінченну кількість підсистем нижчого рівня аж до одержання “елементів”, тобто підсистем, які визначаються заданим ступенем інкапсуляції [54]. Останній залежить від мети та глибини дослідження системи. Загалом властивості СС визначаються властивостями елементів, характером взаємодії між ними та множиною функцій, які можна реалізувати внаслідок цієї взаємодії. Системи, стан яких змінюється в часі, називатимемо динамічними.

Самі СС, їх підсистеми та елементи можуть розрізнятися за типом та призначенням, функціонувати за різними законами, відрізнятися структурою, способом опису та глибиною пізнання [11, 34]. Далеко не всі складні динамічні системи (СДС) вкладаються в класичне визначення [33] динамічної системи. Прикладом такої системи є людський організм, який складається з центральної та периферійної нервової, серцево-судинної, опорно-рухової підсистем, підсистем дихання і травлення тощо. Кожна з них складається з підсистем нижчого рівня – органів. Існують математичні моделі функціонування опорно-рухового апарату людини, серцево-судинної підсистеми, підсистеми дихання тощо [9]. Однак поєднати їх у цілісну модель, яка б достатньо адекватно описувала функціонування людського організму з урахуванням взаємодії різних його підсистем наразі – надскладна проблема. Це пов'язано як зі складністю об'єкта дослідження, так і з далеко неповним розумінням усіх законів його функціонування. Тому для практичної оцінки характеристик таких СДС ми змушені користуватися не стільки результатами математичного моделювання окремих процесів, які відбуваються у цих системах, скільки даними експериментальних досліджень.

Якісно складність системи визначається можливістю та часом її пізнання, моделювання, створення, репродукування тощо [23, 51]. Очевидно, що якісна складність значною мірою є поняттям суб'єктивним і відносним. Кількісно складність системи можна визначити числом характеристик, які описують поведінку її елементів; числом міжелементних зв'язків, функцій, які система реалізує загалом, чи композицією функцій, які реалізують окремі її елементи або підсистеми. З інформаційного погляду [48] кількісним виміром складності СДС є структура і обсяг потоків даних, які описують процес її функціонування і можуть надходити неперервно в режимі реального часу. Способи опрацювання цієї інформації, результати якого дають можливість оперативно орієнтуватися у поведінці системи та тенденціях її розвитку, і є предметом розроблення методів оцінювання СДС. Останні зазвичай ґрунтуються на порівнянні досліджуваної системи з іншими еквівалентними системами [36], встановленні ступеня відповідності характеристик її функціонування до заданих вимог [51] або на комбінації цих підходів [53]. Ви-

бір підходу визначається типом та унікальністю системи, метою дослідження, характером інформації про її поведінку тощо. Система може не мати жодних відомих аналогів. Прикладом [45] є будь-який новітній експериментальний технологічний комплекс, якими свого часу були перші моделі ядерних реакторів чи перші атомні електростанції. У таких випадках оцінка не може ґрунтуватися на методах порівняння чи статистичних дослідженнях і потребує розробки спеціальних детерміністичних підходів до оцінювання. Система може бути унікальною, але мати багато “аналогів”, які загалом утворюють клас еквівалентних систем, тобто мають однаковий тип, призначення, структуру, властивості, спосіб опису тощо [36]. Прикладом тут знову ж таки є організм людини. У цьому випадку також застосовуються детерміністичні методи, хоча основою для порівняння, наприклад, з метою визначення “норми” чи типових реакцій поведінки, є статистична інформація [29]. З погляду дослідження таких систем оцінку якості функціонування можна інтерпретувати як діагноз пацієнта. Незадовільна оцінка стану системи передбачає дії з “удосконалення” принаймні окремих її елементів чи підсистем. У разі патології органів людського тіла таке удосконалення означає вибір певного курсу лікування. Послідовне проведення оцінок та прогнозування на їх підставі подальшого стану пацієнта дає змогу визначити успішність цього курсу та за необхідності його скорегувати. Імовірнісні підходи до оцінювання, прогнозування та визначення способів вдосконалення таких систем не є доречними. Основним недоліком детерміністичних методів є великі часові затрати для оцінювання кожної конкретної системи. Наприклад, проведення ретельного медичного огляду кожного громадянина країни практично неможливе.

Загалом СС може складатися з окремих елементів еквівалентних систем, не будучи “простою сумою” великої кількості однотипних компонент, а утворюючи якісно новий об’єкт, який функціонує за власними законами (соціальна група, що формується з великої кількості окремих індивідів; галузь промисловості країни, яка складається з багатьох підприємств) [11, 41]. Хоча у деяких дослідженнях такі СДС навмисне розглядають як просте об’єднання підсистем, наприклад, під час оцінки поширення певних захворювань серед окремих груп населення чи якості серійних технічних пристроїв [6, 29]. У цьому разі природним є використання статистичних [23, 27, 29] чи стохастичних [5, 17] методів, оскільки випадкові внутрішні чи зовнішні чинники або ризики ніяким чином не можна врахувати, використовуючи виключно детерміністичні методи оцінки.

Основним недоліком статистичних чи ймовірнісних оцінок є те, що вони далеко не завжди адекватно ідентифікують стан чи дають надійний прогноз функціонування конкретної СДС. Наприклад, вважалося, що ймовірність можливої аварії на ядерному реакторі є мізерною: одна аварія за 1 млн років. Сумарний час роботи всіх споруджених на цей час таких реакторів менший на кілька порядків. Морські бурові платформи будуються наднадійними (вартість кожної становить понад 2 млрд дол.). Зроблені під час їхнього запуску оцінки ризиків стверджували, що одна аварія можлива не за 1 млн років, як у випадку ядерного реактора, а за 20 млн років. Однак за столітню історію їх експлуатації на 15 платформах сталися серйозні аварії [13, 31]. Опісля такі аварії пояснювались “несприятливим збігом багатьох малоімовірних випадкових обставин”, що в жодному разі не пом’якшувало їхніх наслідків. Основною перевагою статистичних і ймовірнісних оцінок є можливість передусім звертати увагу на потенційно найбільш поширені проблеми, наприклад, захворювання. Статистика зростання певних захворювань серед населення примушує медиків враховувати це під час огляду пацієнтів навіть за відсутності явної симптоматики.

Будь-яка оцінка незалежно від способу одержання дає кількісний вимір наслідків тих процесів, що відбуваються у системі чи поза нею. Вона не визначає

причин цих наслідків, особливо негативних, але сигналізує про них і дає можливість вчасно їх виявити і усунути. Оцінка є основою для прийняття рішення. Вона може однозначно визначатися унаслідок оцінювання, наприклад, в автоматизованих системах управління на виробництві [44] або бути підставою для висновку експерта і зазвичай використовується, коли бракує даних про функціонування системи. Отже, об'єктивна оцінка є лише підставою для прийняття суб'єктивного рішення [20]. Існують підходи [16, 28], в яких процес оцінювання супроводжується і корегується постійним втручанням експерта, що, на нашу думку, далеко не завжди підвищує її достовірність. У таких випадках дуже важливим є спосіб подання результатів оцінювання, які мають бути зрозумілими і давати змогу оперативно приймати відповідне рішення [50].

Зазвичай методи оцінювання спрямовані на одержання глобального висновку [7, 15, 19, 37, 47, 56]. Це, певною мірою, нівелює ознаки як позитивних, так і негативних тенденцій у функціонуванні окремих підсистем чи елементів СДС. Тому реакція на накопичення останніх часто є запізнілою, інколи навіть призводить до критичних наслідків. Тобто формально глобальний висновок може не відповідати реальному стану системи.

Моніторинг поведінки елементів СС. Моніторинг ми розглядаємо як неперервну інтерпретацію даних про функціонування СДС, що надходять у режимі реального часу з метою сигналізації про вихід тих чи інших характеристик за допустимі межі для своєчасного реагування на негативні зміни у поведінці системи, окремих її підсистем чи елементів.

Як зазначали вище, для багатьох реально функціонуючих систем важливим є не лише одержання глобальної оцінки якості, а й відслідковування незадовільно функціонуючих елементів. Це пояснюється цілою низкою причин. Якість деяких систем визначається якістю їх "найслабших" елементів, збій у роботі яких може призвести до виходу з ладу цілої системи. Справді, зупинка серця при задовільно працюючих інших органах тіла людини призводить до катастрофічних наслідків. Незадовільно функціонуючі елементи впливають на поведінку "сусідніх" елементів. Пов'язане з цим накопичення на перший погляд незначних негативних тенденцій у поведінці кількох елементів може призвести до різкого погіршення якості функціонування окремих підсистем чи системи загалом або до їх "несподіваного" збою. Будь-яка реально функціонуюча динамічна система змінюється в часі, що супроводжується процесами поступового накопичення втоми чи "старіння" окремих елементів та підсистем. Ці чинники також слід брати до уваги під час оцінювання. Відслідковування незадовільно функціонуючих елементів на рівні проектних, організаційних і управлінських рішень дає можливість провести їх корекцію до моменту практичної реалізації. Не менш важливим є встановлення чинників, які позитивно впливають на функціонування елементів системи. Репродукування цих чинників для інших однотипних елементів призводить до суттєвого покращення якості системи загалом.

Моніторинг реальних процесів чи функціонуючих об'єктів зазвичай потребує детермінованих оцінок. Припустимо, що для цього виділено N елементів системи. Нехай n -й елемент реалізує L_n функцій і його поведінка під час реалізації l_n -ї функції описується характеристиками $A_{n,l_n,m_{n,l}}(t)$, де $m_{n,l} = \overline{1, M_{n,l}}$, $t \in [0, T]$. Кожна з цих характеристик є результатом експериментальних досліджень чи математичного моделювання, а T – це час тестових досліджень. Для аналізу $A_{n,l_n,m_{n,l}}(t)$, $t \in [0, T]$ використовуємо $K_{n,l}^m$ критеріїв. Поведінку цієї характеристики за $k_{n,l}^m$ -м критерієм оцінюватимемо за допомогою $P_{n,l}^{m,k}$ параметрів:

$$h_{n,l}^{m,k,p} = \left\| \alpha_{n,l}^{m,k} \right\|_{H_p[0,T]}, \quad p = 1, \overline{P_{n,l}^{m,k}},$$

де $\alpha_{n,l}^{m,k}(t) = \rho(A_{n,l_n,m_{n,l}}(t), \Omega_{n,l_n,m_{n,l},k_{n,l}^m}(t))$ – це відстань між $A_{n,l_n,m_{n,l}}(t)$ і її областю допустимих значень $\Omega_{n,l_n,m_{n,l},k_{n,l}^m}(t)$ за $k_{n,l}^m$ -м критерієм у момент часу t , при цьому $t \in [0, T]$; $H_p[0, T]$ – лінійка функціональних просторів, наприклад, $C_{p-1}[0, T]$, $W_2^{p-1}[0, T]$ ($p = 1, \overline{P_{n,l}^{m,k}}$) або їх комбінація. Значення параметрів у рівномірній метриці дають змогу відслідковувати окремі піки чи збурення у поведінці заданої характеристики чи її похідних, а у середньоквадратичній – визначити усереднене значення їх виходу за межі допустимої області чи відхилення від вибраного еталону.

Розглянемо локальне оцінювання за параметром $h_{n,l}^{m,k,p}$. Позначимо через $h_{n,l,\min}^{m,k,p}$ ($h_{n,l,\max}^{m,k,p}$) мінімальне (максимальне) відоме значення цього параметра. Якщо прийнята [52] неперервна шкала оцінок, то значення локальної оцінки визначається тим, як співвідноситься значення функціоналу $h_{n,l}^{m,k,p}$ до відомих його граничних значень. У разі прийняття дискретної шкали оцінок кожному дійсному значенню функціоналу $h_{n,l}^{m,k,p}$ в межах $[h_{n,l,\min}^{m,k,p}, h_{n,l,\max}^{m,k,p}]$ ставиться у відповідність ціле число. Наприклад, ми можемо співставити значенню $h_{n,l}^{m,k,p} < h_{n,l,\min}^{m,k,p} + \delta_1 \times (h_{n,l,\max}^{m,k,p} - h_{n,l,\min}^{m,k,p})$ число 3, значенню $h_{n,l}^{m,k,p} > h_{n,l,\max}^{m,k,p} - \delta_2 (h_{n,l,\max}^{m,k,p} - h_{n,l,\min}^{m,k,p})$ – число 1, а решті значень $h_{n,l}^{m,k,p}$ – число 2 [37], де $\delta_1, \delta_2 \in [0, 1]$, $\delta_1 + \delta_2 < 1$. Якщо ж кількість градацій цілочисельної шкали є невеликою (2–5), їх значенням можна співставити [16, 37] понятійну шкалу оцінок, за якої кожному значенню дискретної шкали відповідає у порядку зростання висновок “незадовільно”, “задовільно”, “добре” тощо. Очевидно, що за послідовного переходу від неперервної до понятійної шкал зміст оцінок стає менш чітким. Зазначимо, що понятійна шкала, як і дискретна з малою кількістю градацій, є практично неприйнятною для відслідковування незначних змін у поведінці елементів СС чи прогнозування їхньої поведінки, але є зручнішою і доступнішою для сприйняття за одноразових чи регулярних, але нечастих оцінювань системи.

Загалом кількість числових параметрів локальної оцінки n -го елемента визначається числом $S_n = \sum_{l=1}^{L_n} \sum_{m=1}^{M_{n,l}} \sum_{k=1}^{K_{n,l}^m} P_{n,l}^{m,k}$, а обраних для моніторингу елементів системи – числом $S = \sum_{n=1}^N S_n$. Візьмемо за приклад функціонування СДС рух опорно-рухового апарату (ОРА) людини під час ходи [53]. У разі моніторингу поведінки трьох пар суглобів ОРА (тазо-стегнових, колінних та гомілково-ступневих) під час реалізації ними 18 функцій (хода в повільному, нормальному та швидкому темпах по горизонтальній та похилих (вгору і вниз) поверхнях з навантаженням і без), кожна з яких описується трьома характеристиками (кінематичними, динамічними та енергетичними), у процесі оцінювання за чотирма критеріями (відхилення від відомих областей ходи людини в нормі [55], рівень асиметрії руху, відхилення від найкращого досягнутого результату, рівень стабільності руху [36]) та двома параметрами (у рівномірній та середньоквадратичній метриках) загальна кількість локальних оцінок $S=2592$. Очевидно, що безпосередній аналіз такої сукупності числових параметрів є складною проблемою. Для її вирі-

шення на підставі набору локальних оцінок будується послідовність зважених усереднених оцінок різного ступеня загальності [37] аж до остаточного висновку про якість функціонування елементів досліджуваної системи. Така побудова здійснюється для кожного елемента і передбачає такі рівні узагальнення:

1) для окремого критерію за сукупністю параметрів оцінки обраної характеристики функціонування елемента системи під час реалізації ним заданої функції; це дає можливість визначити критерії, за якими оцінюваний елемент функціонує незадовільно;

2) для обраної характеристики за сукупністю критеріїв оцінки під час виконання заданої функції; у цьому разі є можливість визначити характеристики, відносно яких оцінюваний елемент функціонує незадовільно;

3) для заданої функції, яку виконує елемент системи, за сукупністю характеристик, що дає можливість визначити функції, які оцінюваний елемент реалізує незадовільно;

4) для заданого елемента за сукупністю функцій, які він реалізує; у цьому разі є можливість визначити незадовільно функціонуючі елементи СДС, до того ж удосконалення чи модифікація таких елементів покращує якість функціонування системи загалом.

Очевидно, що обґрунтованість оцінки суттєво залежить від повноти та цілісності як відповідної множини функцій та характеристик елементів системи, так і набору критеріїв та параметрів оцінки, а також адекватності вагових коефіцієнтів, які визначають їх пріоритетність. Велика кількість локальних та узагальнених оцінок також потребує розробки зручних засобів візуалізації результатів оцінювання та дезагрегації глобальних висновків різних рівнів [50, 53].

Новітньою особливістю оцінювання стає [31, 45, 52] прогнозування поведінки СДС, її елементів та підсистем, оскільки встановлення факту їх незадовільного функціонування у певний момент може бути запізним для своєчасної реакції на можливі збої. На підставі кореляційного та регресійного аналізу часового ряду [8], який утворює послідовність одержаних протягом певного інтервалу локальних оцінок $h_{n,l}^{m,k,p}(\tau i)$ ($i = \overline{1, I}$), де τ – період регулярних оцінювань, а τI – поточний момент часу, ми будемо прогнозувати його поведінку на $[\tau I, \tau J]$, де $J > I$, за допомогою функції вигляду

$$h_{n,l}^{m,k,p}(\tau i) = T_i + S_i + \varepsilon_i = \sum_{j=0}^m a_j i^j + \sum_{j=0}^q (b_j \sin(ji) + c_j \cos(ji)) + \varepsilon_i,$$

де T_i – загальна довготермінова тенденція розвитку (тренд); S_i – періодична складова; ε_i – випадкові відхилення; m – задане ціле число; q – коефіцієнт кореляції.

Визначивши за допомогою методу найменших квадратів параметри a_j ($j = \overline{0, m}$);

b_j, c_j ($j = \overline{0, q}$), знаходимо значення локальної оцінки $h_{n,l}^{m,k,p}(\tau i)$ в моменти часу

τi ($i = \overline{I, J}$). Якщо прогнозовані значення $h_{n,l}^{m,k,p}(\tau i)$ ($i = \overline{I, J}$) прямують до $h_{n,l,\min}^{m,k,p}$,

то стан відповідного елемента системи за заданими параметром, критерієм, характеристикою та функцією, яку він реалізує, “покращується”. У разі, коли оцінка залишається незмінною, його стан стабільний. Якщо ж прогнозовані значення оцінок $h_{n,l}^{m,k,p}(\tau i)$ ($i = \overline{I, J}$) прямують до $h_{n,l,\max}^{m,k,p}$, то стан елемента “погіршується” і він потребує додаткових досліджень з метою виявлення причин незадовільних тенденцій під час функціонування та відповідного вдосконалення. Аналогічно здійснюється прогнозування поведінки агрегованих оцінок усіх рівнів

узагальнення. Інтервал прогнозу визначається можливістю вчасно відреагувати на негативні тенденції в системі, щоб запобігти виникненню критичних ситуацій.

Паралельна організація обчислень під час оцінювання СДС. Як зазначали вище, для оцінки якості функціонування СДС необхідно враховувати велику кількість параметрів, що потребує виконання значних обсягів обчислень. Інколи оцінювання однієї або декількох систем потрібно здійснювати в режимі реального часу. Тому нагальною є потреба в розробленні підходів до розпаралелювання процедур оцінювання з метою їх подальшої реалізації на сучасних та перспективних паралельних обчислювальних засобах [57, 59]. Водночас у світі відбувається поступова і незворотна заміна однопроцесорних комп'ютерів (вони практично вже не випускаються) багатоядерними та багатопроцесорними. Тому стає очевидним тотальний перехід від розробки послідовних методів та алгоритмів обчислень до паралельних. І це є вже необхідністю, а не лише досить цікавим та перспективним напрямком наукових досліджень.

У праці [38] запропоновано деякі загальні підходи до розпаралелювання обчислень під час оцінки якості функціонування СС за методикою, детально описаною в [37]. На підставі таких підходів побудовано відповідні алгоритмічні конструкції. В [39] ґрунтовно досліджено можливість реалізації цих конструкцій на універсальних паралельних обчислювальних засобах зі спільною та розподіленою пам'яттю, зокрема кластерах, які є досить поширеними як в Україні, так і в усьому світі [59].

У [40] формулюється та вирішується проблема безпосереднього розпаралелювання процедур локального оцінювання за заданим параметром компоненти характеристики досліджуваної СДС, вказуються шляхи можливої оптимізації обчислень у разі дослідження декількох систем, еквівалентних до систем із деякого заданого класу, а також зазначаються особливості організації обчислювального процесу, пов'язані із вибором параметра локального оцінювання. Розроблені у цій праці алгоритми загалом орієнтовані на реалізацію на обчислювальних засобах зі спільною пам'яттю. Зауважимо, що останнім часом технології розробки таких засобів розвиваються досить активно [57, 58].

Описані в [38–40] підходи та алгоритмічні конструкції можуть бути досить ефективно використані і для організації паралельних обчислень під час оцінювання поведінки окремих елементів СС.

ВИСНОВКИ

Велика кількість публікацій [12, 14, 25, 43, 45, 50], присвячена дослідженню та оцінці якості функціонування СС, свідчить про значний інтерес до цієї проблематики. Зазвичай першочергова увага приділялася розробці методів глобального оцінювання СДС, а проблема неперервного моніторингу поведінки її складових частин та прогнозування тенденцій їхнього функціонування та розвитку залишалася практично непоміченою. В роботі запропоновано метод вирішення цієї проблеми, який був апробований і засвідчив свою високу ефективність на прикладі оцінки якості функціонування низки біодинамічних та біотехнічних систем (рух людини в нормі та на протезі нижньої кінцівки відповідно) [53]. Оглянуто деякі підходи до реалізації алгоритмів оцінювання на сучасних паралельних обчислювальних засобах.

Наведений огляд публікацій з тематики оцінювання якості функціонування СДС дасть можливість більш адекватно та цілеспрямовано застосовувати ті чи інші методи оцінювання для систем із конкретних предметних областей.

1. *Азгальдов Г. Г., Азгальдова Л. А.* Количественная оценка качества. – М.: Статистика, 1971. – 348 с.
2. *Азгальдов Г. Г.* Теория и практика оценки качества товаров. Основы квалиметрии. – М.: Экономика, 1982. – 254 с.

3. *Интегральная оценка экологического состояния и качества среды городских территорий* / А. Ф. Алимов и др. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999. – 198 с.
4. *Андрианов Ю. М., Субетто А. И.* Квалиметрия в приборостроении и машиностроении. – Л.: Знание, 1990. – 156 с.
5. *Барлоу Р., Прошан Ф.* Математическая теория надёжности. – М.: Сов. радио, 1969. – 596 с.
6. *Надёжность технических систем* / Ю. К. Беляев и др. – М.: Наука, 1985. – 568 с.
7. *Богданчук В. З., Егоров Б. М., Катуплев А. Н.* Агрегирование векторных критериев. – Л.: ЛИИАН, 1990. – 214 с.
8. *Бокс Дж., Дженкинс Г.* Анализ временных рядов. – М.: Мир, 1974. – 197 с.
9. *Бранков Г.* Основы биомеханики. – М.: Мир, 1981. – 254 с.
10. *Модели и механизмы управления безопасностью* / В. Н. Бурков и др. – М.: Синтез, 2001. – 160 с.
11. *Бусленко Н. П.* Теория больших систем. – М.: Наука, 1969. – 328 с.
12. *Вишняков И. В.* Экономико-математические модели оценки деятельности коммерческих банков. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999. – 284 с.
13. *Управление риском. Риск, устойчивое развитие, синергетика* / В. А. Владимиров и др. – М.: Наука, 2000. – 312 с.
14. *Волкова В. И., Денисов А. А.* Основы теории систем и системного анализа. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – 510 с.
15. *Воронин А. Н.* Метод многокритериальной оценки и оптимизации иерархических систем // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – **43**, № 3. – С. 84–92.
16. *Воронин А. Н., Колос Л. Н.* Построение СППР для оценки объектов космической деятельности // Докл. XV междунар. конф. по автоматическому управлению АВТОМАТИКА-2008. – Одесса: ОНМА. – 2008. – С. 111–114.
17. *Гардинер К.* Стохастические методы в естественных науках. – М.: Мир, 1986. – 528 с.
18. *Дилигенский Н. В., Дымова Л. Г., Севастьянов П. В.* Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределённости: технология, экономика, экология. – М.: Машиностроение, 2004. – 458 с.
19. *Дубов Ю. А., Травкин С. И., Якимец В. Н.* Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. – М.: Наука, 1986. – 354 с.
20. *Евланов Л. Г.* Теория и практика принятия решений. – М.: Экономика, 1984. – 176 с.
21. *Железнов И. Г., Семёнов Г. П.* Комбинированная оценка характеристик сложных систем. – М.: Машиностроение, 1978. – 56 с.
22. *Общая теория систем* / А. М. Иванов и др. – СПб.: Научная мысль, 2005. – 480 с.
23. *Калашиников В. В.* Сложные системы и методы их анализа. – М.: Знание, 1980. – 211 с.
24. *Кевеш П.* Теория индексов и практика экономического анализа. – М.: Мир, 1990. – 642 с.
25. *Корнеев В. П., Рамеев О. А.* Методы оптимизации: методы решения многокритериальных задач. – М.: ИКСИ, 2007. – 380 с.
26. *Корников В. В., Серёгин И. А., Хованов Н. В.* Комплексная оценка воздействия геопатогенных зон на биологические системы // Вопросы механики и процессов управления. – 2000. – Вып. 18. – С. 113–117.
27. *Корников В. В., Скитович В. П., Хованов Н. В.* Статистические методы анализа эффективности и надёжности сложных систем в условиях дефицита информации // Вопросы механики и процессов управления. – 1986. – Вып. 9. – С. 84–116.
28. *Крислов В. А.* Оценка сложных объектов – основной механизм количественного обоснования при принятии решений // Тр. Одесского политехн. ун-та. – 2002. – Вып. 2 (18). – С. 45–49.
29. *Крутько В. Н., Славин М. Б., Смирнова Т. М.* Математические основания геронтологии: Общая теория здоровья; теория надёжности в живых и неживых системах; современные методы анализа биологического возраста, старения и продолжительности жизни. – М.: URSS.ru, 2002. – 384 с.
30. *Кузнецов О. Л., Кузнецов П. Г., Большаков Б. Е.* Система природа-общество-человек: устойчивое развитие. – М.: ВНИИгеосистем, 2000. – 392 с.
31. *Малинецкий Г. Г., Подлазов А. В.* Парадигма самоорганизованной критичности. Иерархия моделей и пределы предсказуемости // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 1997. – **5**, № 5. – С. 45–54.
32. *Матвеев А. П., Тилевич М. Е.* Методика оценки и прогнозирования технического уровня промышленной продукции // Методология и практика оценки качества продукции. – 1988. – Вып. 2. – С. 38–42.
33. *Математический энциклопедический словарь.* – М.: Сов. энциклопедия, 1988. – 847 с.
34. *Нечипоренко В. И.* Структурный анализ систем. – М.: Сов. радио, 1977. – 286 с.
35. *Пегов С. А., Ростопшин Ю. А.* Моделирование биологических систем в исследованиях процессов экоразвития. – М.: ВНИИ системных исследований, 1982. – 72 с.

36. *Поліщук О. Д.* Про вибір оптимальної динамічної системи з даного класу еквівалентних систем // Відбір і обробка інформації. – 2004. – Вип. 20 (96). – С. 23–28.
37. *Поліщук А. Д.* Оптимизация оценки качества функционирования сложных динамических систем // Проблемы управления и информатики. – 2004. – № 4. – С. 39–44.
38. *Поліщук О., Тютюнник М., Яджак М.* Оцінка якості функціонування складних систем на основі паралельних обчислень // Математичні проблеми механіки неоднорідних структур: В 2 т. – Львів, 2006. – 2. – С. 225–227.
39. *Поліщук О. Д., Тютюнник М. І., Яджак М. С.* Оцінка якості функціонування складних систем на основі паралельної організації обчислень // Відбір і обробка інформації. – 2007. – Вип. 26 (102). – С. 121–126.
40. *Поліщук О. Д., Тютюнник М. І., Яджак М. С.* Паралельна організація обчислень для локального оцінювання якості функціонування складних систем // Сучасні проблеми механіки і математики: Зб. наук. праць. НАН України. ІППИМ ім. Я.С. Підстригача. – Львів, 2008. – С. 40–42.
41. *Полянский С. В., Семенов И. Б., Чижов С. А.* Комплексное оценивание в задачах управления системами социально-экономического типа. – М.: ИПУ РАН, 1996. – 48 с.
42. *Соломенко Н. С.* Академик Алексей Николаевич Крылов – выдающийся математик, механик и кораблестроитель // Вестник АН СССР. – 1988. – № 12. – С. 70–79.
43. *Хованов Н. В.* Оценка сложных экономических объектов и процессов в условиях неопределённости // Вестник СПбГУ. Сер. 5. – 2005. – Вып. 1. – С. 139–143.
44. *Ястребенецкий М. А., Иванова Г. М.* Надёжность автоматизированных систем управления технологическими процессами. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 264 с.
45. *Bar-Yam Y.* About Engineering Complex Systems: Multiscale Analysis and Evolutionary Engineering // Engineering Self-Organising Systems: Methodologies and Applications. – L.: Springer, 2005. – P. 16–31.
46. *Bergman B., Klefsjo B.* Quality: from customer needs to customer satisfaction. – L.: Wiley Press, 1994. – 552 p.
47. *Dombi J.* Basic concepts for a theory of evaluation: the aggregative operator // European Journal of Operational Research. – 1982. – 10, № 3. – P. 282–293.
48. *Hinrichsen D., Pritchard A.J.* Mathematical Systems Theory. – N. Y.: Springer, 2005. – 465 p.
49. *Jackson M. S.* Systems Approaches to Management. – L.: Springer, 2000. – 465 p.
50. *Norros L., Saviola P.* Usability evaluation of complex systems. A literature review. – Helsinki: STUK, 2004. – 44 p.
51. *Owen C. L.* Evaluation of complex systems // Design Studies. – 2007. – 28, № 1. – P. 73–101.
52. *Polishchuk D., Polishchuk O., Yadzhak M.* Solution of some problems of evaluation of the complex systems: I. Methods // Proc. of Automatics-2008: The 15th Int. conf. on automatic control, 23–26 September 2008. – Odesa: ONMA. – P. 968–971.
53. *Polishchuk O., Tyutyunnyk M., Yadzhak M.* Solution of some problems of evaluation of the complex systems: II. Implementation and results // Proc. Of Automatics-2008: The 15th Int. conf. on automatic control, 23–26 September 2008. – Odesa: ONMA. – P. 972–976.
54. *Roy D., Dasgupta T.* Evaluation of reliability of complex systems by means of a discretizing approach // Int. Journ. of Quality & Reliability Management. – 2002. – 19, № 6. – P. 792–801.
55. *Winter D. A.* The biomechanics and motor control of human gait: normal, elderly and pathological. – Canada: Univ. of Waterloo Press, 1991. – 191 p.
56. *Wittmuss A.* Scalarizing multiobjective optimization problems // Mathematical Researches. – 1985. – Vol. 27. – P. 255–258.
57. www.parallel.ru.
58. www.sgi.com/company_info/newsroom/press_releases/2007/july/nasa.html.
59. www.top500.org.