

УДК 004.31, 004.056.55, 003.26

А.Л. БЕРДНІКОВА, Ю.С. МАНЖОС

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського, «ХАІ», Україна

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АНАЛІЗУВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Приведено класифікацію складних систем, що використовує декартовий добуток ортогональних множин властивостей, що є «класифікаційними» множинами складних систем. Розглянуто життєвий цикл аналізування та моделювання складних систем як ітеративну послідовність моделей, що поступово наближуються до реальної системи. Запропоновано функціональну модель інформаційної технології моделювання складних систем, особливістю якої є наявність метаконцептуальної та метаматематичної моделей, використання яких дозволить зменшити ризики побудови некоректних математичних і програмних моделей та підвищити достовірність прогнозу стану складних систем.

Ключові слова: життєвий цикл, концептуальна модель, математична модель, метамодель.

Вступ

Наука визначає, що система (від грецького *systema*) – ціле, складене із частин, з'єднання, тобто сукупність елементів, що становить певну цілісність, єдність, причому кількість елементів, що утворюють систему, та зв'язків між ними не уточнюється. Системами є, наприклад, технічне устаткування, що складається з окремих вузлів і деталей; живий організм, з сукупністю його клітин; колектив людей; виробничий підрозділ; галузь промисловості; країна тощо. Елемент системи – частина системи, що має певне функціональне призначення. Складні елементи системи, що складаються з простіших елементів, називають підсистемами. Існування систем вимагає певної організації – внутрішньої впорядкованості, узгодженості взаємодії елементів, що виявляється, наприклад, у обмеженні різноманітності стану елементів. Властивості складної системи (СС) визначаються сукупністю внутрішніх сталих зв'язків між елементами. Їх принципово неможливо звести до суми властивостей елементів, у той же час є залежність властивостей кожного елемента від його місця та функцій усередині системи.

Дослідження поведінки СС та прогноз їх стану є надзвичайно актуальним, бо це дозволяє не тільки аналізувати поточний стан й прогнозувати його розвиток, але й знизити ризики, пов'язані з неузгодженою взаємодією окремих елементів. Коректний прогноз стану СС неможливий без залучення відповідних сучасних інформаційних технологій (ІТ) та математичних методів.

1. Постановка задач дослідження

Для розробки ІТ дослідження СС перш за все необхідно визначити клас систем, для яких буде

розроблюватися ІТ. Далі, на підставі обраного класу СС необхідно визначити життєвий цикл аналізування (ЖЦА) та моделювання, що дозволить створити модель ІТ аналізування.

2. Класифікація систем

Всю множину систем можливо за допомогою ієрархічної класифікації поділити на абстрактні системи, що є продуктами людського мислення: гіпотези, знання, теореми, закони та матеріальні системи, що є сукупностями матеріальних об'єктів.

У свою чергу матеріальні системи можливо поділити на неорганічні (технічні, хімічні і т.ін.), органічні (біологічні) та змішані (в які складаються з елементів як органічної, так і неорганічної природи).

Особливе місце серед матеріальних систем належить соціальним, основний вид зв'язків в яких визначається суспільними відносинами людей. Важливий підклас соціальних систем – соціально-економічні системи, пов'язані із суспільними відносинами людей у процесі виробництва.

Крім того, за змінністю у часі, розрізняють статичні та динамічні системи. Динамічні, на відміну від статичних систем, еволюціонують та змінюють з часом свій стан. У випадках коли стан елементів, у будь-який момент повністю визначає стан системи у будь-який попередній або наступний момент часу, системи називають детермінованими, інакше ймовірнісними або стохастичними [1]. Таким чином, стохастична, або ймовірнісна система – це система, структура та функції якої є за своєю суттю ймовірнісними. Стохастичні системи дуже поширені, більше того, будь-які реальні системи є стохастичними (ймовірнісними) системами.

За характером взаємодії системи і зовнішнього (наколишнього) середовища розрізняють відкриті

та закриті системи. Закриті системи ізольовані від навколишнього середовища, усі процеси, крім енергетичних, відбуваються лише всередині самої системи. Відкриті, наприклад дисипативні системи [2], активно взаємодіють з навколишнім середовищем, що дає їм змогу розвиватись у бік збільшення своєї складності та підвищення рівня внутрішньої організованості.

Відомо, що СС складається з взаємодіючих складових (підсистем), внаслідок чого СС набуває нових властивостей, які відсутні на підсистемному рівні і не можуть бути зведені до властивостей підсистемного рівня [3]. За рівнем складності системи поділяються на прості, що складаються з обмеженої кількості елементів і не мають розгалуженої структури, складні, що мають розгалужену структуру і значною кількістю взаємопов'язаних елементів, які є простими системами. У свою чергу розвиток складних систем призводить породжує великі системи, що мають виділені складові (підсистеми) зі своїм призначенням, підпорядкованим загальному призначенню всієї системи; а також наявність великої кількості різноманітних (матеріальних, інформаційних, енергетичних) зв'язків між підсистемами і в середині кожної підсистеми; наявність зовнішніх зв'язків даної системи з іншими системами (відкритість системи); наявність у системі елементів самоорганізації; участь у функціонуванні системи людей, машин та природного середовища.

При дослідженні великих систем дуже дієвим виявився специфічний науковий метод — системний підхід[4] — це методологія дослідження важко спостережуваних і важкозрозумілих об'єктів, яка ґрунтується на: наявності тісних взаємозв'язків між великою кількістю як внутрішніх, так і зовнішніх факторів, що визначають поведінку досліджуваної системи; урахуванні існуючої невизначеності поведінки системи в цілому і окремих її частин як результатів дії випадкових факторів та участі у системі людей; урахуванні змінювання з плином часу не тільки властивостей системи, а й самого зовнішнього середовища, що її оточує.

Такий підхід виявився ефективним при розв'язуванні задачі аналізу системи — визначення функцій, які реалізуються системою при відомих елементах та відомій організації системи, і задач її синтезу — визначення елементів і організації системи за заданою їй функцією. Системний підхід — один із найперспективніших наукових напрямків у економіці, оскільки саме до категорії великих систем належать більшість технічних та соціально-економічних систем.

Перш за все визначимо клас систем, що будуть досліджуватися. На підставі наведеної вище класифікації будь-яку систему можливо визначити як

елемент множини S , що утворюється Декартовим добутком окремих «класифікаційних» множин[5]:

$$S = S_T \times S_O \times S_C \times S_M \times S_P \times S_X$$

де $S_T = \{\text{статична, динамічна}\}$,

$S_O = \{\text{закрита, відкрита}\}$,

$S_C = \{\text{проста, складна, велика}\}$,

$S_M = \{\text{абстрактна, матеріальна}\}$,

$S_P = \{\text{детермінована, стохастична}\}$,

$S_X = \{\text{органічна, неорганічна, змішана}\}$.

У даній роботі будемо розглядати питання, пов'язані з розробкою ІТ аналізування матеріальних, динамічних, закритих, складних та великих систем змішаної природи, які за своєю поведінкою можуть бути як детермінованими, так і стохастичними.

3. Життєвий цикл аналізування систем

Дослідження особливостей життєвого циклу аналізування СС (ЖЦАС) та побудову його моделі зручно розпочати на прикладі простої системи.

До складу ММ, що описують реальні системи входять багато сутностей, та зв'язків між ними, що вимагає розробку та використання нових ІТ, як для побудови ММ так і їхнього використання. Сучасна наука використовує широкий клас моделей — у більшості випадків систем диференційних рівнянь високого порядку. Найбільш доцільно на ранніх етапах аналізування СС розглядати граф, що відображає головні сутності та їх відношення, тобто концептуальну модель (КМ) складної системи.

Як приклад можна привести екологічну систему (рис. 1), яка спрощено описує взаємодію сутностей водойми, які подано як вузли графа.

Побудова КМ системи потребує досить детального опису, що відображає взаємодію її сутностей, які зображені на графі.

Концептуальна модель складної системи є першим етапом і дозволяє побудувати першу ітерацію ММ динамічної СС як системи рівнянь

$$dx = a(x, t)dt, \quad (1)$$

де $x(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\}$ — вектор, що визначає стан системи; $a(x, t)$ — вектор-функція, що визначає динаміку.

Класична модель «хижак-жертва» [6] дозволяє моделювати стан систем, що налічують дві сутності. В нашому випадку ММ буде складатися з системи четвертого порядку та початкових значень функцій, що визначають стан сутностей.

Математична модель є більш складною ніж концептуальна і потребує досить високого рівня математичної культури не тільки для розв'язання але й аналізування.

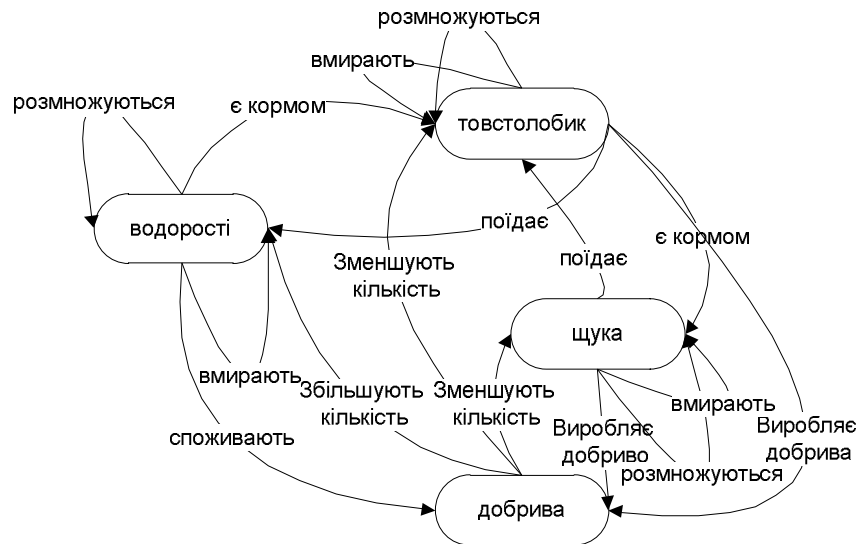


Рис. 1. KM екологічної системи

Аналітичне розв'язання (1) у загальному випадку неможливо. Найчастіше використовуються методи чисельного інтегрування. Розглянута модель, як і класична модель типу «хижак-жертва» не враховує затримок, тобто передбачує миттєвий вплив одних сутностей та інших. Реальні системи характеризуються затримкою, обумовленою внутрішніми причинами (соціальними, біологічними). Врахування цієї затримки дозволяє побудувати нову ММ, більш наближену до реальної системи

$$dx_i = a(x, t - \tau_{ij}) dt, \quad (2)$$

де τ_{ij} – величини, що відповідають затримкам, які мають різну природу і впливають на процеси у системі, наприклад час перетворення їжі, тривалість життя тощо.

Аналітичне розв'язання (2) потребує використання операційного обчислення. Чисельне інтегрування (2) майже не відрізняється від попередньої. Але й ця модель є лише наближенням до реальної системи. Подальше уточнення потребує врахування стохастичної природи коефіцієнтів системи та використання специфічних математичних методів. Наприклад, приведення (2) до форми рівнянь Іто, або стохастичних диференціальних рівнянь:

$$dx = a(x, t) dt + b(x, t) \delta W, \quad (3)$$

де $\delta W = \varepsilon \sqrt{dt}$ – нескінченно малий вінерівський "шум", ε – нормально розподілена випадкова величина з нульовим математичним очікуванням та одиничною дисперсією, $b(x, t)$ – матриця коефіцієнтів волатильності, квадрат яких є дифузією.

Рівняння Іто дозволяє моделювати динаміку СС за допомогою ітераційної схеми:

$$x_{k+1} = x_k + a(x_k, t_k) \Delta t + b(x_k, t_k) \sqrt{\Delta t} \varepsilon_k.$$

Таким чином ЖЦАСС (рис. 2) – це послідовність моделей СС, поведінка яких все більше наближується до реальної системи.

Як видно з ЖЦ, ІТ аналізу СС повинна забезпечувати роботу з концептуальною, математичною та програмною моделями системи, а саме створення, верифікацію, збереження, редагування та власне аналізування поведінки складної системи.

4. Функціональна модель технології

Вхідними даними ІТ (рис. 3) є метамодель, КМ (або її наближення), ММ (або її наближення), а також початкові та граничні умови, а результатом – верифіковані концептуальна, математична та програмна моделі СС, і безпосередньо чисельні результати аналізування та моделювання.

У даному випадку під метамоделлю розуміються множини сутностей та відношень, що дозволяють будувати власне концептуальні та математичні моделі.

Як провідна методологія використовується сучасна ІТ, розроблена Microsoft, заснована на використанні мови графічного моделювання domain-specific language (DSL) та середовища Visual Studio Visualization та Modeling SDK.

Верифікована програмна модель, а також початкові та граничні умови є вхідними даними для чисельного моделювання, що здійснюється шляхом чисельного інтегрування, результати якого потім аналізуються і, у разі потреби, здійснюється зміна початкових та граничних умов або КМ чи ММ. Сформований звіт доступний для подальших досліджень і може бути підставою для прийняття важливих рішень у критичних областях.

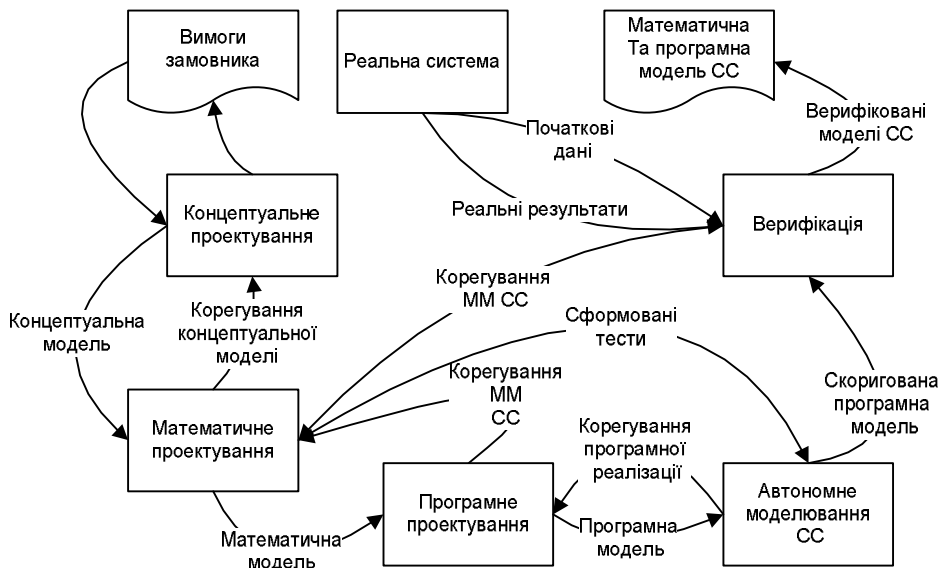


Рис. 2. Життєвий цикл аналізування та моделювання складних систем

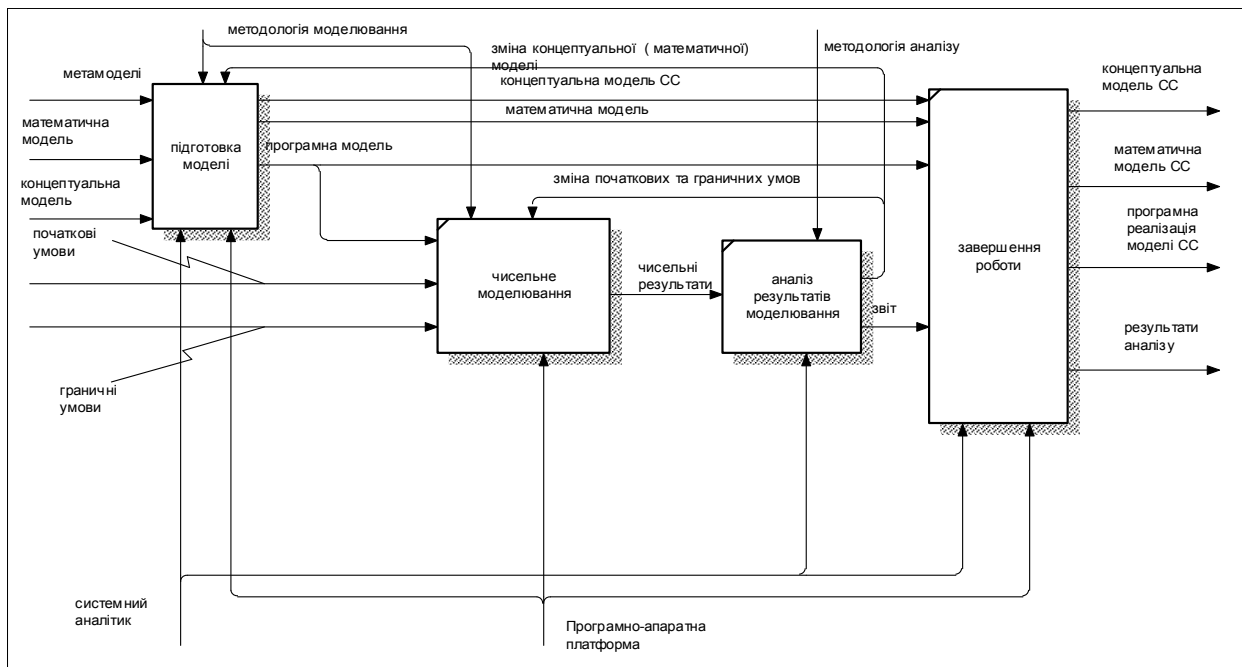


Рис. 3. Функціональна декомпозиція аналізування складних систем

На підготовчому етапі (рис. 4) формуються мета- та концептуальна та метаматематична моделі, за допомогою яких створюються, та корегуються концептуальні та математичні моделі складних систем. Мета моделі описують класи сутностей та їх зв'язки, що можливо використовувати у КМ та ММ. Використання метамоделей дозволило виконати первинну верифікацію КМ та ММ. По завершенню роботи з ММ генеруються програмна модель, яка використовується для чисельного моделювання та аналізу поведінки складної системи. Генерація програмного коду здійснюється за допомогою множини правил, які формують бінарне відображення між елементами ММ та відповідними їх конструкціями на алгорит-

мічній мові. Правила генерації програмного коду записуються у відповідності з методологією Visualization та Modeling SDK.

Як видно з метаконцептуальної моделі (рис. 5), вона складається з множини сутностей на бінарних відношеннях та дозволяє визначати множину КМ, кожна з яких має унікальну назву та опис. У свою чергу КМ містить множину підпорядкованих сутностей з унікальними назвами та описом. Між сутностями існують бінарні відношення, які визначаються зв'язком між певними сутностями, приналежністю до КМ та описом відношення. Через те, що бінарні відношення можуть бути не симетричними зв'язок між сутностями та відношеннями є неідентифікуючим та подвійним.

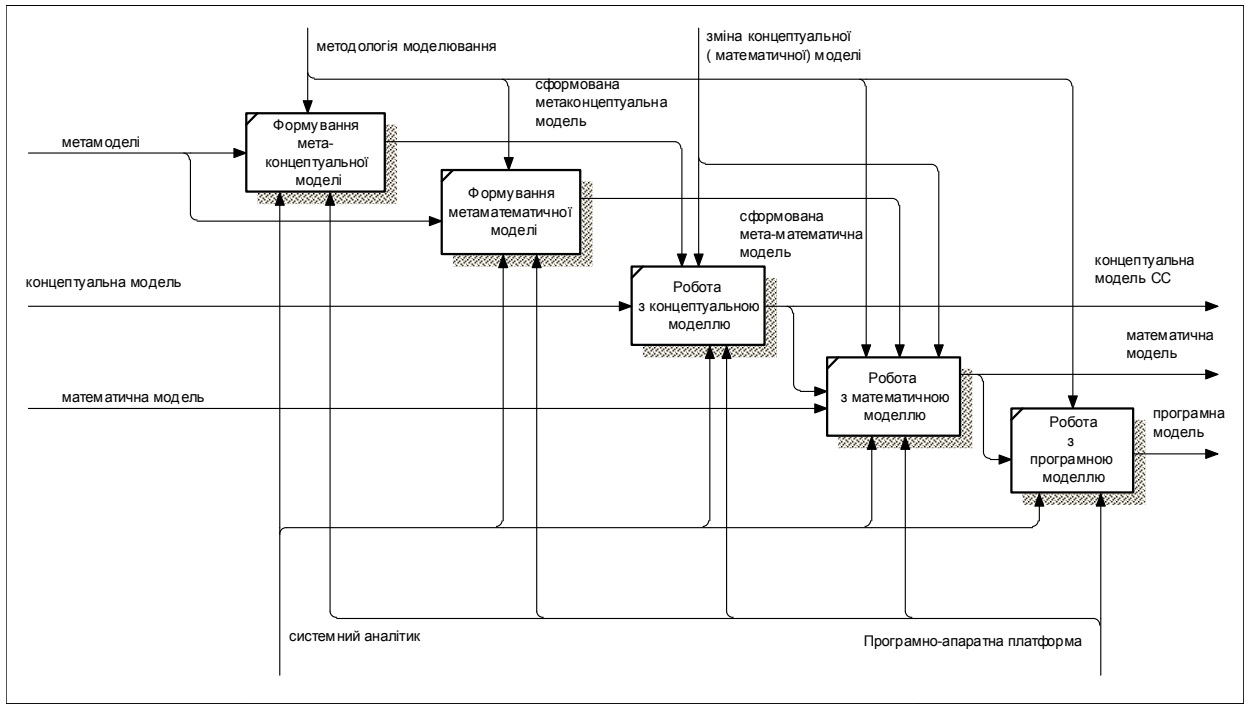


Рис. 4. Функціональна декомпозиція формування моделі

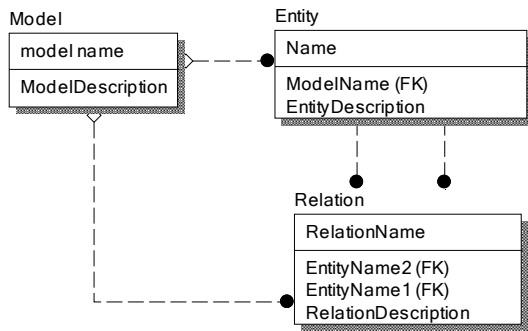


Рис. 5. Метаконцептуальна модель

Метаматематична модель (рис. 6) складається із семи елементів.

Головним елементом МММ є власне модель, яка визначається своєю назвою та має певний опис. Кожна модель у свою чергу складається n-арних відношень та сутностей, які формулюються на підставі КМ, визначаються своєю назвою та має певний опис.

Кожне з відношень також визначається своєю назвою та може мати певний опис. Арність відношень визначається їх змістом (Relation Content). Це дозволяє формувати несиметричні відношення будь-якої арності. Зміст відношення зв'язаний з сутностями та відношеннями неідентифікуючими зв'язками, що дозволяє визначати кратні відношення між тими самими сутностями. Для побудови математичної моделі – системи алгебродиференціальних рівнянь використовуються елементи ММ (Function, FunctionArgList, UsedFunction).

Function – словник узагальнень n-арних математичних функцій: нульарні функції розглядаються як

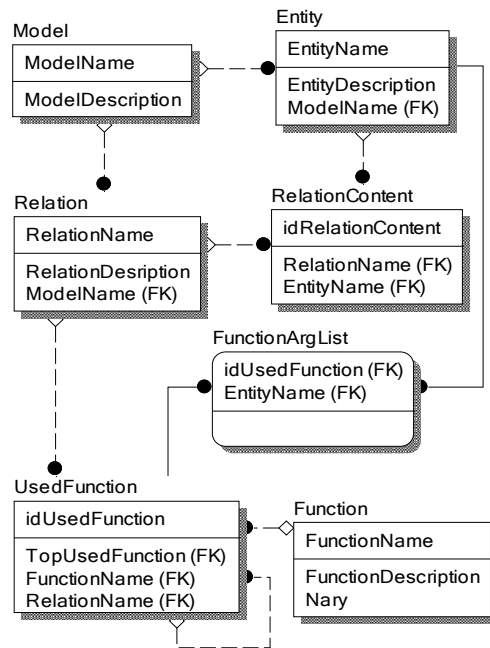


Рис. 6. Метаматематична модель

константи або змінні; унарні функції – функції з одним аргументом; бінарні функції – арифметичні операції, рівняння та математичні функції що мають два аргументна, наприклад логарифм, піднесення до степеня, оператори диференціювання, інтегрування тощо. Used Function – перелік використаних у моделях функцій. Через те що математичні вирази зберігаються у формі так званого арифметичного дерева, ця сутність має рекурсивний зв'язок. Фактичні аргументи використаних функцій визначаються асоціа-

тивною сутністю Function Arg List. МММ дозволяє будувати будь-які ММ, що визначаються системами алгебричних, диференціальних, інтегральних, стохастичних рівнянь. Верифікація ММ здійснюється як на підставі контролю відношень КМ та використаних функцій ММ, так і з застосуванням аналізу фізичних розмірностей.

Висновки

В роботі розглянуто проблеми, пов'язані з аналізування складних систем. Показана необхідність розробки ІТ, яка дозволить, завдяки формалізації життєвого циклу аналізування СС, підвищити достовірність прогнозу розвитку СС. Запропоновано ортогональну класифікацію систем та визначено клас систем для яких важливо використання ІТ аналізу складних систем. Детально розглянуто життєвий цикл аналізу СС, визначено його основні етапи та їх взаємозв'язок.

Запропоновано функціональну модель ІТ аналізування СС, можливості якої можуть розширюватися завдяки формалізації основних операцій ЖЦ та внесенню або коригуванню правил побудови концептуальних і математичних моделей, а також генерації їх програмних реалізацій. Подальший розвиток

запропонованої ІТ, бачиться у розробці правил верифікації КМ та ММ, що підвищить якість моделей, зменшить витрати на їх розробку та дозволить отримувати більш достовірний прогноз стану СС, завдяки використанню більш достовірних моделей.

Література

1. Адомиан, Дж. *Стохастические системы [Текст]* / Дж. Адомиан. – М.: Наука, 1987. – 180 с.
2. Николис, Г. *Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации [Текст]* / Г. Николис, И. Пригожин. – М.: Мир, 1979. – 512 с.
3. Лоскутов, А.Ю. *Основы теории сложных систем [Текст]* / А.Ю. Лоскутов, А.С. Михайлов. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и стохастическая динамика», 2007. – 620 с.
4. Садовский, В.Н. *Системный подход и общая теория систем: статус, основные проблемы и перспективы развития [Текст]* / В.Н. Садовский. – М.: Наука, 1980. – 94 с.
5. Курош, А.Г. *Теория групп [Текст]* / А.Г. Курош. – М.: Наука, 1967. – 711 с.
6. Вольтерра, В. *Математическая теория борьбы за существование [Текст]: пер. с франц. / В. Вольтерра.* – М.: Химия, 1990. – 287 с.

Надійшла до редакції 28.02.2013, розглянута на редколегії 13.03.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. комп'ютерних систем і мереж В.С. Харченко, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

А.Л. Бердникова, Ю.С. Манжос

Показана классификация сложных систем, основанная на декартовом произведении ортогональных множеств свойств, являющихся «классификационными» множествами. Рассмотрен жизненный цикл анализа и моделирования сложных систем как итеративная последовательность моделей, которые постепенно приближаются к реальной системе. Предложено функциональную модель информационной технологии моделирования сложных систем, особенностью которой является наличие метапонятийной и метаматематической моделей, использование которых позволит уменьшить риски создания некорректных математических и программных моделей и повысит достоверность прогноза состояния сложных систем.

Ключевые слова: жизненный цикл, концептуальная модель, математическая модель, мета модель.

INFORMATION TECHNOLOGY ANALYSIS OF COMPLEX SYSTEMS

A.L. Berdnikova, Y.S. Manzhos

The complex system classification based on Cartesian Product of orthogonal sets of properties was proposed. The life cycle of the complex system analyzing and modeling as iterative series of models was considered in this article. The functional model of Information Technology, based on the using of metaconceptual and metamathematical models was proposed. Proposed IT allows to decrease the risk of creating in correct mathematical and software models. Proposed IT allows to increase the quality of prediction for the complex system state.

Key words: conceptual model, life circle, metamodel, mathematical model.

Бердникова Алла Леонідівна – аспірантка кафедри фінансів Національного аерокосмічного університету імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail :alla.berdnikova@yandex.ua.

Манжос Юрій Семенович – канд. техн. наук, доц. кафедри інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університету імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: manzhos@ukr.net.