

УДК 004.891.2

О.Є. КОВАЛЕНКО*

ПРИНЦИПИ ІНЖЕНЕРІЇ СИТУАЦІЙНИХ СИСТЕМ

*Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, м. Київ, Україна

Анотація. *Непередбачуваність, випадковість та мінливість середовищ у різних сферах діяльності вимагає застосування адекватних підходів та принципів у процесі здійснення такої діяльності. Таким підходом є ситуаційний підхід до організації діяльності в рамках відповідних ситуаційних систем. Аналіз моделей ситуаційного управління (ситуаційно-орієнтована поведінка) показав, що процеси ситуаційного управління реалізуються в рамках перцептивного циклу (мають циклічний характер) і включають етапи емпіричного усвідомлення стану середовища (цільової області), побудови його моделі та застосування цієї моделі при формуванні раціональної поведінки у середовищі на основі періодичного оновлення усвідомлення поточного стану середовища. Усвідомлення стану середовища та формування на його основі раціональної поведінки здійснюється з використанням механізмів логічного умовиводу, що відповідають етапам перцептивного циклу. Такими механізмами логічного умовиводу у циклі ситуаційної взаємодії з середовищем є індукція, дедукція та абдукція. Оскільки ситуаційне управління загалом стосується непередбачуваних випадкових подій, то цільова ситуаційна система повинна бути адаптована до специфіки конкретної ситуації. Така адаптація може бути реалізована на основі ad-hoc архітектури системи. До ситуаційних систем можуть бути застосовані, з відповідними уточненнями, принципи інженерії системи систем, оскільки створення системи систем, як правило, визначається ситуаційними чинниками. Ключовими принципами інженерії ситуаційних систем, як і системи систем, є інтероперабельність та координація між її конституентними системами. Специфічними принципами інженерії ситуаційних систем є використання засобів опису ситуаційної семантики та ситуаційної поведінки (ситуаційного числення).*

Ключові слова: *інженерія систем, система систем, ситуаційна система, ситуаційна модель.*

Аннотация. *Непредсказуемость, случайность и изменчивость окружающей среды в различных сферах деятельности требует применения адекватных подходов и принципов в процессе осуществления такой деятельности. Таким подходом является ситуационный подход для организации деятельности в рамках соответствующих ситуационных систем. Анализ моделей ситуационного управления (ситуационно-ориентированного поведения) показал, что процессы ситуационного управления реализуются в рамках перцептивного цикла (имеют циклический характер) и включают этапы эмпирического осознания состояния среды (целевой области), построения ее модели и применения этой модели при формировании рационального поведения в среде на основе периодического обновления осознания текущего состояния среды. Осознание состояния среды и формирование на его основе рационального поведения осуществляется с использованием механизмов логического умозаключения, соответствующих этапам перцептивного цикла. Такими механизмами логического умозаключения в цикле ситуационного взаимодействия со средой являются индукция, дедукция и абдукция. Поскольку ситуационное управление в целом касается непредсказуемых случайных событий, то целевая ситуационная система должна быть адаптирована к специфике конкретной ситуации. Такая адаптация может быть реализована на основе ad-hoc архитектуры системы. К ситуационным системам могут быть применены, с соответствующими уточнениями, принципы инженерии системы систем, поскольку создание системы систем, как правило, определяется ситуационными факторами. Ключевыми принципами инженерии ситуационных систем, как и системы систем, являются интероперабельность и координация между ее конституентными системами. Специфическими принципами инженерии ситуационных систем является использование средств описания ситуационной семантики и ситуационного поведения (ситуационного счисления).*

Ключевые слова: *инженерия систем, система систем, ситуационная система, ситуационная модель.*

Abstract. *The unpredictability, randomness and variability of environments in different fields of activity requires the use of adequate approaches and principles in the process of carrying out such activities. This approach is a situational approach for organization of activities within relevant situational systems. The analysis of situational management models (situation-oriented behavior) showed that the processes of situational management are realized within the perceptual cycle (having a cyclical nature) and include stages of empirical awareness of the state of the environment (target domain), constructing of its model and application of this model in the formation of rational behavior in environment based on periodic updates of awareness of the current state of the environment (target domain). The awareness of the state of the environment and the formation of rational behavior on its base are carried out using the mechanisms of logical reasoning, corresponding to the stages of the perceptual cycle. Such mechanisms of logical reasoning in the cycle of situational interaction with the environment are induction, deduction and abduction. Since situational management is generally concerned with unforeseen accidental events, the target situational system should be adapted to the specific situation. Such adaptation might be implemented based on the ad-hoc system architecture. The principles of systems engineering might be applied with appropriate refinements to situational systems, since the creation of a system of systems is usually determined by situational factors. The key principles for the engineering of situational systems, as well as systems of systems, are interoperability and coordination between its constituent systems. The specific principles of situational systems engineering are the use of means of describing situational semantics and situational behavior (situational calculus).*

Keywords: *systems engineering, system of systems, situational system, situational model.*

DOI: 10.34121/1028-9763-2019-4-65-78

1. Вступ

Ситуаційний підхід у менеджменті та управлінні сформувався у 60–80-х роках ХХ ст. у зв'язку з необхідністю розв'язання проблеми ефективного управління цілеспрямованими системами в реальних умовах змінюваного світу. Елементи ситуаційного підходу до управління можна зустріти ще в роботах Лао Цзи (VI ст. до н.е.), Н. Макіавеллі (XVI ст.) і Б.Ф. Трентовського (XIX ст.). Актуальність дослідження обумовлена вимогою застосування обґрунтованих підходів та принципів у процесах керівництва й управління у різних сферах діяльності в умовах непередбачуваності, випадковості та мінливості оточуючого середовища.

Давньокитайський мислитель Лао Цзи у трактаті «Дао Де Цзін» («Канон Шляху і Благодаті» або «Книга про шлях та силу») [1] описав різноманіття життєвих ситуацій, їх постійну зміну і взаємоперетворення. Деякі висловлювання Лао Цзи з трактату «Дао Де Цзін» можна розглядати як ідеї ситуаційного підходу в управлінні. У сучасному трактуванні вони виглядають таким чином:

1) «Велике управління» передбачає оволодіння «силою обставин» або «потенціалом ситуації».

2) «Премудра людина цінує зміни і покладається обставинам, немов у нього немає своєї думки».

3) «Немає ні правильного, ні порочного», немає спочатку поганих або спочатку хороших методів або стилів управління – є відповідні ситуації або невідповідні».

4) Мудрість управлінця, мистецтво управління полягає у здатності правильно вибрати метод і стиль управління, відповідний конкретній ситуації.

Сутність і принципи ситуаційного підходу сформулював Н. Макіавеллі у роботі «Державець» [2]. Зокрема, він звернув увагу на такі моменти:

– «на наших очах відбуваються зміни настільки раптові, що будь-яке людське передбачення виявляється перед ними безсилим»;

– «зберігають добробут ті, чий спосіб дій відповідає особливостям, а втрачають добробут ті, чий спосіб дій не відповідає своєму часу»;

– «люди чинять по-різному у намаганні досягти поставлених цілей, які вони ставлять перед собою. Але іноді ми бачимо, що хоча вони діють однаково, наприклад, з обере-

жністю, тільки дехто з них домагається успіху, і навпаки, хоча кожен діє по-своєму: одні з обережністю, інші натиском, – всі в рівній мірі досягають успіху. Залежить же це саме від того, що один спосіб дій збігається з особливостями часу, а інший – не збігається»;

– «поки для тих, хто діє обережно і з терпінням, час і обставини складаються сприятливо, вони процвітають, але варто часу і обставинам змінитися, як їх процвітання закінчується, бо вони не змінили свого способу дій».

Броніслав Фердінанд Трентовський доводив необхідність наукового підходу в управлінні. Він сформулював один із головних принципів сучасного ситуаційного підходу, згідно з яким в управлінні необхідно враховувати складну систему зворотного зв'язку і адаптувати управлінське рішення до конкретної ситуації. Б. Трентовський першим ввів поняття «кібернетики» і вважав, що кібернетика повинна забезпечувати співвідношення управлінських дій зі змінами ситуації. Кібернетика ці зміни повинна відчувати, вивчати, і управлінські дії повинні змінюватися в залежності від того, в якому стані знаходиться об'єкт управління [3].

Також Б. Трентовський впровадив необхідність не просто врахування, а наукового аналізу ситуацій. В цілому, основні положення філософії управління Б. Трентовського зводяться до такого:

1. По мірі розвитку суспільства управління все більше має набувати рис наукового дослідження, а особа, яка отримала право управління, має бути здатна до наукового аналізу перш, ніж прийняти рішення.

2. Мистецтво управління передбачає в першу чергу наявність наукових знань.

3. Ефективне управління передбачає врахування всіх найважливіших зовнішніх і внутрішніх факторів, що впливають на об'єкт управління.

4. Для ефективного управління необхідно врахування особливостей попереднього розвитку.

5. Керівництво повинно постійно відстежувати зміни у зовнішньому і внутрішньому середовищі і співвідносити свої дії з цими змінами.

6. Наука управління має досліджувати проблеми управління людськими колективами.

7. Керівник повинен вміти узгоджувати різні погляди і прагнення, використовувати їх заради досягнення спільних цілей, створювати і направляти діяльність різних інституцій, щоб забезпечити їх сталий розвиток.

Метою дослідження є побудова таксономії ситуаційних систем та формулювання основних принципів і складових їх інженерії.

2. Ситуаційний підхід та ситуаційні системи

Один із засновників сучасного ситуаційного підходу в управлінні Р. Моклер вважав, що «в найкращому випадку можна розробити умовні або ситуаційні принципи, які будуть корисними в певних конкретних ситуаціях діяльності» [4]. При цьому головною передумовою ситуаційного підходу буде не стільки заклик до керівників діяти відповідно фактам і обставинам, скільки намагання побудувати теоретичну модель організації, в якій ці зовнішні обставини характеризувалися б чітко визначеним набором так званих контекстних змінних, а на основі емпіричних даних були б встановлені ймовірнісні взаємозалежності між цими змінними і головними внутрішніми характеристиками організації.

На основі аналізу сутності методу дослідження операцій Р. Моклер зробив висновок, що в основі операційного підходу лежить саме аналіз конкретної ситуації. Він зазначив, що фахівці з дослідження операцій часто не застосовують ситуаційне мислення в комбінації з технічним мисленням через надмірне зосередження на моделях лінійного програмування, теорії масового обслуговування, теорії ігор тощо. Саме через таке зосередження на своїх методах вони віддаляються від проблем управління діяльністю і виявляються

менш здатними знаходити спільну точку зору з керівниками. Методологія ситуаційного підходу дозволяє послідовно долати розрив між формальними математичними методами і практикою ситуаційного управління.

У роботі Д. Міллера і М. Старра «Управлінські рішення і дослідження операцій» [5] здійснена спроба представити методи дослідження операцій із позицій ситуаційного підходу. Виклад матеріалу в цій роботі будується навколо різних типів практичних ситуацій і напрямів практики діяльності, а не на основі формалізованих методів. Було показано, як можуть бути використані методи кількісного аналізу в різних конкретних ситуаціях керівниками і фахівцями з дослідження операцій.

Ситуаційними будемо називати системи, зміст стадій життєвого циклу яких визначається ситуаційними факторами. Формування та функціонування ситуаційних систем ґрунтується на понятті ситуації та цільовому призначенні таких систем.

Семантика (зміст) ситуації визначається її модальністю, яка виражає зв'язок між ситуацією та реальністю (об'єктивною модальністю), суб'єктом і ситуацією (суб'єктивною модальністю). Таким чином, ситуація повинна розглядатися як усвідомлене знання суб'єкта про динаміку навколишнього середовища, представленого певними типами інформаційних повідомлень, що є основою для побудови обґрунтованої інтерпретації послідовності зміни станів (динаміки) світу (предметної області) з певної точки зору [6, 7].

Життєвий цикл системи – проміжок часу від моменту ініціації (концепції) створення системи до припинення її існування (виведення з експлуатації) через фази створення (розробки і побудови), функціонування (застосування) та удосконалення (супроводу) [8].

Ситуаційні фактори (також відомі як зовнішні чинники) – це впливи, які виникають ззовні системи – середовища існування (функціонування) та інших оточуючих систем. Диспозиційні фактори визначають внутрішні (індивідуальні) характеристики системи, які впливають на поведінку та функціонування системи, такі як функціональні характеристики, показники якості та архітектура. Диспозиційні фактори визначають успішність функціонування (застосування) систем («Система виконала свої завдання завдяки достатньому рівню спроможностей», «Використання системи відповідає її призначенню»). Ситуаційні чинники впливають на неуспіх функціонування системи («Поставлені задачі не відповідають спроможностям», «Використання системи не відповідає призначенню»).

Таксономія ситуаційних систем може бути побудована на основі ознак походження, застосування, реалізації тощо. Приклад такої таксономії ситуаційних систем представлено на рис. 1.



Рисунок 1 – Таксономія ситуаційних систем

3. Моделі ситуаційного управління

Ситуаційне управління відноситься до категорії когнітивних (пізнавальних) та управлінських процесів (cognitive and governing processes) на різних рівнях у системах різноманітного призначення і є циклічним процесом. Ситуаційне управління здійснюється у рамках ситуаційних систем (СС). У переважній більшості випадків у процесі ситуаційного управління в СС можна виділити такі основні фази:

- оцінки ситуації, результатом якої має бути усвідомлення ситуації;
- осмислення ситуації, результатом якої має бути розуміння ситуації;
- аналіз ситуації, результатом якої має бути прогнозування розвитку ситуації;
- прийняття рішення (рішень) стосовно реакції на ситуацію в цільовому середовищі;
- впровадження прийнятих рішень у цільовому середовищі;
- контроль за виконанням впроваджених рішень з переходом до аналізу нової ситуації.

Ситуаційне управління здійснюється на основі когнітивного моделювання як методології прийняття рішень у ситуаціях невизначеності або неповної визначеності. Методологія когнітивного моделювання, запропонована Р. Аксельродом [9], орієнтована на формування управлінських рішень з обґрунтованою ефективністю, знаходження сценаріїв розвитку подій на основі виділення понять (концептів, чинників), що кількісно та якісно характеризують ситуацію, а також оцінки взаємного впливу цих чинників. У рамках СС когнітивне моделювання здійснюється колективами людей (ОПР, експертів, аналітиків), ґрунтується на моделюванні та узагальненні їх суб'єктивних думок стосовно конкретної ситуації і включає:

- методологію структурованого представлення ситуації як моделі знань експерта у вигляді знакового орґрафа (когнітивної карти) (F, W) , де F – множина ситуаційних факторів, W – множина причинно-наслідкових зв'язків між ситуаційними факторами;
- методи аналізу ситуації.

Ситуаційне управління (СУ) здійснюється в рамках перцептивного (сприйняття та усвідомлення) циклу ситуації в оточуючому середовищі, який вперше був описаний у роботі Ульріка Нейссера (U. Neisser) [10, 11]. Перцептивний цикл, запропонований Нейссером, містить в одній точці активну схему (схему фенотипу як активну конструкцію). Схема одночасно є і моделлю фактичної ситуації, і моделлю очікувань того, яка інформація може бути підібрана відповідно до ситуації. Ця схема спрямовує перцептивне дослідження, випробовуючи середовище, модифікуючи схему, яка завершує цикл. У цій точці циклу далі використовується поняття «когнітивних карт»/«орієнтувальних схем» для представлення знань про те, де знайти інформацію, яка в даний час поза спостереженням. Вона спрямовує просування, щоб перетворити потенційно доступну інформацію на наявну інформацію. Керівництво може відбуватися більш-менш звично, без чітких рішень “куди піти далі” на кожному кроці. Схема представляє сфокусовану (послідовну) увагу; зразки (паттерни) сканування проявляються у відповідь на ситуації. Сигнали, однак, можуть також привернути увагу (паралельний процес неусвідомленої уваги).

Екологічний підхід Сміта і Хенкока [11] має більш цілісний підхід, розглядаючи СУ як «генеративний процес створення знань та здійснення поінформованої дії». Їх опис ґрунтується на моделі перцептивного циклу Нейссера, яка описує взаємодію людини зі світом і впливову роль схем у цих взаємодіях. Згідно з моделлю перцептивного циклу, взаємодія зі світом (дослідження) спрямовується внутрішніми схемами. Ці схеми полегшують передбачення ситуаційних подій, спрямовуючи увагу особистості на сигнали в навколишньому середовищі і направляючи кінцевий хід дій суб'єкта. Потім людина проводить перевірки для підтвердження, що розвиток ситуації відповідає очікуванням.

Будь-які несподівані події слугують подальшому пошуку та поясненню, що, у свою чергу, змінює існуючу модель оператора.

Тривівнева модель ситуаційної обізнаності Міки Ендслі (М. Endsley) [12] є найбільш відомою. Ця модель описує СУ як внутрішньо притаманний когнітивний (пізнавальний) продукт обробки інформації, що базується на трьох ієрархічних рівнях розпізнавання ситуації, які відокремлені від процесів оцінки ситуації і використовуються для досягнення мети СУ.

Модель зображує СУ як складову ланцюжка (послідовності) обробки інформації, що настає після сприйняття й призводить до прийняття рішень та виконання відповідних дій. Відповідно до моделі, на здійснення та підтримку СУ впливають різні фактори, включаючи індивідуальні фактори (наприклад, досвід, навчання, робоче навантаження тощо), фактори завдання (наприклад, складність) та системні фактори (наприклад, дизайн інтерфейсу).

Процес впровадження та підтримки ситуаційного управління відбувається навколо внутрішньо притаманної схеми (ментальної моделі), яка містить інформацію про певні ситуації. Ця схема полегшує передбачення ситуаційних подій, спрямовуючи увагу ОПР на сигнали в навколишньому середовищі та направляючи їх можливий хід дій. Потім ОПР проводить перевірки, щоб переконатись, що розвиток ситуації відповідає його очікуванням. Неочікувані події слугують підказками для подальшого дослідження та пояснення, які, у свою чергу, змінюють існуючу ментальну модель.

Динамічна модель ситуаційної обізнаності Ендслі [12], адаптована до перцептивного циклу Нейссера, представляє СУ [13] в контексті циклу перцепції, що дозволяє аналізувати СУ як циклічну модель зі зворотним зв'язком, подібну до перцептивного циклу.

Процесний підхід до СУ фокусується на тому, як СУ змінюється з часом та стосовно інших процесів, таких як прийняття рішень. СУ – це процес, який генерує горизонт подій [13]. Ключовим механізмом процесної моделі СУ є взаємний вплив «дія↔зворотний зв'язок» перцептивного циклу. Він включає фрейми (виділені сцени, кадри), контексти (внутрішній зміст), об'єкти та горизонт подій, не тільки спрямовуючи дії, модифікуючи оточення, але й підбираючи зразки сигналів/об'єктів та модифікуючи СУ. Крім того, у складних системах СУ фізичні маніпуляції можуть змінювати прояви СУ, при цьому можуть відбуватися транзакції між різними проявами СУ.

Формалізований підхід до СУ запропонував Д.А. Поспелов [14]. Він увів поняття поточної та повної ситуацій, на основі яких описав процес СУ як процес вироблення керуючих впливів на об'єкт управління шляхом трансформації вхідної інформації про поточну ситуацію з використанням логіко-трансформаційних правил (ЛТП).

З аналізу моделей ситуаційного управління (ситуаційно орієнтована поведінка) видно, що процеси ситуаційного управління реалізуються в рамках перцептивного циклу (мають циклічний характер) і включають етапи емпіричного усвідомлення стану середовища (цільової області), побудови його моделі та застосування цієї моделі при формуванні раціональної поведінки у середовищі на основі періодичного оновлення усвідомлення поточного стану середовища. Усвідомлення стану середовища та формування на його основі раціональної поведінки здійснюється з використанням механізмів логічного умовиводу, що відповідають етапам перцептивного циклу. Такими механізмами логічного умовиводу у циклі ситуаційної взаємодії з середовищем є індукція, дедукція та абдукція [15, 16]. Тоді модель ситуаційного управління з урахуванням механізмів умовиводу буде мати вид, представлений на рис. 2.

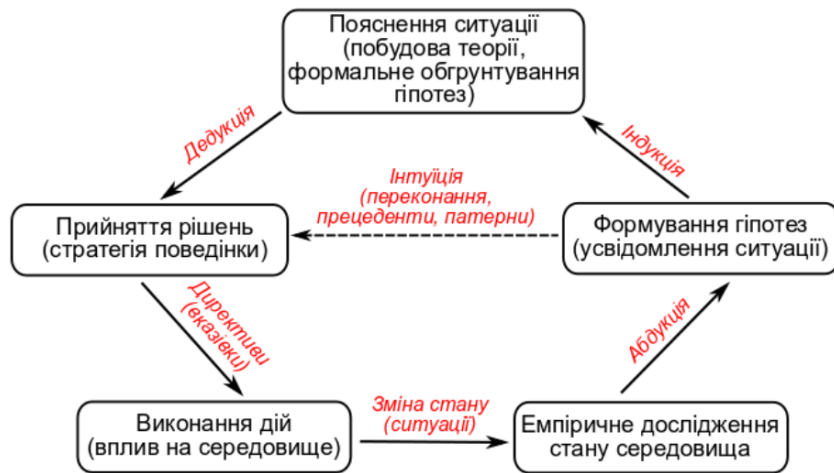


Рисунок 2 – Модель механізмів перетворень етапів циклу СУ

Оскільки ситуаційне управління загалом стосується непередбачуваних випадкових подій, то цільова ситуаційна система повинна бути адаптована до специфіки конкретної ситуації. Така адаптація може бути реалізована на основі ad-hoc архітектури системи. Узагальнена модель ситуаційної системи показана на рис. 3.



Рисунок 3 – Узагальнена модель ситуаційної системи

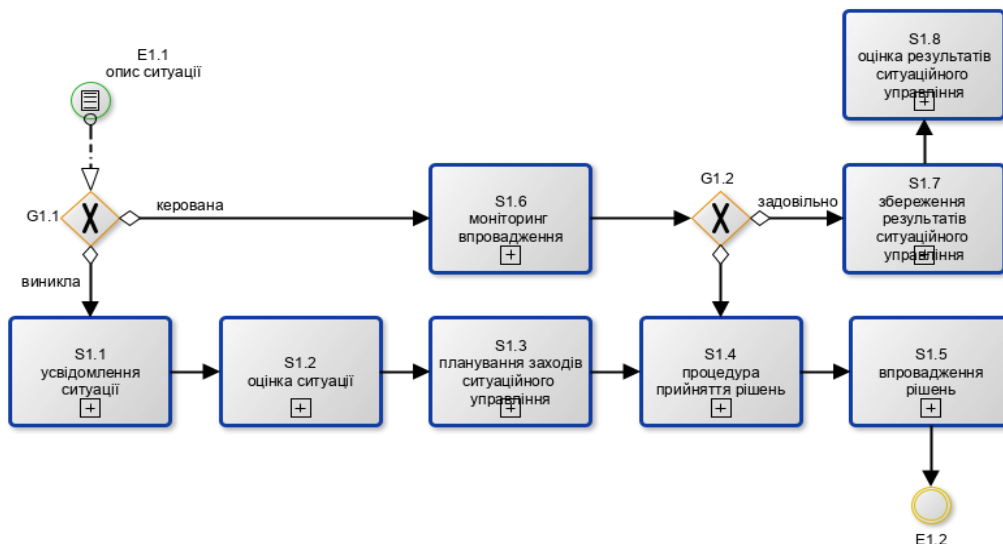


Рисунок 4 – Підпроцеси ситуаційної системи

Варіанти ad-hoc архітектури можуть бути розроблені для конкретної ситуаційної проблеми або задачі, без узагальнення варіанта рішення (варіант зберігається лише для вибору на основі конкретних випадків), не маючи наміру їх адаптувати до інших цілей. Таким чином, архітектурні види повинні відображати види, узгоджені з контекстом

(семантикою) ситуації, позиціями зацікавлених сторін та наявними необхідними засобами управління. Процес управління ситуацією $S1$ (рис. 2) є різновидом проектної діяльності [17], що включає підпроцеси, зображені на рис. 4.

Показані на рис. 3 процеси повинні підтримуватися системою ситуаційного управління з відповідним типом ad-hoc архітектурної моделі. Оскільки основною місією ситуаційної системи є прийняття рішень та їх реалізація, то основною зацікавленою стороною є особа, яка приймає рішення (ОПР). ОПР може бути індивідуальною або колективною. Інші зацікавлені сторони беруть участь у процесі ситуаційного управління з відповідними ролями для підтримки підпроцесів та використання результатів обробки, визначених відповідно до специфіки області функціонування ситуаційної системи. Формально динамічну модель ситуаційної системи можна представити у вигляді

$$Y(t) = P(C(F(R(t)), t), F(R(t), t)), \quad (1)$$

де Y – результат функціонування ситуаційної системи, P – функція управління процесами в системі, C – функція управління обробкою інформації в системі, F – функція обробки інформації, R – функція варіації (змін) з часом ресурсів, t – часова змінна з області визначення функції P (період життєвого циклу процесу).

4. Інженерія системи систем

Інженерія системи систем виникла як підхід для розв'язання задачі побудови складних систем, до складу яких входять інші системи, зберігаючи при цьому свою ідентичність. Існує кілька визначень системи систем, деякі з яких залежать від особливостей області застосування. Зокрема, М. Майєр [18] постулював п'ять основних характеристик системи систем: операційна незалежність складових систем, управлінська незалежність складових систем, географічний розподіл, емерджентна (виникла) поведінка та процеси еволюційного розвитку. Визначив операційну незалежність та незалежність управління як дві основні відмінні характеристики для застосування терміна «система систем» (СС, SoS). Система, яка не має цих двох характеристик, не вважається системою систем незалежно від складності чи географічного розподілу її компонентів.

У характеристиці Майєра емерджентність відзначається як загальна характеристика СС, особливо в СС, що складається з декількох великих існуючих систем, заснованих на вимогах (часових та ресурсних) підпорядкування всіх можливих логічних потоків у множині функцій, спроможностей та даних системи в СС. Емерджентність може бути пов'язана з ризиками несподіваної або ненавмисної поведінки, що виникають у результаті поєднання систем, які мають власну індивідуально притаманну складну поведінку. Ці ризики можуть стати суттєвими у випадках, коли безпеці системи загрожує, наприклад, ненавмисна взаємодія між функціями, що надаються декількома складовими системами в СС. ISO/IEC/IEEE 21839 [19] дає таке визначення СС та її конституюєнтної (складової) системи.

Система систем – сукупність систем або системних елементів, які взаємодіють між собою, щоб забезпечити таку унікальну спроможність, яку жодна з її конституюєнтних (складових) систем не може досягти самостійно. Примітка: елементи системи можуть бути необхідними для полегшення взаємодії складових систем у системі систем.

Конституюєнтні системи можуть бути частиною однієї або декількох СС.

Примітка. Кожна складова є корисною системою сама по собі, має власний розвиток, цілі управління та ресурси, але взаємодіє в межах СС для забезпечення унікальних можливостей СС.

Слід зазначити, що формування СС – це не обов'язкове постійне явище, а скоріше питання необхідності узгодженої інтеграції та поєднання у мережу систем для конкретних цілей, таких як надійність, вартість, ефективність, функціональність тощо.

Враховуючи незалежність складових систем, процеси інженерії системи в більшості випадків реалізуються також і для інженерії системи систем. Отже їх необхідно адаптувати для підтримки характеристик СС. Процеси, що реалізуються як на системному, так і на рівні СС, представлені в табл. 1. При цьому інженерія системи систем часто обмежується лише системами.

Таблиця 1 – Особливості реалізації процесів інженерії систем в інженерії СС

Процес інженерії систем	Реалізація стосовно інженерії системи систем
Процеси узгодження	Оскільки часто відсутні повноваження найвищого рівня для СС, ефективні угоди між системами у складі СС є ключовими для успішної інженерії СС
Організаційні процеси забезпечення проекту	У рамках інженерії СС розробляються та підтримуються ті процеси, які є критичними для СС у межах обмежень процесів на системному рівні
Процеси технічного управління	У рамках інженерії СС впроваджуються процеси технічного управління, застосовані для конкретних положень інженерії СС – планування, аналізу, організації та інтеграції спроможностей суміші існуючих і нових систем у спроможності системи систем, у той час, як системи продовжують відповідати за технічне управління своїх систем
Технічні процеси	Технічні процеси інженерії СС визначають наскрізну спроможність СС, виходячи з аналізу діяльності/місії на рівні СС, а також визначення потреб та вимог зацікавлених сторін. Архітектура та дизайн СС поєднують планування, організацію та інтеграцію складових систем, обмежених системними архітектурами. Розробка, інтеграція, перевірка, перехід та валідація реалізуються системами за допомогою моніторингу та огляду інженерії СС. Інтеграція, верифікація, передача та перевірка в інженерії СС застосовуються, коли складові системи інтегруються в СС та перевірена і підтверджена її продуктивність

Стандарт ISO/IEC/IEEE 21841 [20] представляє таксономію СС, що базується на ступені незалежності складових і пропонує основу для розуміння СС на основі походження цілей СС та взаємозв'язків між зацікавленими сторонами як для СС, так і для її складових систем. За цією таксономією СС може бути віднесена до одного з чотирьох типів:

1. Підтверджені (визнані) СС (acknowledged SoS) – СС із підтвердженими цілями, призначеним керівником та виділеними для СС ресурсами.

Примітка. Складові системи зберігають свою незалежність, цілі, фінансування та підходи до розробки та супроводу. Зміни в системах ґрунтуються на угодах про співпрацю між СС та системою.

2. Співпрацюючі (колаборативні) СС (collaborative SoS) – СС, в яких компонентні системи взаємодіють більш-менш добровільно для виконання узгоджених найважливіших цілей.

Примітка. Складові системи спільно вирішують, як надавати або відмовляти у наданні сервісів, забезпечуючи тим самим засоби підкріплення та підтримання узгодженості.

3. Керовані СС (directed SoS) – СС, створені і керовані для виконання конкретного призначення, а складові системи підпорядковуються СС.

Примітка. Компонентні системи підтримують можливість самостійної роботи; однак їх нормальний режим роботи підпорядковується головній керованій меті.

4. Віртуальні СС (virtual SoS) – СС, в яких обмежені повноваження центрального управління та централізованої узгодженої мети для СС.

Примітка 1. Виникає поведінка великого масштабу, і це може бути бажано, але цей тип SoS покладається на відносно невидимі механізми його підтримки.

Примітка 2. Віртуальні СС, як правило, є самоорганізованими.

У більшості фактичних випадків СС відображатиме комбінацію типів СС, яка може змінюватися з часом. Інші таксономії можуть зосереджуватися на природі/типі компонентів, їх неоднорідності тощо [21].

Відмінності між інженерією систем та інженерією системи систем

Особливості реалізації процесів інженерії систем в інженерії системи систем (табл. 1) є орієнтовними, і в кожному конкретному випадку ступінь різниці залежить від практики. Реальні системи, як правило, дуже взаємопов'язані і лише умовно можуть бути віднесені до однієї і двох категорій в залежності від конкретного практичного випадку. Такі умовні відмінності застосування принципів інженерії систем в інженерії системи систем наведені в табл. 2 [22].

Таблиця 2 – Відмінності між основними рисами систем та системи систем

Риси систем	Риси системи систем
Чітко визначений перелік зацікавлених сторін	Декілька рівнів зацікавлених сторін зі змішаними і, можливо, конкуруючими інтересами
Чітко визначені цілі та призначення	Декілька і, можливо, суперечливих цілей та призначень
Чітко визначені оперативні пріоритети з розширеннями для визначення пріоритетів	Декілька та іноді різних операційних пріоритетів без чітких шляхів розширення
Єдиний життєвий цикл	Життєвий цикл включає декілька життєвих циклів конститuentних систем з елементами, реалізованими асинхронно
Чітко визначене володіння з можливістю переміщення ресурсів між елементами	Декілька власників приймають незалежні рішення щодо розподілу ресурсів

Принципи побудови системи систем

Ключовими принципами побудови СС є інтероперабельність та координація між її конститuentними системами. Інтероперабельність загалом визначається як здатність двох або більшої кількості систем, продуктів чи компонентів обмінюватися інформацією та використовувати інформацію, отриману в результаті обміну. Інтероперабельність у контексті СС означає, що кожна система може спілкуватися та взаємодіяти з будь-якою іншою системою незалежно від їх апаратних та програмних характеристик або природи. Це означає, що кожен конститuentний елемент (та потенційні нові елементи) СС повинен мати можливість спілкуватися з іншими без проблем сумісності в операційних системах, апаратних засобах, зв'язку тощо. Для цього СС потребує спільної мови, якою можуть користуватися системи СС. Прикладом такої мови є XML (eXtensible Markup Language).

Однією із ключових проблем побудови архітектури СС є те, що складові системи СС можуть розроблятися без урахування їх ролі СС та обмежень параметрів архітектури СС. Архітектурний рівень, який накладає ці обмеження на складові системи та підтримує результуючі можливості СС, може базуватися на відкритих стандартах. Відкритість архітектури є основою для подальшого еволюціонування СС.

Найважливішим завданням переходу від концепції СС до інженерії СС є суттєві технологічні, людські та організаційні відмінності в системі розгляду системних підходів та

управління [23]. Потенційним підходом до розробки СС може бути підхід на основі принципів, відкритих системам [24]:

- принцип відкритого інтерфейсу (open interface) – відкриті системи мають проникні межі, що дозволяють їм обмінюватися масою, енергією та інформацією з іншими системами;

- принцип синергізму (synergism) – поняття, яке означає, що кооперативна взаємодія між складовими системами має більший ефект за рахунок спільних зусиль, ніж сумарний ефект дій окремих частин; по суті, це те, що породжує емерджентність;

- принцип самокерованості (self-government) означає, що СС підтримує і розвиває свій внутрішній порядок без втручання зовнішніх джерел; він може бути реалізований на основі кібернетичного управління, гомеостазу чи самоорганізації;

- принцип емерджентності (emergence) – у цьому випадку мається на увазі виникнення нових та зв'язних структур, закономірностей та властивостей під час самоорганізації СС;

- принцип збереження (conservation) – встановлює, що енергія та маса (матеріал) зберігаються в межах СС;

- принцип реконфігурації (reconfiguration) – стосується переналаштування та адаптації СС, щоб підтримувати себе в умовах змін у своєму оточенні;

- принцип симбіозу (symbiosis) – системи в середині СС мають симбіотичний зв'язок одна з одною; або простіше, успішна розробка та підтримка СС залежить від симбіотичної співпраці між зацікавленими сторонами систем, з яких вона складається;

- принцип модульності (modularity) – означає, що кожен рівень і кожна система певною мірою незалежні від інших. При створенні СС розробка незалежних модульних систем, які взаємодіють між собою за допомогою стандартизованих інтерфейсів, дає змогу підвищити гнучкість, що сприяє кращому еволюціонуванню СС.

Управління – це функція правил, часу та пропускну здатності; тоді як керівництво (командування, менеджмент) – це функція довіри, впливу, точності та спритності. Ергономічні характеристики соціально-технічних систем властиві також системам систем [25]:

- виконання колективних оперативних завдань;
- включають соціальні та технічні підсистеми;
- відкритість (сильна взаємодія зі своїм середовищем);
- сприйняття системи як незавершеної системи.

5. Ситуаційна семантика

Інженерія систем з систем виникла як підхід для розв'язання задачі побудови складних, до складу яких входять інші системи, зберігаючи при цьому свою ідентичність. Семантика (зміст) ситуації визначається її модальністю, яка виражає відношення між ситуацією і дійсністю (об'єктивна модальність) та суб'єктом і ситуацією (суб'єктивна модальність). Запропонована у другій половині ХХ століття алгебраїчна інтерпретація модальної логіки стала основою для розробки семантики модальних систем [26] та їх застосування у системах ситуаційного управління і підтримки прийняття рішень. Врахування модальностей ситуацій та їх формальне представлення у вигляді модальних систем дозволяють вийти за обмеження семантики класичних логічних систем та наблизити формальний опис ситуацій до реального.

Основою для формального опису моделі технології консолідації даних ситуаційного управління є ситуаційна теорія. Основні положення ситуаційної теорії викладені, зокрема, в роботі [27]. Опис ситуації в ситуаційній теорії базується на понятті інфону. Інфон – це деталь (фрагмент) інформації про ситуацію, яка представлена у формі

$$\langle\langle R, A, Pol \rangle\rangle,$$

де R – n -місне відношення, $A = \langle a_1, \dots, a_n \rangle$ кортеж відповідних об'єктів для R , значення $Pol = \{0 \text{ або } 1\}$ представляє полярність.

Для відображення того, що інфон σ актуалізується ситуацією s , пишуть $s \models \sigma$ і стверджують, що s підтримує σ . Базові типи інфонів:

- *TIM*: тип часової локалізації;
- *LOC*: тип просторової локалізації;
- *IND*: тип індивіду;
- *REL_n*: тип n -місного відношення;
- *SIT*: тип ситуації;
- *INF*: тип інфону;
- *TYP*: тип типу;
- *PAR*: тип параметра;
- *POL*: тип полярності (0 або 1).

Інфони будуються з базових типів. Наприклад, якщо l є локалізацією, тоді l має тип *LOC*, а інфон $\langle\langle of\text{-}type, l, LOC, 1 \rangle\rangle$ є фактом. Для представлення модальності в описі ситуації вводимо новий тип: *MOD (modality)*. Об'єкти (*uniformities*) модальності в онтології типів позначимо як m_0, m_1, m_2 тощо.

Джерелами отримання ситуаційної інформації можуть бути архівні дані, корпоративні дані, транзакційні дані, соціальні та інші медіа, генеровані дані, публічна інформація тощо. Сама ситуаційна інформація відноситься до однієї з категорій – структурована, напівструктурована, квазіструктурована, неструктурована.

Консолідація даних у системах ситуаційного управління здійснюється на основі онтології ситуаційної інформації. Для побудови онтології використовується таксономія таких концептів:

- джерела даних;
- формат даних;
- тип даних;
- категорія інформації;
- рівень важливості інформації;
- модальність інформації;
- ступінь довіри до інформації.

6. Ситуаційне числення

Ситуаційне числення (Situational Calculus) є формальною логічною системою (логікою першого порядку), розробленою для представлення і обґрунтування динамічно змінюваних світів, доменів і систем. У логіці першого порядку (Л1П) висловлювання або істинні, або хибні і такими залишаються завжди. І нічого не може призвести до будь-яких змін. Ситуаційне числення представляє змінні сценарії як множину формул логік другого порядку (Л2П). Вперше поняття ситуаційного числення було введено в 1963 році Джоном Маккарті у роботі «Ситуації, дії та причинно-наслідкові закони» [28]. Найбільш поширена удосконалена версія ситуаційного числення базується на представленні, введеному Реєм Рейтером у 1991 році в роботі «Проблема фрейму в ситуаційному численні» [29]. Завдяки представленій Р. Рейтером формалізації, ситуаційне числення отримало широке застосування через значно багатшу, ніж очікувалось, виразність та здатність чітко охарактеризувати сильні і слабкі сторони різних загальних теорій про дії. Основними поняттями ситуаційного числення є дії, флуенти, ситуації.

Дії (Actions) можуть бути виконані у середовищі (світі, системі). Дії визначаються функціональним символом і можуть бути оцінені кількісно. Дії представляються термами першого порядку. Наприклад, $Put(x, y)$ визначає дію, при якій об'єкт x кладеться на

об'єкт y ; $Do(put(A, B), s)$ визначає стан, що є результатом того, що A поклали на B , коли світ перебуває у стані (ситуації) s .

Флуенти (Fluents) – це змінні величини, що описують стан середовища (світу). Флуент є відношенням або функцією, значення якої можуть змінюватися залежно від ситуації. Флуенти (змінні) визначаються з використанням або предикатів, або функціональних символів, що приймають терм ситуації як аргумент. Наприклад, $closeTo(x, y, s)$ означає, що x близький до y в ситуації s ; $Pos(x, s)$ визначає позицію x в ситуації s .

Ситуації (Situations) – представляють історію проявів (результатів) дій. Динамічне середовище моделюється у розвитку через серію (послідовність) ситуацій, як наслідків різних дій, виконуваних у цьому середовищі. Послідовність цих дій є скінченною. Ситуація описує не стан, а історію (контекст стану), і є термом першого порядку, що визначає ймовірнісну історію світу. Ситуація представлена бінарним функціональним символом $do: do(a, s)$ визначає історію, що є результатом додавання нової дії a в історію s . Ця ситуація також визначає стан світу.

Домен кодується у Л2П (логіці другого порядку) трьома типами формул:

- аксіомами передумов дій та аксіомами результатів (наслідків) дій;
- аксіомами послідовних станів, одним із яких є флуент (fluent);
- основоположними аксіомами ситуаційного числення.

На основі формалізмів ситуаційного числення були розроблені мови ситуаційного планування та дій: STRIPS, ADL, PDDL, GOLOG.

7. Висновки

Таким чином, у інженерії ситуаційних систем можуть застосовуватись принципи інженерії системи систем. Усвідомлення стану середовища та формування на його основі раціональної поведінки здійснюються з використанням механізмів логічного умовиводу, що відповідають етапам перцептивного циклу. Такими механізмами логічного умовиводу у циклі ситуаційної взаємодії з середовищем є індукція, дедукція та абдукція. Оскільки ситуаційне управління загалом стосується непередбачуваних випадкових подій, то цільова ситуаційна система повинна бути адаптована до специфіки конкретної ситуації. Така адаптація може бути реалізована на основі ad-hoc архітектури системи. До ситуаційних систем можуть бути застосовані з відповідними уточненнями принципи інженерії системи систем, оскільки створення системи систем, як правило, визначається ситуаційними чинниками. Ключовими принципами інженерії ситуаційних систем, як і системи систем, є інтероперабельність та координація між її конституентними системами. Специфічними принципами інженерії ситуаційних систем є використання засобів опису ситуаційної семантики та ситуаційної поведінки (ситуаційного числення).

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Лао Цзи, Дао Де Цзін. URL: <https://lvivmedievalclub.files.wordpress.com/2015/12/lao - czy dao de czin perevod malyavina v.pdf> [дата звернення: 18.04.2019].
2. Мак'явеллі Н. Флорентійські хроніки. Державець. Київ: Основи, 1998. 492 с.
3. Trentovsky V.F. Stosunek filozofii do cybernetyki, czyli sztuka rządzenia narodem (The Relation of Philosophy to Cybernetics, or the Art of Governing a Nation). Nakł. księg. J.K. Żupańskiego, 1843. 194 p.
4. Mockler R. Situational Theory of Management. *Harvard Business Review*. 1971. Vol. 40, N 3. 146 p.
5. Miller D.W., Starr M. K. Executive Decisions and Operations Research. 2nd Revised edition. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1969. 608 p.
6. Коваленко О. Застосування онтологій в системах ситуаційного управління. *Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці, освіті та подоланні наслідків Чорнобильської катастрофи: матеріали XV Міжнар. наук. семінару (Київ-Світязь, 4–8 липня 2016 р.)*. Київ-Світязь, 2016. С. 84–89.

7. Kovalenko O. Information Taxonomy and Ontology for Situational Management. *2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2018 – Proc.* 2018. Vol. 2. P. 94–97.
8. Encyclopedia Britannica. System Life Cycle. 2012. URL: <https://www.britannica.com/topic/system-life-cycle> (дата звернення: 18.04.2019).
9. Axelrod R. *The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites.* Princeton: University Press, 1976. 422 p.
10. Neisser U. *Cognition and Reality: Principles and implications of cognitive psychology.* San Fransisco: W H Freeman and Company, 1976. 230 p.
11. Salmon P.M., Stanton N.A., Walker G.H., Baber C., Jenkins D.P., McMaster R., Young M.S. What really is going on? Review of situation awareness models for individuals and teams. *Theoretical Issues in Ergonomics Science.* 2008. Vol. 9, N 4. P. 297–323.
12. Endsley M. Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society.* 1995. Vol. 37, N 1. P. 32–64.
13. Lundberg J. Situation awareness systems, states and processes: a holistic framework. *Theoretical Issues in Ergonomics Science.* 2015. Vol. 16, N 5. P. 447–473.
14. Поспелов Д. Ситуационное управление: теория и практика, Москва: Наука, 1986. 288 с.
15. Peirce C.S. Notes on Ampliative Reasoning. *The Collected Papers of Charles S. Peirce.* Vol. 8 / ed. C. Hartshorne, P. Weiss, A.W. Burks. 4 ed. Cambridge, Belknap Press of Harvard University Press. P. 1931–1966.
16. Светлов В.А. Методологическая концепция научного знания Чарльза Пирса: единство абдукции, дедукции и индукции. *Логико-философские штудии.* 2008. № 5. С. 165–188.
17. Коваленко О. Ситуаційне управління як проектна діяльність. *Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика: зб. доп. одинадцятої дистанційної наук.-практ. конф. з міжнар. участю (Київ, 5 червня 2017 р.).* Київ, 2017. С. 28–31.
18. Maier M. Architecting Principles for Systems-of-Systems. *Systems Engineering.* 1998. Vol. 1, N 4. P. 267–284.
19. ISO/IEC/IEEE 21839:2019. Systems and software engineering – System of systems (SoS) considerations in life cycle stages of a system. 07 2019. URL: <https://www.iso.org/standard/71955.html> (дата звернення: 29.09.2019).
20. ISO/IEC/IEEE 21841:2019. Systems and software engineering – Taxonomy of systems of systems. 07 2019. URL: <https://www.iso.org/standard/71957.html> (дата звернення: 29.09.2019).
21. Cook S. C. a. P. J. M. Towards designing innovative SoSE approaches for the Australian defence force. *Proc. 9th Int. Conf. Syst. Syst. Eng. Socio-Technical Perspect.* 2014. N SoSE. P. 295–300.
22. SEBoK. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge. 31 October 2019. Vol. 2.1. URL: [https://www.sebokwiki.org/wiki/Guide_to_the_Systems_Engineering_Body_of_Knowledge_\(SEBoK\)](https://www.sebokwiki.org/wiki/Guide_to_the_Systems_Engineering_Body_of_Knowledge_(SEBoK)) (дата звернення: 10.11.2019).
23. Wells G., Sage A. Engineering of a System of Systems. *System of Systems Engineering: Innovations for the 21st Century.* USA, Wiley. 2008. P. 44–76.
24. Azani C. A Multi-criteria Decision Model for Migrating Legacy System Architectures into Open Systems and Systems-of-Systems Architectures. *A Publication of the Defense Acquisition University.* 2009. October. P. 320–341.
25. Maguire M. Socio-technical systems and interaction design. *21st century relevance, Appl. Ergon.* 2014. Vol. 45, N 2 PA. P. 162–170.
26. Смирнов В. Семантика модальных и интенциональных логик. Москва: Прогресс, 1981. 424 с.
27. Devlin K. Situation theory and situation semantics. *Handbook of the History of Logic.* Stanford. 2006. Vol. 7. P. 601–664.
28. McCarthy J. Situations, actions and causal laws. *Stanford Artificial Intelligence Project. Memo series,* Stanford University. 1963. 11 p.
29. Reiter R. The frame problem in the situation calculus: a simple solution (sometimes) and a completeness result for goal regression. *Artificial intelligence and mathematical theory of computation: papers in honour of John McCarthy / ed. V. Lifshitz.* San Diego, CA, USA: Academic Press Professional, Inc. 1991. P. 359–380.

Стаття надійшла до редакції 08.08.2019