
Основні підходи до формування комп'ютерних моделюючих комплексів

Євгеній Додонов

Інститут проблем реєстрації інформації НАН України, Київ, Україна

ORCID 0009-0008-3400-6570

Анотація: Стаття спрямована на огляд та розв'язання актуальної науково–технічної проблеми, що полягає у розробленні теоретичних та методологічних засад створення моделюючого комплексу (МК), як моделюючого середовища і технологічної платформи для дослідження, розроблення та відпрацювання основних проєктних рішень щодо створення АСОУ різного призначення, зокрема, в оборонній сфері.

Доцільність застосування МК для створення АСОУ обумовлено наступним:

- сучасні організації стикаються з комплексними викликами, а саме: необхідність адаптації до нових технологій, глобалізація та зростаюча конкуренція. Комп'ютерні моделюючі комплекси (КМК) дозволяють ефективно відпрацьовувати сучасні технології, створювати та аналізувати різні сценарії функціонування та розвитку системи для прийняття обґрунтованих управлінських рішень;
- швидкий розвиток інформаційних технологій відкриває нові можливості для удосконалення методів організаційного управління. Відпрацювання цих технологій на КМК з метою подальшого використання в АСОУ може значно підвищити ефективність управління;
- організації постійно шукають шляхи оптимізації своїх процесів, зниження витрат та підвищення продуктивності. КМК надають інструменти для моделювання, аналізу та оптимізації бізнес–процесів, що сприяє підвищенню ефективності функціонування організацій;
- сучасні організації мають доступ до великої кількості різномірних даних, які необхідно обробляти та аналізувати для прийняття управлінських рішень. КМК забезпечують напрацювання та вибір рішень щодо інтеграції різномірних даних та виявлення ключових тенденцій і залежностей;
- ефективні методи моделювання дозволяють точніше прогнозувати результати управлінських рішень та мінімізувати ризики. Це особливо важливо у складних і динамічних умовах сучасного бізнесу.

Таким чином, вибір і апробація практично придатних формалізованих методів забезпечення процесів прийняття рішень з високою оперативністю їх напрацювання, простотою і зручністю використання, наочністю представлення результатів управління потребує створення комп'ютерного моделюючого комплексу, який має забезпечити адекватне моделювання процесів управління з урахуванням наявної системи підпорядкованості та взаємодії між керуючими елементами СОУ.

Ключові слова: комп'ютерний моделюючий комплекс, системи організаційного управління, моделювання, інтеграція, інформаційні технології, автоматизація, прийняття рішень, візуалізація даних.

1. Вступ

Сучасні організації стикаються з комплексними викликами, серед яких – необхідність адаптації до нових технологій, глобалізація та зростаюча конкуренція. Комп'ютерні моделюючі комплекси дозволяють ефективно аналізувати різні сценарії та напрацьовувати обґрунтовані управлінські рішення [1].

Швидкий розвиток інформаційних технологій відкриває нові можливості для удосконалення методів організаційного управління. Апробація цих технологій і методів на комп'ютерних моделюючих комплексах може значно підвищити ефективність управління.

Організації постійно шукають шляхи оптимізації своїх процесів, зниження витрат та підвищення продуктивності. Комп'ютерні моделюючі комплекси надають інструменти для моделювання, аналізу та оптимізації бізнес–процесів, що сприяє підвищенню ефективності управління[2].

Ефективні методи моделювання дозволяють точніше прогнозувати результати управлінських рішень та мінімізувати ризики. Це особливо важливо у складних і динамічних умовах сучасного бізнесу.

Організації повинні швидко реагувати на зміни в зовнішньому середовищі. Комп'ютерні моделюючі комплекси забезпечують гнучкість та можливість швидкої адаптації управлінських стратегій до нових умов[3].

Впровадження комп'ютерних моделюючих комплексів може призвести до значної економії ресурсів, підвищення продуктивності праці та збільшення ефективності прийняття рішень.

Ці аспекти підкреслюють важливість та актуальність дослідження методів формування комп'ютерних моделюючих комплексів для створення та вдосконалення систем організаційного управління, що сприятиме розвитку сучасних організацій на основі застосування новітніх інформаційних технологій.

2. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є системи організаційного управління, що використовують комп'ютерні моделюючі комплекси для підвищення ефективності управлінських процесів.

Предметом дослідження є методи та підходи до формування комп'ютерних моделюючих комплексів систем організаційного управління.

3. Мета та задачі дослідження

Метою є дослідження та обґрунтування підходів до формування комп'ютерних моделюючих комплексів, що забезпечують підвищення ефективності АСОУ шляхом моделювання процесів, що в них відбуваються, та відпрацювання на моделі основних проєктних рішень щодо їх створення.

Для досягнення цієї мети в даній статті необхідно було розв'язати такі основні теоретичні та прикладні задачі:

- провести аналіз існуючих підходів до моделювання СОУ[4];
- розробити теоретичні основи формування комп'ютерних моделюючих комплексів, формалізувати основні принципи їх побудови;

4. Аналіз літератури

Значний внесок у розвиток методів дослідження та створення автоматизованих систем управління (АСУ) різних класів, проблемно–орієнтованих комплексів, систем організаційного управління (СОУ) підвищеної живучості, моделюючих комплексів спеціального призначення, ситуаційних центрів, інформаційно–аналітичних систем у сфері оборони, зокрема, систем бойового управління та систем управління оборонними ресурсами, зробили такі вітчизняні вчені як Б. О. Демідов., О. Г. Додонов, О. О. Морозов, І. П. Сініцин, О. М. Загорка., С. П. Ярош, С. О. Кірсанов. Питання актуальності розроблення моделюючого комплексу для створення АСУ, що інтегрує в єдиний інформаційний контур органи управління стратегічного, оперативного та тактичного рівнів, вперше розглянуто Горбуліним В. П. і Додоновим О. Г.

5. Методи досліджень

Комп'ютерний моделюючий комплекс (КМК) – це інтегрована система програмних та апаратних засобів, що використовується для створення, управління та аналізу моделей складних систем з метою прогнозування, оптимізації та прийняття рішень. Основна мета КМК СОУ – забезпечення ефективного інструментарію для моделювання різних процесів і явищ[7], що дозволяє проводити експерименти, аналізувати результати та вдосконалювати управлінські рішення без необхідності втручання в реальні об'єкти.

В контексті даної роботи будемо розуміти моделюючий комплекс як модель системи організаційного управління, що складається із сукупності математичних методів, аналітичних та імітаційних моделей, алгоритмів, технічних засобів і програмних модулів, що реалізують функціональні підсистеми (ФП), комплекси задач і функціональні задачі (ФЗ) управління[9].

Класифікація комп'ютерних моделюючих комплексів

КМК класифікуються за різними ознаками: за типом моделювання; за методом реалізації; за предметною областю; за призначенням; за рівнем інтерактивності; за способом представлення результатів тощо (рис. 1).



Рис. 1. Класифікація комп'ютерних моделюючих комплексів.

Комп'ютерні моделюючі комплекси СОУ, відтворюють складні процеси організаційного управління і є своєрідним полігоном для створення майбутньої автоматизованої СОУ. Незалежно від галузевої спрямованості, КМК СОУ забезпечують[12]:

відпрацювання базових проектних рішень щодо створення СОУ (системних, конструкторських, програмних, технологічних, інструментальних) (рис.2);

аналіз та оцінку різних варіантів організаційно-функціональної структури майбутньої СОУ;

моделювання та прогнозування поведінки об'єктів управління та системи в цілому при впливі непередбачуваних факторів різного походження;

створення (адаптацію) автоматизованих робочих місць (АРМ) до вимог посадових осіб різних рівнів управління;

розробку конструкторсько-технологічної документації для створення СОУ;

поетапне впровадження функціональних автоматизованих компонентів системи управління;

тренаж і підготовку посадових осіб для розв'язання завдань організаційного управління[10].



Рис. 2. Відпрацювання основних проєктних рішень щодо створення СОУ на моделюючому комплексі.

При розробці комп'ютерних моделюючих комплексів важливо дотримуватися певних принципів[13], які забезпечують ефективність, надійність та гнучкість системи. Основні принципи побудови КМК включають:

1. Принцип модульності

Модульність: комплекс повинен складатися з окремих модулів, які можуть бути розроблені, протестовані та оновлені незалежно один від одного.

Інтерфейси між модулями: модулі повинні мати чітко визначені інтерфейси для обміну даними та взаємодії.

2. Принцип масштабованості

Горизонтальна масштабованість: комплекс повинен підтримувати додавання нових модулів або компонентів без значних змін у загальній архітектурі.

Вертикальна масштабованість: комплекс повинен ефективно використовувати додаткові ресурси (процесорний час, пам'ять) для обробки більших обсягів даних або складніших задач.

3. Принцип гнучкості та адаптивності

Гнучкість: комплекс повинен бути здатним адаптуватися до змін умов експлуатації та вимог користувачів.

Конфігураційна гнучкість: можливість налаштування параметрів системи без необхідності її перепрограмування.

4. Принцип інтегрованості

Інтегрованість: комплекс повинен легко інтегруватися з існуючими інформаційними системами та інфраструктурою організації.

Сумісність: забезпечення сумісності з різними програмними і апаратними платформами.

5. Принцип надійності, відмовостійкості та живучості

Надійність: комплекс повинен працювати стабільно і безпомилково в різних умовах експлуатації.

Відмовостійкість: комплекс повинен мати механізми для виявлення і відновлення після збоїв, а також захисту даних від втрати.

Живучість[18]: комплекс повинен мати здатність пристосовуватися до змін, обумовлених деструктивними впливами, змінюючи поведінку, структуру, а часто і мету функціонування.

6. Принцип безпеки

Захист даних: комплекс повинен забезпечувати конфіденційність, цілісність та доступність даних.

Кібербезпека: захист від зовнішніх та внутрішніх кіберзагроз, включаючи несанкціонований доступ та атаки.

7. Принцип ефективності

Оптимізація продуктивності: комплекс повинен максимально ефективно використовувати доступні ресурси.

Висока швидкість обробки: мінімізація часу обробки даних і виконання моделей.

8. Принцип користувацької зручності

Інтуїтивний інтерфейс: комплекс повинен мати зрозумілий і зручний інтерфейс для користувачів різних рівнів підготовки.

Підтримка користувачів: наявність документації, навчальних матеріалів та технічної підтримки для користувачів.

9. Принцип стандартизації

Використання стандартів: дотримання загальноприйнятих стандартів у розробці та інтеграції комплексів для забезпечення сумісності і взаємодії з іншими системами.

Документованість: наявність повної документації, яка описує структуру, функціонування і взаємодію компонентів комплексу.

Дотримання цих принципів при побудові комп'ютерних моделюючих комплексів забезпечує створення ефективних, надійних та гнучких систем, здатних вирішувати складні завдання моделювання та управління.

Розглянемо основні, базові, підходи, що мають застосовуватися до побудови КМК, як моделей складних систем організаційного управління.

Системний підхід

Системний підхід[22] є методологічною основою дослідження, аналізу, моделювання та створення складних систем управління. Суть системного підходу полягає у реалізації вимог загальної теорії систем, яка узагальнено описує системи різних класів та типів та розробляє специфічні методи їх аналізу. Відповідно до загальної теорії систем, кожен об'єкт у процесі його дослідження повинен розглядатися як система і, одночасно, як елемент загальнішої системи. Будь-яка система (об'єкт) розглядається як сукупність взаємозв'язаних елементів (компонентів), що має вихід (ціль), вхід (ресурси), зв'язок із зовнішнім середовищем, зворотний зв'язок. Основними категоріями теорії систем є: система, елемент, підсистема, відносини, структура, властивість.

Основні принципи системного підходу: цілісність, яка означає, що всі частини системи сприяють досягненню спільної мети і формуванню найкращих результатів відповідно до певного критерію (сукупності критеріїв) ефективності; емерджентність – великі і складні системи мають властивості, не притаманні жодному з формуючих цю систему елементів; ієрархічність побудови, тобто наявність множини (принаймні двох) елементів, які розташовані на основі підпорядкування елементів нижчого рівня елементам вищого рівня; структуризація,

яка дозволяє аналізувати елементи системи та їх взаємозв'язки в рамках конкретної організаційної структури; множинність опису системи, яка означає, що через принципову складність кожної системи її адекватне пізнання вимагає побудови значної кількості різних моделей, кожна з яких описує чи відображає лише певний аспект системи; динамічність, тобто дослідження об'єктів у їх розвитку на всіх етапах життєвого шляху.

Основні етапи застосування системного підходу: визначення об'єкта дослідження; визначення мети та завдань дослідження; визначення критеріїв вивчення досліджуваного об'єкта; виділення суттєвих елементів досліджуваного об'єкта; визначення структури системи; визначення та класифікація зовнішніх зв'язків між елементами досліджуваного об'єкта; вивчення кожного із знайдених складових елементів об'єкта; визначення принципів взаємодії системи зі середовищем її функціонування на основі аналізу сукупності зовнішніх зв'язків; виявлення закономірностей зміни та розвитку елементів досліджуваного об'єкта; виділення основних причинно–наслідкових зв'язків між елементами (так званих системоутворюючих зв'язків), які забезпечують упорядкованість системи; виявлення кінцевої структури та організації системи, на основі чого складається її модель; вивчення процесу управління системою; розроблення програми управління системою.

Управління на основі використання системного підходу містить три послідовні етапи: на першому етапі визначається сфера системного підходу, уточнюються галузь та масштаби діяльності суб'єкта управління, встановлюються (орієнтовно) адекватні сфері, галузі та масштабам діяльності інформаційні потреби; на другому етапі здійснюються необхідні дослідження (системний аналіз); на третьому етапі розробляються альтернативні варіанти розв'язання певних проблем та здійснюється вибір оптимального варіанту за кожним завданням (використовуються експертні оцінки, у тому числі незалежна експертиза).

Системний підхід реалізується у вигляді деякого конкретного (адаптованого до особливостей системи) системного методу (аналізу, інформаційного пошуку), тобто набору правил, процедур, інструкцій, еталонів, прийомів дослідження та технологій підготовки та прийняття рішення з урахуванням особливостей об'єкта та суб'єкта управління.

Системний аналіз

Основний засіб системного підходу – це системний аналіз[20]. Системний аналіз розглядається як сукупність методологічних засобів, що використовуються для підготовки та обґрунтування вирішення складних проблем, що виникають у процесі відносин об'єктів із зовнішньою середою. Системний аналіз поєднує формалізовані, слабо формалізовані та неформалізовані методи та процедури, що дозволяють реалізувати системний підхід до управління системою діяльністю людини та функціонування складних систем на різних етапах життєвого шляху. Основною метою системного аналізу є побудова узагальненої моделі взаємодії даного об'єкту з навколишнім середовищем у конкретній ситуації та вироблення рекомендацій щодо досягнення цим об'єктом певної мети.

Ефективність вирішення проблем за допомогою системного аналізу визначається структурою розв'язуваних проблем. Відповідно до класифікації, всі проблеми підрозділяються на три класи: добре структуровані (well– structured), або кількісно сформульовані проблеми, у яких істотні залежності з'ясовані дуже добре; неструктуровані (unstructured), або якісно виражені проблеми, що містять лише опис найважливіших ресурсів, ознак і характеристик, проте кількісні залежності між якими абсолютно невідомі; слабо структуровані (ill–structured), або змішані проблеми, які містять як якісні елементи, так і маловідомі, невизначені сторони, які мають тенденцію домінувати.

Для вирішення добре структурованих кількісно сформульованих проблем використовується відома методологія дослідження операцій, яка полягає у побудові адекватної математичної моделі (наприклад, задачі лінійного, нелінійного, динамічного програмування, задачі теорії масового обслуговування, теорії ігор та ін.) та застосуванні методів для пошуку оптимальної стратегії управління цілеспрямованими діями.

Для вирішення слабо структурованих проблем використовується методологія системного аналізу, системи підтримки прийняття рішень (СППР).

Сучасний системний аналіз розвивається, зокрема, у таких напрямках: системи та методи прийняття рішень; аналітика даних; консолідована інформація.

Модельний підхід

Важливою особливістю системного підходу є те, що не тільки об'єкт, а й сам процес дослідження виступає як складна система, завдання якої, зокрема, полягає в поєднанні в єдине ціле різних моделей об'єкта[19].

Моделювання є головним методом досліджень у всіх галузях знань та науково обґрунтованим методом оцінювання характеристик складних систем, що використовуються для прийняття рішень у різних галузях діяльності. АСОУ, інформаційно–аналітичні системи, автоматизовані системи обробки інформації належать до класу великих систем, етапи проєктування, впровадження, експлуатації та еволюції яких на даний час неможливі без використання різних видів моделювання.

Можливості модельного підходу надзвичайно різноманітні як за формальними моделями, що використовуються, так і за способами реалізації методів моделювання. Фізичне моделювання дозволяє отримати достовірні результати для простих систем. Складні за внутрішніми зв'язками і великі за кількістю елементів системи важко піддаються прямим способам моделювання і часто для побудови та вивчення потребують імітаційних методів. Поява нових інформаційних технологій збільшує не тільки можливості моделюючих систем, а й дозволяє застосовувати більшу кількість моделей і способів їх реалізації. Удосконалення обчислювальної та телекомунікаційної техніки призвело до подальшого розвитку методів машинного моделювання, без яких неможливе вивчення процесів та явищ, а також побудова великих та складних систем.

Ієрархія моделей. Моделі, що базуються на математичній інтерпретації проблеми, за допомогою певних алгоритмів забезпечують пошук інформації, корисної для прийняття рішень щодо даної проблеми, та є базою для формування варіантів її розв'язання.

Різноразмірність реальних ситуацій вимагають для їхнього адекватного відображення використання комплексів моделей, у яких «вихід» однієї моделі є «входом» для іншої – ієрархії моделей. На кожному рівні ієрархії існує великий набір моделей та методів, користуючись якими можна зібрати необхідний інструмент для вирішення поставленого завдання. Можливе як адаптоване використання тих чи інших відомих моделей і методів, так і розроблення нових, оригінальних моделей і методів, що враховують особливості об'єкта, що моделюється. База моделей може містити як оптимізаційні, так і неоптимізаційні моделі.

Створення моделей має враховувати необхідність їх узгодженого розвитку, ієрархії та системної сумісності, що дозволить створити кластер моделей, які реально можна буде застосовувати при прийнятті рішень.

Імітаційне моделювання. Сучасні дослідження показують, що імітаційне моделювання наразі є чи не найпопулярнішим. Особливість імітаційного моделювання полягає в тому, що в основу його покладено методологію системного аналізу. Вона дозволяє досліджувати систему методами операційного аналізу, який включає такі взаємопов'язані етапи: змістовна постановка задачі; розробка концептуальної моделі; розробка та програмна реалізація імітаційної моделі; перевірка адекватності моделі та оцінка точності результатів моделювання; планування та проведення експериментів та прийняття рішень. Завдяки цьому можна застосовувати імітаційне моделювання як універсальний підхід під час прийняття рішень в умовах невизначеності та врахування в моделях тих факторів, які важко формалізувати, а також використовувати основні засади системного підходу для виконання практичних завдань [13].

Метод імітаційного моделювання дозволяє розв'язувати задачі аналізу великих систем S, включаючи задачі оцінки: варіантів структури системи, ефективності різних алгоритмів управління системою, впливу змін різних параметрів системи. Імітаційне моделювання може

бути покладене також в основу структурного, алгоритмічного та параметричного синтезу великих систем, коли потрібно створити систему із заданими характеристиками при певних обмеженнях, яка є оптимальною за деякими критеріями оцінки ефективності.

Теоретико–множинний підхід

Теоретико–множинний підхід використовується для формалізованого опису складних систем. Він дозволяє описувати множину усіх елементів, що входять до системи, мають певні властивості та знаходяться у певних взаємовідносинах, і використовується у теорії організації та управління системами[15].

У загальній теорії систем при описі системи виходять із загальних припущень про характер її функціонування: система функціонує у часі і в кожен момент часу система може перебувати в одному з можливих станів; на вхід системи можуть надходити вхідні сигнали; система здатна видавати вихідні сигнали; стан системи в даний момент часу визначається попередніми станами та вхідними сигналами, що надійшли в даний момент часу і раніше; вихідний сигнал у даний момент часу визначається станами системи, що відносяться до даного та попереднього моментів часу.

Відповідно до цього підходу формальна модель динамічної системи має такий вигляд:

$$M = \langle T, X, Y, Z, z(t), P \rangle, \quad (1)$$

де T – модельний час;

X, Y – множина відповідно вхідних та вихідних змінних;

Z – простір станів моделі;

$z(t)$ – функція станів, $t \in T$;

P – множина процесів, яка визначається як множина впорядкованих у часі пар елементів $\langle x, z[\tau, t] \rangle$, де $t \in T$, а τ – початковий момент модельного часу для процесу $p \in P$.

Таке визначення задає модель системи у вигляді схеми процесів, у якій множини процесів можуть існувати паралельно в модельному часі T .

Методи розподіленого імітаційного моделювання

В даний час системи розподіленого імітаційного моделювання[17] широко використовуються в практиці проєктування та дослідження складних систем, що потребують великих обсягів моделювання. Прикладом можуть бути такі відомі технології розподіленого імітаційного моделювання як SPEEDES (Synchronous Parallel Environment for Emulation and Discrete Event Simulation), PARASOL (Parallel Solution) і HLA (High Level Architecture) [14 – 16].

Можна зазначити такі чинники, що визначають доцільність розробки та застосування методів розподіленого імітаційного моделювання при побудові МК СОУ:

зменшення (скорочення) часу реалізації імітаційних експериментів. Наприклад, моделювання мережі, що містить десятки сотень вузлів, може зажадати багато днів або навіть тижнів. У той самий час реалізація такої моделі на n комп'ютерах може скоротити в n раз час моделювання;

можливість використання географічно розподілених компонентів;

можливість інтеграції програм моделювання, реалізованих різними розробниками;

зменшення впливу збоїв у роботі комп'ютерів на процес моделювання загалом.

В області розподіленого імітаційного моделювання виділяються дві категорії процесів розподіленого імітаційного моделювання [17]:

аналітичне моделювання, яке використовується для аналізу поведінки досліджуваних систем на основі показників ефективності. Основна вимога до подібних процесів – якнайшвидша реалізація. Такі процеси можуть включати різноманітні анімації для відображення діяльності досліджуваних систем;

моделювання на основі розподіленого віртуального середовища. Тут відомі розробки додатків у двох напрямках. Перший напрямок пов'язаний, перш за все, з комерційною авіацією

та завданнями військових відомств з навчання персоналу. Так, система SIMNET (SIMulator NETworking) з 1991 по 1999 г. використовувалася як ефективний засіб для навчання армійського персоналу у надзвичайних ситуаціях [17]. Другий напрям пов'язаний з роботами різних спільнот з комп'ютерних ігор.

Традиційно імітаційне моделювання використовують у практиці проектування складних систем, для яких відсутні відповідні математичні формулювання. Тим не менш, розробникам та користувачам надаються засоби формалізації у вигляді множини методологічних схем та технологічних стандартів, передбачених загальною методологією імітаційного моделювання та підтримуваних спеціально розробленими мовами та системами моделювання.

На даний час у зарубіжній та вітчизняній практиці послідовного імітаційного моделювання накопичено великий досвід розробки та застосування технологічних стандартів, що насамперед стосуються специфіки створення імітаційних моделей (ІМ), проектування схем та програм імітаційних експериментів, оцінки достовірності ІМ.

Програмне імітаційне середовище включає:

- версії ІМ (моделі ІМ1, ІМ2,... ІМN), що відрізняються множинами логічних процесів і множинами вихідних параметрів, що оцінюються (спостерігаються). Кожна така версія підтримує або певну задачу імітаційного моделювання в аналізованій проблемній галузі, або використовує різні методи та підходи до визначення вихідних параметрів;

- версії схем імітаційних експериментів (схеми СЕ1, СЕ2,... СЕN), що містять набори методів для підтримки різних етапів експериментів (методи М1, М2,... МК) і множину параметрів, що спостерігаються в експерименті (моделі НП1, НП2,... НПК);

- версії програм імітаційних експериментів (програми ППЕ1, ППЕ2,... ППЕН), орієнтованих на реалізацію конкретних сценаріїв та скомпонованих на основі відповідних версій ІМ та схем експериментів;

- накопичені результати моделювання в даній проблемній галузі для різних сценаріїв експериментів (моделі НП1, НП2, НПN). Результати (дані РЕЗ1, РЕЗ2,... РЕЗN) накопичуються та можуть відображатися за допомогою спеціальних методів (Метод1, Метод2,... МетодK);

- специфікацію інтерфейсу, що визначає базову мову моделювання;

- систему моделювання («Симулятор»).

Перша основна група – стандарти для ІМ – зумовлена загальною методологією імітаційного моделювання. Друга група – стандарти для СЕ – та третя група – стандарти для ППЕ – регламентують створення типових сценаріїв експериментів та розробку програм імітаційних експериментів відповідно. У процесі реалізації комп'ютерних експериментів ІМ та відповідна схема експерименту інтегруються в рамках програми імітаційних експериментів із такими загальносистемними компонентами як симулятор, час моделювання, календар.

Основними функціональними модулями симулятора є модулі підтримки менеджменту часу, менеджменту об'єктів та менеджменту володіння. Зокрема, сервіс управління часом є програмною реалізацією узагальненої моделі функціонування досліджуваних систем та виступає в ролі диспетчера (планувальника) процесу моделювання: формує календар, підтримує квазіпаралельне виконання ланцюжків подій та встановлює поточне значення часу моделювання. Залежно від типу досліджуваних систем (безперервних чи безперервно-дискретних) мають бути використані різні версії симуляторів та стандартних схем реалізації типових сценаріїв.

6. Результати досліджень

З метою підвищення повноти розв'язуваних завдань моделями, що використовуються при підтримці прийняття рішень на всіх рівнях управління Збройними Силами (ЗС), а також для підвищення ефективності управління в невизначених умовах останнім часом набули поширення імітаційно-моделюючі комплекси підтримки прийняття рішень, що розробляються як у провідних країнах світу, так і в Україні. Суть такого роду систем зводиться

до прийняття рішення щодо застосування сил та засобів ЗС на основі імітаційного моделювання та оцінки результатів можливого ходу бойових дій за допомогою агрегованих моделей функціонування різнорідних частин та з'єднань сил. Розглядаються різні сценарії застосування сил та засобів, що створюються на основі альтернативних варіантів задуму та варіантів рішення.

Численні вітчизняні дослідження присвячені історичним, технічним й організаційним аспектам застосування імітаційного моделювання у підготовці органів управління тактичної і оперативно-тактичної ланок. Розглядається методика підготовки і проведення командно-штабних навчань за допомогою комп'ютерів, описано цикл робіт зі створення засобів і систем розподіленого імітаційного моделювання. Станом на 2019 рік в країні функціонували Центри імітаційного моделювання з використанням, зокрема, таких систем: JCATS (Joint Conflict and Tactical Simulation), призначеної для тактичного рівня; імітаційно-тренажного комплексу «Вираж-РД»; Follow Me (рівень відділення, взводу); Battle Command (рівень взвод – рота – батальйон); MILES (Multiple Integrated Laser Engagement System), призначеної для імітації умов реального бою в тактичній підготовці. Передбачалося впровадження системи JTLS-GO (Joint Theater Level Simulation – Global Operations), яка, на відміну від JCATS, має широкий функціонал на оперативному рівні.

Багато досліджень і публікацій, зокрема і вітчизняних науковців, присвячено проблемам розвитку Збройних Сил, організації ефективної системи управління військами, автоматизації процесів управління із застосуванням моделі єдиного інформаційного простору (ЄІП), використання можливостей моделюючих комплексів при створення АСОУ спеціального призначення.

Проблемам моделювання СОУ та створенню комп'ютерних моделюючих комплексів, як спеціалізованих засобів моделювання, що надають інструментарій для проведення комплексного дослідження та оцінки ефективності створюваних АСОУ шляхом їх аналізу, дослідження процесів взаємодії, прогнозування змін у функціонуванні, передбачення переходу у небажані стани і запобігання цим процесам, присвячено роботи [12, 18].

Засади створення та застосування комп'ютерних МК для моделювання процесів управління АСОУ спеціального призначення були запропоновані та викладені в численних публікаціях науковців Інституту проблем реєстрації інформації НАН України (ІПРІ НАН України).

У [19] розглянуто питання побудови структури СОУ авіаційним комплексом (АК) та інформаційної взаємодії її елементів у процесі функціонування СОУ АК. У роботі [20] розглядаються принципи побудови, структура комп'ютерної моделі та технологія комп'ютерного моделювання, орієнтовані на створення СОУ АК. У [21] досліджено питання щодо побудови інтегрованої інформаційної системи, що забезпечує збір, накопичення, обробку, пошук та подання інформації в інтересах органів управління спеціального призначення. У статті [22] розглядається процес комп'ютерного моделювання системи управління мобільним АК, що базується на рухомому аеродромі. У [23] розглянуто функціональні можливості комп'ютерного моделюючого комплексу при моделюванні процесів автоматизованого управління АК на прикладі вирішення комплексної функціональної задачі «Виконання планової таблиці польотів». Робота [24] присвячена питанням побудови узагальненої структури інформаційної системи організаційного управління. У роботі [25] розглядається процес управління моделюванням при вирішенні функціональних завдань на автоматизованих робочих місцях (АРМ) комп'ютерної моделі СОУ АК.

Вперше питання актуальності створення моделюючого комплексу для відпрацювання основних проєктних рішень, що дозволять створити автоматизовану систему управління, що інтегрує в єдиний інформаційний контур органи управління стратегічного, оперативного та тактичного рівнів, розглянуто в роботі [26].

Теоретичні напрацювання реалізовано у розробленні та створенні моделюючих комплексів, які розгорнуто в ІПРІ НАН України, а саме: МК АСУ АК – Моделюючого комплексу автоматизованої системи управління авіаційним комплексом; МК КСУ КЗ – Моделюючого комплексу командної системи управління корабельним з'єднанням; МК АСУ СЗ ЗСУ – Моделюючого комплексу для створення автоматизованої системи управління силами і засобами ЗСУ, що інтегрує в єдиний інформаційно–функціональний контур органи управління стратегічного, оперативного і тактичного рівнів управління.

Не зважаючи на вагомий внесок вітчизняних науковців, велика кількість проблем, пов'язаних з теорією і практикою моделювання процесів функціонування АСОУ військового призначення із застосуванням МК в інтересах ЗС України залишаються недостатньо апробованими або невирішеними, що обумовлює необхідність їх розв'язання та подальшого розвитку.

7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

Для представлення перспектив розвитку досліджень необхідно спочатку представити існуючі проблеми при формуванні КМК СОУ, які можна подолати та вирішити завдяки представленим у даній статті підходам та методам формування КМК СОУ:

Про розробленні та створенні КМК СОУ виникають проблеми, які можна класифікувати за такими основними категоріями:

1. Технічні проблеми

- Складність інтеграції: різні програмні компоненти часто важко інтегрувати в єдиний комплекс через різні стандарти та протоколи.
- Обмежена масштабованість: деякі системи не можуть легко масштабуватись під збільшення обсягу даних або користувачів, що призводить до втрати продуктивності.
- Низька сумісність: програмні компоненти часто не сумісні з існуючими інформаційними системами або інфраструктурою організації.

2. Методологічні проблеми

- Недостатня точність моделей: моделі можуть не враховувати всі аспекти реальних систем, що призводить до помилкових прогнозів або рекомендацій.
- Складність валідації: перевірка точності та адекватності моделей може бути складною і вимагати значних ресурсів.
- Одновимірність підходів: багато методів використовують спрощені підходи, не враховуючи багатофакторність реальних систем управління.

3. Організаційні проблеми

- Опір змінам: співробітники організацій можуть чинити опір впровадженню нових інформаційних технологій через страх змін або недовіру.
- Недостатнє навчання персоналу: недостатня кваліфікація персоналу може призвести до неправильної експлуатації системи або неефективного використання її можливостей.
- Брак людських ресурсів: впровадження та підтримка складних моделюючих комплексів вимагає значних людських ресурсів.

4. Безпекові проблеми

- Вразливість до кіберзагроз: комп'ютерні моделюючі комплекси можуть стати мішенню для кібератак, що загрожує безпеці даних і стабільності системи.
- Захист конфіденційної інформації: збереження конфіденційних даних в моделюючих комплексах потребує надійних заходів безпеки, які не завжди належним чином реалізовані.

5. Економічні проблеми

- Фінансові витрати: розроблення, впровадження та підтримка моделюючих комплексів можуть вимагати значних фінансових витрат.

8. Висновки

У даній статті розглянуто теоретичні аспекти формування комп'ютерних моделюючих комплексів.

Визначено основні поняття та наведена класифікація комп'ютерних моделюючих комплексів: за типом моделювання; за методом реалізації; за предметною областю; за призначенням; за рівнем інтерактивності; за способом представлення результатів.

Визначено, що незалежно від галузевої спрямованості, МК СОУ забезпечують: відпрацювання базових проєктних рішень щодо створення СОУ (системних, конструкторських, програмних, технологічних, інструментальних); аналіз та оцінку різних варіантів організаційно-функціональної структури майбутньої СОУ; моделювання та прогнозування поведінки об'єктів управління та системи в цілому при впливі непередбачуваних факторів різного походження; створення та адаптацію автоматизованих робочих місць (АРМ) до вимог посадових осіб різних рівнів управління; розробку конструкторсько-технологічної документації для створення СОУ; поетапне впровадження функціональних автоматизованих компонентів системи управління; тренаж та підготовку посадових осіб для розв'язання завдань організаційного управління.

Розглянуто основні принципи побудови МК, а саме: модульність; масштабованість; гнучкість та адаптивність; інтегрованість; надійність, відмовостійкість та живучість; безпека; ефективність; зручність користувача; стандартизація.

Наведено базові теоретичні підходи, що мають застосовуватися до побудови КМК, як моделей складних систем організаційного управління: системний підхід; системний аналіз; модельний підхід; теоретико-множинний підхід.

Розглянуто методи та технології розподіленого імітаційного моделювання, які широко використовуються в практиці проєктування та дослідження складних систем, що потребують великих обсягів моделювання.

Досліджено стан розвитку та створення комп'ютерних моделюючих комплексів спеціального призначення в Україні. Показано, що, не зважаючи на вагомий внесок вітчизняних науковців, велика кількість проблем, пов'язаних з теорією і практикою моделювання процесів функціонування АСОУ військового призначення із застосуванням МК в інтересах ЗС України залишаються недостатньо апробованими або невирішеними, що обумовлює необхідність їх розв'язання та подальшого розвитку.

Визначено основні проблеми, що виникають при створенні МК: технічні; методологічні; організаційні; безпекові та економічні.

Таким чином, дослідження підтверджує, що успішне формування комп'ютерних моделюючих комплексів СОУ вимагає застосування підходів та методів, що враховують різноманітні аспекти розроблення, впровадження та експлуатації таких систем.

Список літератури:

- 1) Dean, J., & Ghemawat, S. (2008). MapReduce: Simplified data processing on large clusters. *Communications of the ACM*, 51(1), 107–113.
- 2) Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press. Cambridge.
- 3) Lee, M. D. P. (2008). A review of the theories of corporate social responsibility: Its evolutionary path and the road ahead. *International Journal of Management Reviews*, 10(1), 53–73.
- 4) Serman, J. D. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. Irwin McGraw-Hill.
- 5) Bower, J. L., & Christensen, C. M. (1995). Disruptive technologies: Catching the wave. *Harvard Business Review*, 73(1), 43–53.
- 6) Fama, E. F. (1970). Efficient capital market: A review of theory and empirical work. *Journal of Finance*, 25(2), 382–417.

- 7) Floridi, L. (2014). *The fourth revolution: How the infosphere is reshaping human reality*. Oxford University Press.
- 8) Chalmers, D. J. (1996). *The conscious mind: In search of a fundamental theory*. Oxford University Press.
- 9) Sargent, R. G. (2013). Verification and validation of simulation models. *Journal of Simulation*, 7(1), 12–24. <https://doi.org/10.1057/jos.2012.20>
- 10) Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2010). *Discrete-event system simulation* (5th ed.). Prentice Hall.
- 11) Fishman, G. S. (1996). *Monte Carlo: Concepts, algorithms, and applications*. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2553-7>
- 12) Dodonov, O. G. (2016). Computer modeling of organizational management systems. *Mathematical Machines and Systems*, (3), 85–92.
- 13) Zadachyn, V. M., & Koniushenko, I. H. (2010). *Modeling of systems* (V. M. Zadachyn & I. H. Koniushenko, Eds.). KhNEU Press.
- 14) Steinman, J. (1991). SPEEDES: Synchronous parallel environment for emulation and discrete-event simulation. In *SCS Western Multiconference on Advances in Parallel and Distributed Simulation (PADS91)* (Vol. 23). <https://connections-qj.org/ru/article/speedes-synchronous-parallel-environment-emulation-and-discrete-event-simulation>
- 15) Stevens, C., & Bagheri, H. (2022). Parasol: Efficient parallel synthesis of large model spaces. *CSE Conference and Workshop Papers*, (335). <https://digitalcommons.unl.edu/cseconfwork/335>
- 16) IEEE. (2010). *IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA) – Framework and rules* (Standard No. 1516-2010).
- 17) Kelton, W., & Law, A. (2004). *Simulation modeling*. BHV Publishing Group
- 18) Dodonov, O. G. (2016). Computer modeling of organizational management processes. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, (1), 69–77.
- 19) Dodonov, A. G., Lande, D. V., Putiatin, V. G., et al. (2014). Building an organizational management system for an aviation complex. *Registration, Storage and Data Processing*, 16(1), 28–43.
- 20) Dodonov, A. G., Putiatin, V. G., Kutsenko, S. A., et al. (2014). Computer modeling of the organizational management system of an aviation complex. *Registration, Storage and Data Processing*, 16(3), 25–44.
- 21) Dodonov, A. G., Putiatin, V. G., & Butochnov, A. N. (2014). Organization of the structure of information processing and management system. *Mathematical Machines and Systems*, (4), 18–34.
- 22) Dodonov, A. G., & Putiatin, V. G. (2014). Computer modeling of the control system of a mobile aviation complex. *Mathematical Machines and Systems*, (4), 156–170.
- 23) Dodonov, A. G., Putiatin, V. G., Kutsenko, S. A., et al. (2015). A scenario-based approach to modeling functional tasks on a computer modeling complex. *Mathematical Machines and Systems*, (2), 113–129.
- 24) Dodonov, O. G., Putiatin, V. G., Kutsenko, S. A., & Lande, D. V. (2017). Development of a generalized structure of the information system for organizational management. *Mathematical Machines and Systems*, (3), 3–22.
- 25) Dodonov, A. G., Putiatin, V. G., Kutsenko, S. A., et al. (2016). Simulation process management for solving functional tasks on a computer modeling workstation of the ISOU AC. In *Proceedings of the 5th International Scientific Conference “Modeling–2016”* (Kyiv, May 25–27, 2016), IPME NAS of Ukraine, 225–228.
- 26) Horbulin, V. P., & Dodonov, O. G. (2023). Modeling complex for creating an automated control system integrating strategic, operational, and tactical command levels. *Armament and Military Equipment*, 2(38), 57–64.

Fundamental approaches to the development of computer modeling complexes

Ievgenii Dodonov

Institute of Information Registration Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

ORCID 0009-0008-3400-6570

Abstract: The article addresses a pressing scientific and technological challenge: the development of theoretical and methodological foundations for constructing a modeling complex (MC) as both a simulation environment and a technological platform for the analysis, design, and refinement of key project solutions in the development of organizational control systems (OCS) of various types, including those in the defense sector.

The relevance of using modeling complexes in the development of OCS is supported by several factors:

- Contemporary organizations are confronted with multifaceted challenges such as the need to adapt to emerging technologies, increasing globalization, and intensified competition. Computer-based modeling complexes (CMCs) provide an effective means to explore advanced technologies, simulate diverse operational scenarios, and support informed decision-making.
- The rapid evolution of information technologies offers new opportunities for enhancing organizational management methods. By testing these technologies within CMCs, organizations can improve the performance and adaptability of their control systems.
- Continuous efforts to optimize operations, reduce costs, and increase productivity necessitate robust tools for simulating, analyzing, and optimizing business processes. CMCs provide such tools, facilitating more efficient and resilient organizational workflows.
- Organizations today must handle vast and heterogeneous data streams. CMCs enable the integration and analysis of disparate data sources, revealing key trends and dependencies that inform strategic and tactical decisions.
- Advanced modeling techniques enhance the accuracy of outcome forecasting and help mitigate risks, which is particularly critical in complex and volatile business environments.

Accordingly, the selection and validation of practically applicable formalized methods that support high-speed decision-making, ease of use, and intuitive result visualization require the implementation of a computer-based modeling complex. Such a system must be capable of accurately simulating management processes, while considering hierarchical structures and the dynamic interactions among control elements within the organizational system.

Keywords: computer modeling complex, organizational management systems, modeling, integration, information technologies, automation, decision-making, data visualization.
