

*Пашков Д.П., Прібилєв Ю.Б., Сакович Л.М.*

## ВЕРБАЛЬНА МОДЕЛЬ СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Проведено моделювання інформаційного вигляду складних технічних систем, що дозволяє удосконалити технічний і технологічний рівень систем та зменшити їх шкідливий вплив на навколишнє середовище.

**Ключові слова:** складна технічна система, вербальна модель, інформаційний вигляд.

**Вступ.** Системи наукових понять не виникають довільно, вони повинні бути тісно пов'язані з потребами практики. Теорія робить вирішальний вплив на напрямок емпіричних пошуків, які стають невіддільними від ідей і результатів математичної теорії. Вона дозволяє виявити багато явищ ще до того, як вони спостережені, і тим самим, спрямовує емпіричні пошуки. Властивості будь-якої складної технічної системи (СТС) формулюються замовником та формуються виконавцем ще на етапі її проектування. При цьому, якщо вимоги екологічної безпеки на усіх життєвих циклах СТС у завданні на проектування замовником не сформульовані, або упущенні при проектуванні, то в подальшому виправити помилки вже буде неможливо. Не обгрунтувавши та не передбачивши на етапі проектування та синтезу СТС негативні екологічні наслідки застосування системи, подальше проектування втрачає сенс, оскільки вона може виявитися небезпечною у своїй основі. У той же час використання моделювання під час проектування СТС дозволяє удосконалити технічний і технологічний рівень системи, покращити її якісний рівень, та зменшити шкідливий вплив системи на навколишнє середовище.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Системотехніка, як наука, використовує в основному засоби та методи, запозичені з інших областей, та досвід і інтуїцію дослідників. Основна причина цього полягає у відсутності теоретичного фундаменту, на якому можна було б будувати відповідну методологію [1]. Питання синтезу інформаційного вигляду СТС, у якості яких можуть бути представлені більшість сучасних систем озброєння (СО), у сучасній технічній літературі практично не досліджені. Більш того, саме поняття "синтезу інформаційного вигляду СТС" – не визначено. Окремі методи моделювання СТС розглянути авторами у [2, 3], але синтез адекватної вербальної моделі системи, як перший етап вирішення проблеми синтезу інформаційного вигляду СТС ще ні ким не був запропонований.

**Мета статті** полягає у дослідженні вербального моделювання СТС, та його значення у синтезі інформаційного вигляду системи. Потребують детального розгляду питання вирішення проблеми часового балансу СТС, що дозволить сформувати інформаційний вигляд системи.

**Викладення основного матеріалу.** Ефективним засобом для оцінки структур і властивостей СТС на передпроектній та ранньої проектній стадіях є моделювання, яке у цих стадіях життєвого циклу системи дозволяє виявити недоліки проекту, оцінити узгодженість дій елементів системи. Однак, проблема методології моделювання СТС ще далека від вирішення [4]. Зараз мають місце тільки локальні методичні положення. Прикладні методики моделювання мають частний характер, процес побудови моделей дуже трудомісткий, а співвідношення, що описують реальні об'єкти, все ще дуже громіздкі та не адекватні системам, що досліджуються.

---

Тим часом в цій галузі виникають нові, більш складні завдання, наприклад, такі, як моделювання багаторівневих ієрархічних систем. Якщо модель, як інформаційне уявлення дійсності, має складність, яка дорівнює або перевершує складність реального об'єкта, то не має сенсу використовувати таку громіздку модель. Тому при моделюванні допускають ряд спрощень у порівнянні з реальним об'єктом. Тим не менш, практика застосування таких моделей дозволяє прогнозувати і аналізувати поведінку СТС з достатньою точністю. Складність, однак, полягає в тому, щоб правильно обрати найважливіші змінні і співвідношення між ними. Таким чином, фактично модель – це функціональна схема деякого реального явища, побудована шляхом опису в ній найбільш істотних властивостей математичними залежностями.

З урахуванням вищеназваних труднощів у створенні адекватних математичних моделей навряд чи можна вважати доцільним починати синтез СТС з складної математичної моделі ще до того, як перевірено основні гіпотези і досягнуто більш глибоке розуміння механізму роботи СТС. Набагато ефективніше спочатку визначити основні підсистеми і встановити головні взаємозв'язки між ними. За своїм задумом і змістом цей етап синтезу є не що інше, як фізичне моделювання системи.

Кількісний аналіз інформації тільки тоді дасть позитивні в результаті, коли розкрита якісна її сторона. Вдало обрана фізична модель істотно спрощує, а в деяких випадках може взагалі виключити складний етап математичного моделювання. Системна проблематика по суті зводиться до обмеження застосування традиційних аналітичних процедур в науці. Незважаючи на те, що математичні моделі володіють важливою перевагою – чіткістю, можливістю суворої дедукції, повторюваністю і т.і., не слід відмовлятися від використання моделей, сформульованих звичайною мовою, або так званих вербальних моделей.

Вербальна (фізична) модель краще, ніж відсутність моделі взагалі або використання математичної моделі, яка при насильницькому насадженні фальсифікує реальність. Представляючи систему її інформаційно-структурним виглядом, найбільш зручною і наочною фізичною моделлю СТС може служити виробничий конвеєр або промислове підприємство. Дійсно, як і структурний вигляд системи, структура потокової лінії інваріантна (набір типових пристроїв, агрегатів і порядок їх розміщення досить стійкий). Найважливішим завданням в організації потокової лінії або підприємства в цілому завдання ліквідації "вузьких місць" виробничого циклу. Практично завжди при з'єднанні різних виробничих циклів виникає завдання правильної (узгодженої) організації технологічності процесу. Наприклад, що якщо одна ланка виробляє продукцію раніше, ніж може переробити наступна, або, навпаки, друга ланка недовантажена у зв'язку з недостатньою продуктивністю першої, то треба удосконалювати організацію виробничого процесу. Необхідно так організувати виробничий процес, щоб підприємства у всіх ланках були навантажені повністю і рівномірно.

Інша справа – визначення територіального розміщення проектного підприємства. Це типова задача вибору рішення на "рівні ідей". Повинні бути враховані усі фактори – це і можливості поставки сировини, і мінімізація вартості такого постачання і можливості реалізації готової продукції і т.і. В узагальненому вигляді завдання на цьому рівні може бути представлено як завдання максимального вихідного продукту при мінімумі витрат. Є очевидним, що помилки, допущені на цьому етапі, найбільш небезпечні – оптимізацією структури підприємства їх компенсувати не можна. Воно може бути реалізовано на найсучаснішій базі і технології, на найвищому рівні автоматизації процесу виробництва, але, якщо підприємство побудовано у Львові, а сировина постачається з Харкову та споживач знаходиться у Одесі – економічна ефективність такого підприємства буде дуже низькою через логістичні прорахунки. Про це можна стверджувати, не роблячи ніякої, навіть наближеної кількісної оцінки ефективності.

Аналогічні ситуації об'єктивно існують і при синтезі СО, як різновиду СТС. Слід розглядати її внутрішні та зовнішні аспекти, тобто спочатку слід визначитися в стратегії,

тобто встановити, якою бути системі в принципі і тільки після цього приступати до завдань інформаційного, конструктивного і технологічного плану (тактичного характеру). Помилки в стратегії завжди були, є і будуть незрівнянно дорожче помилок в тактиці.

Еквівалентність задачі узгодження ланок потокової лінії при рівномірнім і повнім завантаженні лінії в цілому із завданням сумісності підсистем СТС по пропускній здатності з метою оптимізації ефективності системи представляється, таким чином, актуальною. При такому поданні фізичної моделі системи виявляється можливим поетапне вирішення загального завдання сумісності систем. В якості вихідної ("базової") підсистеми слід розглянути таку підсистему, яка найбільш суттєво обмежує пропускну здатність системи (підсистему з мінімальною пропускну спроможністю). Якщо такою є підсистема  $S_i$ , то завдання узгодження може бути вирішено поетапно для пар підсистем

$$\{S_i, S_{i-1}\}; \{S_{i-1}, S_{i-2}\}; \dots \{S_2, S_1\} \quad \text{та} \quad \{S_i, S_{i+1}\}; \{S_{i+1}, S_{i+2}\}; \dots \{S_{n-1}, S_n\}.$$

Ще більш наочною і переконливою фізичною моделлю СТС може служити "модель кінотеатру". Можна сміливо стверджувати, що ніколи і нікому не прийде в голову думка запросити в кінозал всіх людей, що опинилися на заданому часовому інтервалі в околицях кінотеатру, щоб тільки після цього перевірити наявність квитків і запропонувати "зайцям" покинути зал. Наявність квитків прийнято контролювати на вході в кінозал. У той же час в сучасних СО (ракетних комплексах) класифікація об'єктів (цілей), що обслуговуються, на "корисні" (що підлягають знищенню) і "непотрібні" проводиться саме так – лише на виході системи отримання та обробки радіолокаційної інформації, тобто після того, як об'єкт пройшов усі без винятку тракти обробки.

Побудова адекватної вербальної моделі СТС є першим кроком вирішення проблеми синтезу інформаційного вигляду системи. Повертаючись до СО, як різновиду СТС, є очевидним, що, наприклад, з досвіду експлуатації ракетних комплексів з усіх етапів вирішення задачі знищення цілей противника добре досліджені тільки два етапи: етап доставки до цілі засобів ураження і етап безпосереднього знищення цілі. Усі решта етапи вимагають суворого і ретельного обґрунтування: завдання і вимоги до джерела цілевказівок, номенклатура засобів активного впливу на противника, швидкодія систем обробки і передачі інформації, принципи цілерозподілу і т.і. Рівень і стан розвитку СТС вимагають розробки принципів рішення цих проблем ще на етапі синтезу вигляду системи. Без цього інформаційно-структурний вигляд системи, що проектується, буде далеким від оптимального. Особливо важливим для СТС є експлуатаційний фактор. При сучасному технологічному рівні СТС час їх напрацювання на відмову може бути досить великим, проте час відновлення може бути набагато більшим.

Зараз складно знайти сучасну СТС, яка побудована без використання обчислювальних засобів. Однак, при їх "безсистемному" використанні інформаційний вигляд СТС і їх складових частин виявляється зазвичай сумбурним. Якщо брати за приклад радіолокаційну техніку, то можна побачити, що при конструюванні останньої обчислювальні засоби застосовуються хаотично, без належної стрункості, чіткості і ясності. До сих пір без належного аналізу залишилися питання що, як і чому повинні робити обчислювальні засоби, як і питання їх організації їх взаємодії. Це і породжує в кінцевому рахунку технічне свавілля в питаннях їх використання і веде до надмірної насиченості СТС обчислювальними засобами.

Рішення подібних завдань вимагає розробки основ синтезу інформаційного вигляду СТС. Розробляючи нову систему, дослідник-розробник повинен поглянути на неї з різних (непередбачуваних) точок зору. Інакше кажучи, СТС повинна бути представлена в декількох функціональних просторах, які потім слід узгодити між собою в деякому "надпросторі", що володіє великою спільністю. Синтез цього над простору, як правило, дозволяє виявити нову сутність [6]. Можна стверджувати, що будь-яка СТС, в тому числі і більшість СО, існує в

чотирьох функціональних просторах: структурному, метричному, часовому і інформаційному. Порівняно просто вирішується завдання представлення системи в структурному просторі в силу явно заданої інваріантності її. Погляд на систему з точки зору представлення її в метричному і часовому просторі дозволяє розкрити просторові і часові ресурси системи. Більш того, він дозволив зробити висновок про те, що для пошуку шляхів поліпшення часового балансу слід звернутися до погляду на систему з точки зору інформаційного функціонального простору.

Завдання синтезу інформаційного вигляду СО відноситься до класу принципово нових технічних завдань, вирішення якого дозволить сформулювати новий вигляд системи в цілому. У пошуку технічних ідей для формалізації і вирішення цього завдання особливу роль набуває неупереджена точка зору і несподіваний ракурс, оскільки такі підходи насамперед найкоротшим шляхом ведуть до успіху. Йдеться про створення систем з невідомими раніше функціями, а практика розвитку нових систем переконливо показує, що створювати пристрої з невідомими раніше функціями значно важче, ніж досліджувати або копіювати готові.

Одна з проблем синтезу СТС – розв'язання суперечностей між привабливою перспективністю нового, але неосвоєного і в значній мірі сумнівного, і конкретністю, надійністю, але обмеженістю старого, відпрацьованого і відомого. Недостатній обсяг апріорної інформації, що має пряме відношення до нових ідей, існує завжди, це і створює проблему. На жаль, спокуса і тяга до сталих технічних рішень і поглядів на систему в цілому настільки великі, що вони об'єктивно і насильно насаджують традиційні підходи до вирішення завдань синтезу і сприяють ненавмисному приховуванню нових технічних ідей.

Наприклад, принципи обробки відмітки від кожної з цілей окремо мають властивість інваріантності, а спільна обробка множини цілей може бути організована різними способами і властивістю інваріантності не володіє. Залежно від вимог, що пред'являються до обробки інформації по окремій цілі, така обробка може бути менш або більш складною, але принципи і методологія самої обробки зберігаються. Це означає, що питання безпосередньої обробки (первинної, вторинної і т.і.) відміток по кожній з цілей окремо не є предметом системного синтезу. До того ж, це питання вже фундаментально досліджені [5]. Питання ж організації спільної обробки відміток множини цілей, що надходять на вхід СО, майже зовсім не досліджені. По суті ж своїй вони належать виключно системної проблематики.

У [6] показано, що обсяг обчислень, пов'язаних з обробкою навіть однієї координати в одному циклі вимірювання (стробування, екстраполяція, згладжування, звірення) вельми громіздкий. Позначимо його через  $B_1$ , а кількість оцінюваних координат по одній цілі – через  $B_2$ . Тоді при  $\alpha$ -кратній роботі у стробі за  $n$  періодів огляду обсяг обчислень складе:

$$B(n,1) = \alpha n B_1 B_2.$$

Загальний обсяг обчислень при спільній обробці відміток від  $N_0$  цілей, кожна з яких підтверджується в  $n$  періодах огляду, складає

$$B(n, N_0) = \alpha n N_0 B_1 B_2 \xi(N_0). \quad (1)$$

В (1) через  $\xi(N_0)$  позначений коефіцієнт, що характеризує ускладнення алгоритму обробки інформації з ростом  $N_0$  ( $\xi(1) = 1$ ). Суворо кількісна оцінка поведінки  $\xi(N_0)$  навряд чи можлива, але з ростом  $N_0$  обсяг обчислень зростає істотно швидше, ніж  $N_0$ . Значення  $\alpha$  визначається вимогами до точності супроводу траєкторії,  $n$  – часом супроводу,  $B_1$  – способом екстраполяції і згладжування параметрів руху цілі і  $B_2$  – закладеної в обробку гіпотезою ураження цілі.

Як можна побачити, жодним із цих параметрів неможливо істотно зменшити загальний обсяг обчислень з метою спрощення інформаційного вигляду системи без відповідного йому погіршення характеристик всієї системи в цілому. Крім того, в сучасних СО етапи первинної і вторинної обробки функціонально взаємопов'язані. Так, координати меж стробів є одним з результатів вторинної обробки, а первинна обробка радіолокаційної інформації про супроводжуваних цілях здійснюється "в стробах". Сама процедура входження радіолокатора в режим роботи "в стробі" носить комбінаторний характер, оскільки при переході від одного рядка огляду до іншого потрібно порівняти поточний азимут цього рядка з початковим азимутом кожного з стробів. Отже, збільшення кількості супроводжуваних цілей істотно ускладнює весь процес обробки. З іншого боку, це означає, що єдина можливість спрощення інформаційного вигляду радіолокаційної системи зводиться до оптимального вибору числа супроводжуваних цілей  $N_0$  за період робочого циклу.

Оскільки функції у послідовно розташованих підсистем системи принципово різняться за змістом і за часом їх реалізації, то каналність підсистем буде так само принципово різною. Природно, оптимальний вибір каналності підсистем являє змістовну суть проблеми узгодження підсистем в системі, зокрема, по пропускній здатності. Якщо припустити, що проблема узгодження підсистем в СО вирішена, то практично не існує ніяких перешкод на поширення цього рішення як вгору, так і вниз. Вгору – для узгодження різних за принципом дії на супротивника СО, а вниз – для узгодження підсистем між собою. Для вирішення самої проблеми узгодження за пропускної спроможністю достатньо розглянути систему, що складається з двох підсистем, оскільки отримане рішення дозволить узгодити будь-яку пару сусідніх підсистем. Найбільш наочним поданням СО є представлення її у вигляді сукупності підсистеми цілевказівки і підсистеми ракетного комплексу.

#### **Висновок.**

Таким чином, у статті показано значення вербального моделювання СТС, як початкового кроку синтезу інформаційного вигляду системи. Синтез інформаційного вигляду СТС розглянутий у якості принципово нового технічного завдання, що дозволить сформувати новий вигляд системи в цілому. Проблема спрощення інформаційного вигляду СТС є наслідком необхідності вирішення проблеми часового балансу. Тому подальшим напрямком досліджень є розробка наукових принципів відбору відміток в обробку на різних рівнях ієрархії, що виключають інформаційне перевантаження системи і оптимізують вимоги до обчислювальних засобів системи і СО в цілому.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Месарович М., Такахара И. Общая теория систем: математические основы. Пер. с англ. М., "Мир", 1978. – 312 с.
2. Пермяков О. Ю. Моделювання системи діагностування та ремонту зенітних ракетних комплексів за допомогою замкнутої системи масового обслуговування [Текст] / О.Ю.Пермяков, Ю.Б.Прібилев, П.В.Опенько, І.В.Новікова // Науково-практичний журнал „Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони“. К.: Національний університет оборони України ім. І. Черняхівського, вип. №3(24), 2015. – С. 88 – 93.
3. Пермяков О. Ю. Модель системи діагностування, технічного обслуговування та ремонту складних технічних систем військового призначення. / О. Ю. Пермяков, Ю. Б. Прібилев, О. О. Дюбанов. // Наука і оборона. – 2016. – № 2. – С. 48-52.
4. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: учебник для вузов / В.П. Тарасик. – Минск: Дизайн ПРО, 2004. – 640 с.
5. Корягин С. И., Клячек П.М., Лизоркина О.А. Интеллектуальная системотехника: монография. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2015. – 315 с.
6. Неупокоев Ф. К. Стрельба зенитными ракетами. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Воениздат, 1991. – 343 с.

---

---

**Д.П. Пашков, Ю.Б. Прибылев, Л.М. Сакович**

**ВЕРБАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

*Проведено моделирование информационного вида сложных технических систем, позволяет усовершенствовать технический и технологический уровень систем и уменьшить их вредное воздействие на окружающую среду.*

*Ключевые слова:* сложная техническая система, вербальная модель, информационный вид.

**D.Pashkov, Y. Prybyliov, L.Sakovish**

**VERBAL MODEL OF THE COMPLEX TECHNICAL SYSTEM**

*Model of information form complex technical systems are considered. Improve the level of technical and technological systems and reduce their harmful effects on the environment is described.*

*Keywords:* complex technical system, verbal model, information form.

УДК 629.5.016

**Мусорін О.О.**

**ОСОБЛИВОСТИ СИСТЕМИ  
ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ  
СУДНОВИХ КОМПЛЕКСІВ**

*У статті розроблені вимоги до математичної моделі процесу технічної експлуатації об'єктів суднових комплексів, обрано клас моделі та метод моделювання. Це дозволило розробити формалізований опис процесу, що досліджується, обґрунтувати форму показників його ефективності та критерію оптимальності, здійснити математичну постановку часткових завдань дослідження.*

Необхідність використання математичної моделі досліджуваного процесу, в якій взаємопов'язані параметри, показники та критерії, виходить з принципу системного підходу при оцінці ефективності складних систем [1-3].

Вибір математичного апарату аналізу явища, що досліджується, базується на попередньому досвіді і даних, що отримані як результат вивчення реальних об'єктів. Розглядаючи у загальному плані будь-яке явище, що досліджується, може бути обрана одна з двох математичних моделей – детермінована або стохастична [4]. Детермінована модель обирається у тих випадках, в яких можна точно вказати причини, під впливом яких трапляються зміни досліджуемого процесу, і у випадку відомих вхідних впливів, можна з будь-яким ступенем точності розрахувати вихідний результат.

В зв'язку з тим, що процес технічного обслуговування і ремонту об'єктів СК класифікується як стохастичний [5,6], точно врахувати всі випадкові фактори, що впливають на нього практично неможливо, то для адекватного опису процесу ТО і Р повинна бути побудована стохастична модель.

Як відомо, математичні моделі, що дозволяють кількісно описати процес функціонування об'єктів експлуатації, оснований на апріорних відомостях про можливі стани процесу технічної експлуатації (ПТЕ) та умовах переходу з одного стану в інший, а також на