

Деталізація уявлення про процес проектування об'єктів гідроавтоматики

О.В. Узунов¹

Received: 18 June 2023 / Revised: 2 August 2023 / Accepted: 28 August 2023

Анотація. Робота стосується методології проектування складних технічних об'єктів. Складність об'єктів полягає в необхідності узгодження динамічних процесів між їх складовими частинами для забезпечення запланованих експлуатаційних характеристик. Розглянуто основні етапи проектування: ідея – схема – моделювання – конструкція. В традиційних підходах до проектування, засоби, якими користуються для представлення інформації на кожному з етапів, є відносно узагальненими і узгодженими. Це призводить до збільшення термінів проектування. В даній роботі, запропоновано структурувати проектну інформацію, узгодити засоби представлення інформації різних етапів між собою та деталізувати процес проектування. Для цього, загальний інформаційний простір знань предметної області розподілено по потоках, які представляють інформацію про: зміст, об'єднання, активність та вимоги. Сам процес проектування представлено як ланцюг транзакцій, кожна з яких ґрунтується на взаємодії названих потоків і послідовно формує стани результуючого функціонального потоку. Ці стани відображають рівні готовності спроектованого об'єкту. Завдяки способу представлення засобів і деталізації інформації вдається забезпечити їх узгодженість між різними етапами. Узгодженість засобів, структурованість інформації і можливість контролювати завершеність етапів зменшує кількість ітерацій і скорочує терміни проектування. Представлення процесу проектування на основі структурованої і узгодженої інформації проілюстровано на прикладі.

Ключові слова: процес проектування, моделювання, скорочення термінів, гідроавтоматика.

Стан питання, проблема та мета роботи

Процес проектування технічних об'єктів, особливо пристроїв гідроавтоматики, представляє певні труднощі. Це обумовлено значною кількістю багатопланових задач, які мають бути вирішені. Такими задачами є забезпечення функціональних властивостей об'єкту починаючи з принципу дії і завершуючи його конструкцією. Складність технічних об'єктів і задач, які потребують вирішення, обумовлюють постійне вдосконалення алгоритмів проектування [1–5]. Алгоритми, зі свого боку, обумовлені об'єктом проектування, тому, крім удосконалення алгоритмів, у відомих дослідженнях значну увагу приділено концептуальним моделям об'єктів. Саме такі моделі визначають

процес проектування і обумовлюють ефективність використання алгоритмів. Відомі концептуальні моделі узагальненого об'єкту [1, 6–8] відображають склад об'єктів, але не відображають детальний взаємозв'язок між його частинами. Тому їх використання в проектуванні не дає значних переваг. Концептуальні моделі об'єкту, запропоновані в інших дослідженнях [9, 10] відображають об'єкт у вигляді двох частин, таких як будова та функції. В них також відображені зв'язки між вказаними частинами, але не наводиться механізм їх взаємодії між собою. Це не дозволяє їх використовувати для деталізації процесу проектування. В концептуальній моделі [11] об'єкт представлено як комплект процесів і пристроїв, що взаємодіють через координуюче ядро. Таке представлення в певній мірі структурує інформацію про об'єкт, але не розкриває засоби його представлення на різних етапах проектування. Відома також модель [12, 13] в якій запропоновано структурувати інформаційний простір проектування шляхом його розподілення через пошук відповідей на запитання “Для чого об'єкт створюється?”, “Що об'єкт

✉ О.В. Узунов
uzua@i.ua

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

робить?”, “Чим об’єкт є?”. В той же час, механізм взаємодії між вказаними структурними частинами в процесі проектування не розкривається. В запропонованій FBS (functions, behavior and structure) моделі [14, 15, 16] взаємодія між будовою і функціями об’єкту представлена через його поведінку. Однак, детального пояснення, як забезпечити перехід від функції об’єкту через поведінку до його будови не наведено. В дослідженні [17] взаємозв’язок між функціями та будовою запропоновано забезпечувати за допомогою “модифікаторів” – засобів, що виконують певні дії. В той же час, зв’язок між модифікаторами, функціями і структурами не відображено, і це ускладнює використання такої моделі для деталізації процесу проектування.

В дослідженнях [18] представлено алгоритм проектування об’єкту гідроавтоматики - конкретного гідромеханічного пристрою. Використання вказаного алгоритму дозволяє вирішити практичну задачу, але сам метод є прив’язаним до конкретного пристрою, і це звужує область його використання. Що стосується узагальненого погляду на процес проектування, то він ґрунтується на кількох фундаментальних послідовних етапах: ідея – схема – моделювання – конструкція [19]. Як правило, етапи формування ідеї і схеми виконуються на інтуїтивному рівні. Етап моделювання потребує розроблення математичної моделі та моделювання процесів за допомогою програмних засобів, що займає суттєвий проміжок часу і потребує достатньо високої кваліфікації розробників. Етап конструювання також є в значній мірі інтуїтивним, але має потужні допоміжні інструментальні засоби, які дозволяють скоротити терміни його виконання.

Якщо розглядати процес проектування в цілому, то можна констатувати наступне. При тому, що зміст і черговість виконання етапів є відомими, їх взаємна узгодженість є ускладненою. Причиною є різноманітність засобів представлення інформації, як в межах всього процесу проектування, так і в межах кожного етапу. Наприклад, для представлення схем використовують графічні позначення принципів дії елементів. В межах етапу розробки схем ці позначення можуть мати різний рівень деталізації, наприклад, позначення зворотного клапану і позначення насосу. Якщо позначення зворотного клапану деталізують його принцип дії, то позначення насосу лише відображає його функціональне призначення. На етапі моделювання використовують математичні описи у формі систем математичних рівнянь, які базуються на розрахункових схемах та фізичних законах. На етапі конструювання для представлення конструкції використовують лінії або форми, об’єднання яких ґрунтується на принципових схемах та результатах моделювання. При цьому, при наявній різноманітності засобів представлення інформації на кожному етапі, черговість їх використання зберігається, і це, в певній мірі, обумовлює спадкоємність інформації при проектуванні. В той же час, інформаційний зв’язок між послідовними етапами не є достатньо

деталізованим [20]. Це призводить до необхідності ітеративного наближення до узгоджених результатів виконання етапів і, відповідно, значних втрат часу і зниження ефективності процесу проектування.

Метою роботи є скорочення витрат часу за рахунок поглиблення розуміння основи, яка об’єднує всі етапи проектування, і розуміння потрібного рівня деталізації оперативних засобів кожного етапу, що забезпечить можливість коректного формування потрібних властивостей об’єкту і представлення процесу проектування у системному вигляді.

Методологія дослідження

Методологія дослідження полягала в формуванні ряду гіпотез та моделі процесу проектування з наступним їх підтвердженням практичним використанням. Основним підходом при дослідженні було прийнято деталізацію представлень і структурування інформації. Ідея дослідження полягала в деталізації засобів представлення інформації для проектування до однакового рівня, що дає можливість проявлення їх зв’язків між різними етапами, а також її структурування за функціональними ознаками. Детальне і структуроване представлення проектної інформації систематизовано загальним процесом, що дозволило перевірити інформаційну цілісність засобів кожного етапу і спадкоємність послідовних етапів в напрямку від ідеї до продукту. Для підтвердження запропонованих гіпотез і робото спроможності моделі процесу проектування виконано представлення двох етапів проектування – побудови принципової схеми і математичної моделі для конкретного пристрою гідроавтоматики.

Результати роботи

На наш погляд, одна з проблем проектування полягає у значній кількості і різноманітності робочої інформації, яка використовуються на кожному з етапів, це ускладнює як її сприйняття, так і операції з нею. Вирішенням проблеми є структурування проектної інформації.

Для цього запропоновано використовувати наступні гіпотези: функція об’єкту проектування досягається як результат цілеспрямованого процесу виконання елементарних дій; кожна дія виконується відповідним засобом; засоби мають свою форму представлення на кожному етапі процесу проектування; кожне представлення відображає мінімально достатню інформацію для виконання дії і комунікації з іншими засобами.

Запропоновано також використовувати модель процесу проектування в якій інформаційний простір знань предметної області представляють у структурованому вигляді шляхом його розподілення по інформаційних потоках. Напрямок потоків відповідає накопиченню інформаційного навантаження – від початкової

ідеї до її втілення. Втілення ідеї розглядається, наприклад, у вигляді геометричної моделі об'єкту, яка містить в собі інформацію, отриману на всіх попередніх етапах проектування. Безпосередньою робочою зоною формування властивостей об'єкту є функціональний інформаційний потік. Зміни станів функціонального потоку відбувається по етапах у взаємодії з інформаційним простором знань предметної області. Кожна дія проектувальника в межах етапу розглядається як транзакція. В цьому контексті транзакція представляється як ланцюг виконання логічно обумовлених дій, який призводить до запланованого результату. Якщо результат не отримано, то виконання транзакції не фіксується. В свою чергу, всі знання інформаційного простору, які є актуальними для функціонального потоку, розподіляються між чотирма базовими інформаційними потоками. У якості базових запропоновано використовувати інформаційні потоки, які відповідають: змісту, об'єднанням, активності та вимогам. Для виявлення та розподілення знань інформаційного простору між потоками в межах кожного етапу проектування запропоновано шукати відповіді на ключові запитання. Такими запитаннями є наступні. Для потоку змісту – З чого складається? Для потоку об'єднань – Як це зв'язано між собою? Для потоку активності – Як це працює? Для потоку вимог – Що треба враховувати?

Процес проектування реалізується послідовним виконанням транзакцій (рис. 1). Результатом кожної транзакції є завершення виконання конкретного етапу і фіксації певного стану функціонального потоку.

Кожна транзакція виконується на основі базових потоків і полягає у послідовному об'єднанні блоків інформації – “з чого складається”, “як об'єднується” та “як працює” з врахуванням інформації “що треба враховувати”. Результатом такого об'єднання є отримання потрібного стану функціонального потоку у формі, яка відображає зміст відповідного етапу проектування.

Для можливості практичного використання узагальнена схема процесу проектування представлена також у деталізованому вигляді. Схема процесу проектування об'єктів гідроавтоматики (рис. 2) ілюструє формування геометричного образу (геометричної моделі)

об'єкту відповідно до функції, яка потребує виконання. Розглянемо більш детально процес проектування. На початку, опис функції об'єкту розміщують в інформаційному просторі знань предметної області. Далі, відповідно до опису заданої функції, формують базові потоки. Ці потоки є основою для функціонального потоку, який формують шляхом виконання транзакцій. В ході виконання першої транзакції визначаються актуальні вимоги, вибирається принцип дії для отримання заданої функції, виявляється комплект дій, зміст яких є необхідним для реалізації вибраного принципу, виявляється алгоритм активізації дій, який призводить до можливості відтворення принципу. Результатом завершення транзакції є структура принципу дії, яка свідчить про отримання функціональним потоком нового стану.

В ході виконання наступної транзакції, з потоку вимог визначають вимоги, які є актуальними для об'єкту на рівні його принципової схеми. Після цього, ґрунтуючись на структурі принципу дії, яка є об'єднуючою, і тому, одночасно є присутньою в інформаційному потоку об'єднання, вибирають доступні засоби виконання дій структури. Позначення цих засобів відображають інформацією про принцип їх дії і потенційні зв'язки. Далі, для вибраних засобів формують опис алгоритму дій відповідно до їх змісту. Результатом завершення транзакції є принципова схема об'єкту, і, відповідно, наступний стан функціонального потоку.

Виконання чергової транзакції починається з виявлення вимог, актуальних для математичної моделі об'єкту, визначення математичних засобів представлення дій і формування структури процесу функціонування на основі принципової схеми. Результатом завершення транзакції є математична модель і такі параметри засобів, які дозволяють отримати потрібні експлуатаційні характеристики об'єкту. Математична модель і значення параметрів надають наступний стан функціональному потоку.

Наступна транзакція починається з визначення вимог до конструкції об'єкту, формуванні кінематичної схеми, визначення геометричних форм засобів виконання дій і алгоритму функціонування. Результатом

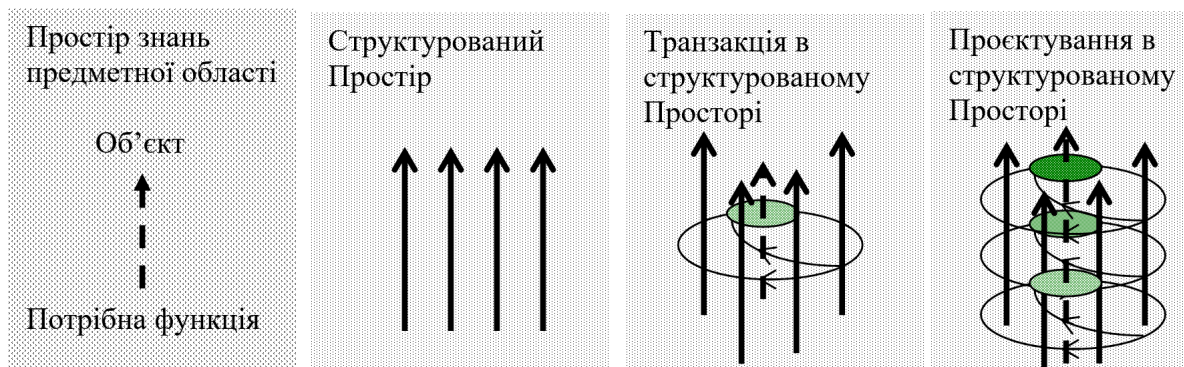


Рис. 1. Схема формування структурованого простору і організації процесу проектування

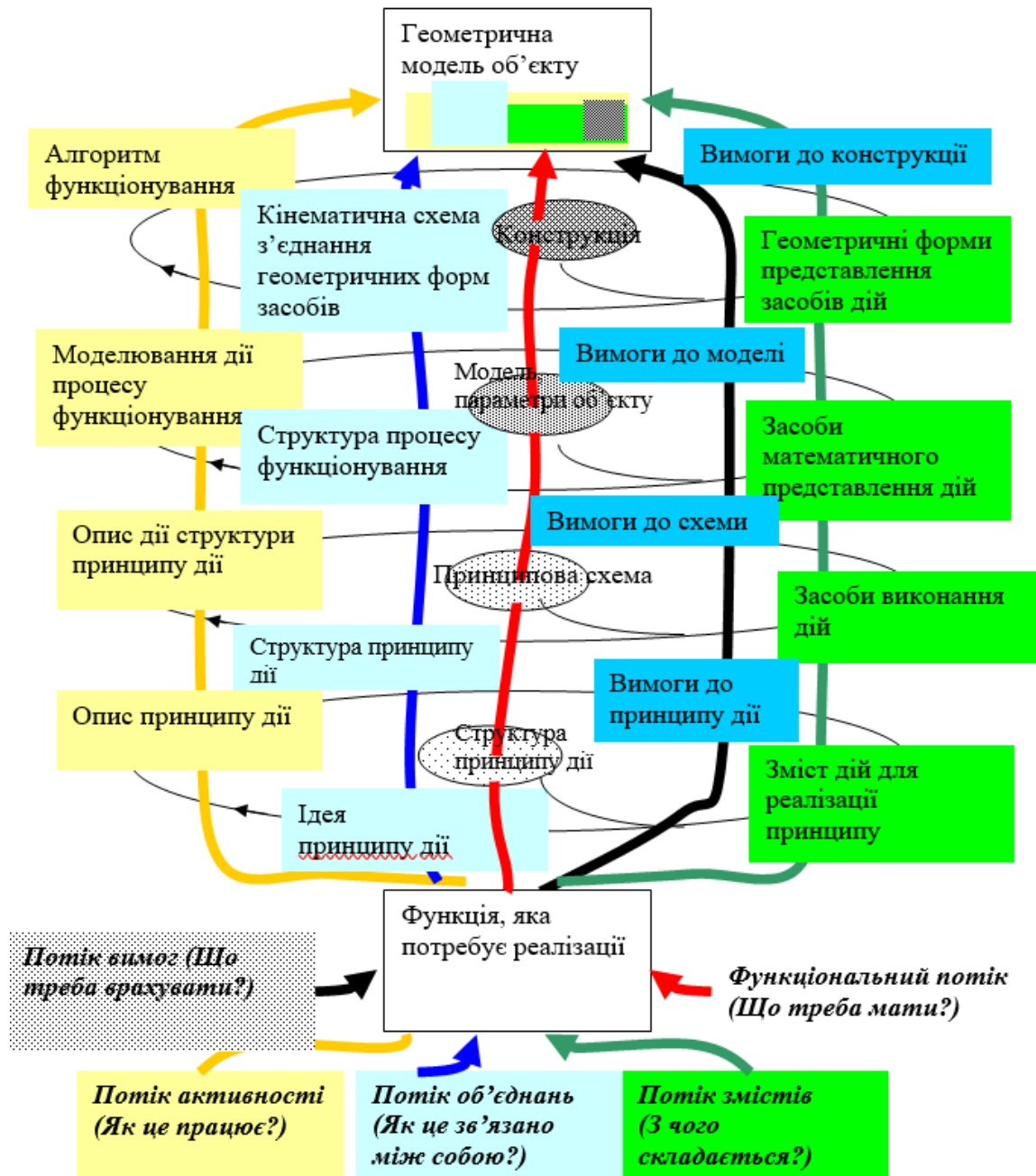


Рис. 2. Деталізована схема процесу проєктування об'єкту для виконання потрібної функції

завершення транзакції є конструкція об'єкту, яка представлена геометричною моделлю. Значення параметрів моделі відповідають запланованим характеристикам об'єкту. Функціонування отриманої моделі об'єкту відповідає заданому алгоритму. Це забезпечує відтворення вибраного принципу, і, як наслідок, забезпечує можливість виконання потрібної функції. Процес проєктування завершено.

За рахунок чого досягається скорочення часових витрат при використанні запропонованої схеми процесу проєктування?

Це досягається як в межах інформаційних потоків, так і в межах виконання транзакцій. В межах ін-

формаційних потоків. Використання інформаційних потоків, які структурують простір знань предметної області, забезпечує можливість розподілення інформації між ними. Це зменшує завантаженість кожного засобу представлення інформації до мінімально необхідного на своєму рівні в межах етапу, потоку і всього процесу проєктування. Це забезпечує також послідовне додавання властивостей до кожного наступного фіксованого стану, що зберігає незмінну основу, яка зберігає функціональну цілісність станів об'єкту в процесі проєктування. Розглянемо, наприклад, як це виглядає при переході від етапу до етапу при формуванні потоку змістів. При виконанні першої транзакції вибрано комп-

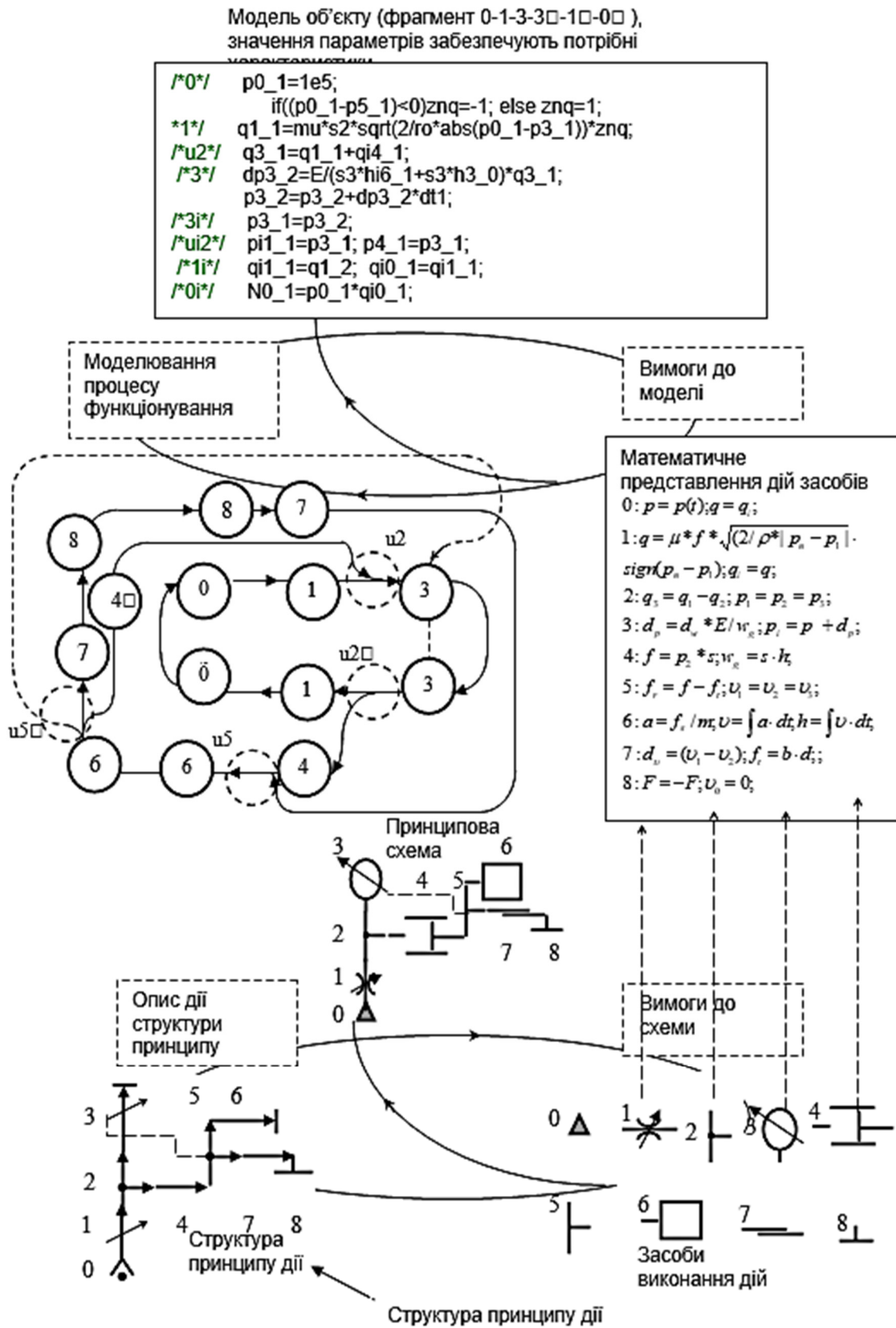


Рис. 3. Етапи побудови математичної моделі об'єкту з властивістю перетворення тиску у прямолінійний рух. 0 – падавання тиску; 1 – перетворення тиску у витрату; 2 – комунікація потоків; 3 – перетворення витрати в тиск; 4 – перетворення тиску в силу; 5 – комунікація потоків; 6 – перетворення сили в швидкість; 7 – завдання напрямку; 8 – приймання сили.

лект дій за їх змістом, який дозволяє відтворити вибраний принцип. На наступній транзакції розробник вибирає засоби виконання кожної дії комплексу на рівні принципу їх виконання. Далі, на наступній транзакції, для кожної дії комплексу з відомим принципом її виконання формуються математичні описи для їх імітації. На останній транзакції задаються геометричні форми кожного засобу комплексу зі значеннями параметрів, що забезпечать потрібні характеристики конструкції. Аналогічним чином формується інформаційний потік з'єднання. При виконанні першої транзакції формується структура принципу дії, на наступній – структура перетворюється в принципову схему, на наступній – принципова схема перетворюється у структуру процесу функціонування, на наступній – функціонуюча модель слугує основою для кінематичної схеми з'єднання геометричних форм.

В межах виконання транзакцій. Інформаційна взаємодія з базовими потоками в межах однієї транзакції дозволяє формувати функціонально завершені проміжні стани функціонального потоку. Наприклад, вибрані у відповідності до вимог математичні залежності, які дозволяють імітувати потрібні дії засобів, вмонтовані в структуру процесу функціонування і активізовані при моделюванні, представляють самодостатню модель процесу функціонування об'єкту.

Загальний ефект полягає в тому, що детальне розуміння процесу, яке ґрунтується на поетапному накопиченні властивостей в межах інформаційних потоків зменшує кількість ітерацій, і скорочує терміни проектування.

Ілюстрація процесу проектування на прикладі пристрою для перетворення тиску в лінійний рух

Для прикладу розглянуто два етапи проектування – побудова принципової схеми пристрою та математичної моделі його процесу функціонування (рис. 3). Етап розробки принципової схеми. Початковими даними є дані з попереднього етапу – структура принципу дії пристрою, яка містить інформацію про зміст дій, що потребують виконання для реалізації принципу. Виконання етапу полягає в наступному. Розуміння принципу дії пристрою потребує опису принципу дії на основі структури. Цей опис є наповненням потоку активності цього етапу. Далі, використовуючи інформацію про потрібний зміст дій і опис їх активності, а також з врахуванням вимог до схеми, які є наповненням потоку вимог, вибирають відповідні принципи для засобів їх виконання. Ці принципи представлені графічними позначеннями, які є наповненням потоку змістів для цього етапу. Далі, вибраними графічними позначеннями принципів дії окремих засобів замінюють дії в структурі принципу і отримують принципову схему. Отримана схема представляє детальну принципову схему пристрою, яка є наповненням чергового стану - функціонального потоку.

Етап розробки математичної моделі процесу функціонування. Початковими даними є дані з попереднього етапу – принципова схема пристрою, яка містить інформацію про принципи виконання дій і їх взаємну організацію. Виконання етапу полягає в наступному. На основі принципової схеми формують структуру процесу функціонування пристрою. Використовуючи інформацію про вимоги до моделі визначають потрібний рівень деталізації математичних описів дій для кожного засобу, який є в принциповій схемі. Далі, для кожного засобу принципової схеми, відповідно до його принципу дії, вибирають його математичне представлення. Потім на основі принципової схеми формують структуру процесу функціонування пристрою. Структура відображає траєкторію розповсюдження сигналу після зміни умов – появи вхідного сигналу, що спричиняє процеси активізації засобів для збалансування процесів і встановлення стану рівноваги. Математичну модель формують шляхом адаптації математичних представлень до місця їх активізації в структурі процесу функціонування. При цьому змінним і параметрам математичних залежностей, які описують дію засобів призначають індекси, які зв'язують окремі математичні залежності в єдину систему, а порядок їх розташування відповідає черговості їх активізації в процесі. Отриману систему рівнянь представляють в програмному коді, який може бути активований в комп'ютерному середовищі для моделювання функціонування пристрою. Таким чином завершується етап побудови математично моделі процесу функціонування, який задає наступний стан функціонального інформаційного потоку.

Дискусія

На відміну від традиційного представлення процесу проектування, що містить фундаментальні послідовні етапи [19] - ідея – схема - моделювання – конструкція, детальне уявлення відрізняється використанням оболонки (фрейму), яка структурує інформаційний простір шляхом розподілення по спрямованим інформаційним потокам заданого змісту. Це забезпечує зменшення об'єму оперативної інформації при виконанні кожного етапу і інформаційну спадкоємність при трансформаціях в кожному потоці. Наслідком чого є скорочення витрат часу при проектуванні.

Структура процесу функціонування є так само замкненою, як це наведено в роботі [20], але на відміну від перевірки її замкненості за допомогою законів Кірхгофа, в запропонованому варіанті перевірка виконується за кількома критеріями: структура повинна містити всі дії елементів, які проявляються в прямому (основна дія) так і в зворотному (відновлення) напрямку, дії кожного елементу обов'язково виконуються по чергово: після прямої дії є можливість виконати відновлювальну дію, потім знов – пряму дію і т. д. Замкненість процесу, наявність парних дій і обов'язковість черговості їх виконання слугують критеріями коректності структури процесу. Застосування таких критеріїв за-

безпечує підвищення відповідності поточних представлень об'єкту реальному прототипу. Наявність паралельних процесів в структурі свідчить про їх більш точну відповідність реальним процесам.

Висновки

Скорочення термінів вирішення проектних задач досягається за рахунок: розподілення робочої інформації між базовими потоками; цілеспрямованого форму-

вання актуальних представлень інформації на кожному етапі і в кожному потоку; узгодження представлень інформації між етапами. Використання інформації, яка є розподіленою між базовими потоками створює передумови для коректного формування станів функціонального потоку і зменшенню кількості ітерацій. Наявність наскрізного взаємозв'язку між засобами представлення інформації різних етапів спрощує розуміння дій процесу проектування і підвищує його ефективність.

References

- [1] G. Booch, *Object oriented design with application*, The Benjamin, Cummings Publisher Company Inc, 1991.
- [2] *VDI 2206: Design methodology for mechatronical systems*, Beuth, Berlin, 2004.
- [3] A. Ertas and J.C. Jones, *The engineering design process*, John Wiley & Sons, Inc, 1993, 515p.
- [4] R. Dudziak, C. Kohn and R. Sell, *Integrated systems and design*, TUT Press, Tallinn, 2008, 208 p.
- [5] E. Gorrostieta *et al.*, *Mechatronics methodology: 15 years of experience*, Ing. Investig., vol.35, no.3, 2015. DOI: 10.15446/ing.investig.v35n3.47543
- [6] J. Johnson and A. Henderson, *Conceptual Models: Core to Good Design*, Morgan & Claypool Publishers, 2011, 110p. DOI: 10.2200/S00391ED1V01Y201111HCI012
- [7] F. Christophe, A. Bernard and É. Coatanéa, "RFBS: A model for knowledge representation of conceptual design", *CIRP annals*, 59.1, pp. 155–158, 2010. DOI: 10.1016/j.cirp.2010.03.105
- [8] T. McCaffrey and L. Spector, "An approach to human-machine collaboration in innovation", *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, No. 32, pp. 1–15, 2018. DOI: 10.1017/S0890060416000524
- [9] V.I. Skurihin *et al.*, *Information technologies in testing complex objects: methods and means*. Kyiv: Naukova dumka 1990, 320p.
- [10] S.B. Tor, G.A. Britton and W.Y. Zhang, "Functional modeling in conceptual die design". Technical Report 2003-1, Singapore-MIT Alliance - Nanyang Technological University, Singapore, 2003.
- [11] S.C. Dewhurst and K. Stark, *Programming in C++*. AT&T Bell Laboratories. Published by Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1989.
- [12] J. Kleer, "How circuits work", *Artificial Intelligence*, 24(3), pp. 205–280, 1984. DOI: 10.1016/0004-3702(84)90040-7
- [13] J. Kleer and J.S. Brown, "A qualitative physics based on confluences", *Artificial intelligence*, 24(3), pp. 7–83, 1984. DOI: 10.1016/0004-3702(84)90037-7
- [14] J. S. Gero, Design prototypes: A knowledge representation schema for design, ... in *Engineering V: Design*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 177–193, 1990.
- [15] Y. Umeda *et al.*, "Function, Behavior, and Structure," in *Proc. Application of Artificial Intelligence in Engineering. Proceedings of the fifth International Conference*, Vol. 1, 1990.
- [16] Ying-Chieh Liu and A. Chakrabarti, "Physical realizations: Transforming into physical embodiments of concepts in the design of mechanical movements", *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 5, 2013. DOI: 10.1155/2013/318173
- [17] Y. Shimomura *et al.*, "Representation of design object based on the functional evolution process model." *Journal of Mechanical Design*, 120.2, pp. 221–229, 1998. DOI: 10.1115/1.2826962
- [18] Yu Xia, Dongye Sun, Datong Qin and Wenfeng Hou, Study on the design method of a new hydromechanical continuously variable transmission system, *IEEE Access*, Vol. XX, 2017. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3005915
- [19] Farhan A. Salem, Ahmad A. Mahfouz, "Mechatronics Design And Implementation Education-Oriented Methodology; A Proposed Approach", *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, Vol. 1 Issue 3, October, 2014.
- [20] D.C. Karnopp, D.L. Margolis and R.C. Rosenberg, *System dynamic: a unified approach*. A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION John Wiley & Sons Inc., 1990, 514p.

Detailing the idea of the design process of hydraulic automation objects

V. Uzunov¹

¹ Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

Abstract. A characteristic feature of the details considered in the article is the increased diameter of the flange. At the Department of Aircraft Production Technology of the Scientific and Educational Mechanical and Mechanical Engineering Institute of the Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky developed an original technological process for manufacturing products with a developed flange part using the positive effects of the progressive rolling stamping method. The method has energy-strength advantages over traditional methods of manufacturing parts with relatively thin structural elements. The center of application of such technologies is expanding more and more, but the basic technological calculations of process parameters have not yet been introduced widely enough into production practice. The proposed sequence of technological calculations and basic parameters of specialized installations for rolling stamping.

Keywords: orbital stamping, rolling stamping, energy-force parameters, technological process, work balance method, modeling, finite element method.