

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.9

DOI <https://doi.org/10.36994/2788-5518-2023-02-06-02>

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ШТУЧНОГО ОБ'ЄКТА Й ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ ДЛЯ ЙОГО КОМП'ЮТЕРНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

Антипенко Б. А., аспірант, кафедра інформаційних технологій, факультет електроніки та інформаційних технологій, Сумський державний університет, Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1350-8914>, antip.bogdan8@gmail.com

Марченко А. В., канд. техн. наук, доцент, кафедра інформаційних технологій, факультет електроніки та інформаційних технологій, Сумський державний університет, Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2003-3531>, a.marchenko@cs.sumdu.edu.ua

Неня В. Г., канд. техн. наук, доцент, кафедра інформаційних технологій, факультет електроніки та інформаційних технологій, Сумський державний університет, Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0965-9149>, v.nenja@cs.sumdu.edu.ua

Антипенко В. П., канд. техн. наук, доцент, кафедра інформаційних технологій, факультет електроніки та інформаційних технологій, Сумський державний університет, Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-8198-1848>, v.antypenko@cs.sumdu.edu.ua

Анотація. У статті представлено рекурсивний метод формування опису будь-якого штучного об'єкта, що забезпечує його практичну комп'ютерну підтримку, незалежно від типу об'єкта. Діяльність із розробки нових штучних об'єктів вважається виробничою діяльністю. Вона є предметом контрольно-управлінського, організаційно-розпорядчого регулювання. Така діяльність має три аспекти: проєктування, конструювання й естетичне оформлення. Останні два є досить простими щодо контролю й управління процесом розробки проєкту штучного об'єкта, оскільки базуються на раніше прийнятій і затвердженій концепції. Однак у першому випадку, коли проєктований об'єкт розглядається як такий, що містить багато складних компонентів і процесів, які в них відбуваються, вибирається підхід поетапної декомпозиції. Це процес розробки опису об'єкта алгоритмізовано на основі формального технічного завдання (ТЗ). Застосовується системний підхід, що означає вибір компонентів, які спеціально об'єднуються в один блок і забезпечують відповідність вимогам ТЗ. Опис об'єкта з використанням ICOM-підходу методу IDEF0 формує інтерфейси, потрібні для функціонування об'єкта. Проєктування завершується за умови відсутності ТЗ для уточнення опису компонента. ТЗ не складається після отримання елементарної задачі, для вирішення якої розробляється конструкція компонента, після вибору попередньо розробленого компонента та після вибору компонента стороннього виробника. Ці три випадки охоплюють усі можливі варіанти результатів декомпозиції функції та конструкції, яка її реалізує, і гарантують завершення організованого рекурсивного процесу деталізації опису проєктованого об'єкта. У висновку маємо розроблену методику проєктування штучного технічного об'єкта на основі покрокової декомпозиції цього процесу, яка забезпечує практичну комп'ютерну реалізацію останнього, незалежно від типу об'єкта.

Ключові слова: рекурсивний метод, опис технічного об'єкта, штучний об'єкт, комп'ютерна підтримка, декомпозиція, опис компонентів, організація процесу проєктування.

THEORETICAL FOUNDATIONS OF FUNCTIONAL DESIGN OF AN ARTIFICIAL OBJECT AND ORGANIZATION OF ACTIVITIES FOR ITS COMPUTER REALIZATION

Bohdan Antypenko, Postgraduate Student at the Department of Information Technologies,
Faculty of Electronics and Information Technologies, Sumy State University, Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1350-8914>, antip.bogdan8@gmail.com

Anna Marchenko, PhD in Engineering, Senior Lecturer at the Department of Information Technologies,
Faculty of Electronics and Information Technologies, Sumy State University, Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2003-3531>, a.marchenko@cs.sumdu.edu.ua

Viktor Nenia, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Information Technologies,
Faculty of Electronics and Information Technologies, Sumy State University, Sumy, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-0965-9149>, v.nenia@cs.sumdu.edu.ua

Viktoriia Antypenko, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Information Technologies,
Faculty of Electronics and Information Technologies, Sumy State University, Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8198-1848>, v.antypenko@cs.sumdu.edu.ua

Abstract. This article presents a recursive method of forming a description of any artificial object, which provides its practical computer support, regardless of the object type. The activity of developing new artificial objects is considered a production activity. It is the subject of control, management, organizational and administrative regulation. This activity has three aspects: designing, construction and aesthetic design. The last two are quite simple according to control and management of the development process of the artificial object project, as they are based on a previously accepted and approved concept. However, in the first case, when the designed object is considered as containing many complex components and their processes, a staged decomposition approach is chosen. This process of developing an object description is algorithmized on the basis of a formal Terms of References (ToR). A systematic approach is used. This means the selection of components which on purpose are combined into one unit and ensure compliance with the ToR requirements. Object description using the ICOM-approach of the IDEF0 method forms the interfaces necessary for the object functioning. The designing is completed if there is no ToR to clarify any component description. The ToR is not formed after obtaining the elementary task for which the component designing is developed, after selecting a previously developed component, and after selecting a component from a third-party manufacturer. These three cases cover all possible variants of the results of the decomposition of the function and the structure that implements it, and guarantee the completion of an organized recursive process of detailing the description of the designed object. In conclusion, the authors have developed a methodology for designing an artificial technical object of any which provides its practical computer implementation.

Key words: recursive method, description of technical object, artificial object, computer support, decomposition, components description, organization of the designing process.

Вступ

Закономірність людського суспільства про все зростаюче споживання товарів полягає в тому, що діяльність людей у побуті, на виробництві та в суспільній сфері вимагає нових видів об'єктів: більше якісних, більше функціональних, більше зручних, більше простих у застосуванні. При цьому бізнес, як рушійна сила нашого прогресу, докладає всіх зусиль для того, щоб такі об'єкти з'явилися на ринку якомога швидше. Багато в чому ці вимоги закладаються та частково реалізуються на етапі проектування. Саме цей момент зумовлює вимогу до проектування про швидку й надійну розробку проекту майбутнього об'єкта з гарантуванням заданого рівня якості. У цих умовах проектування потрібно розглядати як технологію та виробничий процес. При цьому попередньо наведені аспекти слід або врахувати, або забезпечити можливість проектувальникам їх реалізовувати. Проектування, як і інші виробничі процеси, потребує своєї інструментальної та машинної підтримки, а також автоматизації управління цим процесом. Бажання їх розробити керує дослідженнями авторів, окремі результати яких оприлюднюються для обговорення й удосконалення.

Пов'язані роботи

Важливість тематики з проектування об'єктів зумовила значну кількість публікацій. Це визначає суб'єктивність як вибору робіт для аналізу, так і вибору точок зору на ті чи інші аспекти проектування. Концептуально наша позиція полягає в тому, що проектування є технологією, але в окремих момен-тах (за недостатнього розвитку теорії та технології – ми ж завжди проектуємо щось нове) має характер ремесла (Craft). У цьому ми підтримуємо Suzanne Rivard [1]. Хоча процес становлення теорії проектування йде паралельно з практикою проектування, але запропонований у [1] спіралеподібний

процес формування теорії проектування не може бути перенесений на процес створення проекту об'єкта. Ітерації, а вони неминучі, повинні бути зведені до мінімуму, та носити локальний характер. При цьому не є припустимими глобальні цикли повторення всього процесу чи його окремих фаз або етапів. Усе повинно вирішуватися в межах однієї проектної операції. Крім того, проект об'єкта, що створюється, постійно повинен бути в такому стані, який дає змогу виконувати контроль вимог до цього об'єкта.

Указані вимоги є можливими лише за умови організації процесу проектування за підходом «згори донизу», оскільки це єдиний підхід, який дає змогу розглядати опис об'єкта як цілісного утворення. Методологія ця ґрунтовно опрацьована, завдяки чому можна достатньо обґрунтовано й наглядно представити результати проектування [2]. Методологія Structured Analysis & Design Technique (SADT) отримала всебічну підтримку та подальший розвиток і набула статусу стандартів Integrated Computer-Aided Manufacturing (Integrated DEfinition IDEF). Розроблені свого часу ці стандарти й досі відіграють важливу роль, а головному стандарту функціонального моделювання IDEF0 немає альтернативи. Єдине, чого не доставає, то це детальності, яка потрібна для формалізації моделі й отримання на цій основі конкретних значень показників, які дають змогу об'єктивно оцінювати призначення об'єкта. Центральна ідея методології SADT зосередження на головних аспектах модельованих об'єктів спрацювала і спрацює. Але вона залишила в тіні питання забезпечення конкретності виконувального аналізу. До цього часу пропонується декілька способів трансляції компіляції діаграм для концептуального моделювання (IDEF0, UML тощо) в інші форми моделей та врешті в машинний код. Пов'язано це з необхідністю проведення синтаксичного й семантичного контролю моделі та можливістю об'єктивної перевірки ймовірних варіантів реалізації моделі. Так, у роботі [3] пропонується здійснювати перетворення діаграм діяльності UML, призначених для моделювання та верифікації бізнес-процесів організації, у YAWL моделі, які мають формальну семантику, засновану на мережах Петрі. Також використовуються кольорові та звичайні мережі Петрі [4–6]. Досягнуті певні успіхи, але автори всіх робіт із трансформації моделей вводять множини правил, обмежень і винятків. Разом із тим не забезпечується взаємно однозначна відповідність між моделями в різних формах, особливо семантичної. Підтвердженням того факту, що резерви методології SADT ще не вичерпалися, слугує робота [7], у якій ця методологія застосовується до функціонального моделювання технічних об'єктів хімічного виробництва.

Метод дослідження

Виконаний аналіз концептуального методу структурного аналізу та проектування [1] і прикладів його застосування [2, 3, 7] показав його можливості й переваги. Він використовуватиметься як основний інструмент виконання проектних процедур. Метод відомий і тому немає потреби його викладати.

Організація виконання проектних процедур є питанням у загальному випадку проблемним. Це пов'язано з потребою в застосуванні комплексу засобів автоматизації проектувальних робіт до проектування різних штучних об'єктів (технічних, інформаційних тощо), які мають різний склад і різні схеми об'єднання своїх складових в одне ціле, що має свої унікальні властивості та призначення для виконання оригінальних функцій. Це означає, що наперед неможливо скласти програмний код моніторингу, контролю та керування процесом проектування. При цьому розробка методів проектування та працездатних схем їх реалізації з урахуванням орієнтації на застосування комп'ютерів завжди впирається в питання «А чи буде алгоритм реалізовано? Чи буде кількість операцій скінченою?». Ці питання є фундаментальними, вони перебувають у центрі уваги вчених-математиків. Для пошуку відповідей на поставлені питання доцільно звернутися до теорії алгоритмів, а саме її розділу про рекурсивні функції [8]. Цей розділ написаний на сучасному формальному рівні математичної логіки.

У теорії алгоритмів [8] на основі робіт Чорча, Поста, Тюрінга та Маркова стверджується, що задача є вирішуваною, якщо процес її рішення вдається звести до рекурсивного процесу, тобто скінченної множини однакових дій, які однаково повторюються. Це буде другим методом, який ми використовуватимемо.

Звичайно, використовується також системний аналіз, якому надається формалізована форма. Це дає змогу виконати алгоритмізацію і подальшу програмну реалізацію, що є необхідним для застосування системного аналізу в інформаційних технологіях проектування.

У разі потреби під час викладення матеріалу будуть наведені або особливості використання методів, або їх трактування, або вдосконалення методів (у чому воно полягає).

Виконання досліджень

Досліджувані процеси. Поняття проектування, з погляду онтології, характеризує два процеси, пов'язані зі штучними об'єктами. Далі розглядатимемо кожний із них.

По-перше, проектування є одним з етапів життєвого циклу будь-якого штучного об'єкта. На цьому етапі останнього власне ще не існує. Об'єкт представлений проектом. Це сукупність документів у паперовому та/або електронному вигляді. Наприклад, розрахунково-пояснювальні записки, файли моделей і даних, макети тощо. У проекті наведено опис майбутнього об'єкта. У ньому зазначаються як основи, так і деталі функціонування в об'ємі, необхідному і достатньому для конкретного вироб-

ництва та використання або застосування. Водночас на попередньому рівні опису забезпечується можливість опису об'єкта чи будь якої його складової як єдиного цілого і на наступному за ним рівні як складеного, але таких, що виконують ту саму функцію, оскільки досліджуваний об'єкт розглядаємо і як ціле, і як складене. Він містить у собі певний набір компонентів зі своїми визначеними властивостями. Тобто сам проєкт містить матеріали з детальним описом особливостей функціонування як самого об'єкта, так і всіх його складових. Суть виконання цього етапу життєвого циклу полягає в наповненні проєктних документів відповідною інформацією. Повинні заноситися дані про різні аспекти, які характеризують об'єкт. Цей опис слугує вхідними даними для ініціалізації та виконання наступних етапів проєкту. А саме призначений для конструювання та виробництва об'єкта в умовах вибраного підприємства. Опис об'єкта орієнтований на конкретну технологію виробництва: конкретні машини, інструменти, методи обробки матеріалів та/або енергії і інформації. Зрозуміло, що поки повністю не буде прийняте проєктне рішення, наступні проєктні операції не будуть розпочаті. Однак слід розуміти, що коректне завершення проєктної операції передбачає не тільки оформлення проєктної документації, але й підготовку, погодження технічного завдання на ще не вирішені (а в нашому випадку не деталізовані) проєктні рішення.

По-друге, проєктування – це назва діяльності фахівців щодо створення вказаного опису створюваного об'єкта. Це суто організаційна частина справи: хто, що, коли робить. Зрозуміло, що це два зовсім різні процеси, тож і підходи до їх опису й реалізації повинні бути різні, хоча і взаємопов'язані. Однак спочатку слід розуміти, як розвивається проєкт об'єкта, який є необхідною складовою його життєвого циклу. А вже потім, відповідно до цього, організувати його наповнення. І тільки після попереднього здійснення зазначеної процедури призначати організацію роботи фахівців із реалізації методики формування опису штучного об'єкта. На жаль, ці процеси зовсім випали з поля зору дослідників. Крім того, їх розгляд не зустрічається в публікаціях. Це обґрунтовує потребу в їхньому дослідженні.

Діяльність із розробки нових штучних об'єктів розглядаємо як виробничу діяльність. Вона є предметом контрольно-управлінського, організаційно-розпорядчого регулювання. Така діяльність має три особливості. Це проєктування, конструювання й естетичне оформлення (дизайн або художнє конструювання). Останні два є досить простими щодо контролю й управління процесом розробки проєкту об'єкта. Однак у першому випадку потрібно використовувати моделювання та симуляцію. Варто розглядати декілька варіантів. Саме такі процеси є предметом розгляду авторів.

Світовий досвід проєктування, узагальнений в [9], показує, що найбільш доцільним є підхід до проєктування «згори донизу», який передбачає поступову деталізацію попередньо прийнятих проєктних рішень загального характеру. Цей підхід дає змогу здійснювати покрокову верифікацію запропонованих проєктних рішень та управління процесом проєктування.

Вибір статусу проєктування як виробничого процесу передбачає його раціоналізацію і прагматичність. Тому було вирішено його алгоритмізувати на основі використання формального технічного завдання так, як це запропоновано у [10]. Згідно з підходом до проєктування «згори донизу» на найвищому рівні перебуває ТЗ на створення об'єкта. Воно містить конкретний формалізований опис головної виконуваної об'єктом функції з конкретними даними, обмеженнями тощо. Тому наступним кроком відбувається покрокова декомпозиція виконуваної розглядуваним об'єктом функції. На кожному з уведених під час декомпозиції функцій складається нове ТЗ. Кожне ТЗ на всіх рівнях декомпозиції представлено окремим документом, який містить формалізований опис виконуваної функції. Процес декомпозиції функцій закінчується тоді, коли кожна його поточна складова функції найнижчого рівня має файл спеціального ТЗ на розробку компонента конструкції, який функцію реалізує.

Наприклад, у вигляді елементарної задачі зі всією відомою необхідною інформацією, готового конкретного конструктивного рішення, яке попередньо реалізоване в організації або покупного компонента. Також усі вищезазначені технічні завдання містять дані про зв'язки всіх функцій між собою.

Наявність чіткого конкретного набору даних ТЗ забезпечує формування обґрунтованої команди керування на виконання й забезпечення умов для відповідальності за завершення у визначений строк (до призначеного терміну) роботи на основі виданого завдання. При цьому стає доступною можливість здійснення об'єктивного контролю. Наявність формалізованої форми ТЗ дає змогу налагодити моніторинг покрокового «нарощування» інформаційного опису проєктованого об'єкта у проєктних документах та оперативний контроль машинним способом за ходом виконання робіт і повнотою реалізації вимог до об'єкта. На всі паралельно виконувані додаткові функції формується своє власне ТЗ, і всі вони опрацьовуються паралельно.

Згідно з наведеною аргументацією було прийнято рішення щодо організації декомпозиції опису об'єкта, а також алгоритмізації діяльності команди проєктувальників (саме процес розробки проєкту об'єкта на основі формалізованого технічного завдання).

Для забезпечення однорідної (однотипової, з одним порядком виконання робіт за тими самими правилами) організації виконання процесу розробки проєкту об'єкта на початковому кроці створюється ТЗ на проєктування об'єкта для конкретного (заданого) виробництва. Цей процес є першим у реалізації запропонованого підходу. Усі наступні кроки реалізують таке:

1) за наявності будь-якого ТЗ планується та видається виробниче завдання на його реалізацію;
 2) виконується процес декомпозиції функції;
 3) для всіх прийнятих функцій виконується перевірка наявності готового проектного рішення;
 3а) за наявності готового проектного рішення складається ТЗ на його перевірку і внесення до проекту або на відповідне доопрацювання;

3б) за відсутності готового проектного рішення перевіряється можливість купівлі компонента для реалізації функції;

3б1) за відсутності такої можливості складається ТЗ на декомпозицію функції;

3б2) за наявності виконується порівняння умов купівлі відповідного компонента та власної реалізації рішення та складаються відповідні ТЗ.

Зрозуміло, що задача функціонального проектування є складною (складеною і комплексною) і тому потребує декомпозиції. Тому кожна задача повинна розбиватися на менші. Мається на увазі, що для кожної з них також потрібно створити своє ТЗ на проектування кожного компонента об'єкта. Обов'язково кожна задача повинна містити дані про зв'язок із задачами свого рівня, а також вищим і нижчим.

Графічно декомпозиція процесу розробки проекту об'єкта, а отже, виконуваних ним функцій може бути інтерпретована як деревовидні структури. Матрична форма опису таких структур як графів не накладає обмежень на кількість рівнів деталізації функцій об'єкта та структури процесів. Їх кількість залежить як від особливостей функціонування, будови та характеристик проєктованого об'єкта, так і від наповнення бази знань проектною організацією чи відповідного підрозділу.

Є три види задач, які розглядаються в цій роботі. Насамперед усі складні завдання, які не мають готових компонентів рішень, повинні підлягати подальшій деталізації. Тобто під час останньої будуть створені для виконання задачі щодо розробки відповідних ТЗ на проектування необхідних компонентів. Також можуть бути використані вже готові проектні рішення, наявні в базах знань організації. Тому деревовидна структура фіксує результати використання вже реалізованих у попередніх проектах ТЗ. Тобто розробка останніх у цьому випадку непотрібна. Можливо, застосовується налаштування, підгонка, адаптація тощо. І нарешті, у деревовидній структурі можуть мати місце описи проектних рішень із використанням об'єктів сторонніх розробників і шаблони завдань на закупівлю готових компонентів іззовні. Тобто будуть наявними на виконання задачі, які характеризуються своєрідними ТЗ на придбання необхідних і доступних на ринку компонентів (деталей, механізмів, інструментів, матеріалів, програмних бібліотек тощо). Декомпозиція процесу розробки проекту об'єкта вважатиметься завершеною, коли на відповідному нижньому рівні буде до виконання або елементарна задача проектування простої функції однієї зі складових цього об'єкта, яка не потребує подальшої деталізації, або на застосування вже готового рішення організації-розробника / проєктанта, або на закупівлю необхідного компонента.

Після свого завершення ця деревовидна структура відображатиме ієрархічно повний набір взаємозалежних задач щодо проектування об'єкта як цілого, так і його окремих компонентів. Вони можуть містити завдання як на розробку ТЗ щодо проектування певних складових цього об'єкта з унікальними властивостями, так і на застосування наявних проектних рішень організації та на придбання готових компонентів.

У кінцевому підсумку така формалізація процесу розробки проекту об'єкта сприятиме скороченню часу на планування змісту, порядку й об'єму робіт, у тому числі й у часі, завдяки автоматизації цього етапу життєвого циклу об'єкта.

Отже, встановлено сутність проектування штучного об'єкта у двох аспектах: як процесу наповнення опису об'єкта і як діяльності фахівців із здійснення такого процесу. Запропоновано підхід до реалізації багатоаспектного процесу проектування, який дає змогу контролювати реалізувати поставлене завдання з дотриманням усіх вимог.

Опис об'єкта як цілого. Початок формування концептуальної частини проекту. На першому кроці об'єкт проектування розглядається як ціле, яке буде використовуватися у призначеному для цього середовищі. При цьому конкретизуються зв'язки об'єкта з іншими об'єктами. Опис цих зв'язків (інтерфейсу) виконується шляхом формування множин параметрів субстанцій та артефактів відповідно до прийнятих домовленостей у методології. До загальноприйнятих у методології SADT та IDEF0 позначень на діаграмах Input, Command, Output and Mechanism додано опис множин параметрів зовнішніх і внутрішніх, як це було виконано авторами в роботі [10]. Крім традиційного змістовного опису субстанцій та артефактів на діаграмах, було введено їх характеристики.

Опис об'єкта як складеного. Продовження формування концептуальної частини проекту. Тепер виконується декомпозиція функції F . Це може бути як функція самого об'єкта, так і будь-якого його компонента. Формалізований опис процесу декомпозиції вищезазначеної функції F продемонстровано авторами в роботі [11].

Організація рекурсивного процесу проектування. Будемо дотримуватися вибраного підходу, і завдання кожної роботи підтримуватиметься наявністю формального ТЗ на проектування. Для першого кроку маємо ТЗ на проектування об'єкта як цілого. Процес проектування на початковій стадії по-

лягає в декомпозиції функцій. Виконуючи декомпозицію, слід брати до уваги накопичений своєю організацією досвід і використовувати такі функції, які вже практично реалізовані та допускають пряме застосування або використання після налаштування чи регулювання. У цьому випадку формується технічне завдання на організацію закупівлі необхідного компонента або на внесення до проекту відповідних компонентів з іншого проекту. Другий варіант передбачає використання такої функції, яка не потребує подальшої декомпозиції. У цьому випадку формується технічне завдання на конструктивне оформлення такої функціональності. Після повної реалізації цих двох варіантів технічні завдання не створюються, а останній функції присвоюється статус «Реалізовано». У разі потреби подальшої декомпозиції (це третій і останній варіант) формується технічне завдання за схемою, представленою авторами в роботі [11].

Оскільки з кожним рівнем декомпозиції функції стають усе простішими і простішими, врешті-решт для кожної останньої у дереві декомпозиції знайдеться або готове конструктивне рішення, або навіть готовий об'єкт. Це є гарантією завершення рекурсивного процесу, оскільки нові технічні завдання вже не генеруватимуться.

Планування робіт на розробку проекту об'єкта. Планування робіт із проектування штучного об'єкта представлено покроковою декомпозицією процесу розробки його проекту та відображено на рисунку 1.

У разі отримання організацією проекту до виконання між замовником і представником підприємства узгоджується і затверджується ТЗ (рис. 1, (1)) на виготовлення певного штучного об'єкта. Затверджене ТЗ (1) є вхідними даними внутрішньої предметної інформаційної підсистеми (ВПІПс), яка веде проект штучного об'єкта і є компонентом зовнішньої системи управління діяльністю проектною організацією, яка веде роботу проектантів. Під час цієї дії відбувається ініціалізація початку першого етапу процесу проектування штучного об'єкта – процесу розробки проекту штучного об'єкта. На цьому етапі відбувається старт процесу створення проектних документів з описом майбутнього штучного об'єкта. Проектні документи мають бути наповнені певною інформацією щодо різних аспектів, які характеризують такий об'єкт. Мається на увазі, що вони повинні містити дані про деталі функціонування проектного об'єкта як цілого, так і його компонентів.

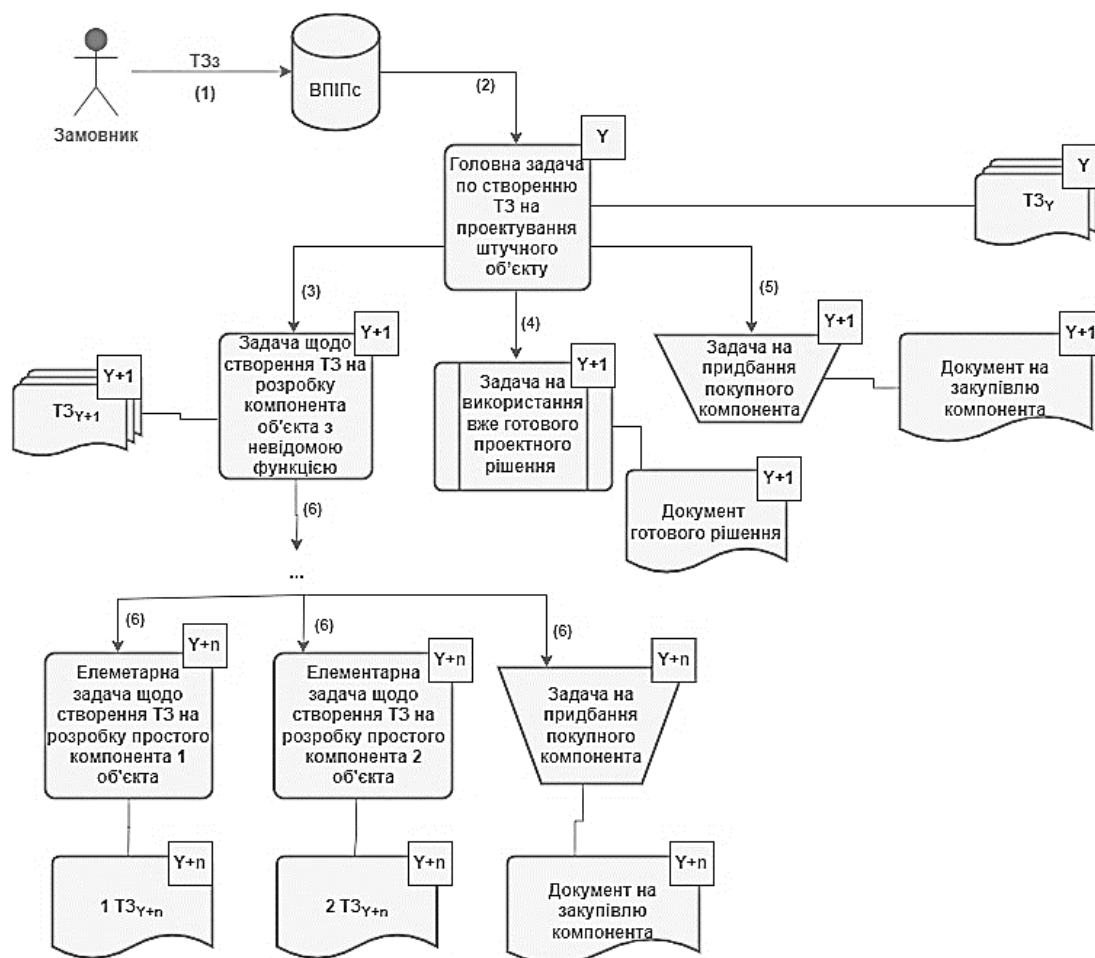


Рис. 1. Декомпозиція процесу проектування штучного об'єкта

Далі розглянемо покрокову декомпозицію процесу розробки проекту цього штучного об'єкта. Будемо виконувати планування робіт із проектування останнього, використовуючи підхід «згори донизу», і представимо результати у вигляді деревовидної структури. На найвищому рівні Y відповідним фахівцем цієї організації розміщено головну задачу щодо створення ТЗ на проектування цього штучного об'єкта як цілого (рис. 1, (2)) на основі ТЗ замовника із ВПІПс. Воно міститиме формалізований опис головної виконуваної ним функції з відомими вхідними та вихідними даними, обмеженнями, механізмами реалізації тощо, але без зазначення деталей алгоритму роботи цього штучного об'єкта. Ця головна задача є складеною і тому потребує розбиття на більш прості задачі для належної організації виконання процесу розробки проекту представленої штучного об'єкта.

Отже, переходимо до формування наступного (дочірнього) рівня декомпозиції $Y + 1$. Вважаємо проєктований штучний об'єкт таким, що містить компоненти з невідомими функціями, компоненти у вигляді готових проєктних рішень у рамках цієї організації, і існуючі (наприклад, покупні) компоненти. У такому випадку для останньої формується задача зі своєрідним ТЗ на його придбання (рис. 1, (5)) і занесення до проєкту даних про інтерфейси. Для другого компонента створюється задача на використання вже готового проєктного рішення (рис. 1, (4)) за умови відсутності необхідності розробки ТЗ на його проектування. Готове проєктне рішення є наявним завдяки раніше набутому досвіду організації під час реалізації попередніх проєктів. А для першого компонента буде сформована задача щодо створення ТЗ на його проектування. ТЗ на проектування компонента міститиме формалізований опис виконуваної ним функції з відомими вхідними та вихідними даними, обмеженнями, механізмами реалізації тощо, але знову без зазначення деталей алгоритму його роботи. Це так, оскільки вищезазначена задача також є складеною. А отже, вона й далі потребує подальшої декомпозиції. Цей процес розбиття складеної задачі на простіші повторюватиметься аналогічним чином (рис. 1, (6)) із додаванням до існуючої деревовидної структури наступних рівнів деталізації $Y + 2$, $Y + 3$, ..., $Y + n$. Процес декомпозиції завершиться тоді, коли його найнижчий рівень $Y + n$ буде представлений або елементарною задачею щодо створення ТЗ на проектування відповідної простої складової цього штучного технічного об'єкта, яка не потребує подальшого розбиття, або задачею на застосування вже готового рішення, або задачею на закупівлю прийнятого як проєктне рішення певного компонента.

У підсумку маємо декомпозицію процесу розробки проекту цього штучного технічного об'єкта у вигляді деревовидної структури. Така структура ієрархічно відображає певний набір взаємозалежних задач щодо створення відповідних документів з описом технічного об'єкта як цілого, так і його окремих компонентів. Ці проєктні документи також містять деталі про виконувані ними функції. Вищезазначені задачі можуть містити завдання як на розробку ТЗ на проектування певних складових цього технічного об'єкта з унікальними властивостями, так і на застосування наявних готових рішень підприємства та/або на придбання компонентів ззовні.

Виділимо основні особливості організації робіт із формування життєвого циклу штучного об'єкта. Розбиття задач щодо проектування об'єкта відбувається згори донизу за таким алгоритмом: формується задача найвищого рівня Y щодо створення ТЗ на проектування об'єкта і створюються задачі рівня $Y + 1$ (дочірні) щодо розробки відповідних проєктних документів зі всією належною інформацією. У разі потреби для певних задач рівня $Y + 1$ формуються власні підзадачі за аналогічним алгоритмом, і так відбувається для кожного рівня деталізації, доки найнижчий рівень декомпозиції $Y + n$ не буде представлений або елементарною задачею, яка не потребує подальшого розбиття, або задачею на застосування вже готового рішення організації, або задачею на закупівлю певного компонента.

Завершення задач проектування технічного об'єкта відбувається знизу вгору таким чином: задача рівня Y вважається виконаною в тому випадку, якщо створено певний проєктний документ з описом відповідного компонента об'єкта й завершено всі її дочірні задачі рівня $Y + 1$. Тобто результатом виконання кожної з них є також створені певні проєктні документи з описом відповідних ним компонентів об'єкта. Набір готових проєктних документів рівня $Y + 1$ становить результат виконання задачі рівня Y .

Подальше конструювання та виробництво штучного об'єкта відбувається за підходом «знизу вгору». Проектування об'єкта є покроковим процесом, який розвивається в напрямі поступового спрощення поточно вирішуваних проєктних задач.

Організація робіт із проектування. Ініціалізація робіт із проектування починається після виявлення появи ТЗ на проектування зі статусом «Не опрацьовується». Послідовно будуть виконані етапи планування, реалізації, контролю [11].

Введення механізму формалізованих технічних проєктних завдань дає можливість автоматизованого формування та здійснення контролю виконання виробничих завдань з їх реалізації. Таким чином, розроблено рекурсивний метод формування опису довільного штучного об'єкта та процесу його формування, що забезпечує їх практичну комп'ютерну реалізацію, незалежно від типу об'єкта.

Висновки

Розроблено методику проектування штучного технічного об'єкта на основі покрокової декомпозиції цього процесу. При цьому виконано таке:

1. Встановлено сутність проектування штучного об'єкта. Проаналізовано два аспекти: процес наповнення опису об'єкта та діяльність фахівців із здійснення такого процесу.

2. Запропоновано узагальнену методику опису функцій об'єктів проектування як цілісних об'єктів. Це забезпечує необхідні дані для оцінювання варіантів і прийняття проектних рішень і змістовного наповнення проекту.

3. Запропонована узагальнена методика опису функцій об'єктів як складених дає змогу верифікувати проектні рішення попередніх рівнів деталізації. Крім того, це дає необхідні дані не тільки для оцінювання варіантів і прийняття проектних рішень, а й для обґрунтування їх із врахуванням причинно-наслідкових зв'язків між процесами, які відбуваються у складових об'єкта проектування. Додатково підтримується однорідність змістовного наповнення проекту й організації та планування процесу проектування.

4. Запропоноване однорідне подання даних забезпечує рекурсивну організацію контрольованого процесу проектування, що гарантує результативне його завершення або обґрунтоване доведення неможливості цього із фіксацією невирішених задач, що дає змогу обґрунтовано формувати плани дослідних робіт.

5. Проектування об'єкта організовано як покроковий процес, який розвивається в напрямі поступового спрощення окремо вирішуваних проектних задач.

6. На основі механізму формалізованих технічних проектних завдань сформована можливість автоматизованого формування та здійснення контролю виконання виробничих завдань із їх реалізації.

Розроблено рекурсивний метод формування опису довільного штучного технічного об'єкта та процесу його формування. Однорідність усіх розроблених концептуальних моделей гарантує алгоритмізацію, що забезпечує їх практичну комп'ютерну реалізацію, незалежно від типу об'єкта. Запропонований підхід до реалізації процесу проектування дає змогу контрольовано реалізувати поставлену задачу.

Література

1. Rivard S. Theory Building: Neither an Art nor a Science, But a Craft. *Advancing Information Systems Theories: Rationale and Processes*, 2021. P. 131–159.
2. DeMarco T. Structured Analysis and System Specification. In: Broy, M., Denert, E. (eds) *Software Pioneers*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2002.
3. Belghiat A., Oukhaf D. & Chaoui A. Transforming UML Diagrams to YAWL Models for Business Processes Analysis. In *International Symposium on Modelling and Implementation of Complex Systems*, Cham: Springer International Publishing, 2020. P. 279–293.
4. Nguyen Thanh T., Le Thanh N. & Hoang Thi Thanh H. Formalization of Business Processes and Business Rules Model using Colored Petri Nets. In *The 5th International Conference on Future Networks & Distributed Systems*, 2021. P. 42–47.
5. Fang K. & Lin S. An integrated approach for modeling ontology-based task knowledge on an incident command system. *Sustainability*, 11 (12), 2019. P. 3484.
6. Nguyen Thanh T., Le Thanh N., Hoang Thi Thanh H. & Ha Thi, T. VeBPRu: A Toolchain for Formally Verifying Business Processes and Business Rules. In *Proceedings of the 2023 8th International Conference on Intelligent Information Technology*, 2023. P. 15–19.
7. Moshev E., Meshalkin V. & Romashkin M. Development of models and algorithms for intellectual support of life cycle of chemical production equipment. *Cyber-Physical Systems: Advances in Design & Modelling*, 2020. P. 153–165.
8. Dean W. Recursive Functions. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2021.
9. Cloutier R.J. & Hutchison N. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK), version 2.2. INCOSE, Stevens Institute of Technology, 2020.
10. Antypenko V., Nenia V., Marchenko A., Antypenko B., Kovpak A. Information technology for implementation the functional modeling of a technical object. *Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer, Cham, 2021. P. 504–512.
11. Antypenko V., Nenia V., Marchenko A., Antypenko B. Recursive Method of Forming a Technical Object Description and Design Process Organization. *Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer, Cham, 2022. P. 522–530.

References

1. Rivard, S. (2021). Theory Building: Neither an Art nor a Science, But a Craft. *Advancing Information Systems Theories: Rationale and Processes*, P. 131–159.
2. DeMarco, T. (2002). Structured Analysis and System Specification. In: Broy, M., Denert, E. (eds) *Software Pioneers*. Springer, Berlin, Heidelberg.
3. Belghiat, A., Oukhaf, D., & Chaoui, A. (2020). Transforming UML Diagrams to YAWL Models for Business Processes Analysis. In *International Symposium on Modelling and Implementation of Complex Systems*, Cham: Springer International Publishing, P. 279–293.
4. Nguyen Thanh, T., Le Thanh, N., & Hoang Thi Thanh, H. (2021). Formalization of Business Processes and Business Rules Model using Colored Petri Nets. In *The 5th International Conference on Future Networks & Distributed Systems*, P. 42–47.
5. Fang, K., & Lin, S. (2019). An integrated approach for modeling ontology-based task knowledge on an incident command system. *Sustainability*, 11 (12), P. 3484.
6. Nguyen Thanh, T., Le Thanh, N., Hoang Thi Thanh, H., & Ha Thi, T. (2023). VeBPRu: A Toolchain for Formally Verifying Business Processes and Business Rules. In *Proceedings of the 2023 8th International Conference on Intelligent Information Technology*, P. 15–19.
7. Moshev, E., Meshalkin, V. & Romashkin, M. (2020). Development of models and algorithms for intellectual support of life cycle of chemical production equipment. *Cyber-Physical Systems: Advances in Design & Modelling*, P. 153–165.
8. Dean W. (2021). Recursive Functions. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*.
9. Cloutier, R.J. & Hutchison N. (2020). Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK), version 2.2. *INCOSE, Stevens Institute of Technology*.
10. Antypenko, V., Nenia, V., Marchenko, A., Antypenko, B., Kovpak, A. (2021). Information technology for implementation the functional modeling of a technical object. *Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer, Cham, P. 504–512.
11. Antypenko, V., Nenia, V., Marchenko, A., Antypenko, B. (2022). Recursive Method of Forming a Technical Object Description and Design Process Organization. *Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer, Cham, P. 522–530.