

УДК 62-50.001

Узунов О.В., д.т.н., проф.

НТУУ «Київський політехнічний інститут» м. Київ, Україна

СИСТЕМНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ В ЗАДАЧАХ АНАЛІЗУ ТА СИНТЕЗУ

Oleksandr Uzunov

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine (mmi@kpi.ua)

THE SYSTEM REPRESENTATION OF COMPLEX TECHNICAL OBJECTS IN THE TASKS ANALYSIS AND SYNTHESIS

Робота присвячена питанням методології представлення складних технічних об'єктів. В основу аналізу об'єктів покладено поняття будови, функціонування та властивості. Об'єкт представляється у вигляді двох ієрархічних моделей будови та властивостей. Особливістю представлення є розкриття механізму взаємодії вказаних моделей. Взаємодія забезпечується через процес функціонування, в якому складові будови виконують необхідні перетворення, а результатом функціонування є отримані властивості. Ієрархія конкретних властивостей формує комплект властивостей, який забезпечує реалізацію призначення об'єкту. Наведено схему взаємодії будови та властивостей об'єкту через процес його функціонування. У якості прикладу складного технічного об'єкту розглянуто насосну станцію. Наведено ієрархічні моделі будови та властивостей з визначенням їх взаємодії через процес функціонування. Більш детально представлено схему взаємодії на прикладі моделей насосу. Застосування уточненого представлення дозволить скоротити терміни вирішення задач аналізу та синтезу складних технічних об'єктів.

Ключові слова. Складний технічний об'єкт, ієрархічна модель, будова, функціонування, властивість.

Постановка задач. Складні технічні об'єкти характеризуються великою кількістю елементів, які мають значну кількість різноманітних зв'язків, що активуються в процесі функціонування [1,2]. Ознакою складних об'єктів є також використання різних форм для їх представлення. Це можуть бути принципова схема, функціональна схема, складальне креслення, математичний опис функціонування та ін. Кожне з представлень застосовують для вирішення конкретної задачі або її етапу. Наприклад, на початковому етапі вирішення задачі проектування складний технічний об'єкт представляють у вигляді схеми взаємодії його функцій – функціональної схеми, або у вигляді схеми, яка деталізує принципи виконання цих функцій – принципової схеми. Складність технічних об'єктів проявляється також в ході проектування в тому, що при переході від етапу до етапу підвищується стан готовності об'єкту, в ньому накопичується інформація, наприклад – додається визначеність його функцій, визначеність принципів виконання функцій та ін., і, в результаті, інформація про об'єкт інкапсулюється в його кінцевому стані – конструкції. Конструкція об'єкта вміщує в собі принципи за якими вона працює, але ці принципи в явному вигляді в ній не представлено. Більше того, навіть якщо для конструкції об'єкту в формі складального креслення є його принципова схема, достатньо проблематично прослідкувати зв'язок між ними т.я. крім реалізації принципів в конструкції передбачено ще черговість та логіка дії. Враховуючи це, при вирішенні задач аналізу та синтезу складних об'єктів розглядають їх структурно-функціональну організацію. Наприклад, при вирішенні задачі аналізу для підготовки випробувань, об'єкт представляють у вигляді двох моделей – структурної та функціональної [2]. Такі моделі мають ієрархічні організації, що деталізує об'єкт до елементів та елементарних функцій. Саме на основі цих двох моделей встановлюють взаємозв'язки між структурними та функціональними складовими об'єкту (рис.1). Однак у відомих дослідженнях не розкривається механізм утворення вказаних зв'язків, а лише наголошується на необхідності його визначення [2]. Відсутність системного уявлення про методологію визначення зв'язків призводить до проблем: одні і ті самі структурні елементи можуть бути задіяні при виконанні кількох функцій; важко, або неможливо зрозуміти яким чином структурні елементи реалізують функції об'єкту; та ін. Вказані

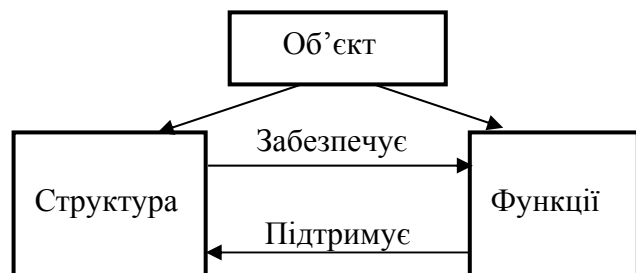


Рис. 1. Узагальнене представлення складних технічних об'єктів [2]

проблеми призводять до втрат часу при вирішенні практичних задач. Шлях усунення проблем полягає в системному розумінні взаємовідносин між компонентами складного технічного об'єкту в ході виконання призначених функцій. Для розуміння і системного представлення вказаних відносин найбільш прийнятним є циклічно-модульний підхід [3,4]. В той же час, для можливості його застосування для представлення складних об'єктів необхідні додаткові дослідження.

Метою роботи є скорочення термінів вирішення задач аналізу та синтезу складних технічних об'єктів за рахунок формування системного уявлення про логіку взаємовідносин будови, функціонування та властивостей.

Задачі:

- визначити понятійне підґрунтя, форму та алгоритм системного представлення складних технічних об'єктів в задачах аналізу та синтезу;
- проілюструвати використання алгоритму на прикладі системного представлення складного технічного об'єкту.

Формування системного представлення складних технічних об'єктів.

Аналіз відомих підходів до системного представлення складних об'єктів показав, що вживаний понятійний базис – об'єкт, структура та функції, не дозволяє в повній мірі відобразити внутрішні зв'язки між структурою та функціями. Структурна модель дозволяє відобразити будову об'єкту, а функціональна модель відображає ієрархію його функцій. В той же час, функції не є споживчим результатом використання об'єкту. Таким результатом є властивості, які забезпечують реалізацію його призначення.

Більш зручним для аналізу цих зв'язків є уточнений понятійний базис, який деталізує внутрішню логіку технічного об'єкту: об'єкт має певну будову, яка в процесі функціонування утворює властивості, що забезпечують реалізацію його призначення (рис.2).

Таким чином, поклавши в основу аналізування об'єкту поняття будови, процесу функціонування та властивості з'являється можливість визначити причинно-наслідкові зв'язки між будовою та властивостями об'єкту. При цьому, системно утворюючим фактором є процес функціонування, який визначає точки поєднання будови та властивостей.

Поняття *будова* об'єкту характеризує його компонентний склад та зв'язки між компонентами та елементами.

Поняття *функціонування* відображає процес взаємодії складових частин об'єкту при роботі по формуванню його властивостей.

Поняття *властивості* об'єкту характеризує його спроможність отримувати певні результати, які забезпечують реалізацію призначення. Властивостей об'єкту може бути декілька – комплект властивостей, які об'єднані призначенням об'єкту.

На основі розгляду взаємодії вказаних понять і їх деталізації може бути сформовано системне представлення складного об'єкту. Алгоритм формування представлення об'єкту в системному вигляді полягає в наступному.

Крок 1. Деталізація складного об'єкту. На цьому кроці деталізують будову та властивості об'єкту. Виконують деталізацію шляхом розділення відповідно будови та властивостей на складові частини з врахуванням ієрархічних відносин між ними. На першому рівні будову розділяють на мінімально можливу кількість конструктивних модулів однакового ступеню деталізації. При цьому також враховують, що між відокремленими модулями існують однозначні зв'язки, які обумовлюють можливість утворення з них цілого об'єкту. Вказані зв'язки відображають за допомогою схеми з'єднань.

В свою чергу, властивості об'єкту на першому рівні ієрархії також розділяють на складові частини одного рівня деталізації, яких достатньо для формування властивостей верхнього рівня. Враховують також зв'язки між властивостями.

Після формування першого рівня ієрархії переходять до формування другого рівня ієрархії. Цей рівень формують аналогічним чином, але по відношенню до кожного компоненту першого рівня. Схеми з'єднань компонентів цього рівня деталізують схему з'єднань попереднього рівня ієрархії. Самий останній рівень ієрархії представляють окремими деталями і квазидеталями будови та елементарними властивостями відповідно. Слід враховувати, що останній рівень ієрархії також має схему з'єднань складових частин цього рівня. Термін квазидеталь позначає деталь, яка має форму при відсутності її матеріального наповнення.

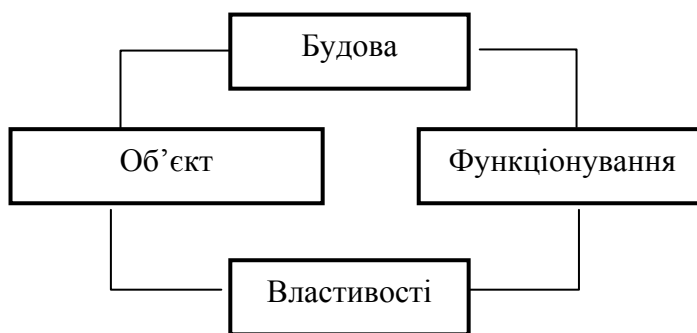


Рис. 2. Схема взаємодії будови, функціонування та властивостей складного технічного об'єкту в циклічно-модульному підході

Прикладами квазидеталей є канали і порожнини, які також забезпечують можливість виконання дій процесу функціонування об'єкту.

Крок 2. Деталізація процесу функціонування об'єкту На першому рівні ієрархії формується структура основного процесу функціонування. На другому рівні формують структури процесів, які деталізують структуру основного процесу. Слід також зазначити, що процес функціонування модулів останнього рівня деталізують на основі схеми з'єднань його деталей, а самі деталі є складовими засобів виконання дій процесу і не утворюють безпосередніх зв'язків між будовою і властивостями.

Крок 3. Визначення зв'язків між компонентами будови і елементарними властивостями.

Загальний процес функціонування складається з об'єднаних між собою замкнених елементарних процесів. Кожний процес, в свою чергу, вміщує в собі комплект елементарних дій. Ці елементарні дії, а точніше, їх пари, які є взаємно протилежними за своєю дією, реалізуються конкретними засобами – деталями та квазидеталлями об'єкту. Дії є результатом сумісної роботи відповідних засобів. Логіка взаємодії засобів визначається принципом реалізації функцій, який відображає схема з'єднань. Трансформування дій засобів будови, які скоординовано процесом функціонування, у комплект властивостей об'єкту представляє механізм утворення зв'язків між компонентами будови та властивостями. Зв'язки між процесом функціонування та властивостями визначають на підґрунті того, що результатом виконання кожного замкненого процесу з відомими діями і черговістю їх реалізації є отримання відповідної відомої властивості.

В результаті виконання вказаних кроків отримують системне представлення складного технічного об'єкту (рис.3). Таке представлення створює методологічне підґрунтя для вирішення задач аналізу та синтезу складних технічних об'єктів. Задача аналізу має два рівні. Першим рівнем є формування системного уявлення про об'єкт в ході якого визначають будову, властивості та зв'язки між ними. Другим рівнем є визначення кількісних характеристик властивостей об'єкту в залежності від конструктивних параметрів складових модулів його будови, режимів та умов експлуатації. Зазвичай, задачі аналізу другого рівня для складних технічних об'єктів вирішуються шляхом побудови математичної моделі процесу функціонування, з врахуванням принципів роботи елементів, та моделювання дії при заданих конструктивних параметрах, режимах і умовах.

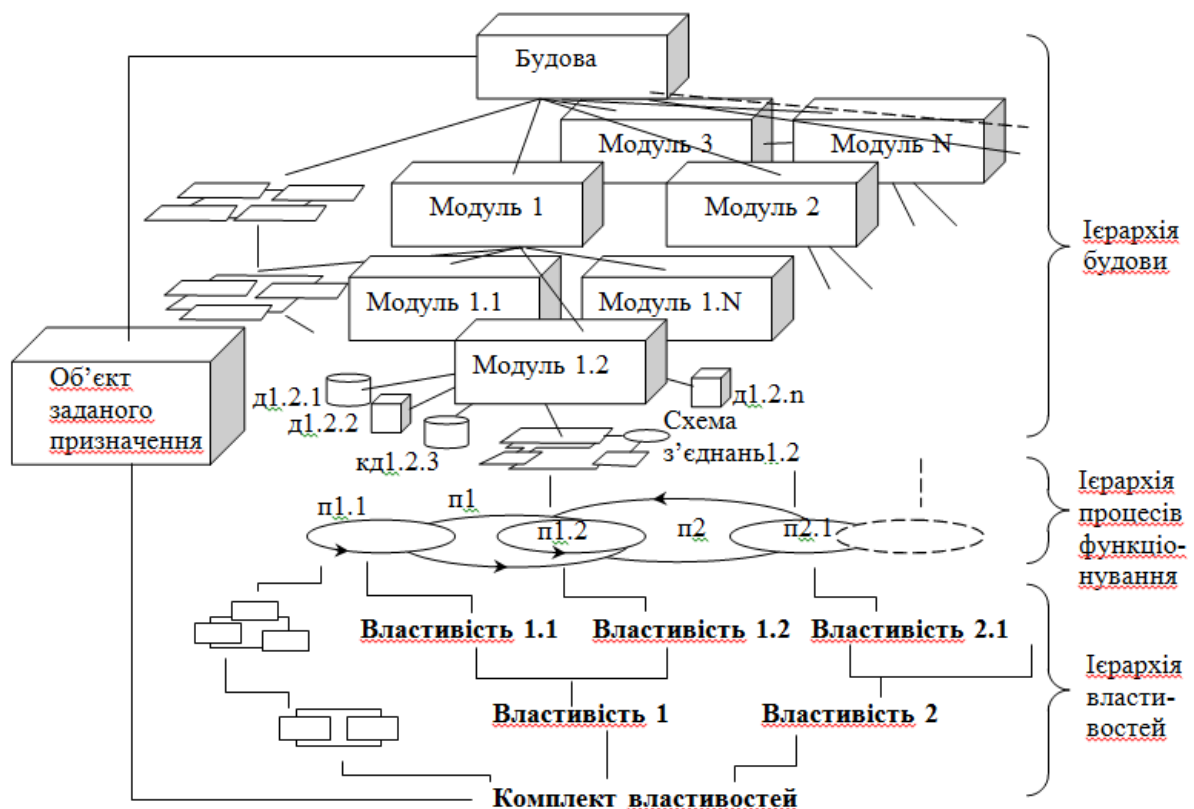


Рис. 3. Детальна схема взаємодії будови та властивостей об'єкту через процес його функціонування

Задача синтезу полягає у деталізації комплекту властивостей на основі призначення об'єкту, формуванні процесу функціонування, виборі принципів виконання дій процесу, розробці схем їх з'єднання, виборі засобів виконання дій, конструюванні модулів та компонованні об'єкту за заданими кількісними характеристиками, режимами роботи, умовами експлуатації, вимогами та обмеженнями.

Задачі аналізу та синтезу вирішують, наприклад, при підготовці випробувань складних об'єктів. При вирішенні задачі аналізу формується системне представлення об'єкту. Далі визначають функціональні модулі, які є відповідальними за формування конкретних властивостей. Для кожного модулю формується перелік тестів і для кожного тесту визначаються умови для проявлення властивостей та їх кількісних характеристик. Це, в свою чергу, потребує вирішення задачі синтезу – розроблення обладнання, що забезпечить створення потрібних умов з можливістю вимірювання та фіксації кількісних характеристик властивостей об'єкту, який проходить випробування.

Системне представлення складного об'єкту на прикладі насосної станції.

При вирішенні задачі комплексного випробування насосної станції необхідно мати повне уявлення про її будову та властивості. Насосні станції призначені для забезпечення гідравлічною енергією різноманітних технічних об'єктів. Типові насосні станції побудовані на основі принципової схеми (рис.4). Станція об'єднує комплект пристроїв, які взаємодіють для формування певних властивостей. Системне представлення насосної станції сформуємо шляхом дій відповідно розробленого алгоритму на основі загальної схеми (рис.3).

Аналіз насосної станції виконуємо в базисі понять будова, функціонування та властивості.

Крок 1. Деталізуємо будову та властивості насосної станції. На першому рівні ієрархії будову насосної станції деталізуємо до модулів: - насосний модуль, модуль налаштувань та захисту, модуль стабілізації, енергоносія.

На першому рівні ієрархії властивостей представляємо їх як комплект: - перетворення електричної енергії в гідравлічну, забезпечення налаштувань, забезпечення стабільної роботи, забезпечення потрібного стану робочої рідини.

На другому рівні ієрархії будови насосний модуль деталізуємо на електричний двигун та насос. Модуль налаштувань та захисту деталізуємо на зворотний клапан, клапан тиску та манометр. Модуль стабілізації деталізуємо на акумуляторний модуль, фільтр 1, фільтр 2 та охолоджувач. Модуль енергоносія деталізуємо на рідину та бак.

На другому рівні деталізації властивостей властивість перетворення електричної енергії в гідравлічну деталізуємо на дві – перетворення електричної енергії в механічну, перетворення механічної енергії в гідравлічну. Властивість забезпечення стабільної роботи системи деталізуємо на властивість захисту системи від перенавантаження, захисту від аварійних ситуацій, захисту від руйнування та властивість накопичення – віддавання енергії. Властивість забезпечення потрібного стану рідини деталізуємо на властивість фільтрації рідини та властивість її охолодження.

На третьому рівні деталізації будови кожен модуль розділяємо на складові деталі та схему їх з'єднань. Це буде проілюстровано нижче на прикладі деталізації насоса.

На другому кроці визначено структуру процесу функціонування модулів. Беручи до уваги, що кожний

модуль має можливість виконувати свою функцію багатократно, то форма структури процесу функціонування є замкненою. Модуль електричного двигуна функціонує відповідно замкненому процесу П1, в якому електрична енергія перетворюється у магнітне поле, магнітне поле діє на виток обмотки ротора і створює момент його обертання, момент обертання призводить до виникнення кутової швидкості ротора, кутова швидкість призводить до повертання ротора на певний кут. Це, в свою чергу, призводить до втрати взаємодії електричної енергії з витком обмотки ротора, і, як наслідок, зникненню моменту обертання. Після завершення циклу, вступає в дію наступний виток обмотки ротора і процес повторюється. Послідовність кутових повертань призводить до обертання ротора з заданою частотою. Обертання ротора передається на ротор насоса. В насосі також відбувається циклічний процес, який відображає замкнена структура.

Аналогічним чином деталізують процеси функціонування інших компонентів.

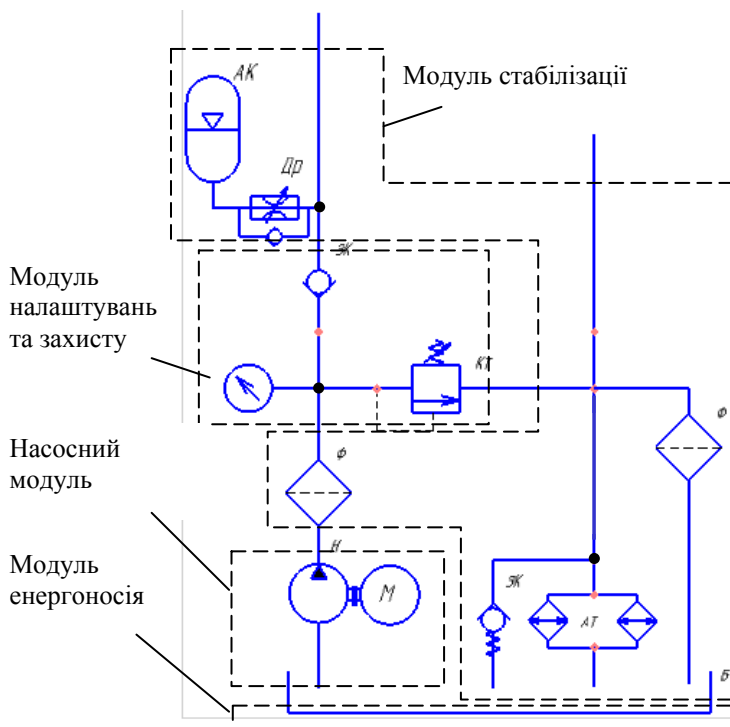


Рис. 4. Принципова схема насосної станції

Крок 3. Визначаємо зв'язки між компонентами будови та елементарними властивостями. Функціонування модулів на основі структур процесів призводить до утворення властивостей. Траєкторія трансформування скоординованих процесом функціонування дій складових частин будови об'єкту у його

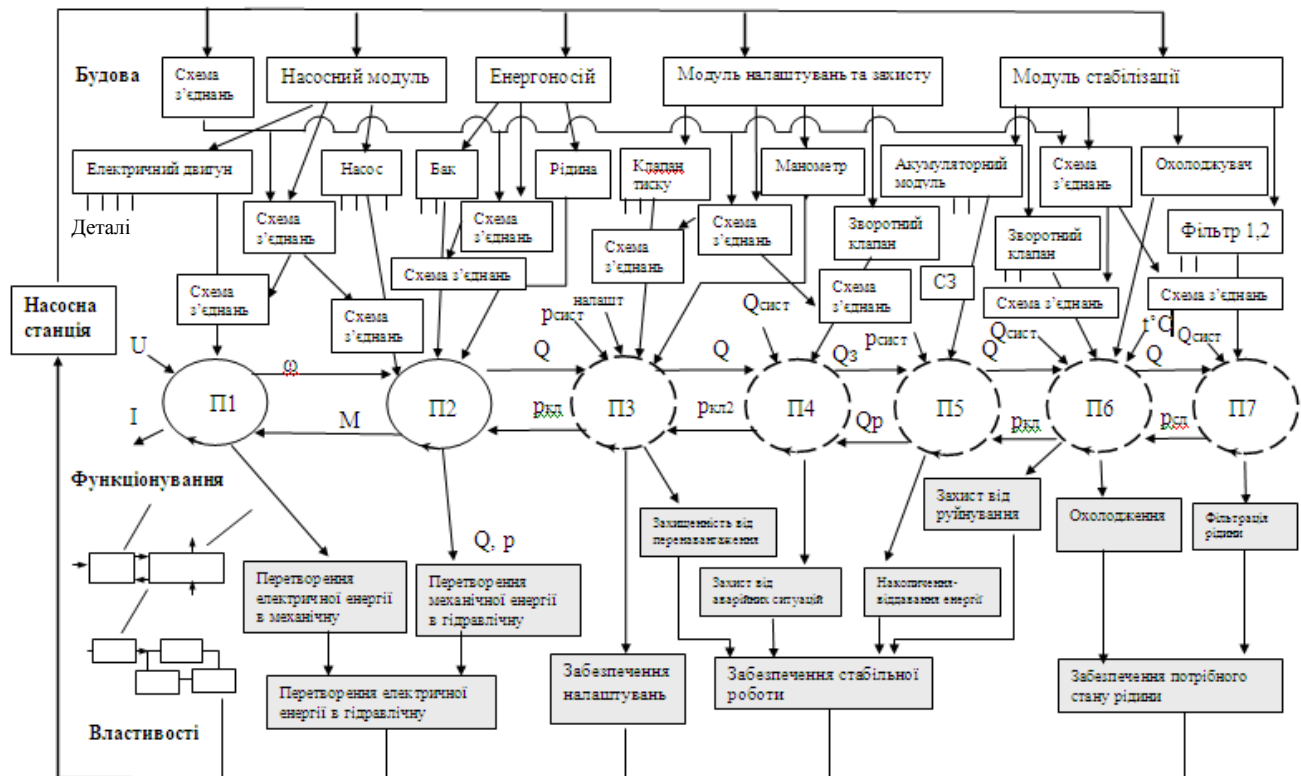


Рис. 5. Схема утворення властивостей насосної станції в процесі функціонування її структурних компонентів

властивості відображається відповідними зв'язками. Пояснення таких зв'язків проілюстровано на прикладі насоса, дії елементів якого забезпечують формування властивості перетворення механічної енергії в гідравлічну (рис.6). Насос розділено на деталі: статор, ротор, пластини, кришки та кріплення та на квазидеталі – вікно всмоктування та вікно нагнітання. Можливість формування насосом вказаних властивостей забезпечується лише у разі поєднання цих деталей відповідно до схеми з'єднань, яка також враховує просторові взаємовідношення між деталями. Представлено також структуру процесу функціонування насоса, яка відображає потрібні дії, черговість їх виконання, яка корелюється з засобами їх виконання в будові насоса – окремими деталями та фазами їх взаємодії. Ініціюючим фактором є подача механічної енергії до ротору у вигляді частоти обертання з потенційною потужністю N . Це призводить до повертання ротора. Повертання ротора призводить до взаємодії пластин зі статором та збільшення об'єму робочих камер, далі через вікно всмоктування підключається енергоносіє та відбувається всмоктування, на наступній фазі повертання взаємодія пластин зі статором призводить до зменшення об'ємів робочих камер, збільшення тиску, і, відповідно, виникненню навантаження на роторі насоса і роторі приводного двигуна. На наступній фазі відбувається підключення вікна нагнітання і подача через нього робочої рідини Q з потенційною потужністю N , що і є результатом відпрацювання функції – сформованою властивістю.

Таким чином, взаємодія деталей та квазидеталей насоса забезпечує виконання дій процесу функціонування в заданій черговості і, відповідно, отримання властивості перетворення механічної енергії в гідравлічну.

Визначення взаємозв'язків між іншими складовими будови та властивостями, які вони формують, виконують аналогічним чином.

Розглянутий приклад ілюструє застосування запропонованого алгоритму формування системного представлення складного технічного об'єкту, яке одночасно може розглядатися як результат вирішення задачі аналізу першого рівня.

Використання алгоритму спрямовує дії розробника на вирішення задач, які є актуальними для кожного рівня ієрархії та конкретизує зв'язки між будовою та властивостями, що дозволяє скоротити терміни формування системного представлення об'єкту.

Висновки

1. Запропонований алгоритм уточнює системне представлення складних технічних об'єктів розкриттям механізму утворення зв'язків між властивостями та складовими частинами будови і має наступні особливості:

- об'єкт представляють у вигляді замкненої форми в системі понять будова, функціонування, властивості;
- будову об'єкту деталізують на складові частини та схеми їх з'єднань з врахуванням просторових взаємовідносин;
- зв'язки між складовими частинами будови та властивостями встановлюють на основі процесу функціонування;
- у якості системо утворюючого фактору на кожному рівні ієрархії будови та властивостей використовують схеми з'єднань принципів виконання окремих дій та функціональні схеми.

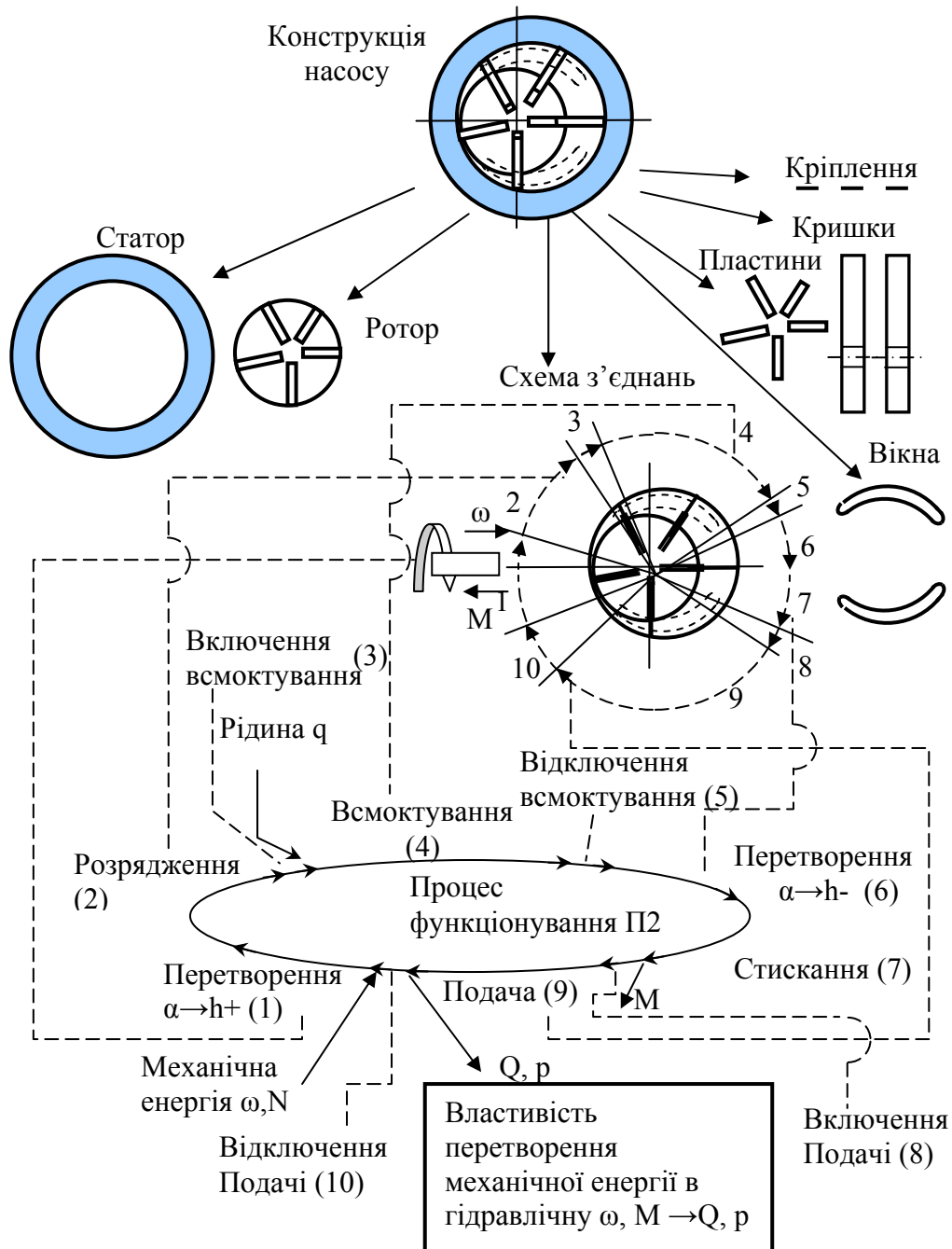


Рис. 6. Деталізація зв'язків між конструкцією насоса та його властивістю перетворення механічної енергії в гідравлічну

2. Системне представлення складного технічного об'єкту дозволяє сформувати цілісне уявлення про взаємозв'язки будови, функціонування та властивості, що за рахунок розуміння алгоритму утворення та функціонування об'єкту, а також раціонального способу його декомпозиції, забезпечує можливість скорочення термінів вирішення практичних задач аналізу та синтезу.

Аннотация. Работа посвящена вопросам методологии представления сложных технических объектов. В основу анализа объектов положены понятия строения, функционирования и свойств. Объект представляется в виде двух иерархических моделей строения и свойств. Особенностью представления является раскрытие механизма взаимодействия указанных моделей. Взаимодействие обеспечивается посредством процесса функционирования, в котором составляющие строения обеспечивают необходимые преобразования, а результатом функционирования есть полученные свойства. Иерархия конкретных свойств образует комплект свойств, который обеспечивает реализацию назначения объекта. Приведено схему взаимодействия строения и свойств посредством процесса функционирования. В качестве примера сложного технического объекта рассмотрена насосная станция. Приведены иерархические модели строения и свойств насосной станции с указанием их взаимодействия через процесс функционирования. Более детально представлена схема взаимодействия на примере моделей насоса. Применение уточненного представления позволит сократить сроки решения задач анализа и синтеза сложных технических объектов.

Ключевые слова. Сложный технический объект, иерархическая модель, строение, функционирование, свойство.

Abstract. The purpose of the work is development of methodology representation of complex technical objects. The basis of object analysis is the notions of structure, functioning and property. The object is represented in form of two hierarchical models of the structure and properties. The opening mechanism of interaction for models is the feature of representation. Interaction is provided by functioning process. The structure components make required transformations and the results are the obtained properties. Hierarchy of the properties forms the set of properties that provided the object destination. There is the interaction diagram of the structure and properties by functioning process. As example of the complex technical object the pump station is considered. The hierarchical models of the structure and properties with interaction across functioning process are presented. Diagram for pump is detailed. Application of refined representation will reduce the time spent on decision analysis and synthesis problems.

Keywords. Complex technical object, hierarchical model, structure, functioning, property.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения. –М.:Конкорд, 1992 с.519.
2. Информационные технологии в испытаниях сложных объектов: методы и средства/ В.И. Скурихин, В.Г. Квачев, Ю.Р. Валькман, Л.П. Яковенко; Отв.ред.Египко В.М., АН УССР. Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова. - Киев: Наук.думка, 1990.- 320с. -ISBN 5-12-001288-4.
3. Узунов, А. Циклично-модульный подход в задаче моделирования объектов с гидравлическими компонентами/ А. Узунов// Промислова гідроліка і пневматика. Всеукраїнський науково-технічний вісник, 2009. - №1(23). - С.61-66.
4. Oleksandr Uzunov. The cyclic-modular approach to simulation and design of the mechatronic objects. The archive of mechanical engineering. Vol. LXX, 2012, P.5-19.

References

1. Buch, G. (1992), *Object-oriented design with application examples*, Konkord, Moscow, Russian.
2. Skurihin, V.I., Kvachev V.G., Valkman U.R., Jkovenko L.P. (1990), AN UkrSSR. *Institut kibernetiki im. V.M. Glushkova*, [Information Technology in the testing of complex objects: methods and tools], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
3. Uzunov, A. (2009), [Modular approach to object modeling task with hydraulic components]. *Promislova gidravlika i pnevmatika. Vseukraïns'kij naukovo-tehnichnij visnik*, no 1(23). pp. 61-66.
4. Uzunov, O. (2012), *The cyclic-modular approach to simulation and design of the mechatronic objects*. The archive of mechanical engineering, vol. LXX, pp.5-19.

Подана до редакції 12.05.2016