

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИКЛИЧНОМОДУЛЬНОГО ПОДХОДА НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА

APPLICATION OF THE CYCLICMODULAR APPROACH ON EXAMPLE OF DESIGNING OF HYDRAULIC SERVO DRIVER

Рассмотрен пример применения циклично-модульного подхода для проектирования мехатронной системы с механическими и гидравлическими компонентами. Детально представлены этапы проектирования гидравлического следящего привода. В качестве основы проектируемого объекта используется концептуальная модель в виде многослойной сферы. Каждый слой соответствует состоянию объекта: выбранному принципу действия следящего привода, его функциональной схеме, принципиальной схеме, математической модели и модельным характеристикам, конструкции привода. Особенности подхода являются преемственность между этапами, которая обеспечивается использованием структуры процесса функционирования в качестве каркаса для формирования последующих слоев объекта и их модульная организация. Применение подхода позволяет сократить сроки проектирования.

Ключевые слова: подход к проектированию, гидравлический следящий привод, структура процесса функционирования, принципиальная схема, математическая модель, конструкция.

Введение

Проектирование мехатронных систем с физически разнородными компонентами сопряжено со значительными временными затратами. Это обусловлено сложностью рабочих процессов в таких системах и сложностью их согласования с конструктивными средствами систем для обеспечения требуемых характеристик.

Традиционно применяемый подход к проектированию состоит из известных этапов, но преемственность между результатами выполнения этапов прослеживается на достаточно общем уровне: идея, принципиальная схема для ее реализации, расчеты и моделирование на основе схемы, конструкция, реализующая эту схему [1—5]. При этом превращение идеи в схему, модель и конструкцию происходит не явно, и, как следствие, проверить корректность переходов крайне сложно.

Примененный циклично-модульный подход основан на концептуальной модели, которая представляет объект проектирования в виде многослойной сферы [6]. Каждый слой соответствует этапу проектирования и отражает состояние готовности объекта, а переход от слоя к слою отображает переход от этапа к этапу. Сам же подход состоит в циклическом взаимодействии проектировщика с окружающей средой и объектом проектирования, направленном на его послойное формирование.

Разработанные теоретические положения циклично-модульного подхода требуют детальной

проработки для возможности его использования при решении практических задач.

Целью работы является получение опыта применения циклично-модульного подхода для решения задач проектирования мехатронных систем с гидравлическими компонентами.

Задачей является детализация процесса проектирования на конкретном примере мехатронной системы рассматриваемого типа.

Постановка задачи

Для позиционирования рабочего органа необходимо разработать гидравлический следящий привод (рисунок 1). Управление приводом обеспечивается с помощью сигнала в виде механического линейного перемещения. Необходимо, используя дополнительную гидравлическую энергию, обеспечить перемещения выходного элемента привода с мощностью большей, чем мощность управляющего сигнала. При этом необходимо обеспечить: ход штока 0,25 м, перемещение массы 8,5 кг, ошибку слежения штока по отношению к управляющему элементу менее $0,2 \cdot 10^{-3}$ м. Давление насосной станции 9 МПа.

Проектирование привода

Для проектирования следящего привода применен циклично-модульный подход, основанный на развиваемой концептуальной модели объекта.

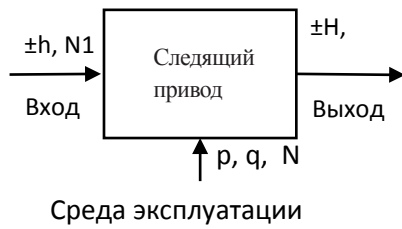


Рисунок 1 — Схема действия следящего привода

Вначале из описания привода определяют его назначение, функции, режимы работы и требования к нему. Далее переходят к формированию слоев.

В первом цикле необходимо выбрать принцип действия привода. Выбираем следующий принцип: позиционирование выходного элемента привода обеспечивается под действием перемещения входного элемента, которое ведет к разбалансированию сил на выходном элементе вследствие дроссельного управления гидравлической энергией. Новое положение выходного элемента является результатом баланса сил.

Условием перехода ко второму циклу проектирования является положительный результат проверки того, что выбранный принцип представляет основу для реализации требуемого назначения привода.

Во втором цикле формируют функциональный слой концептуальной модели — функциональную схему привода. Для реализации требуемого назначения на основе выбранного принципа действия привод должен выполнять следующие функции: управление прямым движением; выполнение прямого движения; управление реверсным движением; выполнение реверсного движения. Далее раскрывают содержание и порядок действий и преобразований в каждой из функций прямого и реверсного движения. Исполнение функций в требуемом порядке приведет к реализации принципа. Фактом готовности слоя является функциональная схема (рисунок 2). После этого может быть начат следующий цикл проектирования.

Третий цикл. В этом цикле формируется структурный слой — структура привода. Для этого каждую функцию представляют в форме одной или нескольких замкнутых

структур. Каждая замкнутая структура соответствует одному свойству, которое формируется приводом. Замкнутая форма структуры является следствием необходимости многократного повторения (цикличности) реализации функции. С другой стороны требование цикличности выполнения функции обуславливает набор требований к содержанию и последовательности действий в рабочем процессе привода. Эти требования следующие. Структура должна содержать все действия, необходимые для получения результата выполнения функции. Каждое прямое действие структуры должно иметь соответствующее ему инверсное действие. Логический порядок выполнения действий должен приводить к реализации функции. Порядок выполнения действий должен соответствовать целостности структуры. Если структура удовлетворяет указанным требованиям, то она является адекватной описанию процесса функционирования.

В соответствии с функциональной схемой и указанными требованиями представляют структуру процесса функционирования привода. Общая структура привода двустороннего действия включает следующие действия и преобразования: 1 — отключение реверсного движения; 2 — включение прямого движения; 3 — преобразование прямого перемещения входного элемента в прямое перемещение выходного элемента ($h \rightarrow H$); 4 — отключение прямого движения; 5 — включение реверсного движения; 6 — преобразование реверсного перемещения входного элемента в реверсное перемещение выходного элемента ($h \rightarrow H$) (рисунок 3).

Обычно структуры сложных объектов имеют иерархическую организацию. Эта иерархия обнаруживается при детализации структуры. Кроме того, замкнутая форма структуры служит индикатором для обнаружения модулей. При этом сложная структура может содержать модули разного уровня. Общая структура процесса функционирования привода двустороннего действия содержит структуры следующих модулей: привод двустороннего действия ($\pm h \rightarrow \pm H$); привод одностороннего действия прямого движения ($+h \rightarrow +H$); привод одностороннего действия реверсного движения ($h \rightarrow H$); преобразователь перемещения в скорость ($h \rightarrow v$); преобразователь подачи жидкости в скорость ($q \rightarrow v$). В

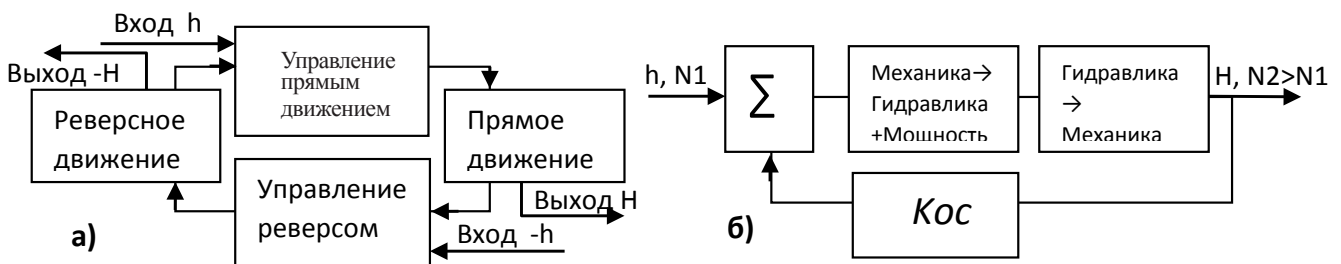


Рисунок 2 — Функциональная схема привода двустороннего действия (а) и функциональная схема его составляющей части привода одностороннего действия (б)

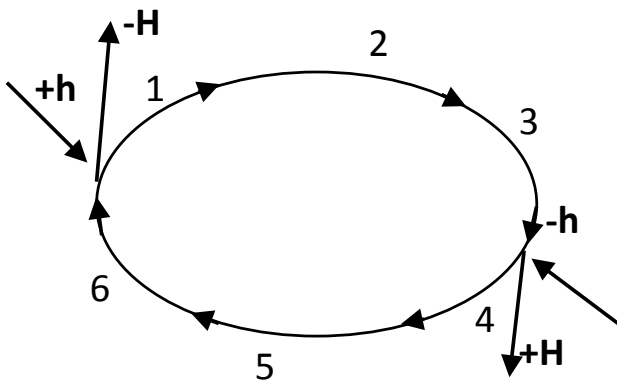


Рисунок 3 — Структура процесса в приводе двустороннего действия ($\pm h \rightarrow \pm H$)

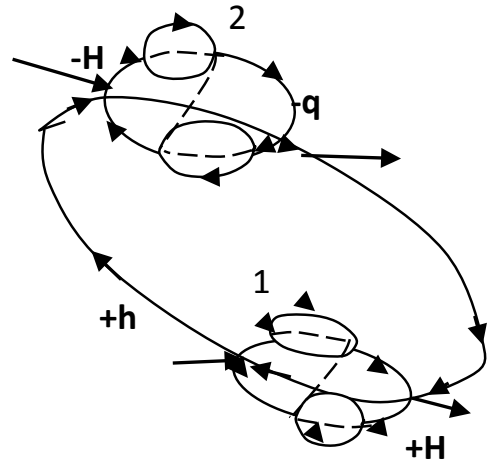


Рисунок 4 — Схема иерархической структуры привода одностороннего действия ($+h \rightarrow \pm H$) (1 — подструктура прямого движения ($+h \rightarrow +H$); 2 — подструктура восстанавливающего действия) ($H \rightarrow q$)

проектируемом приводе есть две одинаковые структуры модулей приводов одностороннего действия: ($+h \rightarrow +H$), ($h \rightarrow H$). Различие между этими модулями состоит в их применении — первый модуль использован для обеспечения прямого движения, а второй использован для обеспечения реверсного движения. Это означает, что в приводе модуль такого типа использован дважды. Многократное использование однотипных модулей уменьшает сроки проектирования. Этот эффект может быть умножен если модули идентифицированы на ранних этапах проектирования. В циклическом модульном подходе модули могут быть обнаружены в структурном слое концептуальной модели объекта проектирования.

После получения общей структуры процесса функционирования привода переходят к ее детализации. В качестве примера представлена детализированная структура процесса функционирования привода одностороннего действия прямого движения (рисунок 4). Эта структура включает две части. Первая часть соответствует выполнению прямого движения, а вторая часть соответствует процессу восстановления начального состояния привода. Детальное представление первой части показывает содержание и порядок действий и преобразований (рисунок 5).

Четвертый цикл. В этом цикле получена принципиальная схема проектируемого привода. Для этого в соответствии с требуемыми действиями в детальной структуре процесса функционирования модуля выбирают графические символы (формальные средства) физических элементов, предназначенных для выполнения указанных действий. При этом принимают во внимание, что каждое средство предназначено для выполнения двух взаимнообратных действий: прямого действия, инверсного действия. Например, выбрано формальное средство — емкость под давлением. Это средство необходимо для аккумуляции гидравлической энергии. Его действие определяется условиями его применения.

В условиях, если давление вне емкости будет выше, чем давление внутри, емкость будет заряжаться. Это действие будет прямым. Если же давление вне емкости станет ниже, чем давление внутри нее, наблюдается инверсное действие — разрядка. С учетом двойного действия выбирают все формальные средства, требуемые для реализации процесса функционирования. Затем графические символы выбранных формальных средств объединяют в принципиальную схему привода.

Порядок соединения графических символов задан порядком активизации действий в структуре процесса функционирования. Для иллюстрации представлено преобразование структуры модуля первого уровня ($q \rightarrow u$) в реализующую его принципиальную схему (рисунок 6, а, б). Для изображения этого модуля применяют также графический символ, который агрегирует показанную

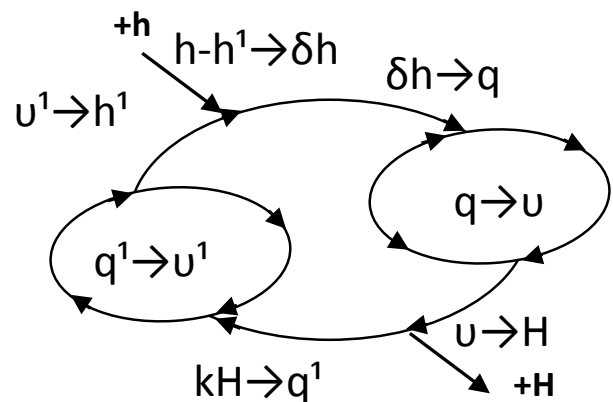


Рисунок 5 — Подструктура процесса прямого движения в приводе одностороннего действия ($+h \rightarrow +H$)

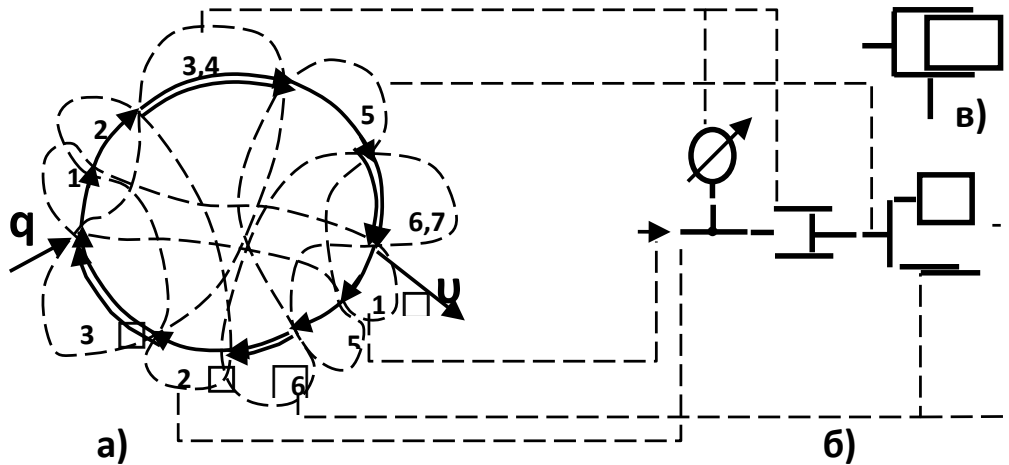


Рисунок 6 — Детальное представление структуры процесса функционирования модуля ($q \rightarrow v$) (а), преобразование структуры в принципиальную схему модуля (б) и его графический символ (в)

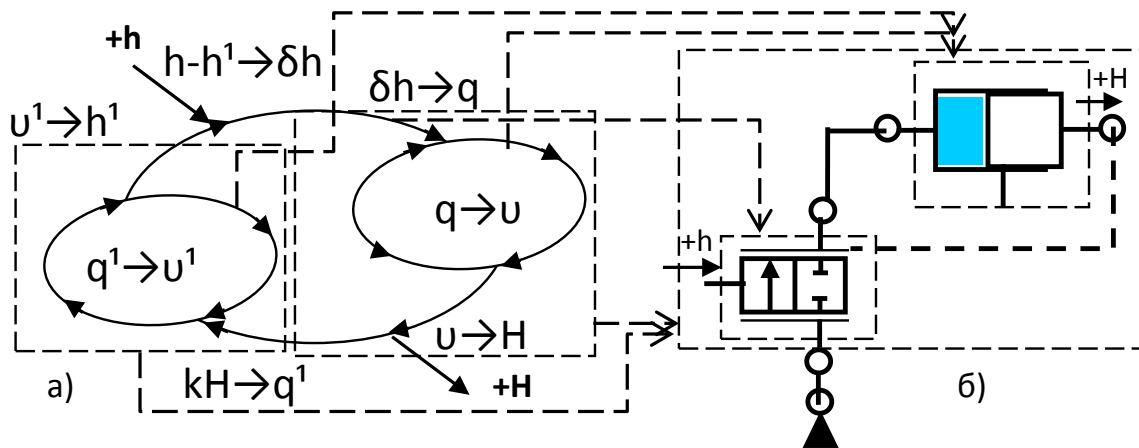


Рисунок 7 — Преобразование структуры процесса прямого действия привода одностороннего действия ($+h \rightarrow +H$) (а) в принципиальную схему этого модуля (б)

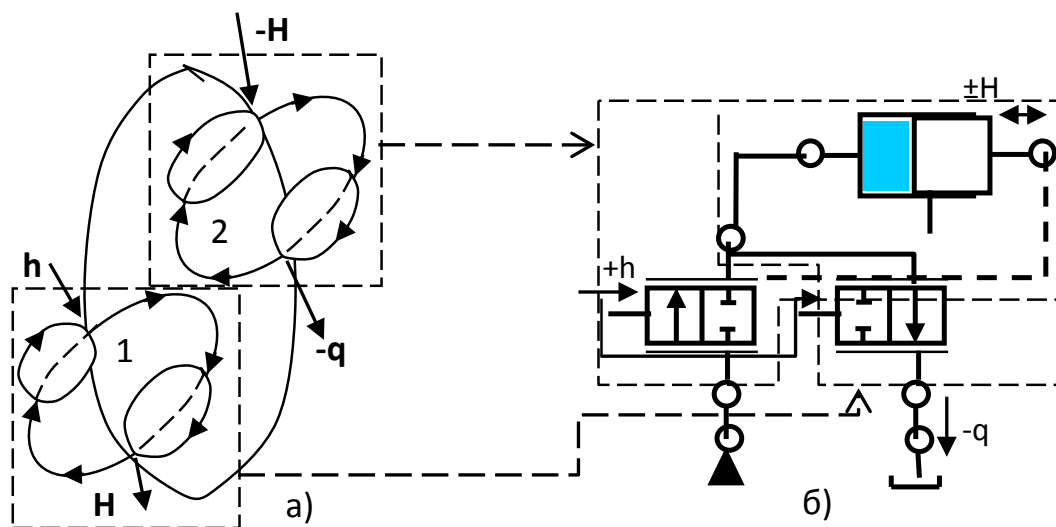


Рисунок 8 — Преобразование структуры привода одностороннего действия ($+h \rightarrow \pm H$) (а) в принципиальную схему этого модуля (б). 1 — подструктура прямого движения; 2 — подструктура восстанавливающего движения

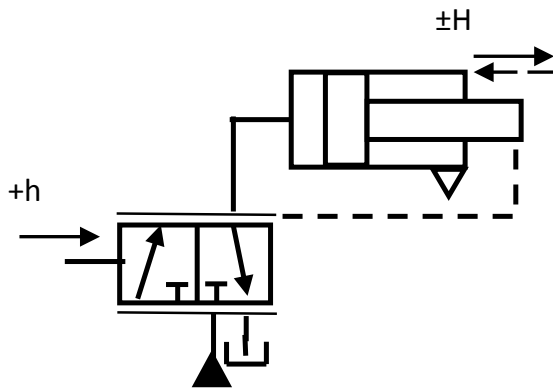


Рисунок 9 — Принципиальная схема привода одностороннего действия (+h→±H)

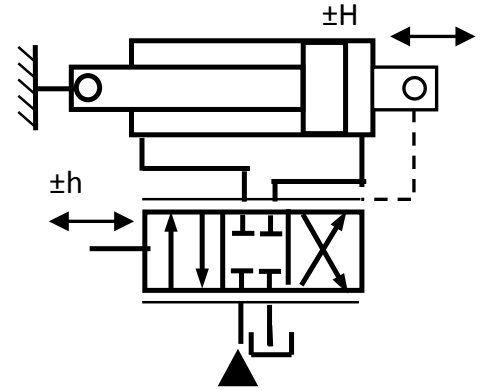


Рисунок 10 — Принципиальная схема следящего привода двустороннего действия (±h→±H)

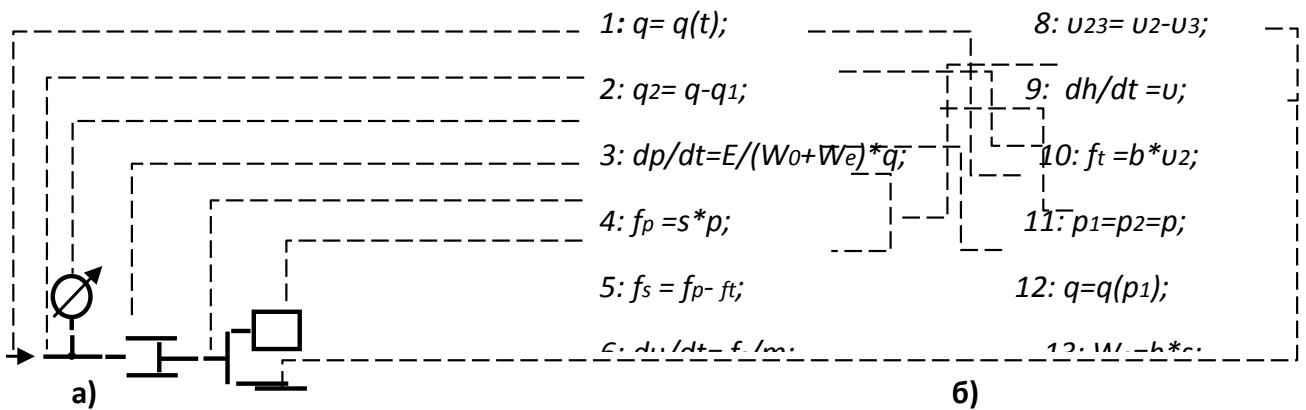


Рисунок 11 — Принципиальная схема модуля (q→v) (а) и ее преобразование в математическую модель (б)

схему (рисунок 6, в). Этот графический символ использован в принципиальных схемах модулей более высоких уровней.

В качестве примера показаны также схемы перехода от структуры процесса к принципиальным схемам для модулей второго и третьего уровней (рисунок 7, 8). Для модуля третьего уровня также применяют графическое обозначение, которое агрегирует его детальную схему (рисунок 9). Таким же способом выполнена принципиальная схема привода двустороннего действия, которая включает два оппозитно расположенных привода одностороннего действия и средства управления их взаимодействием (рисунок 10). Такая технология обеспечивает преобразование структуры процесса функционирования в принципиальную схему. Схема, полученная таким образом, позволяет реализовать процесс функционирования в полном соответствии со структурой. Фактом, свидетельствующим о готовности этого слоя, является принципиальная схема привода двустороннего действия.

В пятом цикле получают математическую модель и модельные характеристики модуля привода одностороннего действия и привода двустороннего действия. Для построения математической модели каждое действие (прямое и инверсное) всех выбранных

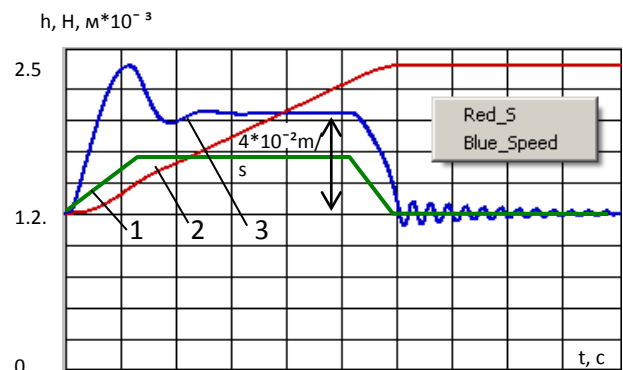


Рисунок 12 — Графики рабочих процессов в приводе двустороннего действия без обратной связи (1 — перемещение золотника, 2 — перемещение штока, 3 — скорость движения штока)

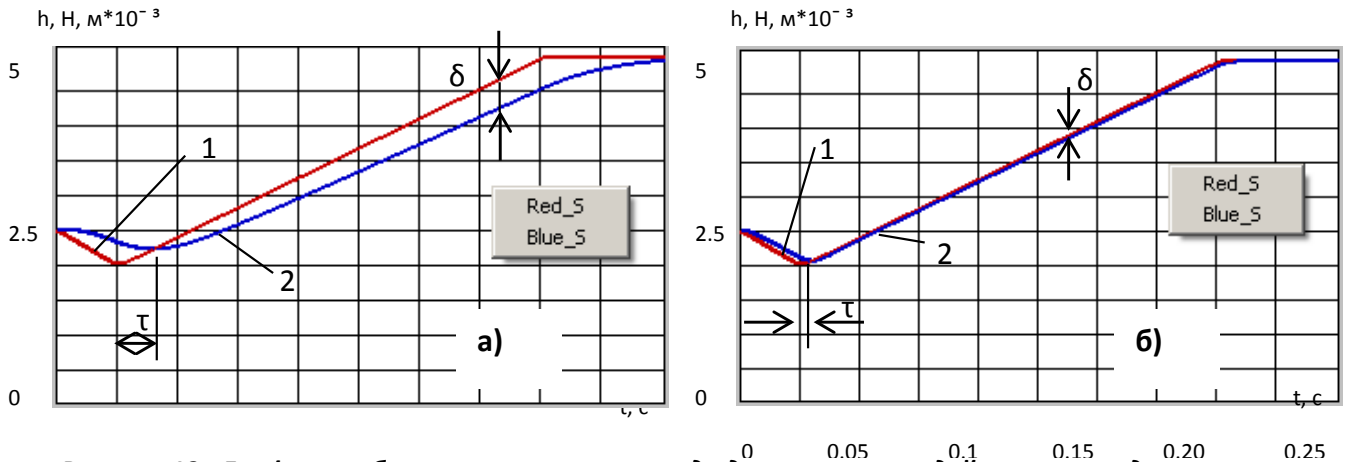


Рисунок 13 — Графики рабочих процессов в приводе двустороннего действия в следящем режиме перед (а) и после (б) настройки параметров (1 — входное перемещение золотника, 2 — выходное перемещение, δ — ошибка слежения, τ — запаздывание по перемещению)

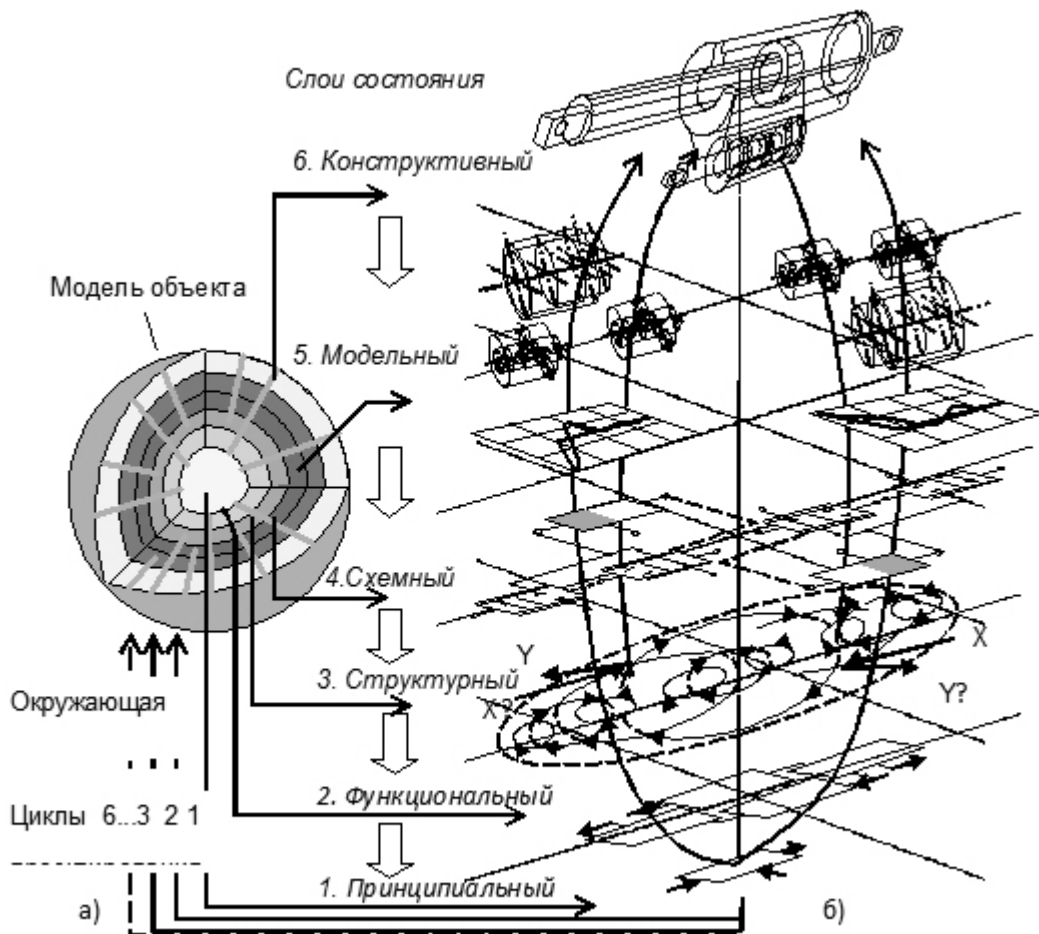


Рисунок 14 — Развитие следящего привода в процессе проектирования (а — концептуальная модель объекта, б — формирование слоев следящего привода)

формальных средств принципиальной схемы заменяют его математическим описанием. Модель представляет собой цепь математических описаний, порядок следования которых задается процессом функционирования модуля. Для иллюстрации показана схема получения математической модели для модуля ($q \rightarrow v$) (рисунок 11). Примененная технология также сохраняет структуру процесса функционирования вследствие взаимнооднозначной трансформации принципиальной схемы в математическую модель. Это обеспечивает структурную адекватность математической модели рабочим процессам в приводе.

Полученные математические модели использованы для моделирования процессов в отдельных модулях и в приводе в целом. В качестве примера представлены графики рабочих процессов в приводе двустороннего действия без обратной связи (рисунок 12) и в приводе, охваченном обратной связью (рисунок 13). Моделирование рабочих процессов в следящем приводе двустороннего действия позволило выбрать параметры, обеспечивающие его работоспособность и требуемые характеристики в режиме слежения (рисунок 13). При этом получены следующие основные параметры привода: длина дроссельной щели $2 \cdot 10^{-3}$ м, диаметр поршня $45 \cdot 10^{-3}$ м, диаметр штока $30 \cdot 10^{-3}$ м.

В шестом цикле формируют конструкцию привода. Для этого каждому графическому символу физических элементов принципиальной схемы ставится в соответствие его конструктивное исполнение. Геометрические параметры конструктивных элементов устанавливают такими, какие были получены в результате моделирования рабочих процессов при обеспечении требуемых характеристик. Далее конструктивные элементы с заданными размерами объединяют между собой каналами связей в соответствии с принципиальной схемой привода, ориентируют в пространстве, исходя из требований их корректной работы. Затем все конструктивные элементы фиксируют в общей конструкции с помощью корпуса.

Реализация всех перечисленных циклов проектирования приводит к формированию гидравлического следящего привода с заданным набором свойств и характеристик (рисунок 14).

Заключение

Циклично-модульный подход позволяет частично формализовать процесс проектирования. Применяемая в нем концептуальная модель представляет процесс проектирования как формирование свойств объекта, а изменение состояний объекта рассматривается как его развитие. Технология переходов от слоя к слою сохраняет полученную структуру процесса функционирования во всех последующих слоях объекта.

Сокращение сроков построения математической модели и проектирования объекта достигается вследствие: использования закономерностей, связывающих процесс функционирования со строением объекта; обеспечения структурной и логической адекватности математической модели на этапе ее построения; использования преемственности между слоями объекта и их модульного строения.

Литература

1. Буч, Г. Объектноориентированное проектирование с примерами применения / Г. Буч. — М.: Конкорд, 1992. — 519 с.
2. The engineering design process/Atila Ertas, Jesse C. Jones, John Wiley& Sons, Inc. 1993. 515 p.
3. Integrated systems and design, Editors: Reiner Dudziak, Carsten Kohn, Raivo Sell, TUT Press, Tallinn. — 2008. — 208 p.
4. Stania, M., Stetter, R. Mechatronics engineering on the example of a multipurpose mobile robot, Solid State Phenomena, Mechatronic Systems and Materials III Trans Tech Publication, Volumes 147149 (2009), p. 6166.
5. VDI 2206: Design methodology for mechatronical systems, Beuth, Berlin, 2004.
6. Узунув, О.В. Концептуальная модель мехатронной системы, отображающая закономерности взаимосвязи ее строения и функционирования / О.В. Узунув. — Промислова гідравліка і пневматика. — 2014. — №2 (44). — С.62—70.

References

1. Buch, G. Obiektnoorientovanoje proektirovanie s prime-rami primenenia / G. Buch. — М.: Konkord.—1992. — 519 s.
2. The engineering design process/Atila Ertas, Jesse C. Jones, John Wiley& Sons, Inc. 1993. 515p.
3. Integrated systems and design, Editors: Reiner Dudziak, Carsten Kohn, Raivo Sell, TUT Press, Tallinn,2008, 208 p.
4. Stania, M., Stetter, R.: Mechatronics engineering on the example of a multipurpose mobile robot, Solid State Phenomena, Mechatronic Systems and Materials III Trans Tech Publication, Volumes 147149 (2009), p. 6166.
5. VDI 2206: Design methodology for mechatronical systems, Beuth, Berlin,2004.
6. Uzunov, A. V. The conceptual model of the mechatronics system that reflects the rules of interconnections of building and functioning / A.V. Uzunov. — Promislova gidravlica i pnevmatika. — 2014. — №2(44). — P. 62—70.

Надійшла 16.11.2014 року

Застосування циклічномодульного підходу на прикладі проектування гідравлічного слідкуючого привода

Application of the cyclic-modular approach on example of designing of hydraulic servo driver

А.В. Узунов

A.V. Uzunov

Розглянуто приклад застосування циклічномодульного підходу для проектування гідравлічного слідкуючого привода. У якості основи об'єкту, що проектується, застосовано концептуальну модель у вигляді багатощарової сфери. Кожен шар відповідає стану об'єкту: вибраному принципу дії слідкуючого привода, його функціональній схемі, принциповій схемі, математичній моделі та модельним характеристикам, конструкції привода. Особливостями підходу є наслідування між етапами, яке забезпечується використанням структури процесу функціонування у якості каркасу для формування наступних шарів та модульна будова шарів. Застосування підходу дозволяє скоротити терміни проектування.

Ключові слов: підхід до проектування, гідравлічний слідкуючий привод, структура процесу функціонування, принципова схема, математична модель, конструкція.

The example of the application of the cyclic modular approach for mechatronic object design is considered. The engineering design process of the servo drive is detailed. The conceptual model of the object in form of multilayer's sphere is used. Each layer accords to the object state. These states are following: the basis principle that is choose, the functional diagram, the schematic diagram, the mathematical model and model characteristics, the drive construction. All of layers have hierarchical building. The use of the algorithm provides the layer forming of the object from the basis principle to the construction. It permits to design the adequate object in all forms of its representations: structure, schematic diagram, mathematical model and construction. Each of these forms has invariant part: the structure of the process of the functioning of the object. The use of approach reduces the term of the object design.

Keywords. Design approach, hydraulic servo drive, the structure of functioning process, schematic diagram, mathematical model, construction.