

УДК 62-525

Узунов А.В., д.т.н., доц.

НТУУ «Киевский политехнический институт» г. Киев, Украина

## БИБЛИОТЕКА МОДЕЛЕЙ ТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И МОДУЛЕЙ УСТРОЙСТВ ГИДРОСИСТЕМ

Uzunov A.

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

### THE LIBRARY OF THE MODELS OF THE TYPICAL ELEMENTS AND MODULES OF THE HYDRAULIC SYSTEM DEVICES

***Аннотация.** Рассмотрен подход к формированию библиотеки моделей для моделирования рабочих процессов в устройствах гидравлических систем. Набор типовых элементов получен путем анализа принципиальных схем разнообразных гидравлических устройств. Модели типовых элементов объединяются в модели модулей. В качестве основы для построения модулей применена структура процесса получения функций. При этом модели гидравлических устройств, обеспечивающих выполнение нескольких функций, строятся путем объединения модулей. Учет иерархических отношений между модулями позволил уменьшить их общее количество. Полученный набор элементов и модулей представлен в форме библиотеки типовых моделей. Применение библиотеки позволяет сократить сроки построения моделей гидравлических устройств за счет использования моделей типовых элементов и модулей, многократного использования однотипных компонентов, использования модулей с набором свойств, максимально соответствующих моделируемому устройству.*

***Ключевые слова.** Устройства гидросистем, математическая модель, типовые элементы, библиотека моделей и модулей.*

**Мотивация.** Проектирование устройств гидросистем связано с разработкой математических моделей и моделированием. Сложность и неочевидность процессов в таких объектах обуславливает значительные затраты времени на построение моделей и их отладку. Одним из путей повышения эффективности проектирования является сокращение временных затрат на разработку моделей. При этом для получения корректных моделей и удобства их использования важным является легкость восприятия взаимосвязи моделируемых процессов с физическими средствами объекта. В настоящее время для моделирования устройств гидросистем применяют методы на основе электрических аналогий и направленных графов [1, 2]. Это существенно усложняет понимание взаимосвязи между процессом функционирования и средствами устройства, которые его обеспечивают. Для сокращения временных затрат при построении моделей применяют также типовые элементы, модули и блоки моделей [1, 2]. В тоже время большое разнообразие технических решений и особенности применяемого элементного базиса приводят к увеличению количества элементов и блоков, а также к сложности решения задач из-за отсутствия системного представления объектов рассматриваемой предметной области. Повысить эффективность решения практических задач позволяет модульная организация моделей, что подтверждает существующий опыт разработки компьютерных программ. Структурное программирование и, особенно, объектно-ориентированный подход обнаружили ряд свойств объектов, учет которых при построении модулей позволяет существенно повысить эффективность проектирования [3-8]. Применение циклично-модульного подхода для разработки математических моделей позволяет приблизить строение моделей к процессу функционирования и сделать более ясной связь между средствами устройства и рабочими процессами, что сокращает затраты времени на отладку моделей [9]. В тоже время, учитывая значительное разнообразие решаемых задач при построении моделей гидравлических устройств и систем, необходимо более глубокое понимание их особенностей, а также логики формирования модулей. Эти вопросы частично нашли отражение в литературе [10, 11], однако для системного представления моделей разнообразных объектов рассматриваемой предметной области необходимы дополнительные исследования.

**Целью работы** является сокращение временных затрат на построение математических моделей гидравлических устройств и систем за счет их представления с помощью типовых моделей и модулей. Для этого решались задачи: определение типов элементов для формирования библиотеки моделей, выбор принципа строения библиотеки, а также формирование перечня и построение моделей, позволяющих решать заданный круг задач моделирования.

**Результаты.** В качестве предполагаемого результата рассматривался набор типовых моделей элементов и модулей, представленный в форме библиотеки, которая предназначена для построения моделей гидравлических устройств и систем.

Для этого были определены типы библиотечных элементов и модулей, принципы строения библиотеки и для выявленного перечня элементов и модулей построены их модели.

**Определение типов элементов для библиотеки.** В основу анализа для определения типов библиотечных элементов положен факт, что каждый технический объект, созданный человеком, выполняет полезные функции. На общем уровне этими функциями являются преобразования состояния входящих в объект информации и энергии в новое состояние, задаваемое назначением объекта. Например, предохранительный клапан гидравлической системы, преобразует увеличенное (изменение величины передает информацию о состоянии защищаемой системы), давление (характеризует входящую в клапан энергию) на его входе в более низкое (изменение информации), давление (характеризует энергию в системе после срабатывания клапана) путем сброса части жидкости в бак. Учитывалось также предположение, что объект выполняет преобразование пошагово, путем совершения отдельных действий, а сами действия выполняются соответствующими средствами – конкретными элементами объекта. Еще одно предположение, которое было положено в основу анализа, состояло в согласии с тем, что существует ограниченный набор типовых элементов, достаточный для построения объектов рассматриваемой предметной области. Определение набора типовых элементов и модулей было проведено путем анализа работы устройств и систем по их принципиальным схемам [12]. В ходе анализа работы конкретных схем устанавливались факты преобразования информационно-энергетического потока и средства объекта, которые приводят к этим преобразованиям. Эти средства представлялись в виде графических символов, изображение которых показывают принцип выполнения преобразования. В ходе анализа схем других устройств, в случае недостатка типов элементов, их перечень дополнялся. К примеру, анализ работы клапана давления с точки зрения изменений, проходящего через клапан информационно-энергетического потока, выявил определенный набор элементов. Полученный набор проверялся на «типичность» путем построения на его основе схем других устройств, например, из элементов клапана давления, была собрана схема регулятора потока. Анализ полученного набора типовых элементов показал, что элементы могут обладать как преобразующими, так и системообразующими свойствами. Преобразующие элементы обеспечивают преобразование информационно-энергетического потока, а системообразующие элементы формируют траекторию этого потока. Использование полученного набора типовых элементов для построения схем устройств гидросистем подтвердило их применимость и достаточность для рассмотренных функциональных устройств. Установлено также, что функции того или иного устройства обеспечиваются конкретным комплектом типовых элементов, которые взаимодействуют в ходе функционирования. В свою очередь, взаимодействие элементов обеспечивается за счет их объединения в устройстве на некоторой основе, которая потребовала дальнейшей детализации.

**Основа для представления устройств и систем с помощью типовых элементов и модулей.**

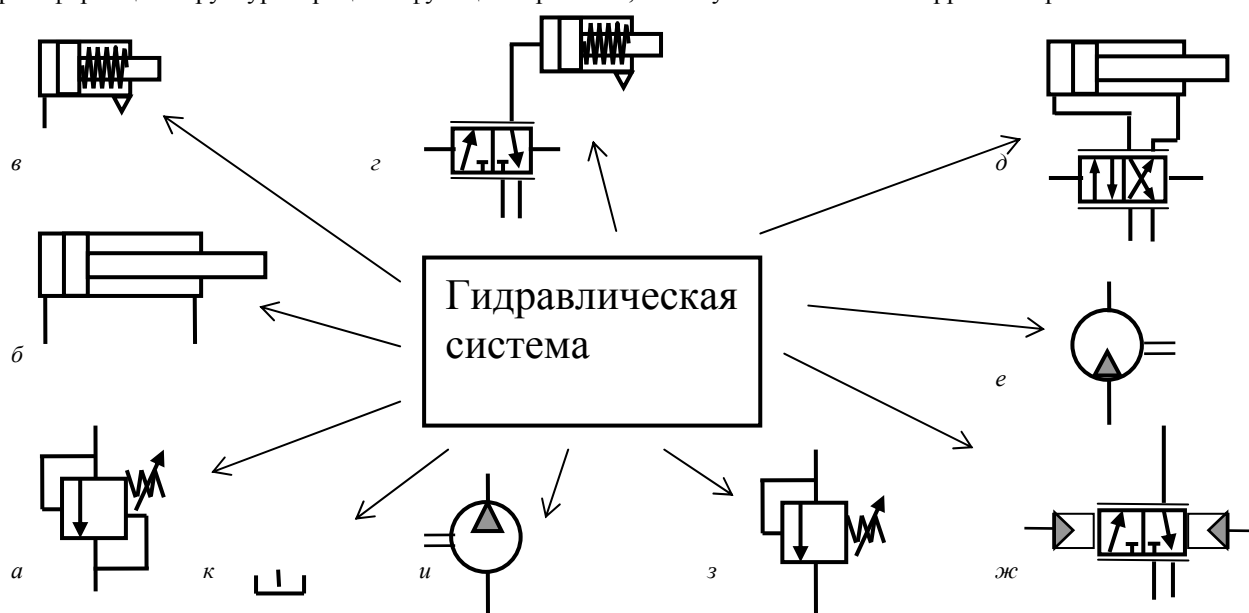
Конкретные схемы гидросистем включают устройства разного функционального назначения и различной сложности. Общепринятые условные обозначения указанных устройств отображают принципы выполнения одной или нескольких функций. Схемы устройств также могут быть получены посредством применения типовых элементов путем их объединения на основе процесса функционирования. Такие схемы детализируют средства выполнения действий и очередность их выполнения в ходе функционирования устройства. Для минимизации представления схем сложных устройств и сокращения сроков построения моделей необходимо использовать типовые модули, однако для формирования модулей потребовалось выявление особенностей функционирования устройств и систем. Исследование выполнялось по структуре процесса функционирования. Под структурой процесса понимается его графическое представление, отображающее содержание и очередность выполнения отдельных действий процесса. По структуре процесса прослеживается связь между функциями объекта и набором присущих ему свойств. При этом каждое свойство объекта рассматривается как результат выполнения соответствующей функции. Структуры процесса получения конкретных функций удобно использовать в качестве основы для построения модулей. Если структура содержит несколько взаимодействующих процессов, то при построении модулей необходимо учитывать их иерархические отношения. Учитывая многократный характер работы устройств и систем, процесс получения каждой функции имеет замкнутую структуру, а в случае выполнения устройством либо системой нескольких функций их структура представляет объединение нескольких замкнутых структур.

**Принцип построения библиотеки моделей.**

**Структурная организация моделей.** Объект, как правило, выполняет одну или несколько функций. Структурное представление каждой функции объекта минимально должно соответствовать следующим признакам: структура является замкнутой, содержит две пары взаимно обратных действий, порядок выполнения и содержание действий приводит к выполнению функции. Указанные признаки структуры обеспечивают достижимость результата и повторяемость процесса. Структуры сложных объектов отображают процессы, реализуемые при выполнении набора функций. Эти структуры описывают порядок выполнения объектом нескольких функций с учетом очередности, которая задается ведущим процессом. Соответственно структура ведущего процесса включает процессы выполнения отдельных функций и имеет более высокий уровень в иерархии. Объединение нескольких отдельных структур одной ведущей структурой выполняется в соответствии с условиями активизации и стабилизации (останова) каждого подпроцесса и порядка их

выполнения. Процесс, представленный одной циклической структурой, соответствует первому уровню иерархии. Процесс, представленный циклической структурой и управляющий процессами первого уровня, соответствует второму уровню иерархии и т.д.

Принципиальные схемы и математические описания моделей модулей. Структура процессов в объекте либо структура процессов в модулях используется в качестве основы для построения соответствующих им принципиальных схем и математических описаний. Переход от структуры к принципиальной схеме выполняется следующим образом. Для каждой пары взаимообратных действий в структуре процесса формирования функции выбирают соответствующий типовой элемент, отображающий принцип выполнения действий. Объединение выбранных типовых элементов в принципиальную схему выполняют в соответствии с порядком активизации действий в структуре процесса функционирования. Переход к математическому описанию выполняется в два шага. На первом шаге каждому действию, производимому типовым элементом, ставится в соответствие его математическое описание. На втором шаге выполняют объединение математических описаний всех действий, используемых типовых элементов, в соответствии с порядком их активизации в структуре процесса функционирования. Математическое описание, записанное в компьютерной среде, представляет собой математическую модель, а процесс активизации математических описаний отдельных действий в соответствии с логикой функционирования представляет процесс моделирования. Таким образом, принципиальные схемы и математические описания для моделей модулей библиотеки строят путем трансформации структуры процесса функционирования, что служит залогом их корректной работы.



**Рис. 1. Примеры схем типовых устройств, которые применяют в составе гидравлических систем (а – редукционный клапан, б – гидроцилиндр двустороннего действия, в – гидроцилиндр одностороннего действия, г – привод одностороннего действия, д – привод двустороннего действия, е – гидравлический мотор, ж – следящий распределитель с гидравлическим управлением, з – предохранительный клапан, и – гидравлический насос, к – гидравлический бак)**

#### **Перечень моделей.**

Для определения перечня моделей был обозначен круг решаемых задач - моделирование объектов гидросистем. Обобщенная гидросистема содержит набор типовых устройств: насос, гидромотор, гидроцилиндр, распределитель с гидравлическим управлением, клапан давления, регулятор потока, привод одностороннего действия, привод двухстороннего действия и др. (рис.1). Использование набора перечисленных устройств позволяет строить гидросистемы различного назначения для решения широкого круга задач.

Проведенный анализ процессов функционирования и принципиальных схем перечисленных устройств показал, что они представимы с помощью схем, составленных из обозначений типовых элементов библиотечного набора (рис.2). Гидромеханический преобразователь представляет собой модуль первого уровня. Этот модуль образован объединением нескольких типовых элементов на основе одной замкнутой структуры процесса функционирования [10, 11]. Гидромеханический преобразователь может выполнять две функции – преобразование подачи жидкости в скорость поршня ( $Q \rightarrow V$ ) и преобразование скорости поршня в подачу жидкости ( $V \rightarrow q$ ) (рис.2, а). Выбор выполняемой функции зависит от условий работы модуля. Такой модуль входит в состав всех рассмотренных типов устройств. Оппозитное соединение двух гидромеханических преобразователей позволяет обеспечить рабочее движение в двух направлениях, которое присуще гидроцилиндру двухстороннего действия (рис.2б). Комбинация двух оппозитно соединенных модулей

гидромеханического преобразователя и распределителя с механическим управлением позволяет реализовать распределитель с гидравлическим управлением (рис.2в). Соединение 3-х канального распределителя и гидромеханического преобразователя представляет модуль 2-го уровня. Этот модуль реализует прямое рабочее движение и может быть переведен в исходное состояние внешними условиями. В случае применения дополнительной возвратной пружины обеспечиваются функции привода одностороннего действия (рис.2 г).

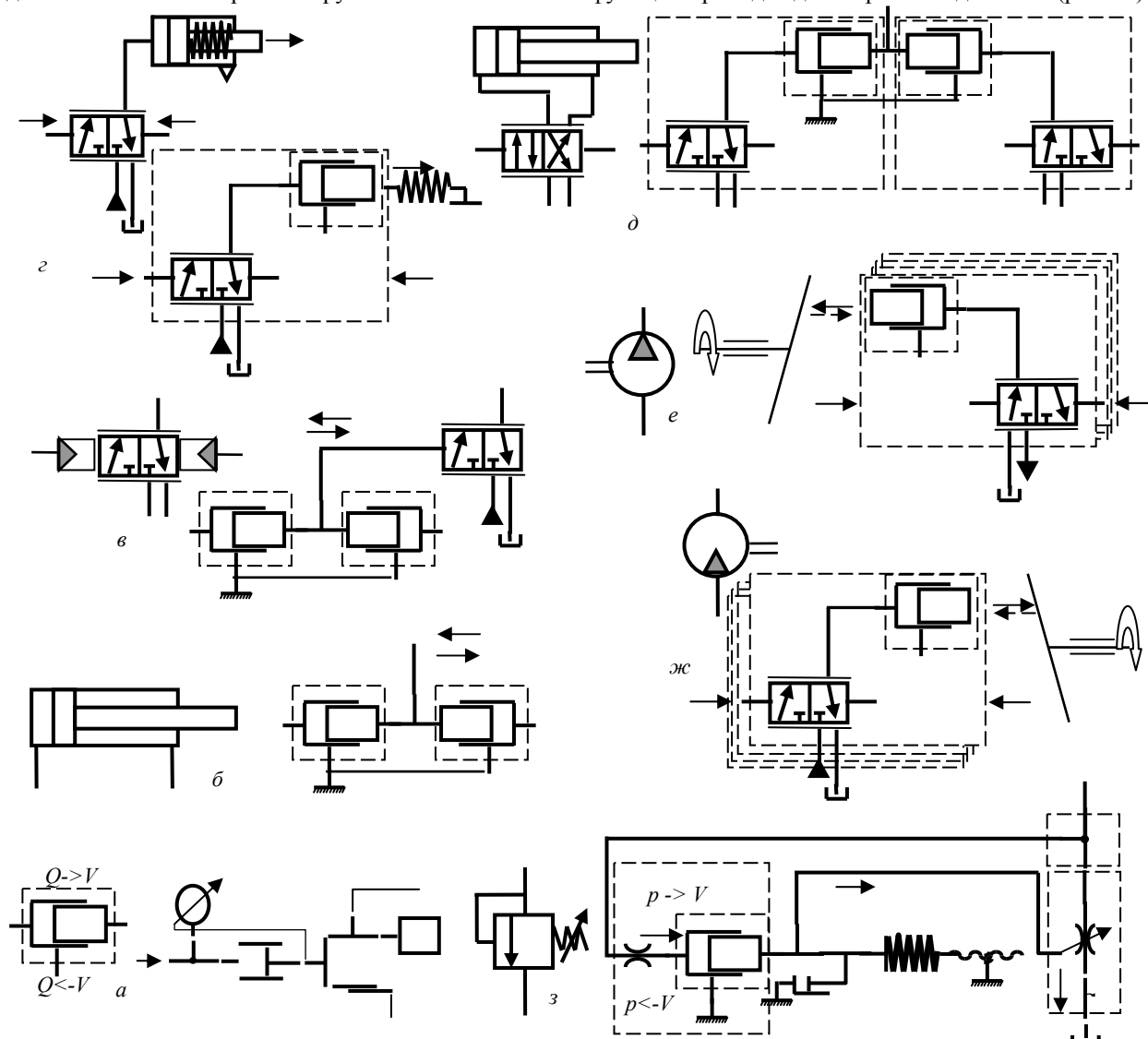


Рис. 2. Примеры представления схем устройств гидросистем, с помощью набора типовых элементов и модулей разного уровня (а – гидромеханический преобразователь, б – гидравлический цилиндр, в – распределитель с гидравлическим управлением, г – привод одностороннего действия, д – привод двустороннего действия, е – насос, ж – гидромотор, з - предохранительный клапан)

При оппозитном соединении двух модулей 2-го уровня, реализуются функции привода двухстороннего действия (рис.2 д). На основе применения модулей 2-го уровня такого типа выполнены гидравлические насосы и гидравлические моторы (рис 2 е, ж). Особенностью этих машин является использование нескольких однотипных модулей. При этом взаимодействие модулей координируется самими устройствами – наклонным диском или блоком, который передает силовое воздействие на поршень от внешнего привода в случае насоса (или от поршня к нагрузке в случае гидромотора) и управляющее воздействие - на распределитель. Функции предохранительного клапана реализованы на основе применения модуля гидромеханического преобразователя и ряда элементов, взаимодействие которых позволяет отследить изменение давления на входе в клапан, обеспечить сброс жидкости в бак через управляемый дроссель и перевести клапан в исходное состояние посредством обратной связи по давлению (рис.2 з).

Реализация свойств каждым из рассмотренных устройств обеспечивается конкретным комплектом типовых элементов, объединенных соответствующей структурой процесса функционирования. Отношения иерархии между различными типами устройств и их частями установлены на основе анализа структур





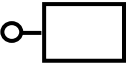
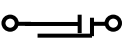
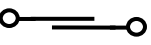
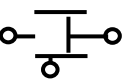

процессов функционирования. Учитывалось, что каждая замкнутая структура, соответствует процессу выполнения одной конкретной функции. Такой процесс рассматривался как структурная единица многократного использования.

Математические модели получены следующим образом. Вначале выполнен переход от обозначений типовых элементов к их математическим описаниям (табл.). При этом каждый типовой элемент заменялся парой математических зависимостей, описывающих прямое и обратное действия. Далее, путем записи описаний отдельных действий в соответствии с порядком их следования в процессе функционирования, получены общие математические описания модулей. Это обеспечило сохранение структуры процесса функционирования в математическом описании.

Представление схем устройств с помощью набора типовых элементов и модулей, а также учет иерархического строения модулей позволили построить библиотеку готовых моделей. Библиотека имеет иерархическую организацию и включает набор моделей типовых элементов и модулей (рис.3). В основу модулей положен циклический процесс получения свойства. Модули разделены по уровням. Модули нижних уровней входят в состав модулей верхних уровней. Модели элементов и модулей библиотеки представлены в двух формах: графической и математической. Первая форма указывает принцип работы модуля, а вторая описывает рабочий процесс.

Предложенный принцип организации положен в основу разработанного программного средства моделирования. В ходе решения практических задач построение моделей устройств и систем выполняется посредством сборки схем из набора обозначений моделей типовых элементов и модулей. При этом программа «за кадром» собирает модель устройства или системы. Это позволяет оперативно создавать модели разнообразных устройств гидросистем из ограниченного числа моделей элементов и модулей и моделировать рабочие процессы (рис.4).

Таблица

Средства представления объекта				
№	С преобразующими свойствами		Со структурообразующими свойствами	
	Обозначение	Описание	Обозначение	Описание
1.		$q = \mu f \sqrt{2\rho(p1-p)}$ ; $q1 = q$ ;		$q = \mu * h * b \sqrt{2\rho(p1-p)}$ ; $q1 = q$ ;
2.		$F = c * (x1 - x2)$ $F1 = F$ ;		$q = q1 + q2$ $p = p1 = p2$
3.		$dv/dt = F/m$ ; $dh/dt = v$ ;		$y = x$ , при $x > a$ ; $y = 0$ , при $x \leq a$ ;
4.		$Ft = b * (v1 - v2)$ $F1t = Ft$ ;		$F = p * S$ ; $q = v * S$ ;
5.		$dp/dt = E/V * q$ ; $q = f(p)$ ;	.....	.....

### Выводы

1. Используя понятие информационно-энергетического потока, оказалось возможным разделить устройства гидросистем на типовые элементы, отвечающие за выполнение действий в процессе их функционирования.

2. Представление процесса функционирования устройств в виде замкнутой структуры и сопоставление одной замкнутой структуры процесса с одной функцией позволило разделить процесс функционирования на части, получить основу для формирования модулей и установить иерархические отношения между ними.

3. Использование структуры процесса функционирования в качестве основы для построения математических моделей позволило сократить затраты времени на отладку моделей и построить элементно-модульную библиотеку для моделирования устройств гидросистем. Применение библиотеки обеспечивает сокращение сроков построения моделей за счет оперативной сборки из моделей типовых элементов и модулей и за счет их многократного использования.

4. Разнообразие рассмотренного базового набора схем устройств и систем создает предпосылки использования разработанных моделей для широкого круга задач моделирования.

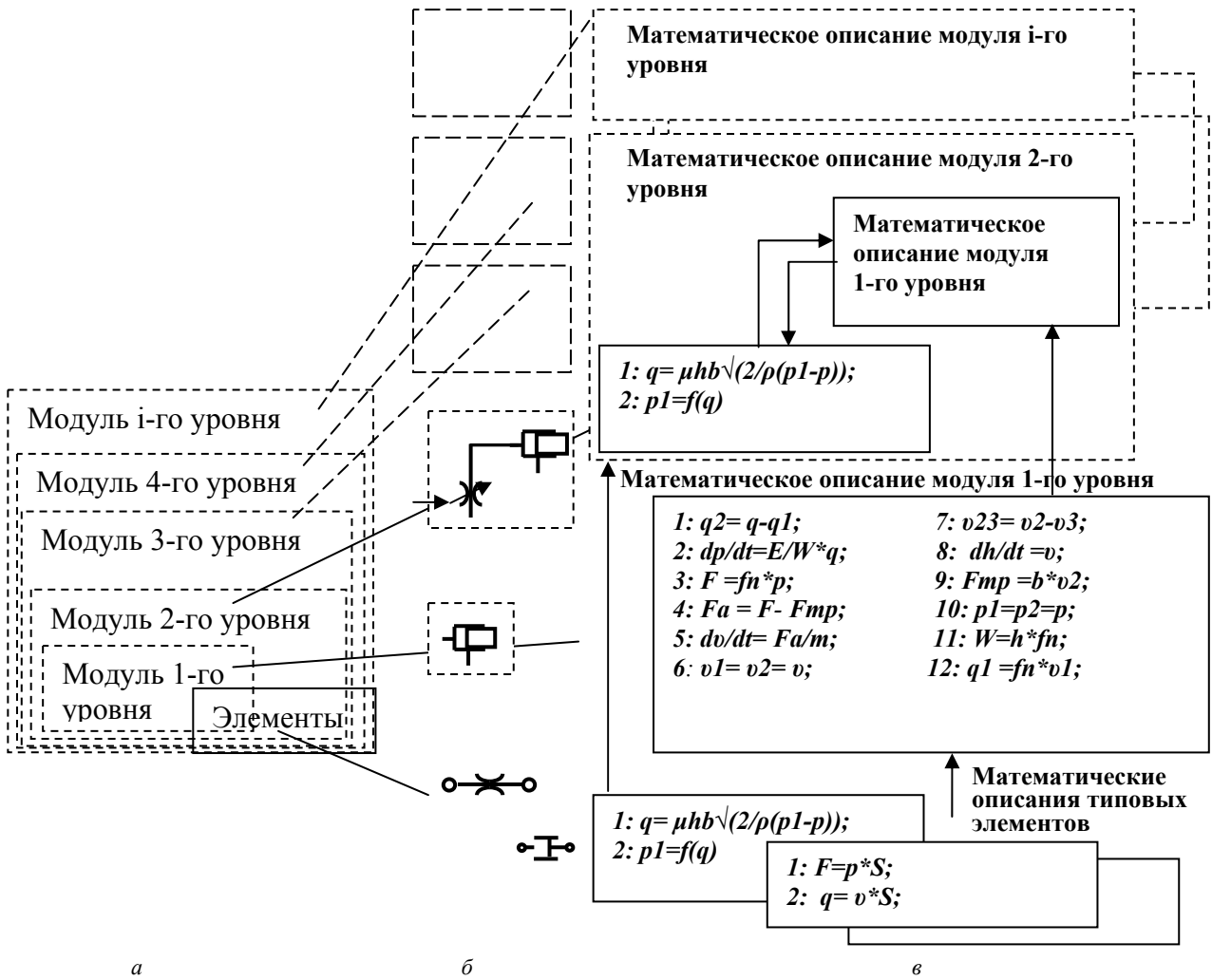


Рис. 3. Схема иерархического строения библиотеки (а), примеры графических изображений элементов и модулей (б) и их математических описаний (в)

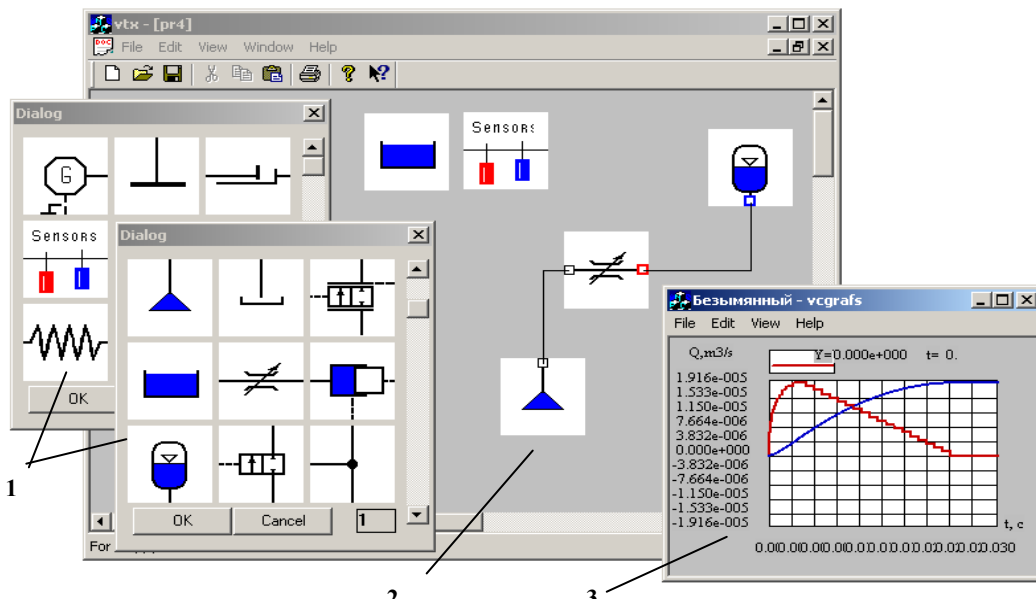


Рис. 4. Вид окон программы для моделирования устройств и модулей гидросистем (1 – фрагменты набора типовых элементов и модулей, 2 – пример модели гидравлического модуля, 3 – пример результата моделирования)

**Анотація.** Розглянуто підхід до формування бібліотеки моделей для моделювання робочих процесів в пристроях гідравлічних систем. Набір типових елементів отримано шляхом аналізу принципів схем гідравлічних пристроїв різного призначення. Моделі типових елементів об'єднуються у моделі модулів. У якості основи для побудови модулів використано структуру процесу отримання функції. Моделі гідравлічних пристроїв, які забезпечують виконання декількох функцій будують шляхом об'єднання модулів. Врахування ієрархічних відносин між модулями дозволило скоротити їх загальну кількість. Розроблений набір елементів та модулів представлено у формі бібліотеки типових моделей. Застосування бібліотеки дозволяє скоротити терміни побудови моделей гідравлічних пристроїв за рахунок використання моделей типових компонентів, багаторазового використання однотипних компонентів, використання модулів з набором властивостей, які максимально відповідають пристрою, що моделюється.

**Ключові слова.** Пристрої гідросистем, математична модель, типові елементи, бібліотека моделей та модулів.

**Abstract.** The approach of forming a library of models for modeling workflows in the hydraulic systems is considered. A set of standard elements is obtained by the analysis of principal schemes of various hydraulic devices. Models of typical elements are combined in the model modules. The structure of the process functions is used as a basis for the construction of modules. The models of the hydraulic devices that provide several functions are constructed by combining modules. Accounting for the hierarchical relationship between the modules reduces their total number. Developed a set of elements and modules are presented in the form of a library of standard models. The library application reduces time building of the hydraulic device models. This is a consequence of the several times using of models of typical components and the using of modules with a set of properties that best meet simulated devices.

**Keywords.** Hydraulic device, mathematical model, typical elements, library of the elements and modules.

#### Библиографический список использованной литературы

1. Автоматизация схмотехнического проектирования в машиностроении: Учебное пособие/ А.И.Петренко, В.В Ладогубец, В.В Чкалов. –К.:УМК ВО, 1988.- 180с.
2. System dynamic: a unified approach/ Dean C. Karnopp, Donald L.Margolis, Ronald C. Rosenberg. A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION John Wiley & Sons Inc. 1990.-514p.
3. Дал У., Дейкстра Э. Хоор К. Математическое обеспечение ЭВМ. Структурное программирование .-М.:Мир. Пер. с англ., 1975. – 248с.
4. Бусленко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. – М.:Наука.- 1977.-240с.
5. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем.- М.:Наука.- 1978.-399с.
6. Погребной В.К. ЭФ-технология моделирования и автоматизированного проектирования систем реального времени//УСиМ.-1988.-№4.-с.23-30.
7. Теория и методы автоматизации проектирования вычислительных систем/Под ред. М.Брайера.- М.:Мир.-1977.-284с.
8. Гради Буч. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения. –М.:Конкорд, 1992 с.519.
9. Эффективность проектирования и модульный подход. А.В. Узунов, Вісник Східноукраїнського національного університету імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ, №3(109) Частина 2, Луганск, 2007., с.177-182.
10. Иерархическое представление развития модели на примере гидромеханического преобразователя. А.В. Узунов, Вестник НТУУ «КПИ», Машиностроение, -2002.- т.2. - №42, ,2010, с.88-91.
11. The computer model building approach for the work processes in mechatronics objects. O.V.Uzunov., 8-th International Workshop on Research and Education in Mechatronics REM 2007, 14-15 June 2007, Tallinn, Estonia, TUTPRESS, p.224-228.
12. Узунов, А.В. К вопросу составления компьютерных моделей агрегатов гидропневмосистем/ А.В.Узунов// Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. - 2003. - №13(59).- С. 18-27.

#### References

1. Petrenko A.I., Ladogubec V.V., Chkalov V.V. [Automation circuit design in engineering: Tutorial] Kiev: UMK VO, 1988. 180p.
2. System dynamic: a unified approach/ Dean C. Karnopp, Donald L.Margolis, Ronald C. Rosenberg. A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION John Wiley & Sons Inc. 1990. 514p.
3. Dahl O.J., Dijkstra E.W., Hoare C.A.R. [Structured programming. Computer software]. Mskow.:Mir. 1975. 248p.
4. Buslenko V.N. [Automatization of simulation of complex systems]. M.:Nauka. 1977. 240p.
5. Buslenko V.N. [Simulation of complex systems] M.:Nauka. 1978.399p.
6. Pogrebnoj V.K. [FE-modeling technology and automated design of real time systems]. USiM.1988. No4.p.23-30.
7. Теория и методы автоматизации проектирования вычислительных систем. Под ред. М.Брайера. М.:Мир. 1977. 284с.
8. Buch G. [Object oriented design with examples of application]. M.:Concord, 1992. 519p.
9. Uzunov A.V. [The effectiveness of the design and the modular approach], Visnik Shidnoukrainskogo nacionalnogo universitetu im. Volodimira Dalia, no 3(109) Chastina 2, Lugansk, 2007, p.177-182.
10. Uzunov A.V. [Hierarchical representation of the model on the example of hydro-mechanical transducer], Vestnik NTUU «KPI», Mashinostroenie, 2002. т.2. No 42, 2010, p.88-91.
11. Uzunov O.V. The computer model building approach for the work processes in mechatronics objects., 8-th International Workshop on Research and Education in Mechatronics REM 2007, 14-15 June 2007, Tallinn, Estonia, TUTPRESS, p.224-228.
12. Uzunov A.V. [On the question of making computer models hydropneumatic units], Visnik Sums'kogo dergavnogo universitetu. Seria Tehnichni nauki. 2003.13(59). P.18-27.

Подана до редакції 04.11.2014