

## Системно-процессное моделирование технических систем в cals-технологиях

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,  
ГП Институт машин и систем*

Показан генезис понятия системы от точечного к объёмному многомерному. Установлено, что презентативное представление системы, необходимое для решения задач компьютерно-интегрированных производств, должно включать четыре группы атрибутов, отображающих положение рассматриваемого объекта в иерархии техносферы, собственную иерархию объекта, включающую надсистемный, системный и подсистемный уровни, а также состав функций и состояние указанных объектов в прошлом, настоящем и будущем времени.

**Ключевые слова:** компьютерные технологии, атрибуты, средства транспорта, иерархический уровень, моделирование систем, технические средства

**Постановка проблемы.** Методология системного подхода в настоящее время стала доминирующей. Она всё более полно проникает в вопросы исследования различных технических объектов, увеличивается глубина разработки её теоретических аспектов. Стержнем этой методологии является эволюционирующее понятие системы. Дальнейшее развитие этого понятия требуют условия применения CALS-технологий для компьютерно-интегрированного производства.

**Анализ исследований и публикаций.** В опубликованной литературе имеется множество разнообразных определений данного понятия. В наиболее общем и обоснованном виде общее понятие системы рассмотрено в фундаментальных работах по системологии [1, 2] и общеметодологических работах Московского методологического кружка [3]. Однако, до настоящего времени, на наш взгляд, не выработано единого, более узкого, понятия системы для множества технических объектов, занимающих разнообразное положение в иерархии объектов техносферы и составляющих основу современных инноваций.

В соответствии с исторически первым понятием системы, схема определения которого приведена на рис.1, сложный технический объект представляется как система, если [3]:

- 1) он выделяется из окружения за счёт обрыва его связей, либо их сохранения свойств – функций;
- 2) объект разделён на части, с получением таким образом совокупности частей;
- 3) части связаны между собой и, тем самым, превращены в элементы технической системы;
- 4) организованы связи в единую структуру;
- 5) структура вложена в рамку технического объекта как целого.

Понятие системы этого вида формулируется обычно так: система – это совокупность элементов и связей между ними, формализуемая математическим понятием графа [4].

Такое представление системы является важным с позиции изучения её устройства. Однако, этот способ системно-структурного представления технических объектов не охватывает процессуальности и других существенных для техники атрибутов.

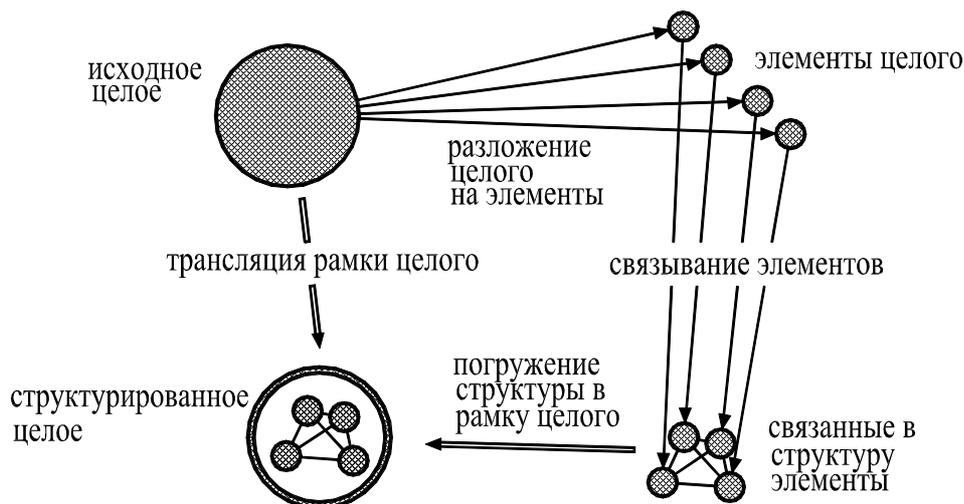


Рис. 1. Схема определения первого понятия системы

Вследствие указанного для технических объектов часто применяют второе понятие системы, схема определения которого приведена на рис. 2.

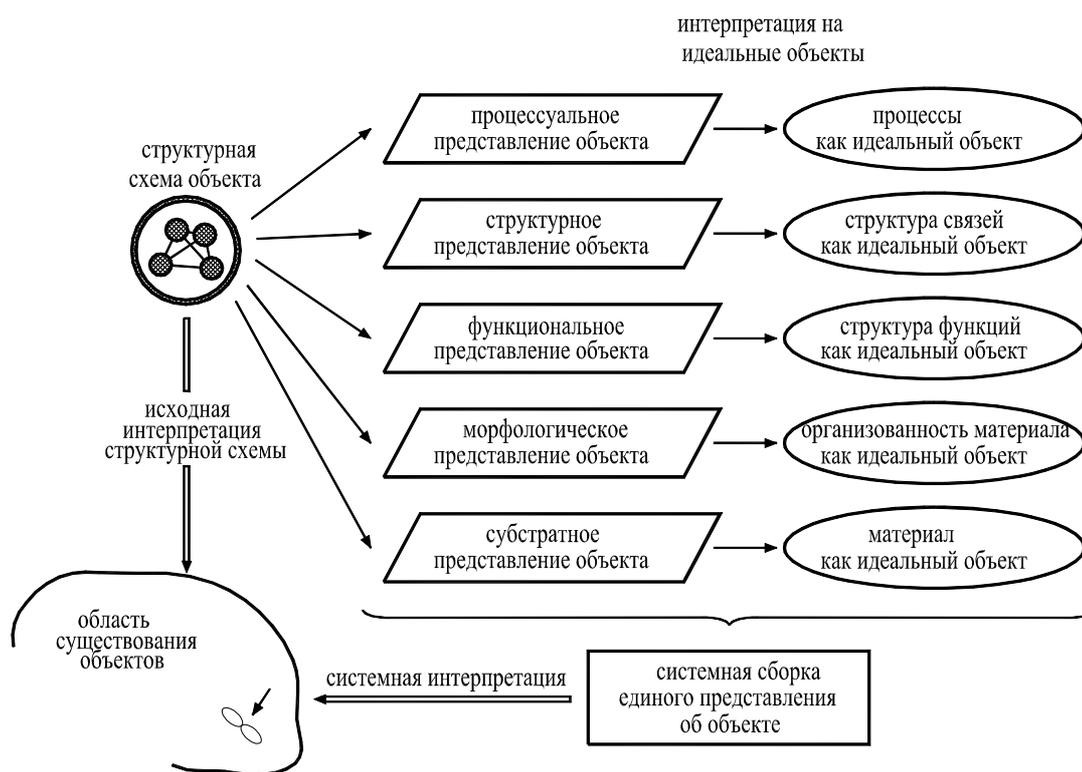


Рис. 2. Схема определения второго понятия системы

Второе понятие системы предполагает, что для системного представления объекта он должен быть последовательно представлен в пяти категориальных планах (слоях, уровнях), которые далее должны быть объединены в целостное системное изображение. При этом базовым элементом такого представления сис-

темы является структурная схема объекта, которая соответствует первому понятию системы. Вместе с системно собранными аспектными представлениями системы по процессуальному, структурному, функциональному, морфологическому и субстратному направлениям, системно интерпретируемая структурная схема технического объекта в области существования объекта определяет смысл второго понятия системы.

Очевидно, что второе понятие системы даёт возможность представить технические объекты со значительно большей полнотой, чем первое из-за возможности описания не только строения системы, но и процессов функционирования, развития, коммуникации, управления и преобразования её элементов. Вместе с тем, данное представление не увязывает между собой базовые атрибуты технических систем. Это затрудняет выполнение многих задач анализа, синтеза и классификации таких объектов, возникающих в процессе применения CALS-технологий для компьютерно-интегрированного производства.

В связи с этим возникает потребность в дальнейшем развитии имеющихся понятий системы для приспособления их применительно к решению задач по техническим объектам, в том числе для таких, в жизненном цикле которых существуют этапы капитального ремонта для восстановления первоначального ресурса. Очевидно, что это понятие должно быть соразмерно аналогичным понятиям в смежных отраслях деятельности и быть достаточно общим для охвата областей возможных решений в пределах всей иерархии техносферы.

**Цель статьи.** Целью настоящей статьи является дальнейшее развитие понятия системы с учётом генезиса этого понятия и потребностей решения основных задач анализа, синтеза и классификаций технических систем и их моделей для применения CALS-технологий.

**Понятие системы в технике.** Для формирования последующего (третьего) представления системы учётом структуру его атрибутов (рис. 3), что отражает связанность главных атрибутов системы и выделяет её ядро, которым является её центр. Последний соответствует иерархическому уровню собственно системы, её основным функциям в настоящем времени.

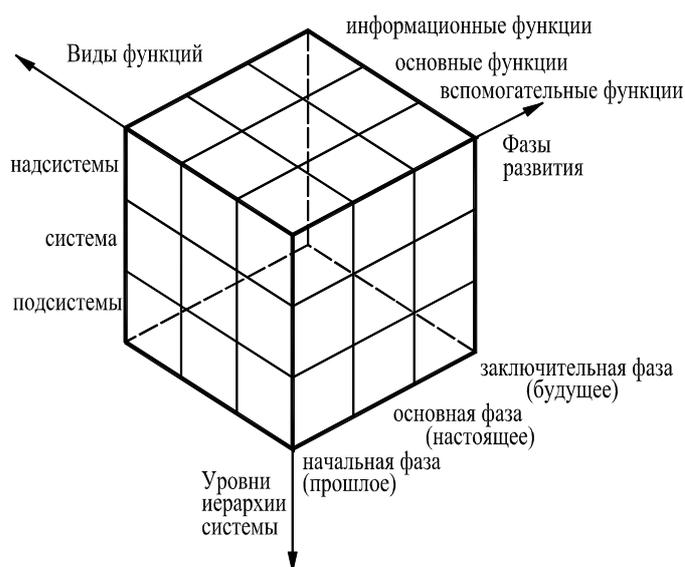


Рис. 3. Структура атрибутов третьего определения системы

Ядро определяет вид системы и задаёт тем самым её основной отличительный признак. Вследствие указанного, такое представление системы применимо для решения задач классификации.

Отличия третьего представления системы от второго заключаются в том, что:

- 1) система позиционируется своим ядром в общей иерархии техносферы (табл.1).
- 2) атрибуты системы связываются временем (этапами, фазами развития), функциональностью и внутренней по отношению к иерархии техносферы иерархией. При этом, принятые во втором представлении системы категориальные планы могут сохраняться.

Таблица 1

## Иерархические уровни объектов техносферы

Иерархические уровни	Объекты техносферы
1	Метатехносфера
2	Техносфера Земли
3	Глобальные технические системы
4	Межконтинентальные технические системы
5	Континентальные технические системы
6	Межрегионально-континентальные технические системы
7	Международные (межгосударственные) технические системы
8	Технические системы отдельных государств
9	Внутренние межрегиональные технические системы
10	Отраслевые технические системы
11	Интегральные технические системы объединений и предприятий
12	Интегральные многомерные системы машин
13	Интегральные одномерные системы машин
14	Системы машин
15	Машины, аппараты
16	Системы механизмов, агрегатов
17	Механизмы, приспособления
18	Кинематические группы, блоки
19	Кинематические пары, узлы
20	Детали (звенья) механизмов и машин
21	Элементы деталей (звеньев) механизмов и машин

Благодаря этим отличиям описание системы получается более информативным. Оно соответствует кластеру существенных атрибутов технических объектов, рассматриваемых как сложные системы в реальном, семиотическом и мыслительном пространствах согласно структуре, приведенной в табл. 2. Часть атрибутов, относящихся к определению сферы применения и предназначению технических объектов, можно рассматривать как внешнюю по отношению к технической системе. Функции, принципы действия, процессы, структуры и параметры являются внутренними атрибутами системы, соответствующими внешним атрибутам. Этим отражается главное свойство системы – её целостность и обуславливается

согласованность системы с надсистемой. Полнота представления атрибутов системы позволяет ставить и решать задачи дедуктивного синтеза систем и комплексной (не локальной) оптимизации.

Таблица 2.

Кластер существенных атрибутов технических объектов

№ п/п	Существенные атрибуты технических объектов
1	Сфера применения
2	Предназначение
3	Функции
4	Кластеры физических, химических или биологических эффектов (принципы действия)
5	Процессы функционирования, технического обслуживания и ремонта
6	Структура
7	Параметры

Одним из наиболее общих алгоритмов решения таких задач может быть алгоритм, применяемый в «Универсальном решателе систем и задач» (УРСЗ) [2].

Введенное представление системы может быть также использовано как основа методических средств, применяемых в развивающихся информационно – знаниевых интеллектуализированных системах (рис. 4).

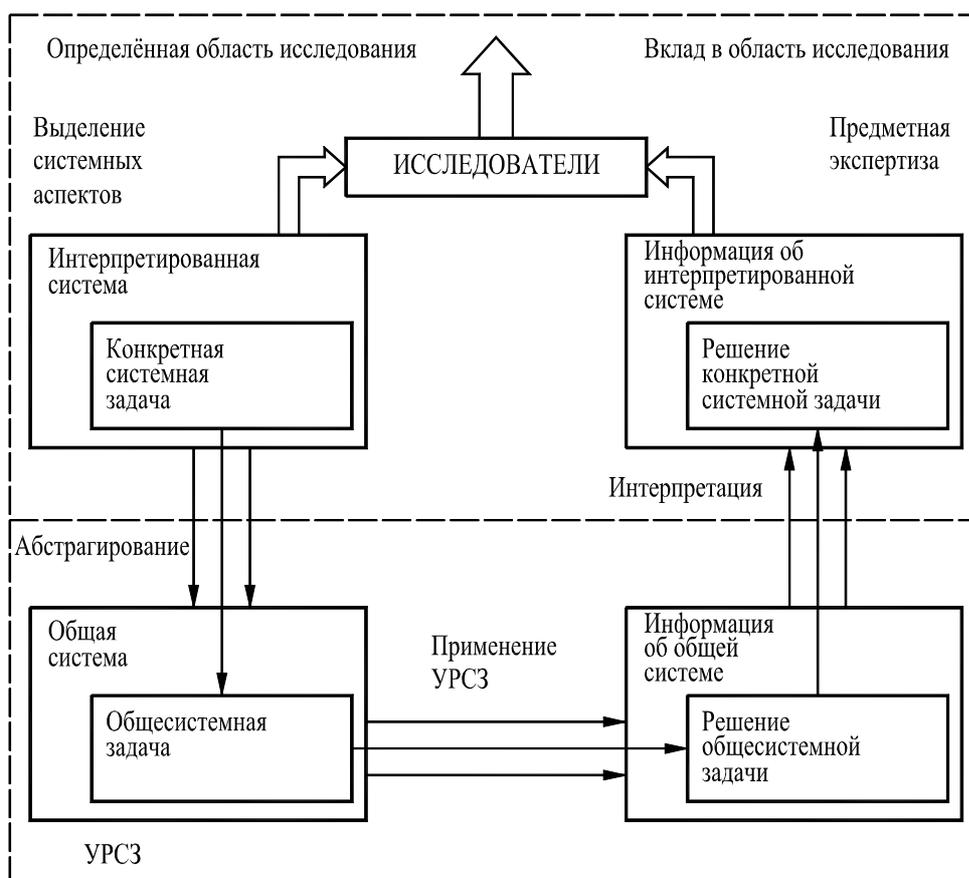


Рис. 4. Схема применения понятия системы и УРСЗ в развивающихся информационно – знаниевых интеллектуализированных системах

Наиболее общее представление системы может быть конкретизировано рядом моделей.

В общей теории технических систем иерархия эпистемологических уровней систем, согласно [2], может представляться так, как показано на рис. 5.

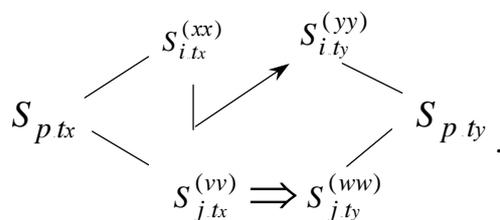


Рис. 5. Иерархия эпистемологических уровней систем (упрощённое представление)

Взаимодействие с внешним миром происходит через исходную систему для получения системы данных, которая моделируется системами более высоких уровней.

**Моделирование систем.** Модели этой иерархии могут далее конкретизироваться различными видами специализированных моделей в соответствии с потребностями решения задач анализа и синтеза технических систем [1].

Общей системно-процессной моделью технической системы, отражающей ее преобразующие функции, и происходящие преобразования при изменении состояния может служить следующая модель:



Здесь:  $S_{\xi tm}^{(kk)}$ ,  $kk \in \{xx, yy, vv, ww\}$ ,  $\xi \in \{i, j\}$  -  $\xi$ -я система (подсистема) в момент времени  $tm$ ,  $m \in \{x, y\}$ , состояние которой соответствует верхнему индексу ( $kk$ );  $S_p$  – среда.

Двойной горизонтальной стрелкой обозначено целевое преобразование, а одинарной ломаной - вынужденное, возникающее вследствие изменения ресурса преобразующей системы  $S_i$  при ее действии на преобразуемую систему  $S_j$ . Прямая одинарная отражает взаимодействие системы (подсистемы) со средой.

Модель (1) получена путем подстановки каждой функции технической системы своего реализующего элемента с учетом их расположения в среде. Эта модель отражает общую структуру взаимодействующих систем (подсистем) на протяжении двух фаз: начальной (индексы подсистем  $xx$  и  $yy$ ) и конечной (индексы подсистем  $uu$  и  $ww$ ).

Подставляя модель (1) в жизненный цикл технических систем согласно фазам, указанным на рис. 3, можно получить наиболее общую модель развития системы (цикл или триада развития).

Модель (1) далее может конкретизироваться на основе используемых при решении задач анализа и синтеза техники объектных и классификационных иерархий. При этом должно учитываться следующее. Для технических систем важным является приведение системы в требуемое состояние ( $kk$ ). Это достигается за счёт определённых действий.

При определении условий, обуславливающих готовность технических объектов выполнять свои функции, необходимо принимать во внимание, что эти объекты являются искусственными материальными созданиями с конечным ресурсом, предназначенными для циклического функционирования. Первое из указанных обстоятельств требует выполнения подготовительных работ (функций), связанных с созданием и подготовкой к функционированию технических систем, проведения технического обслуживания и ремонта. Второе - обуславливает необходимость выполнения завершающих цикловых функций.

Подготовительные, основные и завершающие функции образуют триаду, отражающую циклическое функционирование технических систем.

Основные, информационные (управляющие) и вспомогательные функции образуют триаду, отражающую самодостаточность технических систем.

Исходя из атрибутов, приведенных на рис. 3, можно установить, что технические системы должны иметь на основном уровне девять взаимоувязанных составляющих моделей указанных функций, входящих в общую иерархическую модель.

Такая структура должна быть также на уровнях надсистемы и подсистем. Каждая из составляющих общей модели может конкретизироваться типовыми частными моделями различными вариантами. Одним из таких вариантов является следующий.

Функции основные (целевые), информационные (управленческие) и вспомогательные должны иметь свои подготавливающие и завершающие функции, те свои и т.д. Следовательно, все множество функций, связанных с осуществлением целевых функций технических систем, в общем случае является незамкнутым.

Каждая из функций всех указанных видов может состоять из ряда более простых функций, те в свою очередь, - из более мелких и т.д., вплоть до элементарных. А общие функции технических систем в целом входят в структуру более сложных функциональных систем (надсистем).

Функции подсистем, функции основных технических систем и функции надсистем образуют иерархические (вертикальные) триады функций.

Указанные виды триад функций отражают все разнообразие функций технических систем.

Особенностью решения задач синтеза технических систем является то, что множества (составы) основных функций на первых этапах проектирования являются неизвестными, подлежат определению и оптимизации.

Состав функций, входящих в триады развития и самодостаточности цикла, определяется на основе анализа структуры системы циклов технических средств. А иерархические триады функций устанавливаются путем конкретизации условий реализации функций, входящих в эти две триады.

При дальнейшей конкретизации элементов модели (1) необходимо учитывать, что современные технические системы общего вида являются многоконтурными системами. Они содержат специализированные входы и выходы, отображающие участвующие в процессе преобразований вещество  $M$ , энергию  $\mathcal{E}$  и информацию  $I$ .

Как и другие функциональные системы, технические системы реализуют кластеры преобразованных полиантропных функций. Поэтому, в связи с неполной технизацией, они предусматривают участие человека в реализации отдельных функций, образуя тем самым человеко-машинные системы с множествами цепей прямых и обратных связей.

Исходя из упомянутого положения о триадах функций при бинарных разделениях объектов модели (1), графовые конкретизированные модели функционирующей технической системы (подсистемы)  $S_{\xi tm}^{(kk)}$  технологического назначения, отражающие условия ее полноты (самодостаточности), могут быть представлены так, как показано на рис. 6.

На рис. 6а изображена модель системы с первым видом бинарного разделения ее элементов на информационно-управляющую  $Y$  и производящую  $P$  (управляемую) части (без выделения основной и вспомогательной частей). Рис. 6,б конкретизирует функциональные элементы системы капитального ремонта по их видам с учетом времени.

Элементами системы являются люди-исполнители (операторы)  $O_p$  и технические средства  $T_d$ , где  $p \in \{n, y\}$  и  $d \in \{n, y\}$ . Верхний индекс (') отражает принадлежность параметра к выходу системы.

Приведенная на рис. 6,а модель, учитывает, что в общем виде техническая система имеет два вещественных выхода: основной  $M_1'$  и вспомогательный  $M_2'$ , отражающий побочные (не целевые) продукты, запасные детали (узлы, агрегаты) и (или) отходы производства. Выход  $M_2'$  может иметь свою обратную связь, не смотря на то, что его параметры коррелированы с величиной выхода  $M_1'$ .

Из-за этого факта, а также вследствие зависимости информации  $I_1$  и  $I_2$  от выхода  $M_1'$ , вещественные ( $M_1', M_2'$ ) энергетический ( $\mathcal{E}_1'$ ) и информационные ( $I_1', I_2'$ ) выходы системы не являются автономными.

При втором виде бинарного разделения элементов (рис. 6,б) часть технических средств  $T_n \in T_d$  отнесена к техническим средствам, непосредственно выполняющим преобразования. Другая часть  $T_y \in T_d$  - к информационно-управляющим техническим средствам. Аналогично разделены исполнители на  $O_n \in O_p$  и  $O_y \in O_p$ . Очевидно, что  $T_n + T_y = T_d$  и  $O_n + O_y = O_p$ .

При этом следует учитывать, что для функционирования системы необходимо, чтобы исполнители были обучены, информированы и способны выполнять необходимые работы, а технические средства были подготовленными и имели необходимый ресурс.

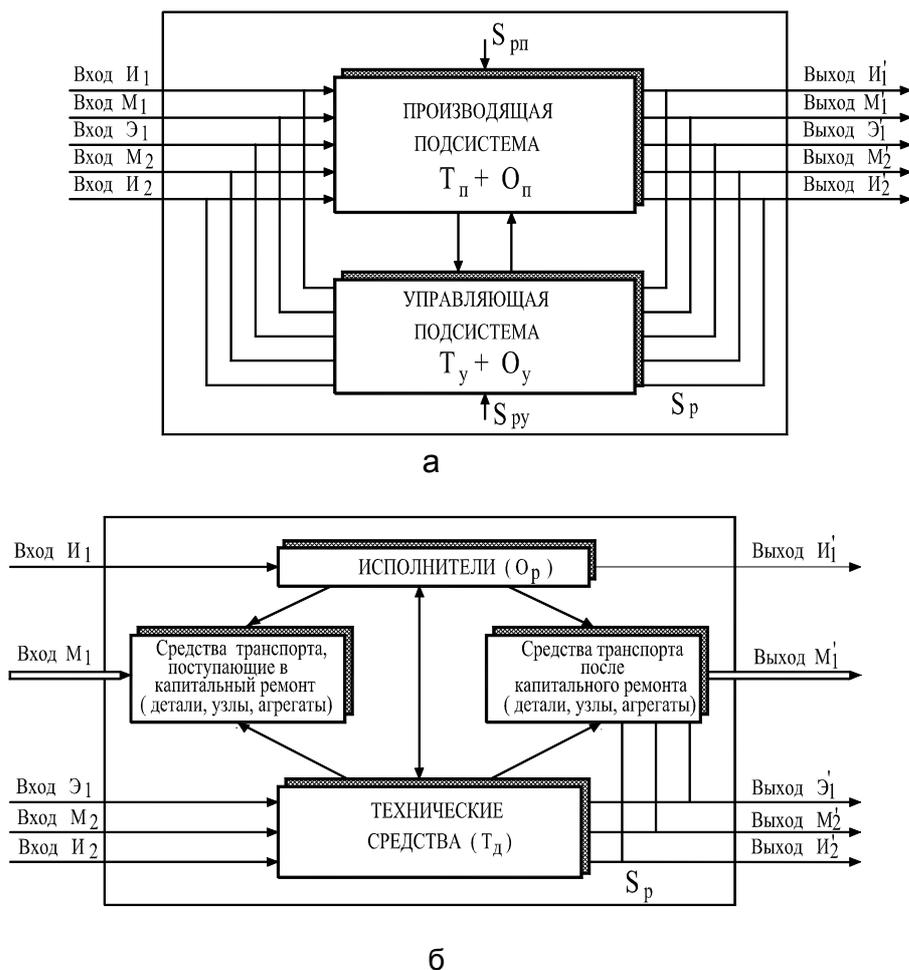


Рис. 6. Конкретизированные модели технической системы

Представленные на рис. 6 модели технической системы позволяют произвести специализацию технических средств и исполнителей, а также использовать хорошо отработанный универсальный аппарат теории управления к решению специфических задач анализа и синтеза технических систем.

Технические средства любого назначения на уровне структуры могут компоноваться из типовых структур, образующих периодические гомологические ряды [6]. Технические преобразователи – элементы этих структур могут, в свою очередь, конкретизироваться на основе иерархий элементов и классификаций.

### Выводы

Понятия систем, изложенные в современной системологии, в зависимости от задач системных исследований, могут иметь три основных вида. Первый вид (точечный) предназначен для описания строения системы. Второй вид (плоскостной), в дополнение к этому, позволяет учесть процессуальное, структурное, функциональное, морфологическое и субстратное направления исследований технического объекта. Предложен системно-процессный вид моделирования, который позволяет охватить все существенные атрибуты технических систем, включая положение системы в общей иерархии техносферы.

На базе введенного третьего вида определения системы, могут быть построены модели, позволяющие решать основные задачи анализа, синтеза и клас-

сификации объектов техники в условиях применения CALS-технологий для компьютерно-интегрированного производства.

### Список литературы

1. Колесников Л.А. Основы теории системного подхода / Лев Александрович Колесников. – К.: Наукова думка, 1988. – 176 с.
2. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач / Джордж Клир; [пер. с англ. Зуева М.А. под ред. Горлииа А.И.]. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.
3. Щедровицкий Г.П. Два понятия систем. Избранные труды. / Ред. составители. Л.А. Пископпель, Л.П. Щедровицкий. – М.: Эксиммер, 1995. - 815с.
4. Говорущенко Н.Я. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта). Ч.1 / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко. – Харьков: – РИО ХГАДТУ, 1998. – 255 с.
5. Флейшман Б.С. Основы системологии / Бенцион Семенович Флейшман. – М.: Радио и связь, 1982. – 368 с.
6. Беловол А.В. Структурные отличия жестких, гибких и трансформерных технологических систем / А.В. Беловол, Н.Э. Тернюк, Ф.В. Хунг //Вісті Академії інженерних наук України. - 2005 - №3, - с. 108-112.

**Рецензент:** докт. техн. наук, проф. ХНАДУ Сорокин В.Ф., Харьков

Поступила в редакцию 10.03.11 г.

## Системно-процессное моделирование технических систем для cals-технологий

Показано генезис понятия системы від крапкового до об'ємного багатовимірного. Встановлено, що презентативне подання системи, яке необхідне для вирішення основних задач створення нової техніки, повинно включати чотири групи атрибутів, що відображають положення об'єкта в ієрархії техносфери, власну ієрархію об'єкта, що включає надсистемний, системний і підсистемний рівні, а також склад функцій і стан об'єктів у минулому, сьогодні й майбутньому часі. **Ключові слова:** комп'ютерні технології, атрибути, засоби транспорту, ієрархічний рівень, моделювання систем, технічні засоби.

## System-process modelling of technical systems in cals-technology

Genesis of concept of system from dot to volumetric multivariate is shown. It is established, that the representation of the system necessary for the decision of problems{tasks} of computer-integrated manufacture, should include four groups of the attributes displaying position of considered{examined} object in hierarchy of a technosphere, own hierarchy of object including upsystem , system and subsystem levels, and also structure of functions and a condition of the specified objects in last, present and future time.

**Ключевые слова:** компьютерные технологии, атрибуты, средства транспорта, иерархический уровень, моделирование систем, технические средства