

Н.П. КИРИЛЛОВ
**ОПИСАНИЕ МЕТОДА КОМБИНИРОВАННОГО
КОНЦЕПТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Кириллов Н.П. **Описание метода комбинированного концептуального моделирования технических систем.**

Аннотация. Предложен метод концептуального моделирования технических систем (ТС), основанный на комбинированном применении известных методов структурно-функционального анализа, объектно-ориентированного и совместного объектно-функционального моделирования. Получаемый при этом полезный эффект заключается в упрощении решения задач построения концептуальных моделей конструкции, процессов управления состояниями и управляемого функционирования ТС за счет задействования потенциальных возможностей приобретения и использования взаимодополняющей информации в ходе попеременного применения указанных методов моделирования.

Ключевые слова: теория технических систем, концептуальные модели систем и процессов, методы концептуального моделирования.

Kirillov N.P. **The description of a method of the combined conceptual modelling of technical systems.**

Abstract. Is offered the method of conceptual modelling of technical systems (TS), based on the combined and joint application of known methods of the structurally functional analysis and object-oriented modelling. As a result of it the useful effect which consists in simplification of problem solving of ordering and structurization of knowledge which are used for construction of conceptual models of a design, managerial processes by states and operated functioning of the TS is gained.

Keywords: the theory of technical systems, conceptual models of systems and processes, methods of conceptual modelling.

1. Введение. Концептуальная модель (КМ) — это мыслимый образ моделируемого объекта (процесса), содержащий требуемую потребителям¹ информацию, представленную в виде, который позволяет им одинаково и правильно ее воспринимать. Концептуальное моделирование является основным методологическим принципом проектирования конструкции технических систем (ТС) [1], а также программного обеспечения автоматизированных систем и систем автоматического управления состояниями ТС [2].

Анализ публикаций в области концептуального моделирования сложных систем и процессов показывает, что в ней используются в

¹ Под потребителями здесь и далее понимаются участники разработки КМ, а также ее пользователи.

основном три методологических подхода: объектно-ориентированное моделирование (ООМ) [2, 3], структурно-функциональный анализ (СФА) [4, 5] и менее известный метод *совместного* объектно-функционального моделирования, названный его автором методом «гамбургера» [6].

Метод ООМ позволяет осуществлять систематизацию, структуризацию и формализованное описание моделей частей, выделяемых в ТС. Он используется для построения *объектных* КМ как проектируемых, так и существующих ТС. Метод СФА ориентирован на решение аналогичных по смыслу задач, но только уже применительно к сложным функциям и составляющим их компонентам, реализуемых системами и их частями. Этот метод применяется для построения *функциональных* КМ существующих систем.

Метод «гамбургера» ориентирован на формирование КМ, используемых только для проектирования систем. Он заключается в построении иерархической КМ, каждый элемент которой состоит из модуля — «гамбургера», в котором совместно учитываются функция и средство (объект) ее реализации (рис. 1). Однако применение моделей «гамбургера» для целей концептуального анализа процессов управления состояниями и управляемого функционирования ТС оказалось затруднительным, так как для этого требуется не модульное представление, а раздельное рассмотрение свойств объектных и, прежде всего, функциональных КМ.

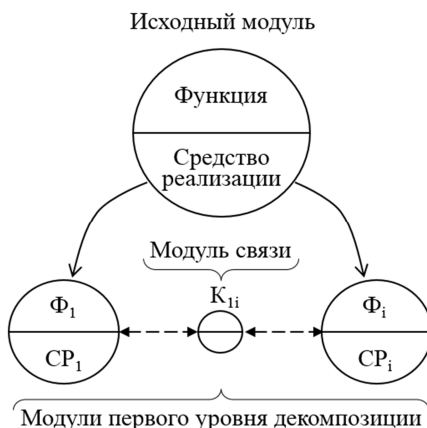


Рис. 1. Иллюстративный пример двухуровневой модели «гамбургера».

Результаты анализа методологий и методов ООМ, СФА и совместного объектно-функционального моделирования применительно к задачам концептуального моделирования ТС позволяют сделать следующие выводы.

1) Перечисленные методы концептуального моделирования систем и процессов являются универсальными, так как не привязаны к конкретным предметным областям. Применительно к построению КМ ТС их возможности иллюстрируются в тематической литературе только на отдельных частных примерах, в которых существенную роль играют индивидуальные особенности и свойства выбранных для этого конкретных систем, что затрудняет или не позволяет осуществить перенос решений, показанных в частных примерах, для формирования КМ других систем. При этом вопросы адаптации этих методов применительно к решению задач формирования репрезентативных КМ, отражающих общие свойства объектов класса (таксона)² ТС, которые можно было бы использовать в качестве общесистемных прототипов КМ реальных ТС, в тематических публикациях не рассматриваются.

2) Потребности в построении КМ ТС актуализируют необходимость в специализации указанных методов и/или разработки резульативного метода концептуального моделирования ТС. Потенциальная возможность создания такого метода основана на наличии смысловых взаимосвязей между объектными и функциональными моделями, которые могут быть использованы для комплексирования перечисленных выше методов и их комбинированного применения в формировании КМ ТС.

2. Конкретизация понятия «Функция». В теории и практике концептуального моделирования это понятие является одним из наиболее часто используемых в разных смысловых трактовках. Известны следующие его интерпретации в инженерной практике [7]:

- как подтип активности — процесс или событие;
- как сущность в определенной роли или сделанной для определенной роли;
- как роль сущности (обычно в материальном объекте, которую он выполняет);
- как указание на связь, например корреляцию между какими-то аспектами процесса (если высота растёт, то давление падает);

² Таксон, в отличие от класса, включает не только существующие, но и все мыслимые объекты с общими свойствами.

– как математическое отношение между числовыми объектами, определяющее их соотношение.

Это обстоятельство затрудняет однозначное использование и восприятие этого понятия в описании КМ, что обуславливает целесообразность его смысловой конкретизации.

Анализ перечисленных и других подобных им трактовок понятия «функция» показывает, что они, прежде всего, ориентированы на описание *целей использования* функций в практической деятельности, а не *концептуальной сущности* этого понятия, интерпретируемой в точных науках, как бинарное отношение, которое однозначно сопоставляет каждому элементу одного множества, называемого областью определения функции, элемент другого множества, называемого областью ее значений или ко-областью [8].

В концептуальном моделировании функции и правила их реализации могут быть представлены в виде вербальных, формальных, формализованных форм описаний на различных уровнях детализации\агрегации содержащейся в них информации. Используются также множества различных форм и способов описания правил выполнения функций, в том числе не формализованных, посредством которых должно выполняться сопоставление значениям области определения функции, значений из ее ко-области. Однако это не означает, что смысловое содержание понятия «функция» должно зависеть от особенностей описания функций и правил их выполнения.

В дальнейшем будет считать, что в концептуальном моделировании ТС смысловая сущность функции, представленной в любых формах ее описания (задания), *всегда* понимается в математической трактовке этого понятия.

Цель концептуального моделирования функций с неформализованными описаниями, заключается в обеспечении возможностей однозначного понимания и использования их свойств потребителями. Достижение этой цели осуществляется путем построения структурно-функциональных моделей исходной функции, представленных на требуемом уровне детализации свойств составляющих их компонент, которые представляют собой функции меньшей сложности.

3. Понятие «Функциональный объект». ТС и все элементы их конструкции всегда имеют вполне определенное функциональное назначение. Поэтому в концептуальном моделировании разделение конструкции ТС на части осуществляется так, чтобы этим частям сопоставлялись функции, которые они выполняют в системе.

Членения, не удовлетворяющие этому положению, не имеют смысла в концептуальном моделировании ТС. Это одна из общих особенностей концептуального моделирования проектируемых и существующих ТС, которая позволяет называть ТС функциональным объектом, а его части — функциональными частями системы.

Функциональный объект (ФО) — это абстрактный образ материального объекта, которому взаимно однозначно сопоставлена некоторая функция.

Модель ФО — это модель черного ящика, выполняющего приписанную ему ролевую сущность, а именно — заданным образом осуществлять качественные и/или количественные преобразования энергии, вещества и/или информации на его входах, в энергию, вещество и/или информацию на его выходах [1]. Границы модели ФО определяются выбором и описанием его входов, которым сопоставляются аргументы соответствующей ему функции, и выходов, которым сопоставляются ее значения.

Функциональная часть (ФЧ) ТС — это составная часть ФО, которой взаимно однозначно сопоставлена одна из компонент выполняемой им функции.

Использование понятий «ФО» и «ФЧ» позволяет рассматривать объектные модели частей ТС как черные ящики, описание границ которых детализировано на требуемом уровне анализа выполняемых ими функций (функционального назначения), абстрагируясь при этом от специфики и разнообразия вариантов их индивидуальной конструкции. С другой стороны, каждой ФЧ в объектной КМ ТС может быть сопоставлено множество различных способов и вариантов ее материальной реализации, что используется в практике проектирования систем.

4. Комплексирование методов концептуального моделирования ТС. Из определения понятия «функциональный объект» следует однозначная определенность содержания понятия «смысловая связь», существующая между ФО и приписанной ему функцией. Оно интерпретируется как отношение изоморфизма между объектными и функциональными моделями. Это обстоятельство позволяет обосновать метод концептуального моделирования ТС, основанный на комплексировании методов ООМ, СФА и «гамбургера» и использовании возможностей их комбинированного применения. Суть предлагаемого метода иллюстрирует рис. 2.

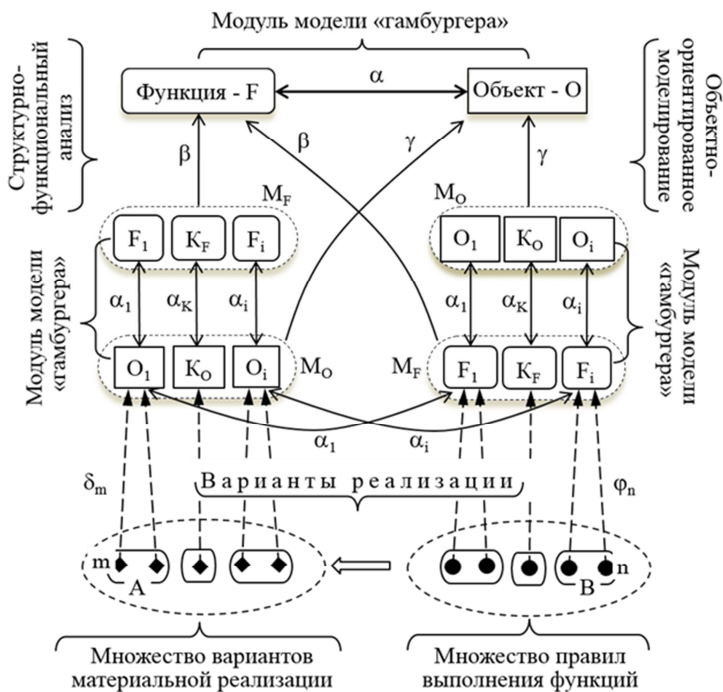


Рис. 2. Иллюстрация принципов комбинированного объектно-функционального метода концептуального моделирования.

В рис. 2 использованы следующие обозначения:

- O и F — исходные модели ФО (черного ящика) и выполняемой им функции;
- M_F и M_O — детализированные представления моделей F и O ;
- F_1, F_i, K_F — компоненты членения функциональной модели M_F , где K_F — модель связей между F_1 и F_i ;
- O_1, O_i, K_O — части членения объектной модели M_O , где K_O — модель связей между O_1 и O_i ;
- m — модель конструкции одного из потенциально возможных или существующих средств материальной реализации объекта O_1 ;

- n — потенциально возможный или существующий вариант задания и правил выполнения функции F_i ;
- A — множество моделей существующих и\или возможных альтернативных средств материальной реализации функционального объекта O_i ;
- B — множество альтернативных правил представления и выполнения функции F_i ;
- двунаправленные стрелки — отношения изоморфизма между объектными и функциональными моделями; односторонние стрелки — отношения эпиморфизма между соединяемыми стрелкой сущностями.

Предлагаемый метод заключается в использовании в концептуальном моделировании ТС возможностей попеременного применения методов ООМ и СФА фактически в любой последовательности, в зависимости от наличия и типа исходной информации о моделируемых сущностях, а также от удобства ее представления в виде объектных, функциональных моделей и\или модели «гамбургера». Возможные переходы в последовательностях применения и возможности комбинированного использования методов ООМ и СФА определяются отношениями, показанными на рис. 2.

Если изначально имеется исходная информация о компонентном составе функций, выполняемых ТС, то существует два начальных варианта в построении функциональных и объектных КМ:

- можно воспользоваться технологией СФА (IDEF0) с целью детализации состава и структуры компонентов функциональной КМ и представления ее в виде структурно-функциональной модели;
- можно использовать свойства изоморфизма функциональных и объектных моделей для выявления состава функциональных частей и структуры объектной КМ с ее последующей детализацией методами ООМ.

Если имеется априорная информация о составе частей ТС, то сначала формируется и детализируется объектная КМ, а затем, с использованием свойств изоморфизма объектных и функциональных моделей, методами СФА строится структурно-функциональная модель функции системы.

Существенная особенность предлагаемого метода состоит также в предоставлении возможностей сопоставления детализированным функциям исходной КМ множества вариантов правил их выполнения, а соответствующим им функциональным частям ТС — множества

вариантов их материальной реализации в системе. Это могут быть альтернативные конструкции технических устройств (подсистем), предусматривающие или не предусматривающие участие людей в выполнении реализуемой ими функции, или человек-оператор, самостоятельно выполняющий эту функцию в ТС. В результате, в рамках данного метода концептуального моделирования, появляется возможность сравнивать между собой разные методы и способы выполнения одной и той же функции и разнородные средства ее реализации с использованием совокупности различных критериев их оценки в решении соответствующих этой функции задач.

Предложенный метод не исключает возможностей отдельного использования методов СФА и ООМ. Наоборот, на каких-то этапах концептуального моделирования может оказаться целесообразным последовательная детализация состава и свойств исходной модели ТС только одним из них. В результате этого будет сформировано многоуровневое дерево функциональных или объектных КМ, с различной степенью детализации выделяемых в них компонентов или функциональных частей, которым затем можно будет взаимно однозначно сопоставить дерево объектных или функциональных КМ (рис. 3).

Например, при решении задачи построения КМ процессов управления состояниями ТС удобно вначале рассматривать их объектно-ориентированное представление, в котором используются субъект управления (СБУ), объект управления (ОУ) и коммуникационные объекты, реализующие представленные в модели связи. Выделение этих объектов позволяет перейти к анализу каждого из них в отдельности, выбирая наиболее подходящий для этого метод анализа. В частности, так как основная сущность процессов функционирования СБУ заключается в выполнении функций по преобразованию информации и принятию решений, то это обуславливает целесообразность перехода на следующем шаге ее анализа к построению структурно-функциональной модели. Затем, функциям-компонентам этой СФМ, могут быть взаимно однозначно сопоставлены выявленные таким образом функциональные части СБУ.

С другой стороны, суть процессов функционирования ОУ заключается в первую очередь в преобразовании управляющих воздействий, имеющих материальную природу, что обуславливает целесообразность детализации этих процессов с использованием метода ООА в базе мыслимых материальных объектов — функциональных частей ОУ: сенсорной, исполнительной,

результатирующей и коммуникационной [9]. При этом в соответствии с предложенным методом, каждой такой ФЧ можно будет взаимно однозначно сопоставить реализуемые ими функции для последующей их детализации методом СФМ.

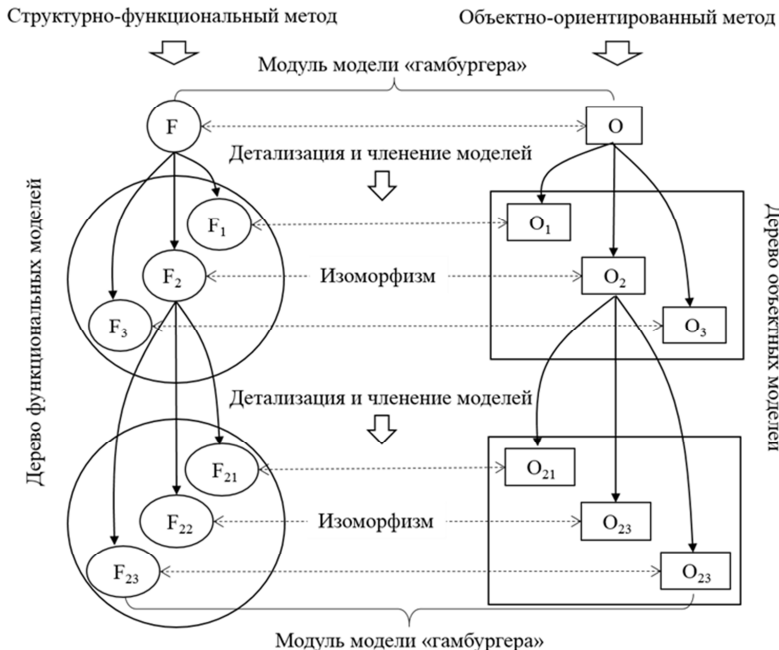


Рис. 3. Сопоставление деревьев функциональных и объектных моделей в комбинированном концептуальном моделировании ТС.

Возможности установления отношения изоморфизма между функциональными частями ТС и выполняемыми ими функциями — элементами полученных указанным выше способом многоуровневых объектных и функциональных моделей, предоставляют свободу в выборе метода концептуального моделирования в зависимости от типа имеющейся исходной информации и/или удобства ее представления в заданном виде применительно к каждой ФЧ, выделяемой в исходной объектной модели ТС. При этом представление КМ ТС в виде деревьев моделей позволяет использовать потенциальные возможности решения задач рационального распределения заданий и планирования

работ между различными исполнителями и коллективами разработчиков моделей частей и компонентов функций ТС.

5. Заключение. Предложенный метод комбинированного моделирования является универсальным, так как ориентирован на концептуальное моделирование как проектируемых, так и существующих ТС, и предполагает широкие возможности комплексного (попеременного или совместного) использования известных до этого методов, что позволяет существенно упростить построение КМ.

Комбинированное и совместное использование методов СФА, ООМ и «гамбургера» позволяет получить полезный синергетический эффект, который заключается в задействовании потенциальных возможностей в упрощении решения задач целенаправленного поиска, получения, систематизации и структуризации взаимодополняющей информации о компонентах функции и/или о функциональных частях ТС на каждом шаге построения, детализации и членения модельных представлений системы.

Основанием практической реализуемости метода является проверяемое практикой утверждение о том, что членение объектных моделей и составляющих ТС частей осуществляется не произвольным, а вполне определенным образом, а именно — только на *функциональные части*, которым взаимно однозначно сопоставляются выполняемые ими функции в системе.

Аналогичная особенность — возможность членения объекта на функциональные части, присуща также *всем функциональным системам* различной материальной природы [10]. Следовательно, предложенный метод может использоваться также и в концептуальном моделировании любых функциональных систем независимо от их устройства и назначения, что существенно расширяет сферу его потенциально возможных применений.

Литература

1. Eder W.E., Hosnedl St. Design Engineering. A Manual for Enhanced Creativity. CRC Press. London, New York, 2008. 588 p.
2. Эдванс Э. Предметно-ориентированное проектирование (DDD): структуризация сложных программных систем. Пер. с англ. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2011. 448 с.
3. Буч Г., Максимчук Р.А., Энгл М.У., Янг Б.Дж., Коналден Дж., Хьюстон К.А. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений. М.: Вильямс, 2002. 720 с.
4. Марка Д.А., МакГоуэн К. Методология структурного анализа и проектирования. М.: Метатехнология, 1993. 240 с.

5. Р 50.1.028-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. М.: ГОССТАНДАРТ РОССИИ.
6. *Wim Gielingh*. A theory for the modelling of complex and dynamic systems [Электронный ресурс]. URL: <http://15926.info/functional-physical-object/GARM-paper.pdf>.
7. *Gellish*. A. Generic Extensible Ontological Language. Design and Application of a Universal Data Structure [Электронный ресурс]. URL: http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:de26132b-6f03-41b9-b882-c74b7e34a07d/its_rensen_20050914.pdf.
8. Функция (Математика) [Электронный ресурс]. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Функция_\(математика\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Функция_(математика)).
9. *Кириллов Н.П.* Концептуальная модель объекта ситуационного управления функциональными состояниями технических систем // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. №4. С. 62–73.
10. *Анохин П.К.* Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем // Принципы системной организации функций. М.: Наука, 1973. С. 5–61.

Кириллов Николай Петрович — к.т.н.; старший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных технологий в системном анализе и моделировании СПИИРАН. Область научных интересов: концептуальное моделирование процессов управления функциональными состояниями и управляемого функционирования технических систем, ситуационное управление. Число научных публикаций — 150. knp@mail.ru; СПИИРАН, 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-0103, факс +7(812)328-4450.

Kirillov Nikolay Petrovich — Ph.D.; senior researcher, Laboratory of Intellectual Technologies in the System Analysis and Modeling, SPIIRAS. Research interests: conceptual modelling of managerial processes by functional conditions and operated functioning of technical systems, situational management. The number of publications — 150. knp@mail.ru; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-0103, fax +7(812)328-4450.

Поддержка исследований. В публикации представлены результаты исследований, поддержанные грантами РФФИ 11-08-00641-а, 11-08-01016-а.

Рекомендовано лабораторией интеллектуальных технологий в системном анализе и моделировании СПИИРАН, заместитель директор по научной работе Соколов Б.В., д.т.н., проф.

Статья поступила в редакцию 10.10.2013.

РЕФЕРАТ

Кириллов Н.П. Описание метода комбинированного концептуального моделирования технических систем.

Концептуальная модель (КМ) — это мыслимый образ моделируемого объекта (процесса), содержащий требуемую потребителям информацию, представленную в виде, который позволяет им одинаково и правильно ее воспринимать. Концептуальное моделирование является основным методологическим принципом проектирования конструкции технических систем (ТС), а также программного обеспечения автоматизированных систем и систем автоматического управления состояниями ТС.

Анализ публикаций в области концептуального моделирования сложных систем и процессов показывает, что в ней используются в основном три методологических подхода: объектно-ориентированное моделирование (ООМ), структурно-функциональный анализ (СФА) и менее известный метод *совместного* объектно-функционального моделирования, названный его автором методом «гамбургера». Каждый из них имеет свои недостатки, компенсация которых может быть обеспечена при комплексном применении этих методов в концептуальном моделировании ТС.

В статье предложен метод концептуального моделирования ТС, предусматривающий комбинированное применение этих методов. Он основан на рассмотрении ТС в качестве функционального объекта, которому взаимно однозначно сопоставляется реализуемая им функция, и использовании возможностей членения ТС на функциональные части (ФЧ), которым также взаимно однозначно сопоставляются реализуемые ими функции. В результате этого появляется возможность дуального рассмотрения КМ ТС, как двух изоморфных деревьев: дерева объектно-ориентированных моделей, атрибутами которых являются ФЧ ТС, и дерева структурно-функциональных моделей, атрибутами которых являются функции, реализуемые соответствующими им ФЧ.

Предложенный метод комбинированного моделирования является универсальным, так как он ориентирован на концептуальное моделирование как проектируемых, так и существующих ТС, и предполагает широкие возможности комплексного (попеременного или совместного) использования известных до этого методов, что позволяет существенно упростить построение КМ ТС.

Комбинированное и совместное использование методов СФА, ООМ и «гамбургера» позволило получить полезный синергетический эффект, который заключается в задействовании потенциальных возможностей в упрощении решения задач целенаправленного поиска, получения, систематизации и структуризации взаимодополняющей информации о компонентах функции и/или о функциональных частях ТС на каждом шаге построения, детализации и членения модельных представлений системы.

SUMMARY

***Kirillov N.P.* The description of a method of the combined conceptual modelling of technical systems.**

The conceptual model (CM) is the conceivable image of modelled object (process) containing the information demanded to consumers, presented in a kind which allows them to perceive equally and correctly it. Conceptual modelling is the basic methodological principle of designing of a design of technical systems (TS), and also the software of the automated systems and systems of automatic control of TS conditions.

The analysis of publications in the field of conceptual modelling of difficult systems and processes shows that in it are used in the basic three methodological approaches: object-oriented modelling (OOM), the structurally functional analysis (SFA) and less known method of joint objective-functional modelling named its author by a method of «hamburger». Each of them has the lacks which indemnification can be provided at complex application of these methods in conceptual modelling of the TS.

In article the method of conceptual modelling of the TS, providing the combined application of these methods is offered. It is based on consideration of the TS as the functional object, which biunique function realised by it, and use of possibilities of partitioning of the TS on functional parts (FP) by which also biunique functions realised by them are compared is compared. As a result of it there is a possibility of dual consideration of CM of the TS, as two isomorphic trees: a tree of the object-oriented models which attributes are FP the TS, and a tree of the structurally functional models which attributes are the functions realised corresponding them FP.

The offered method of the combined modelling is universal as it is focused on conceptual modelling both projected, and the existing TS, and assumes ample opportunities complex (alternate or joint) uses of methods known before that allows to simplify construction of CM of the TS essentially.

Combined and sharing of methods SFA, OOM and «hamburger» allows to receive useful синергетический effect which consists in involvement of potential possibilities in simplification of the decision of problems of purposeful search, receptions, ordering and structurization of the complementary information on components of function and \or about functional parts of the TS on each step of construction, detailed elaboration and partitioning of modelling representations of system.