

УДК 004: 371.26 (45)

**ЗАДАЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ:
ДЕЯТЕЛЬНОСТНЫЙ ПОДХОД****Нечаев В.В. (Москва)****Введение**

Современная наука и практика располагают обширным арсеналом методов, технологий и средств познания сложных систем: объектов, процессов, явлений, с которыми приходится сталкиваться человеку в его деятельности. До середины XX века практически вся научно-техническая и предметно-практическая деятельность специалистов основывалась на двух фундаментальных методах познания: теоретическом и экспериментальном.

Однако с середины XIX века, наряду с теоретическими и экспериментальными подходами постепенно развивалось научно-практическое направление познавательно-созидательной деятельности, занимающее промежуточное положение между теорией и натурным экспериментом, включающее в качестве активного ведущего компонента человека с его эмпирическими знаниями. Такое направление получило название *моделирование*. На современном этапе развития моделирование основывается на научно-теоретической базе, прежде всего, математике, логике, а также на компьютерных и информационных технологиях. При этом в значительной мере используются теоретические и эмпирические знания специалиста по моделированию. Таким образом, моделирование можно рассматривать как комплексную методологию и технологию познавательно-созидательной деятельности. Отметим, что в основе моделирования как комплексной методологии и технологии лежит совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих принципов, методов и способов познавательно-созидательной деятельности. При этом стратегической основой моделирования выступает единство законов природы, а также замечательная способность витального мозга человека абстрагировать сходное в различных предметах (объектах, процессах, явлениях) и устанавливать между ними определённые отношения соответствия. Следствием сочетания указанных факторов и явилась возможность исследования объектов различной природы косвенным путём посредством замещения одного объекта другим, т.е. посредством моделирования.

С учётом изложенного выше можно сделать вывод, что

Моделирование – это методология и технология решения сложных неопределённых, некорректных задач на основе целенаправленного отражения некоторой известной и познания новой, существенной для исследователя, совокупности свойств объекта материального или идеального миров, посредством создания и использования другого материального или идеального объекта, называемого моделью, способного на определённых этапах в соответствии с целями и задачами познания адекватно замещать оригинал и порождать о нём новую информацию – данные и знания.

С учётом приведённой формулировки понятия «моделирование» определим и понятие модели: *модель – это материальный или идеальный объект, целенаправленно отображающий те или иные аспекты и атрибуты другого – материального или идеального объекта, называемого оригиналом, интерпретируемый в терминах и показателях этого оригинала и дающий возможность получать адекватно-релевантные новые сведения (информацию) об объекте-оригинале.* Отметим, что сформулированное выше определение понятия моделирования в дальнейшем изложении будем использовать как основное, рабочее.

1. Объект моделирования и сферы его существования

Объект моделирования – это часть материального или идеального миров, которая в соответствии с целями и задачами моделирования, на основе **отношения функционального назначения** (ОФН), отображается в модели. Объектами моделирования могут быть различные системы, процессы, явления, а также гипотетические и фантастические ментальные образы. От объекта моделирования следует отличать предмет моделирования, т.е. те аспекты, атрибуты и характеристики объекта моделирования, для изучения которых и создается модель. Объект моделирования и предмет моделирования могут совпадать полностью или частично.

Сферы существования объектов моделирования

Многообразие объектов моделирования невозможно представить списками конкретных перечислений. Однако мы можем указать некоторые сферы, в рамках которых такие объекты моделирования существуют. Назовём в качестве примера следующие.

Объекты относятся к микромиру, т.е. их размеры слишком малы для непосредственного изучения при помощи сенсорных приборов человека. К таким объектам можно отнести атомы, молекулы, живые субъектные и клеточные структуры и т.п.

Объекты относятся к макромиру, т.е. их размеры слишком велики для сенсорных приборов человека; в данном случае в качестве примера можно указать системы биоценоза, ноосферу, экономическую систему страны, геологические процессы, атмосферные процессы и прогнозы, планетарные процессы и системы и т.д.

Объекты относятся к сложным или очень сложным системам по отношению к разрешающей способности витального головного мозга человека (ГМЧ). У таких систем, определяемых как объект моделирования, количество компонентов и связей между ними, а также число состояний, в которых такой объект может находиться, достаточно велико. Количественная оценка подлежащих моделированию компонентов и связей между ними оценивается величинами, имеющими порядок $k > 1 * 10^4$, а число состояний, в которых может находиться объект, имеет порядок $q > 1 * 10^5$

2. Методы моделирования в деятельности специалиста

Моделирование, как теоретико-экспериментальной вид деятельности, в настоящее время имеет многочисленный арсенал методов и средств, занимающих обширный спектр между теорией и экспериментом, от абстрактных математических моделей до физических моделей-копий (рисунок 1). Представленная на рисунке шкала отражает полный спектр методов модельной деятельности человека от мысленно (ментально) представляемого виртуального образа до физического – реального объекта.

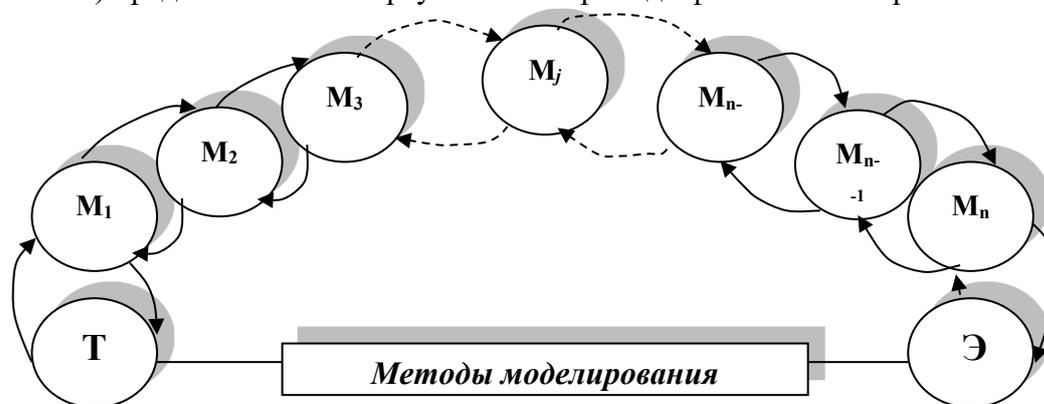


Рис. 1. Схема спектра методов моделирования

Широкий спектр научных и практических задач, ориентированных на решение методами моделирования, многочисленность методов моделирования, применение которых во многом зависит от предметной области и целей задачи моделирования, как правило, требуют создания проблемно-ориентированного инструментария для их решения, т.е. соответствующих моделей, а также высокообразованных специалистов (экспертов). Возникающие сложности модельной деятельности в определённой степени снижаются посредством создания имитационных моделей и модельных программных комплексов, реализованных на основе модульного подхода программно-алгоритмическими средствами. Дальнейшее развитие методологии и технологии моделирования возможно на основе ограниченного количества типов унифицированных программных модулей, в основу создания которых положены единые принципы и единая унифицированная концептуальная схема. Такой подход особенно эффективен при моделировании больших и сложных систем.

3. Базовый комплекс системы моделирования

Как уже отмечалось, сферой применения моделирования является познавательно-созидательная деятельность человека. Одними из объективных критериев, определяющих целесообразность и эффективность использования моделирования, являются потребности. В соответствии с потребностями определяются, цели и задачи, а также объект моделирования. При этом важное значение имеет адекватность и релевантность используемых методов, технологий и средств моделирования, позволяющих достигнуть априори заявленных целей. Так, например, модельный подход к решению сложных системных задач целесообразен и эффективен в тех случаях, когда объект моделирования функционирует в существенно отличающихся от физиологически воспринимаемых человеком временных (хронотронных) масштабах т.е. натурные процессы протекают слишком быстро (выстрел, взрыв, радиоактивные процессы и т.п.) или, наоборот, слишком медленно (климатические изменения, тепловые процессы, химические превращения, эволюционные процессы в живой природе и т.п.). Анализ моделирования, как одной из базовых методологий познавательно-созидательной деятельности, приводит к минимально возможной структуре системы. Такая система включает в свой состав три компонента: объект-оригинал, субъект модельной деятельности и модель оригинала. Объект-оригинал был уже рассмотрен ранее. Теперь определим два других компонента.

Субъект моделирования – это специалист (эксперт) или группа специалистов (коллектив), профессионально реализующий задачи создания и использования моделей для достижения определенных познавательно-созидательных целей. Субъекта, реализующего функции моделирования, в дальнейшем изложении будем называть экспертом по моделированию (ЭМ).

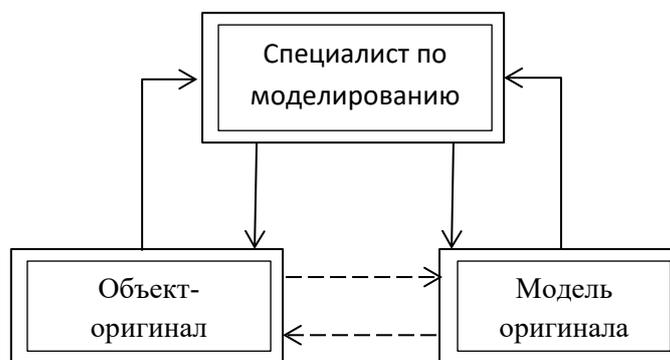


Рис. 1. Структурная схема системы моделирования

Модель – это материальный или идеальный объект, целенаправленно отображающий те или иные аспекты и атрибуты другого – материального или идеального объекта, называемого оригиналом, интерпретируемый в терминах и показателях этого оригинала и дающий возможность получать адекватно-релевантные новые сведения (информацию) об объекте-оригинале.

Приведённое определение понятия модели сформулировано с учётом рассмотренного ранее понятия «моделирование». В базовой триаде, схема которой представлена на рисунке 2, отражены отношения между компонентами. Сплошными линиями обозначены непосредственные связи, а пунктирными опосредованные отношения. Анализ минимальной структуры системы моделирования (см. рис. 2) удобно проводить при помощи граф-схемы, представленной на рис. 3

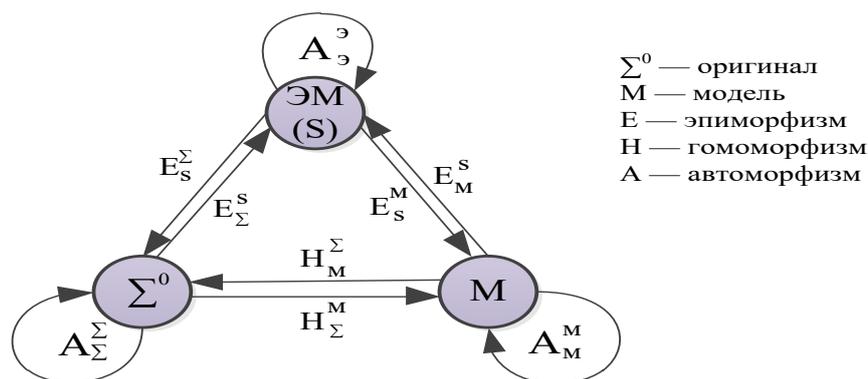


Рис. 3. Граф-схема системы отношений между компонентами триады «Эксперт-Объект-Модель»

- E_S^{Σ} - воздействие эксперта на объект моделирования;
- E_{Σ}^S - получение информации от объекта-оригинала;
- E_S^M - воздействие эксперта на модель;
- E_M^S - получение информации от модели;
- H_M^{Σ} - сравнительный анализ модели с оригиналом, модель – ведущий компонент;
- H_{Σ}^M – сравнительный анализ оригинала с моделью, оригинал – ведущий компонент.

На граф-схеме (см. рисунок 3), помимо комплекса эпиморфных бинарных отношений, определены автоморфные унарные отношения. Эти отношения отражают сущность и функциональную роль в триаде каждого из её компонентов. Определим эти отношения:

A_M^M - анализ модели с точки зрения её функционального назначения, решаемых и задач, структурной организации, возможностей и степени адекватности по отношению к оригиналу.

A_3^{Σ} - анализ степени компетентности эксперта относительно конкретной ситуации, оценка уровня знаний и умений, а также практического опыта.

A_{Σ}^{Σ} - внешний и внутренний анализ объекта-оригинала, а также его окружающей среды с учётом потребности в моделировании на основе отношения функционального назначения.

Перечисленный выше комплекс автоморфных унарных и эпиморфных бинарных отношений, таким образом, отражает полную совокупность видов деятельности эксперта по моделированию. Для моделирования систем, относящихся не только к

перечисленным выше сферам деятельности человека, а также к антропогенным, социальным и экономическим, в настоящей работе рассматривается подход, основанный на *методе задачной технологии*. В основу создания метода были положены *принцип деятельности в совокупности с концептуальной моделью задачи*.

4. Деятельность специалиста по моделированию: анализ и описание

Понятие «*деятельность*» охватывает всю совокупность процессов, связывающих «*деятеля*», т.е. эксперта, с окружающей его средой. Деятельность эксперта проявляется как форма его активности. По А.Н. Леонтьеву, в процессе деятельности субъекта совершается отображение внешнего объекта в субъективную, прагматично воспринятую форму, т.е. в его внутреннее представление. В качестве предмета моделирования могут выступать и идеальные, в частности, мысленно представляемые образы реальных объектов, или мысленные образы сформированных субъектом синтетических идеальных объектов. В таких случаях мыслительная творческая деятельность эксперта дополняется его ренальной модельной деятельностью, основанной на соответствующих технологиях средствах моделирования.

Под деятельность специалиста по моделированию будем понимать целенаправленное активное взаимодействие эксперта с окружающей его действительностью – внешней средой, включающей в свой состав предмет моделирования. В процессе такого взаимодействия эксперт выступает как **субъект**, целенаправленно воздействующий на **объект** и, таким образом, на основе *отношения функционального назначения* (ОФН) удовлетворяющий свои потребности, т.е. в данном рассмотрении реализующий функции моделирования. Рассмотрим существенные свойства понятий, определяющих предметы модельной деятельности эксперта (МДЭ). Деятельность специалиста в области моделирования может быть определена на основе системы отношений, полученных на граф-схеме триады «Объект-Эксперт-Модель» (см. рисунок 3). Однако такой подход не отражает полного набора видов деятельности по моделированию. Более полный перечень видов деятельности эксперта представлен на рисунке 4.

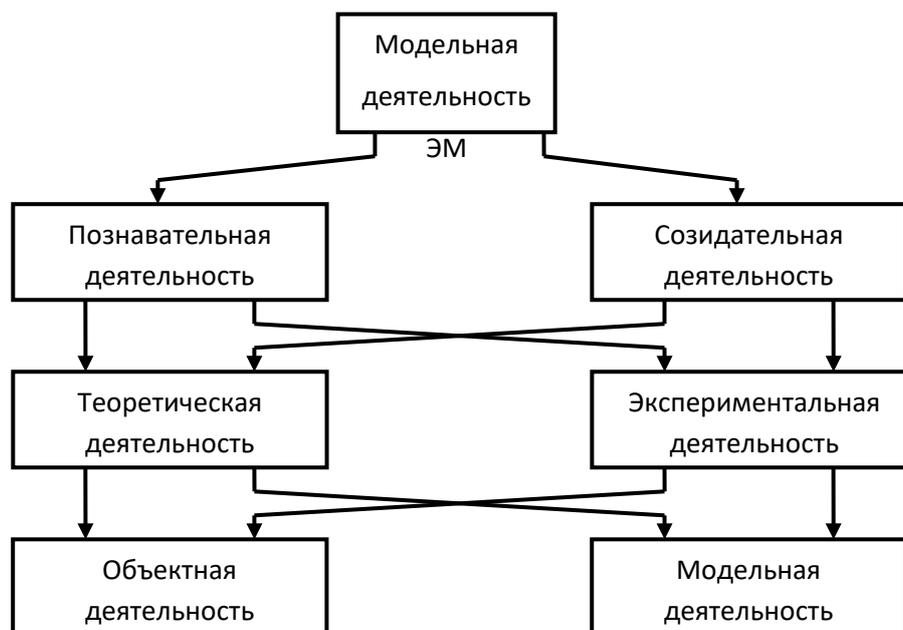


Рис. 4. Схема классификации видов и форм деятельности специалиста в области моделирования

Замечание. Следует отметить, что используемые в работе понятия «познавательная» и «созидательная» виды деятельности имеют широкое толкование и в, частности, могут быть истолкованы как «аналитическая» и «синтетическая» деятельность.

Далее, как это следует из схемы, каждый обозначенный вид деятельности эксперта может осуществляться любым обозначенным ниже способом. Например, познавательная теоретическая деятельность может быть направлена как на объект-оригинал, так и на модель. Рассмотрим более подробно представленные на схеме виды деятельности.

Теоретическая деятельность основана на использовании фундаментальных законов природы, а также принципов и методов решения задач моделирования. При этом используются уже существующие теории, методы математики, физики, химии, информатики, также, если это необходимо, специально разрабатываемые теории для решения задач моделирования. Отметим, что одним из эффективных ментальных инструментов создания теорий выступает метод гипотез.

Экспериментальная деятельность. Экспериментальная деятельность выступает как источник фактологической информации. Принято различать: пассивный и активный натурные эксперименты, реализуемые на объектах-оригиналах и его аналогах; мысленные эксперименты, реализуемые на ментальных моделях, и модельные эксперименты, осуществляемые на научно обоснованных реальных моделях. В модельных экспериментах осуществляются решения задач с поиском не только рациональных, но и оптимальных результатов их решений. Получаемые данные таких экспериментальных исследований могут использоваться для осуществления других видов деятельности, в том числе для получения дополнительной информации, позволяющей строить более полные и точные модели.

Модельная деятельность. Как отмечалось выше, деятельность, в общем случае, определяется как **активное взаимодействие человека с окружающим реальным миром, в ходе которого он выступает как субъект, целенаправленно воздействующий на объект и удовлетворяющий таким образом свои потребности.** При этом понятие «деятельность» охватывает всю систему процессов, связывающих «деятеля» (субъекта) с окружающей его средой. Очевидно, **что деятельность специалиста в области моделирования, направленную на реализацию целей и задач, реализуемых методами моделирования, определим как модельную.** Спецификой модельной деятельности является то, что она связана по меньшей мере с двумя предметными областями (ПО). К первой относится всё то, что непосредственно связано с теорией, принципами, методами, алгоритмами и средствами моделирования. В рамках второй ПО формируется информация о конкретном объекте моделирования, данные для проведения модельного эксперимента, а также проводятся исследования конкретной задачи на модели. Модельная деятельность в общем случае может осуществляться как индивидуально, так и коллективно. При индивидуальной модельной деятельности (ИМД) эксперт – это специалист и по моделированию, и по предметной области объекта моделирования. В случае коллективной модельной деятельности (КМД), взаимодействуют по меньшей мере два специалиста: эксперт по моделированию (ЭМ) и эксперт по предметной области – «предметник» (ЭП). В общем случае модельная деятельность характеризуется основными стадиями процесса моделирования: определением и анализом (исследованием) объекта моделирования (оригинала), созданием (синтезом) модели, использованием (анализом) модели при решении тех или иных модельных задач. Конечным результатом первой стадии является необходимая для построения модели совокупность сведений (данных и знаний), определяемая как содержательное описание объекта моделирования. Итогом

реализации второй стадии должно быть формализованное описание, а при соответствующей интерпретации и конкретная модель. В результате выполнения третьей стадии формируется решение задачи моделирования.

Таким образом, *модельная деятельность – это умственная (когнитивно-ментальная), теоретическая и экспериментальная целенаправленная деятельность специалиста (эксперта), связанная с решением в условиях неполноты информации неопределенных, некорректных, неформализованных сложных задач анализа и синтеза на основе принципов, методов, алгоритмов, а также теории, методологии и технологии моделирования.* Структурная схема, отражающая рассмотренные выше виды деятельности специалиста по моделированию, представлена на рисунке 5.

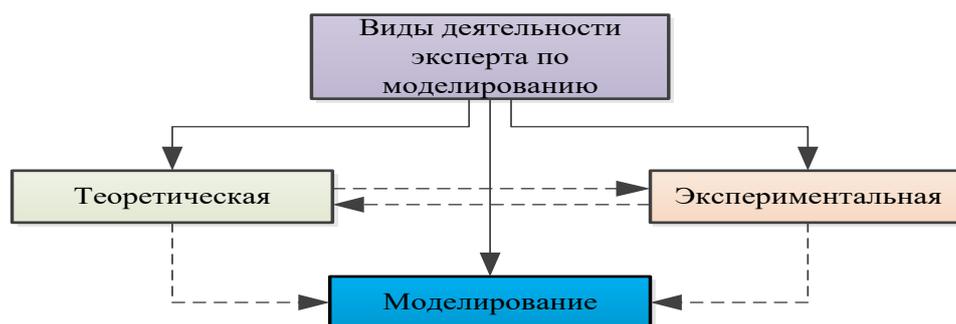


Рис. 5. Виды деятельности эксперта по моделированию

5. Диаграмма модельной деятельности

Рассмотренные выше компоненты МДЭ в результате целенаправленного синтеза, основанного на логико-функциональных отношениях, объединяются в единую, целостную систему, схема которой представлена на рисунке 6 и может быть названа *первичной диаграммой*. Структурная схема включает в свой состав основополагающие компоненты и, следовательно, такая диаграмма на основе рассмотрения отношений между экспертом и компонентами даёт возможность провести её анализ по частям.

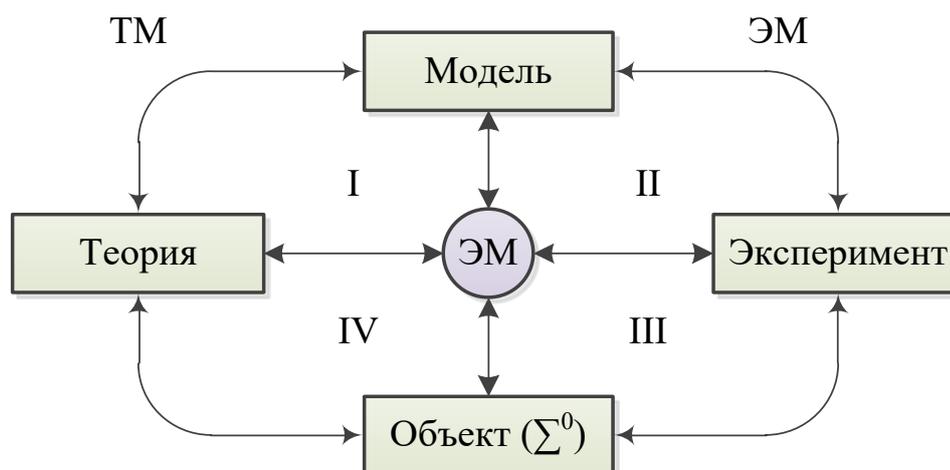


Рис. 6. Структурная схема первичной диаграммы модельной деятельности эксперта

6. Макроанализ ДМД эксперта

Структурная схема ДМД включает в свой состав основополагающие компоненты и, следовательно, может быть названа *макро-диаграммой*. Такая диаграмма даёт возможность провести её макро-анализ по частям на основе комплексного подхода. При этом будем учитывать отношения между экспертом и её компонентами. На первом этапе анализа рассматривается верхняя и нижняя, а также левая и правая половины диаграммы.

Верхняя половина схемы отражает процесс формирования модельной деятельности, основанной эмпирических знаниях эксперта, в совокупности с теоретическими и экспериментальными знаниями и данными.

Нижняя половина диаграммы связана с объектом-оригиналом. Эксперт, в зависимости от целей и задач деятельности, использует все необходимые и доступные для него ресурсы, связанные непосредственно с объектом-оригиналом, а также, если это необходимо, с объектами-аналогами. При этом характер деятельности определяется соответствующими компонентами ДМД.

Левая половина схемы отражает теоретическую деятельность, результаты которой могут быть связаны как с объектом, так и с моделью.

Правая половина схемы отражает экспериментальную деятельность. Такая деятельность может быть связана как с объектом-оригиналом, так и с моделью. Отметим, что возможны ситуации, когда, при необходимости, экспериментальную деятельность эксперт осуществляет и с моделью, и с оригиналом.

Второй этап макро-анализа осуществляется по квадрантам ДМД. Рассмотрим содержательную сущность модельной деятельности, определяемую каждым из квадрантов.

I квадрант: МДЭ на основе теоретических и эмпирических знаний эксперта. При этом имеет место *теоретическое (например – математическое) моделирование*.

II квадрант: МДЭ на основе данных модельного эксперимента. Этот квадрант отражает *моделирование по экспериментальным данным*, например, моделирование на основе регрессионного или факторного анализа.

III квадрант: отражает экспериментальную модельную деятельность, направленную на объект-оригинал. Если он существует, то имеет место натурный эксперимент, в противном случае экспериментальная деятельность специалиста направлена на вновь создаваемый объект.

IV квадрант: отражает теоретическую деятельность, направленную на существующий объект-оригинал или создаваемый вновь.

7. Комплексная диаграмма модельной деятельности

Сформированная ранее макро-диаграмма диаграмма учитывает четыре вида деятельности: теоретическую – Т, экспериментальную – Э, модельную – М и объектную – Σ . Применение конкретного вида деятельности определяется экспертом в соответствии с потребностью, а в основу последовательности действий закладывается принцип ведущего компонента. В соответствии с этим принципом, в зависимости от потребности, в качестве ведущего и ведомых может быть использован любой из указанных видов деятельности. В случае *модельной* деятельности, в качестве ведущего выступает компонент М, а ведомыми могут выступать: теоретическая, экспериментальная и объектная компоненты. Как уже отмечалось, рассмотренная ранее макро-диаграмма МДЭ отражает четыре вида деятельности эксперта по моделированию. Однако в ней не представлены: характер этой деятельности – познавательный и созидательный; обратные связи с экспертом, отражающие результаты его деятельности; а также субъектно-объектные отношения (связи): «ЭМ –

(Познание-Созидание) – (Предмет деятельности) – (Результат)». Введём эти дополнения в рассмотренную выше макро-диаграмму и с их учётом переформируем первичную диаграмму. В результате получим полную **комплексную диаграмму модельной деятельности** (КДМД) эксперта.

На первичной диаграмме каждый вид деятельности конкретизируется перечисленными выше дополнениями: двумя типами (характерами) деятельности (познавательный и созидательный) и обратными связями, обеспечивающими эксперта информацией о результатах деятельности. Таким образом, для каждого вида деятельности в структуре КДМД формируется лепесток, граф-схема которого представлена на рисунке 7.

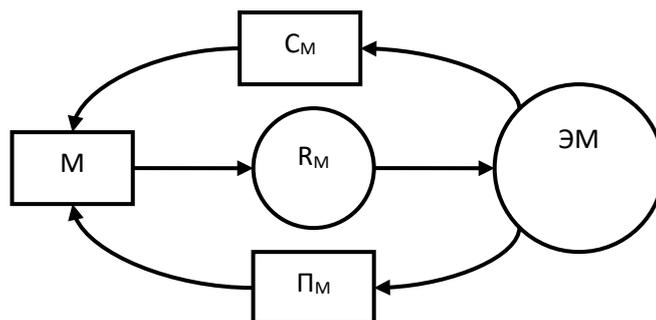


Рис. 7. Структурная схема лепестка «Модель» КДМД

Анализ структуры лепестков КДМД

Анализ структуры лепестка КДМД даёт возможность для любого варианта его реализации осуществить расщепление на две составляющих по общим вершинам. В качестве общих выступают вершина – эксперт (ЭМ) и результат (R) (рис. 8). Целевая активность эксперта может быть направлена на любую из перечисленных выше вершин. В случае, представленном на рисунке 7, это модель объекта-оригинала. Замыкание контуров активности реализуется через вершины R обратной связи (на предыдущей схеме они совмещены). Отметим, что познавательная деятельность основана на анализе, а созидательная – на синтезе. Поэтому данная схема может расщепиться на две подсхемы (схема анализа и схема синтеза).

В контуре № 1 отражается созидательная функция, которая направлена на реализацию процессов создания (синтеза) модели, а результаты R_M создания модели, как инструментального средства познавательной деятельности, представляются эксперту.

В контуре № 2 отражается познавательная функция, которая направлена на анализ модели и, следовательно, реализацию процессов познавательной деятельности. Получаемый результат R_M – это всё то, что связано с исследованием – анализом модели и описанием результатов моделирования, т.е. получением новой информации о объекте-оригинале.

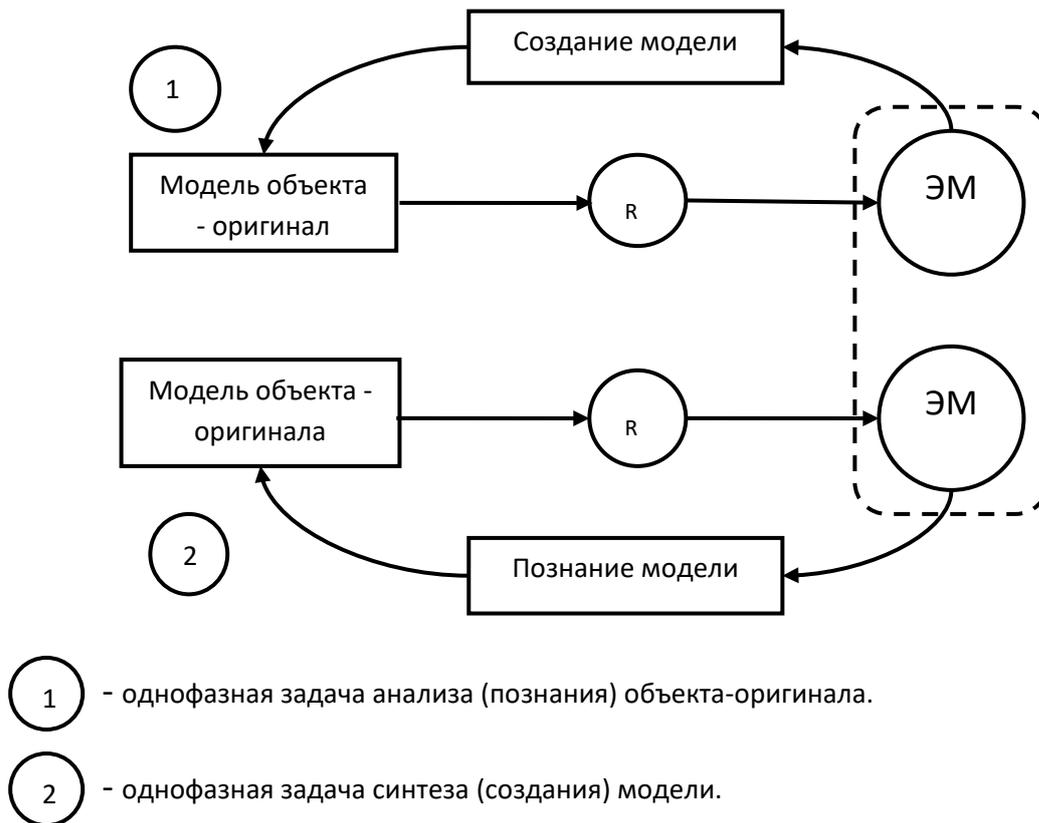


Рис. 8. Структурная схема, полученная в результате расщепления лепестка «модель»

Комплексная диаграмма модельной деятельности

В результате расширений первичной диаграммы и в соответствии с видами деятельности эксперта на основе рассмотренных лепестков формируется **комплексная диаграмма модельной деятельности** (КДМД). Она включает в свой состав четыре лепестка, каждый из которых отражает соответствующий вид деятельности. Все лепестки имеют изоструктурную схему, представленную на рисунке 7. Граф-схема КДМД в этом случае принимает вид, представленный на рисунке 9. В центре диаграммы расположена вершина «эксперт по моделированию» (ЭМ). На него замыкаются все остальные вершины, определяющие **задачи модельной деятельности**, а также полученные результаты этой деятельности. Такие задачи могут быть сформированы на основе одного или нескольких лепестков. Для их названия используем понятие «**фаза деятельности**», соответствующее одной простой (первичной) задаче. Таким образом, используя КДМД, возникает возможность формирования как однофазных задач, так и многофазных задачных структур. Для определения количества n -фазных задач воспользуемся известной формулой:

$$A_m^n = \frac{m!}{(m-n)!}$$

в которой $m=8$, – максимальное число возможных фаз, а n – число фаз, по которым определяется количество задач. Таким образом, в соответствии с расчётами по формуле, количество однофазных задач, порождаемых КДМД, равно восьми; возможное максимальное число двухфазных задач равно 56, а число двухфазных задач

моделирования составляет 14; число возможных трёхфазных – 336, четырехфазных – 1680 и т.д.

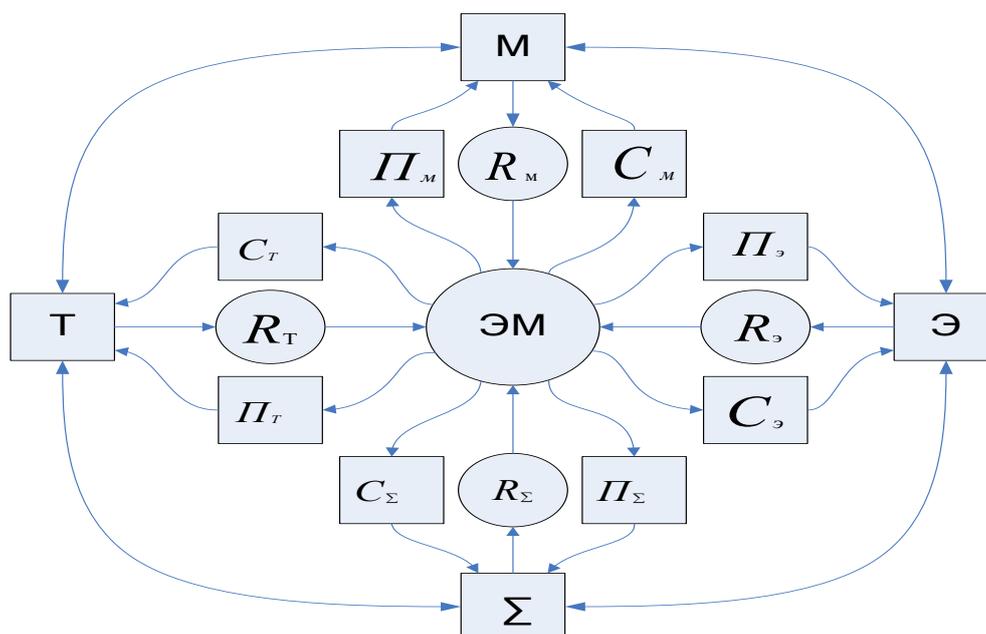


Рис. 9. Архитектурная модель комплексной диаграммы модельной деятельности эксперта

Вывод: технологию моделирования систем, основанную на однофазных задачах модельной деятельности, порождаемых КДМД, определим как задачуную технологию.

8. Задача и её концептуальная модель

В предшествующих разделах данной работы рассматривались функции, выполняемые экспертом по моделированию. Теперь нам необходимо выяснить: какие задачи решает эксперт при выполнении функций моделирования. Рассмотрим логику перехода от функции, выполняемой экспертом, к соответствующей задаче. Функции, выполняемые экспертом, определяют: «Что надо делать?» Однако они не дают ответа на вопрос: «Как это можно осуществить?». На поставленный вопрос ответ может быть получен в результате конкретизации функций эксперта посредством оформления соответствующих задач: **на созидательных этапах – задачи создания (синтеза) модели, а на познавательных этапах – задачи исследования (анализа) модели.** Таким образом, для осуществления функций эксперта по моделированию необходимо определить соответствующие этим функциям задачи моделирования. В данной работе задачи моделирования рассматриваются на основе их концептуальных моделей [1, 2].

Информационное представление задачи

Представляемое термином «задача» понятие весьма обширно. Существует широкий спектр определений этого понятия. Рассмотрим две формулировки, в определённом смысле удовлетворяющих контексту настоящей работы. Известный математик Д. Пойа [3] определяет задачу как **«необходимость сознательного поиска соответствующего средства для достижения ясно видимой, но непосредственно недоступной цели».** Второе определение несёт в себе психологический оттенок [4].

Задача — это заданная в определённых условиях цель деятельности, которая должна быть достигнута преобразованием этих условий согласно определённой процедуре.

Приведённые формулировки понятия задачи включают конструктивные элементы и могут быть использованы как рабочие.

Информационный анализ задачи

Задача как продукт интеллектуальной деятельности мозга всегда является информационным объектом. Однако, в зависимости от сферы деятельности, в которой реализуется эта задача, результат её решения может быть как идеальным, так и материальным. Для сложных задач материальный и идеальный результаты её решения могут существовать одновременно, дополняя друг друга в различных соотношениях. Исходя из представления, что изначально задача – информационный объект, рассмотрим её содержательное определение на основе информационного подхода. С информационной точки зрения под задачей принято понимать: *осознанную, в соответствии с целью деятельности, необходимость определения непосредственных связей (отношений) между двумя или более информационными совокупностями, которые на начальном этапе рассмотрения, т.е. в исходном состоянии, в явном виде между собой не связаны, однако декларативно известно, что при определённых условиях такие связи (отношения) существуют и могут быть определены.*

В развитие приведённого определения отметим, что одна из информационных совокупностей идентифицирует область определения задачи – её исходные данные; вторая – определяет область значений – результаты решений задачи, а третья отражает условия, при которых устанавливаются связи, т.е. конкретизируются отношения между исходными данными и целью задачи – результатом её решения. Кроме того, учитываются опосредованные неявные связи (отношения), оказывающие соответствующие влияния на исходные информационные области.

9. Концептуальное модельное представление задачи

В данной работе используется концептуальная модель задачи. Достаточно подробный материал по этому вопросу опубликован в статьях [3, 4]. Создание концептуальной модели задачи основано на её знаковом описании и представляется семиотической системой. Такое представление осуществляется на основе методов теории систем и, в частности, системно-комплексном (СК) анализе. Очевидно, что в этом случае задача выступает как системный объект, т.е. как совокупность целенаправленно взаимосвязанных и взаимодействующих компонентов. При таком подходе появляется возможность выявить наиболее существенные аспекты и компоненты как внешней среды задачи, в рамках которой она возникла и существует, так и её внутреннего «устройства». С учётом предлагаемого подхода введём определение системной задачи.

Определение. Системная задача – целенаправленно организованная совокупность её внутренних взаимосвязанных и взаимодействующих компонентов, совместное функционирование которых при заданных условиях направлено на достижение конечного результата решения задачи, т.е. цели.

10. Концептуальная модель системной задачи и её описание

Системный анализ в данном случае предполагает введение в рассмотрение двух взаимосвязанных объектов: собственно самой системной задачи и окружающей эту задачу внешней среды её существования (см. рис. 9). Следовательно, описание

системной задачи будет определяться двумя частями: внешним описанием и внутренним. Перейдём к рассмотрению этих описаний.

Внешнее описание системной задачи

Первым шагом на пути к описанию задачи, а как следствие, и к формированию концептуальной модели такой задачи (КМЗ), должно быть признание факта существования определённой потребности. На следующем шаге необходимо определить предмет или объект потребности. Задача возникает и существует в окружающей её среде Σ_p . Если свойства и характеристики среды Σ_p известны, то они задаются при внешнем описании задачи. Исходя из представлений, что задача P_Σ существует в тех случаях, когда определена среда Σ_p существования задачи P_Σ (см. рис. 1); известны или определены: потребность, противоречие, проблемная ситуация, проблема, а также сфера, предметная область и объект деятельности, в рамках которых рассматривается задача P_Σ ; определена и описана цель Z_p , под которой будем понимать модель желаемого идеализированного (эталонного) результата R_p^\exists решения задачи P_Σ ; в рамках области определения (см. рис. 3) выявлено, целесообразным образом сгруппировано и в удобной форме представлено необходимое для решения задачи P_Σ её информационное обеспечение I_p , которое включает исходные данные D_p и априорные знания K_p о среде и задаче, используемые для получения результата R_p её решения, определяемого целью Z_p ; когда известны, определены или сформулированы условия C_p , конкретизирующие отношения между исходной информацией $I_p = \langle D_p, K_p \rangle$ и целью Z_p – идеализированным (эталонным) результатом R_p^\exists решения рассматриваемой задачи. С учётом перечисленных аспектов, определяющих внешние условия существования задачи P_Σ , её семиотическое (символьное) представление в форме концептуальной модели определится кортежем (четвёркой) вида:

$$P_\Sigma = \langle \Sigma_p, Z_p, C_p, I_p \rangle. \quad (1)$$

Внутреннее описание системной задачи

Концептуальная модель, представленная записью (1), отражает внешний «взгляд» на задачу как целостную систему. Входящий в эту модель компонент C_p определяет условия задачи и отражает (с внешней точки зрения) факт необходимости существования связей или отношений между целью Z_p и исходными данными I_p^* задачи P_Σ . Содержание и структура условий C_p – проблема внутреннего (интроспективного) анализа задачи P_Σ . Как уже отмечалось, они конкретизируют связи (отношения) между требуемым результатом R_p , характеризуемым целью Z_p задачи P_Σ и исходной информацией I_p^* . Чётко сформулированные условия C_p декларируют

существование связей (отношений) между известным – исходной информацией I_p и неизвестным – результатом R_p ; констатируют «что необходимо» для получения желаемого результата R_p решения задачи P_Σ , а также определяют требования к этому результату R_p^\ominus , т.е. каким условиям, задаваемым комплексным показателем T_p , этот результат должен удовлетворять. С учётом перечисленных особенностей рассмотрим условия C_p системной задачи P_Σ на основе анализа её внутреннего «устройства» т.е. таких внутренних компонентов, которые на концептуальном уровне представления инвариантны конкретным задачам $\{P_\nu : \nu = 1, \dots, N_p\}$. Анализ условий C_p решения системной задачи P_Σ даёт возможность в качестве базовых инвариантных внутренних компонентов, определяющих такие решения, выделить: метод – M_p , алгоритм – A_p , программу – P_p и показатель адекватности – T_p . Рассмотрим каждый из этих компонентов.

Метод M_p решения системной задачи P_Σ определяет, что надо делать для получения результата R_p . Однако, метод M_p не отражает возможностей и средств реализации требуемого решения для получения результата R_p . В содержательном аспекте метод M_p представляет совокупность принципов, способов и приёмов, направленных на достижение теоретических или практических результатов.

Алгоритм A_p – предназначен для реализации метода M_p решения задачи P_Σ . По определению, алгоритм представляется логически завершённое предписание – процесс, ведущий от исходных данных к искомому результату – R_p .

Программа P_p — реализации алгоритма A_p , как правило, ориентирована на компьютерные технологии. По отношению к ЭВМ программа определяет упорядоченную последовательность инструкций (или команд), подлежащих выполнению.

Адекватность T_p – ещё один компонент, входящий в состав условий C_p , отражающий качественные и количественные требования к результату R_p решения задачи P_Σ . Адекватность T_p – комплексный показатель, определяющий максимально допустимое несоответствие между идеальным (эталонным) R_p^\ominus и действительным (реальным) R_p^\odot результатами решения системной задачи P_Σ . С учётом выделенных и описанных в рамках условий C_p^Σ компонентов, отражающих внутреннее содержание задачи P_Σ , определим концептуальную модель внутреннего описания системной задачи в форме семиотической модели вида:

$$C_p = \langle M_p, A_p, P_p, T_p \rangle. \quad (2)$$

Концептуальная модель полного описания задачи

Проведённый анализ, результаты которого представлены концептуальными моделями внешнего (1) и внутреннего (2) описаний задачи P_{Σ} , дают возможность сформировать концептуальную модель полного описания задачи P_{Σ} . Такая модель представляется семиотической системой, состоящей из кортежей (1) и (2), взаимосвязь между которыми реализуется через компонент C_P – условия задачи P_{Σ} :

$$\left. \begin{aligned} P_{\Sigma} &= \langle \Sigma_P, Z_P, C_P, I_P \rangle \\ C_P &= \langle \mathcal{M}_P, \mathcal{A}_P, \mathcal{P}_P, \mathcal{T}_P \rangle \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Концептуальную модель, представленную системой (3), возможно и целесообразно доопределить посредством конкретизации некоторых элементов кортежей. Как уже отмечалось, информация I_P^* включает данные D_P и знания K_P . Следовательно, она может быть задана двойкой:

$$I_P^* = \{D_P, K_P\}. \quad (4)$$

Адекватность \mathcal{T}_P определяется через посредство двух комплексных показателей: качества – Q_{WP} и эффективности – E_{FP} . Показатель качества Q_{WP} характеризует степень близости реального результата R_P^{∂} решения задачи P_{Σ} к теоретически обоснованному эталонному (идеальному) R_P^{∂} . Показатель эффективности E_{FP} определяет комплексные затраты – «цену», необходимую для достижения заданного качества Q_{WP} . Адекватность \mathcal{T}_P может быть, следовательно, представлена кортежем, включающим два компонента

$$\mathcal{T}_P = \langle Q_{WP}, E_{FP} \rangle. \quad (5)$$

Таким образом, с учётом дополнительной конкретизации, концептуальная модель полного описания задачи P_{Σ} определяется системой кортежей (3), (4) и (5), взаимосвязанных друг с другом через соответствующие компоненты и представляется системой кортежей (6):

$$\left. \begin{aligned} P_{\Sigma} &= \langle \Sigma_P, Z_P, C_P, I_P \rangle \\ C_P &= \langle \mathcal{M}_P, \mathcal{A}_P, \mathcal{P}_P, \mathcal{T}_P \rangle \\ I_P &= \langle D_P, K_P \rangle \\ \mathcal{T}_P &= \langle Q_{WP}, E_{FP} \rangle \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Следует отметить, что каждый компонент кортежей системы (6) – это многосортные множества, которые могут расщепляться на более мелкие компоненты или элементы, образуя более конкретные семиотические модели.

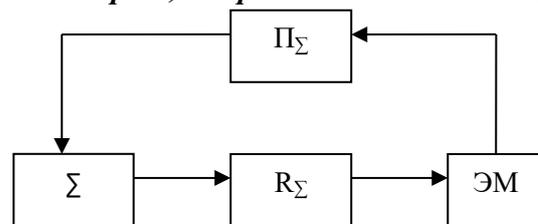
Замечание. Система кортежей (6) как по своему составу, так и по содержательному наполнению на концептуальном уровне, удовлетворяет условиям полноты и целостности, а также необходимости и достаточности концептуального модельного представления системной задачи P_{Σ} .

11. Задачи модельной деятельности эксперта

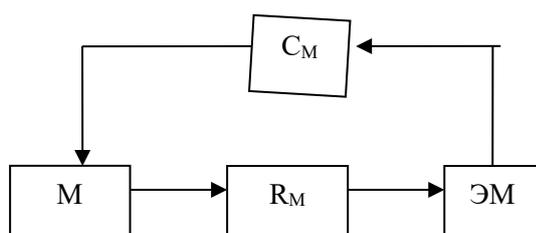
Однофазные задачи – как «гены» задачных технологий. Выделенные и представленные в форме КДМД виды (направления) и характер деятельности эксперта позволили сформировать полный набор из восьми первичных – однофазных – задач. Такие задачи определим как базовые, поскольку они лежат в основе синтеза многофазных задач. Все однофазные (первичные) задачи являются изолированными (закрытыми) и формируются на основе эмпирических знаний эксперта. Первичные задачи можно рассматривать как «своеобразный алфавит» некоторого языка, позволяющего по определённым правилам порождать задачные последовательности – «слова» и «предложения». Допустима и другая аналогия: первичные – однофазные задачи уподобляются «своеобразным генам» ДНК, образующим при взаимных связях «генетические цепочки». Вступая во взаимосвязи, однофазные задачи образуют различные комбинации многофазных задачных последовательности – задачные структуры. Формирование задачных структур осуществляется в соответствии со стратегиями развития процесса моделирования – логико-структурными схемами деятельностного процесса. В свою очередь, логика задачных структур определяется стратегией целенаправленного развития конкретного вида деятельности. С учётом изложенных выше положений перейдём к рассмотрению базовых компонентов задачных технологий – однофазных задач.

Задача P^1_1 : познавательная деятельность эксперта, направленная на объект-оригинал. Исследование (анализ) объекта моделирования осуществляется с целью более полного формирования его содержательного описания. Структура аналитической деятельности эксперта задаётся вершинным маршрутом, сформированным на основе схемы однофазной задачи (см. рисунок)

$$\langle \text{ЭМ} \rightarrow A_{\Sigma} \rightarrow \Sigma \rightarrow R_{\Sigma} \rightarrow \text{ЭМ} \rangle.$$



Анализ проводится целенаправленно, в соответствии с целями и задачами моделирования. Эксперт исследует (анализирует), как мысленно (ментально), так и реально систему – объект моделирования и его окружающую внешнюю среду (если они существуют физически). Исследование проводится на основе *отношения функционального назначения* (ОФН), в соответствии с которым предмет моделирования вычленил из исходной системы – среды объекта оригинала. Далее, в соответствии с целями и задачами, осуществляется внутренний анализ непосредственно объекта-оригинала. В результате такого анализа формируется информационный образ объекта-оригинала. При этом результаты анализа должны удовлетворять требованиям необходимости и достаточности по критериям полноты и целостности хотя бы для создания первичной (грубой) модели. В противном случае используются новые методы и привлекаются дополнительные источники информации, увеличивающие глубину анализа, расширяющие информацию о моделируемом объекте.



Задача P^1_2 : созидательная деятельность, ориентированная на синтез модели. Рассматриваемая задача ориентирована на создание модели на основе эмпирических знаний эксперта. Вершинный маршрут такой задачи задаётся последовательностью, представленной на рисунке:

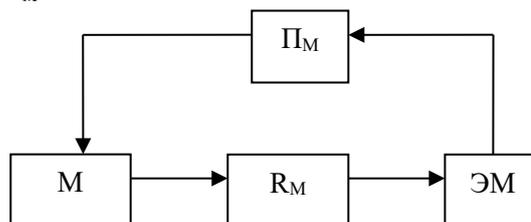
$$\langle \mathcal{EM} \rightarrow C_M \rightarrow M \rightarrow R_M \rightarrow \mathcal{EM} \rangle.$$

Процесс создания модели формируется для случая изолированного рассмотрения задачи на основе эмпирических знаний эксперта. При этом актуализируется моделирующая функция головного мозга. Как следствие, процесс решения задачи создания модели осуществляется на когнитивно-ментальном уровне и реализуется в форме мысленного образа желаемой модели.

Задача P^1_3 : познавательная деятельность, основанная на использовании модели. Рассматриваемая задача предполагает целенаправленное проведение исследований на модели с целью получения новой информации (знаний и данных), порождаемой моделью. Как и в предшествующих случаях, процесс использования модели определяется структурной схемой, на основе которой формируется вершинный маршрут, отражающим цикл действий эксперта (см. рисунок):

$$\langle \mathcal{EM} \rightarrow A_M \rightarrow M \rightarrow R_M \rightarrow \mathcal{EM} \rangle,$$

Для исследования изолированной задачи действия эксперта определяются его эмпирическими знаниями. Процесс исследования модели может осуществляться двояко: либо посредством пассивного наблюдения поведения модели в определённых режимах, либо активного эксперимента,



Задача P^1_4 : отражает созидательную экспериментальную деятельность.

Данная задача, в соответствии с заранее известными целями, предполагает создание плана (программы) проведения экспериментальных исследований, реализуемых пассивными и/или активными методами. Пассивный эксперимент осуществляется, например, посредством наблюдения за поведением модели или объекта-оригинала. Активный эксперимент связан с воздействием эксперта на объект исследования. Данная задача возможности планирования активного эксперимента предполагает использование методов математической теории. Схема формирования деятельности эксперта по созданию плана или программы эксперимента задаётся вершинным маршрутом:

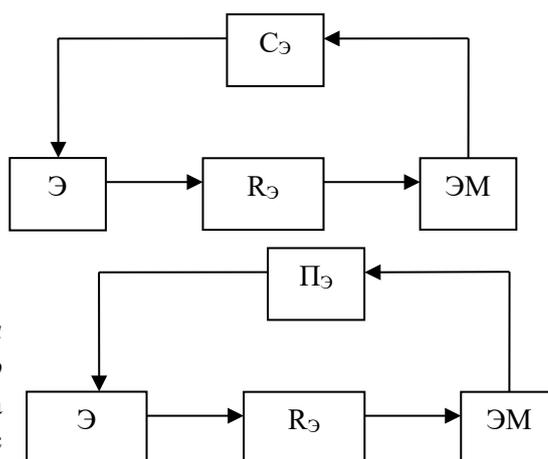
$$\langle \mathcal{EM} \rightarrow C_3 \rightarrow \mathcal{E} \rightarrow R_3 \rightarrow \mathcal{EM} \rangle.$$

Эксперт по моделированию и, если это необходимо, вместе со специалистом-предметником, разрабатывают и осуществляют план (программу) организации и целенаправленного проведения экспериментальных исследований.

Задача P^1_5 : ориентирована на накопление новых знаний и данных, получаемых в результате проведения модельного эксперимента согласно разработанному плану. Данная задача реализуется циклически в соответствии с вершинным маршрутом:

$$\langle \mathcal{EM} \rightarrow A_3 \rightarrow \mathcal{E} \rightarrow R_3 \rightarrow \mathcal{EM} \rangle.$$

Она отражает случай проведения экспертом модельного эксперимента и, при вариации данных решаемой задачи, накопления полученных результатов моделирования, их анализ, предварительную оценку и, если это необходимо,



коррекцию плана, а также модели. Результаты таких экспериментов могут быть использованы для осуществления других видов деятельности, необходимых для решения задач моделирования.

Задача P^1_6 : *целенаправленная познавательная деятельность эксперта, реализуемая посредством освоения теоретических аспектов, связанных с решением задачи моделирования.*

Структурная схема познавательной деятельности эксперта представлена на рисунке, а вершинный маршрут задаёт последовательность:

$\langle \text{ЭМ} \rightarrow A_T \rightarrow T \rightarrow R_T \rightarrow \text{ЭМ} \rangle$.

Данная задача предполагает возможность расширения экспертом своих знаний посредством изучения конкретных, необходимых, для работы с моделью существующих теорий, основанных на фундаментальных законах природы, а также соответствующих принципов и методов.

Задача P^1_7 : *отражает созидательную деятельность эксперта, ориентированную на теоретический синтез как самой модели, так и на создание требуемых объектов по результатам моделирования.* Структуру задачной деятельности отражает схема, представленная на рисунке, а сама деятельность задаётся вершинным маршрутом:

$\langle \text{ЭМ} \rightarrow C_T \rightarrow T \rightarrow R_T \rightarrow \text{ЭМ} \rangle$.

Задача P^1_8 : *создание модельных версий объекта – оригинала.*

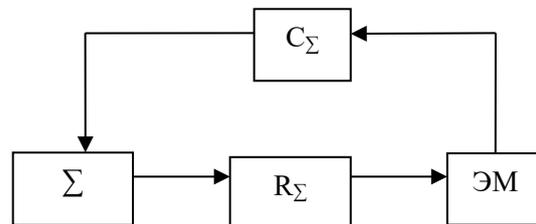
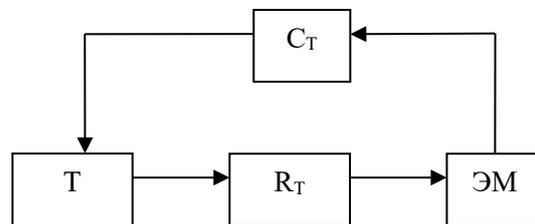
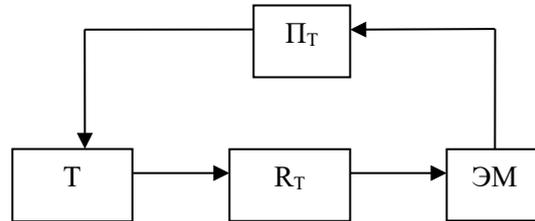
Эта задача по своей сущности аналогична задаче автоматизации проектирования (САПР). В САПР компонент моделирования – это ведущая подсистема. Траектория деятельности эксперта для задачи создания модельной версии объекта-оригинала определяется вершинным маршрутом в соответствии со схемой, представленной на рисунке:

$\langle \text{ЭМ} \rightarrow C_\Sigma \rightarrow \Sigma \rightarrow R_\Sigma \rightarrow \text{ЭМ} \rangle$.

Данная задача рассматривает случай, когда для создания физически не существующего объекта-оригинала разрабатывается проект, а если он существует, то, например, необходима модернизация. Таким образом, в данном разделе определены восемь однофазных задач, которые в дальнейшем используются как базовые компоненты более сложных задачных структур. Такие структуры, целенаправленно организованные в соответствии с той или иной стратегией и методом моделирования, выступают в качестве концептуальных моделей задачных технологий моделирования.

Заключение

Метод задачных технологий косвенно связан с существующими методами и технологиями моделирования сложных объектов. Его практическая реализация хорошо согласуется с модульным подходом, при котором каждой однофазной (базовой) задаче ставится в соответствие программный модуль. Формирование задачных структур



моделирования осуществляется посредством сопряжения однофазных задач в двухфазные, количество которых для целей моделирования составляет четырнадцать (семь для создания модели и семь при её использовании). В тех случаях, когда определена стратегия моделирования и построена её логическая модель, задачная структура моделирования формируется в соответствии с этой стратегией. Следует отметить, что предлагаемый метод отражает не только задачную технологию моделирования. В соответствии с КДМД, он может быть использован и для других видов научной и инженерно-технической – интеллектуальной деятельности специалистов, определяемых базовыми компонентами комплексной диаграммы. Полная совокупность однофазных задач, сформированная и используемых для конкретных типов или отдельно взятых практических задач, может рассматриваться как конкретный «геном» и храниться в банке данных «задачных геномов», структура хранения которых определяется либо конкретным пользователем, либо держателем *банка данных задачных «геномов»*.

Литература

1. **Пойа Д.** Математическое открытие. Решение задач: основные понятия, изучение и преподавание. – М.: Наука, 1976. – 448 с.
2. **Спирidonov В.Ф.** Психология мышления: Решение задач и проблем: Учебное пособие. – М.: Генезис, 2006. – 319 с.
3. **Нечаев В.В.** Концептуальное модельное представление задачи как системы // Информационные технологии. – 2009. – № 9 (157). – С. 26-32.
4. **Нечаев В.В.** Раскрытие неопределенности системной задачи, представленной концептуальной моделью // Информационные технологии. – 2012. – № 12 (157). – С. 46-52.