

# Квалиметрия и анализ качества моделей и полимодельных комплексов

Е. С. Чуева

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Финуниверситет), Financial University  
chuevae@mail.ru

**Аннотация.** В современных реалиях, к сожалению, проблема многокритериальной оценки качества среди математических и любых других моделей, оценки состояния и упрощения различных классов моделей, выбора моделей с целью решения конкретных практических задач остаётся мало исследованной. Данная проблема становится ещё актуальнее в случае, когда подвергающийся исследованию объект описывается не одной моделью, а целым полимодельным комплексом, частями которого, в свою очередь, являются разные по составу и комбинированные модели.

**Ключевые слова:** модели; комплекс; полимодели; моделирование; квалиметрия

На сегодняшний день математическое моделирование становится универсальным способом и инструментом изучения, анализа и проектирования объектов в самых разных сферах. Благодаря тенденции к усложнению вышеупомянутых объектов, значение использования и построения моделей реально существующих объектов постоянно растёт. Само по себе моделирование как процесс исследования и разработки моделей даёт возможность минимизировать необходимости использования трудоёмких и дорогих натурных испытаний, фактически полностью отказаться от метода «проб и ошибок». Именно поэтому на данный момент математическое моделирование можно считать фактически единственным методом проектирования сложных организационно-технических систем (СОТС), которые в большинстве случаев оказываются уникальными и не имеющими альтернативы. К вышеобозначенным системам можно отнести, во-первых, системы управления (СУ) активными подвижными объектами (АПО), а также социально-экономическими, производственными и другими объектами, военно-технические системы и т.д.

В то же время, если при оценке качества моделей необходимо принимать во внимание фактор времени, упомянутая проблема приобретает дополнительную сложность. Это относится в первую очередь к тем объектам-оригиналам, у которых под действием разных причин (внешних, внутренних, объективных, субъективных) присутствует значительная структурная динамика. В подобных условиях для сохранения точности и полезности модели, следует адаптировать её параметры и структуру к динамически изменяющимся условиям. С этой целью, заблаговременно, на этапе синтеза модели в состав её структур и параметров необходимо

вводить какие-либо дополнительные элементы, которые во время использования модели предоставят возможность управлять её качеством, а также уменьшат её чувствительность и чувствительность соответствующих качественных показателей к изменениям в составе, в структуре и в содержании исходных данных.

Но в то же время для конструктивного решения проблемы оценки и управления качеством моделей (для выбора наиболее предпочтительных из них), необходимо, решить наиболее важные задачи, а именно: описать, классифицировать и выбрать системы показателей, дающих оценку качеству моделей и полимодельных комплексов; выработать обобщённое описание различных классов моделей, предоставляющее возможность установли взаимосвязи и взаимного соответствия между родами и видами моделей, а также их сравнения и упорядочивания с использованием различных метрик; выработать комбинированные техники оценки показателей качества моделей или полимодельных комплексов, заданных с помощью номинальных и порядковых шкал; выработать техники и способы по решению задач многокритериального анализа, упорядочивания и выбора самых предпочтительных моделей и контроля за их качеством.

## 1. ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА КАЧЕСТВА МОДЕЛЕЙ И ПОЛИМОДЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЕЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

На данный момент важнейшим фактором современной научно-технической революции можно считать повсеместную информатизацию и автоматизацию человеческой деятельности, производство и развитие специальных автоматизированных систем (АС и ИС). Однако, в это же время определённые информационные технологии всё больше наделяются чертами технологий промышленных, и этим обусловлено постоянное возрастание и развитие такого понятия, как качество. В соответствии с вышесказанным, за несколько последних десятилетий проблемы, вызванные оценением качества продукции, становятся объектом детальных исследований, приводящихся в такой отрасли, как качествоведение, и в её основном разделе – квалиметрии, где разрабатываются основные методы и методики количественного оценивания качества определённой продукции.

К сожалению, на данный момент, проблема оценки качества моделей, анализа и упорядочения различных их

классов, внедрения в оборот новых моделей или же поиска наиболее подходящих среди уже существующих, остаётся фактически нерешённой. Её актуальность возрастает ещё больше, когда подвергающийся исследованию объект описывается целым полимодельным комплексом, в составе которого могут находиться совершенно разные модели, каждая из которых должна быть оценена определённой системой показателей.

## II. КВАЛИМЕТРИЯ МОДЕЛЕЙ: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ

Любая корректно построенная модель содержит в себе понятие объективной истины, то есть в определённом смысле истинно отображает оригинальный объект. В то же время из-за конечности используемой модели и ограниченного количества ресурсов (временного, денежного, материального или какого-либо другого характера), выделяемых на моделирование, модель всегда лишь приблизительно отображает собой оригинальный объект. Несмотря на это, практика показывает, что обозначенные параметры модели являются вполне нормальными во время решения субъектом задач, стоящих перед ним.

Вышеизложенная информация наглядно демонстрирует, что в процессе моделирования необходимо было бы выделять следующие основные составляющие и отношения, характеризующие этот процесс: во-первых, субъекта/субъектов ( $S_{<m>}$ ), оригинальный объект ( $Ob_{<op>}$ ), саму модель ( $Ob_{<m>}$ ), среду, в которой происходит моделирование ( $CP_{<m>}$ ); а во-вторых, бинарные отношения между обозначенными элементами:  $R_{<1>}(Ob_{<op>}, S_{<m>})$ ;  $R_{<2>}(S_{<m>}, Ob_{<m>})$ ;  $R_{<3>}(Ob_{<op>}, Ob_{<m>})$ ;  $R_{<4>}(CP_{<m>}, Ob_{<op>})$ ;  $R_{<5>}(CP_{<m>}, Ob_{<m>})$ ;  $R_{<6>}(CP_{<m>}, S_{<m>})$ . Нижние индексы в обозначенных условиях обозначают персональные имена объектов или субъектов и отношений между ними. Рисунок №1 отражает возможный вариант взаимосвязи между указанными элементами.

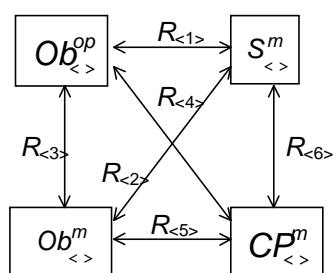


Рис. 1. Вариант взаимосвязи между элементами модели

Именно поэтому для описания подобных объектов необходимо вместо использования одной модели, проводить системное моделирование (полимодельное описание предметной области).

Анализируя данную тему, нельзя не отметить свойства заявленных выше моделей и полимодельных комплексов. Принято выделять следующие из них:

1. Адекватность – модель должна соответствовать данному свойству по отношению к определённым аспектам оригинального объекта. Адекватность можно дифференцировать на качественную, то есть, отражающую те или иные качественные аспекты оригинального объекта, и количественную, которая подразумевает под собой воспроизведение определённых характеристик объекта-прототипа с той или иной степенью точности.

2. Простота и оптимальность – данное свойство неразрывно связано с первым свойством, т.к. для достижения необходимой степени адекватности, иной раз приходится существенно усложнять модель. С другой же стороны, если предоставляется возможность выбирать между различными моделями, наделёнными примерно одинаковой степенью адекватности, наиболее целесообразно выбирать простейшую из них.

3. Гибкость (адаптивность) – это свойство подразумевает ввод в состав моделей тех структур и параметров, которые возможно изменить в конкретных диапазонах ради достижения поставленных целей.

4. Универсальность и проблемная ориентация – многократные исследования по поиску обозначенного компромисса продемонстрировали, что на данный момент разработка универсальных моделей  $Ob_{<op>}$ , с ориентацией на значительную предметную область представляет собой проблему. Поэтому целесообразней всего создавать модели, направленные на узкий класс моделируемых объектов и универсальные по поддерживаемым функциям.

Особое значение во время построения любой теории имеют методы систематизации, классифицирования и распознавания объектов определённой области. Для этого стоит подробно обозначить способы классификации моделей. На сегодняшний день существуют разные подходы к классификации в разных предметных областях. В качестве примера, обозначим лишь два из них. Методы морфологического анализа, предполагающие ввод разнообразных способов дихотомии или трихотомии, то есть выделение двух или трёх состояний для определённого характеристического параметра. Подобные классификации наглядно демонстрируют один из базовых принципов системного моделирования, в основе которого лежит идея формирования гибридных моделей, в которых недостатки разно-классовых моделей компенсируются их достоинствами. Что же касается второго варианта по классификации моделей, то он по большей части ориентирован на принцип субъектно-объектного подхода к процессу моделирования, в рамках которого основными объектами, на которых держится исследование, являются не только оригинальный объект и его модель, но, в том числе, и субъекты, и среда, находящиеся во взаимодействии друг с другом. В результате этих взаимоотношений развивается и образуется новый уровень моделирования – развивающаяся ситуация.

В обозначенном подходе предложено два таксономических универсума: класс ситуационных моделей и класс моделируемых ситуаций. Сравнивая их с множеством, являющимся по сути математическим

объектом, можно сказать, что в таксономическом универсуме не predeterminedены все элементы, которые входят в класс. Это свойство представляется очень удобным, по той причине, что в таком случае объекты, подвергающиеся классификации не обязательно должны быть в составе известных классов, а могут и образовать новые части – таксоны – на которые может делиться исходный универсум, в том случае, если были выявлены какие-либо новые признаки. Стоит рассмотреть подробнее вариант классифицирования моделей с использованием признакового пространства, представленного на рис. 2. Признак  $P_7$  обозначает ту предметную область, к которой относится сама моделируемая ситуация. Речь может идти, например, об экологических, экономических, дипломатических или же любых других ситуациях. Признак  $P_8$  даёт возможность выделить класс моделей по виду участников ситуаций. Этими участниками могут быть люди, социальные группы людей, целые государства, программы и любые другие, отделённые друг от друга объекты. Исходя из развивающейся на сегодняшний день теории о мультиагентных системах, указанные объекты по аналогии могут называться агентами.

Используя признак  $P_9$ , выделяют модели, предназначение которых состоит в решении двух задач основных классов, а именно, задач для анализа существующих объектов (прямых) и для задач, синтезирующих новые объекты (обратные). В рамках признака  $P_{10}$  осуществляется деление объектов на исследовательские, прагматические и те модели, которые используются для обучения субъектов. В соответствии с признаком  $P_{11}$  осуществляется определение класса возможных моделей, основанных на разнообразных языках, представляющих знания, которые сами по себе делятся ещё и на внутренние языки, которые фиксируют осознанные и неосознанные знания (язык рефлексов, эмоций, образов и т.д.), языки внешние (язык логики, жестов, проф. языки и т.д.), а также и языки-посредники, которые устанавливают связь между внешними и внутренними языками. То есть, можно утверждать, что структура любой модели зависит от целей моделирования; знаний об оригинальном объекте, которые могут быть получены как из прошлого, так и из настоящего; языками, представляющими знания и также отношениями между приведёнными множествами. Таким образом, можно отметить, что помимо методов морфологического анализа при классифицировании моделей большую роль играет структурно-математический, теоретико-множественный и категориально-факторный подходы. Кроме этого, обозначенные подходы дают возможность на конструктивном уровне подходить к решению и устранению проблем, посвящённых обобщенному описанию моделей и полимодельных комплексов.

### III. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ МОДЕЛЕЙ И ПОЛИМОДЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Во время решения задач по моделированию сложных объектов  $Ob_{<^{op}>}$  (по-настоящему существующих/абстрактных) особенное место занимает проблема оценки необходимой адекватности моделирования. При принятии

решения об использовании модели  $Ob_{<^m>}$  на практике, следует каждый раз оценивать, в какой степени она адекватна по отношению к  $Ob_{<^{op}>}$ . Причинами, вызывающими неадекватность  $Ob_{<^m>}$  могут быть некорректные исходные предпосылки по определению типа и структуры моделей, погрешность в измерениях во время проведения испытаний, некоторые погрешности в вычислениях при обработке информации. Использование изначально неадекватной модели способно привести к существенным экономическим потерям, аварийным ситуациям, к невозможности выполнить задачи, стоящие перед системой.



Рис. 2. Признаковое пространство

Необходимо рассмотреть два класса моделируемых систем. К первому из них следует отнести системы, с которыми можно проводить испытания и получать показатели тех или иных их характеристик. Обобщённой моделью систем подобного рода считается модель динамической системы (ДС), задающаяся кортежем следующего вида:

$$r = \langle X, V, Y, T, \phi, \psi \rangle,$$

где  $X, V, Y, T$  – это соответственно множества состояний, входных, выходных воздействий, множество моментов времени;  $\phi, \psi$  — переходное и выходное отображения вида  $\phi: T \times X \times V \rightarrow X, \psi: T \times X \times V \rightarrow Y$ . При этом множество входных воздействий, в общем случае, представляет собой декартово произведение множества возмущающих воздействий и множества управляющих воздействий ( $U$ ) ( $E$ ):  $V = U \times E$ . На рис. 2 представлена обобщенная технология оценки и управления качеством моделей

объектов первого класса. Важно отметить, что множество входных воздействий, в общем случае, являет собой декартово произведение множества управляющих ( $U$ ) и возмущающих воздействий ( $E$ ):  $V = U \times E$ . Примерами систем первого класса можно считать, во-первых, все созданные и создающиеся определённым субъектом технико-технические системы и комплексы систем, работающие автоматически.

Ко второму классу моделируемых систем можно отнести те системы, с которыми проведение исследований и получение необходимых характеристик представляется невозможным. К таким системам можно отнести крупные и социальные или экономические системы, сложные организационно-технические системы, работающие в условиях фактора неопределённости воздействия внешней среды. В подобных системах огромную роль играет человеческий фактор. Следует по порядку рассмотреть варианты оценки адекватности  $Ob_{<^m>}$  для обозначенных классов систем. Можно допустить, что есть возможность ввода метрического пространства математических образов, дающих описание  $Ob_{<^{op}>}$  и  $Ob_{<^m>}$ . Тогда, в качестве меры приближённости модели к объекту необходимо использовать расстояние  $\rho(Ob_{<^{op}>}, Ob_{<^m>})$  между точками, которое должно удовлетворять аксиомам симметрии, тождества и треугольника. В идеальной ситуации представленная мера близости модели и объекта должна быть равной нулю, но на практике в силу определённых причин (принципиальное отличие  $Ob_{<^m>}$  от  $Ob_{<^{op}>}$ , неопределённость в исходных данных, неточности в измерениях и вычислениях неточности и т.д.) возможность (вероятность) получения условия  $\rho(Ob_{<^{op}>}, Ob_{<^m>}) = 0$  близка к нулю. Именно поэтому реальное условие адекватности должно иметь следующий вид:  $\rho(Ob_{<^{op}>}, Ob_{<^m>}) \leq \varepsilon$ ,  $\varepsilon > 0$ . В то же время стоит отметить, что в процессе реализации какой-либо другой технологии моделирования во время перехода от одного этапа к другому степень адекватности  $\rho$  модели обычно становится ниже:

$$\rho_1 \leq \rho_2 \leq \rho_3 \dots \rho_n = \rho,$$

где  $\rho_n$  — это мера адекватности  $Ob_{<^m>}$  на  $k$ -м заданном этапе реализации определённой технологии моделирования. Что же касается первого класса,  $Ob_{<^{op}>}$ , то в нём указанные меры адекватности могут быть заданы в любом, самом разном виде. Как правило, во время детерминированного описания указанных систем обычно применяются метрики Хэмминга, Чебышева, Евклида, Ли и пр. В качестве аргумента в приведённых функционалах рассматривается величина разности выходных воздействий, полученная на объекте ( $y(t)$ ) и модели ( $y(t)$ ).

В стохастическом же случае можно рассматривать меры адекватности, в основе которых может лежать количественная оценка расстояний между случайными выборками (ситуация №1), полученными в процессе исследований  $Ob_{<^{op}>}$  и  $Ob_{<^m>}$ , и расстояниями между статистическими законами, заданными по ним. Также можно заметить, что в этих ситуациях само понятие адекватности модели нуждается в уточнении. В этой ситуации следует вести речь уже о полезных свойствах

модели  $Ob_{<^m>}$ , её пригодности для решения какого-то определённого типа задач, имеющих отношение к системе  $Ob_{<^{op}>}$ . Следует предположить, что в случае описания какой-либо системы второго класса  $Ob_{<^{op}>}$ , предлагается  $k$  моделей:  $M_1(\Gamma_{<p1>})$ ,  $M_2(\Gamma_{<p2>})$ , ...,  $M_k(\Gamma_{<pk>})$ , из которых каждая наделяется своим набором параметров  $\Gamma_{j<pj>}$ ,  $j = 1, \dots, k$  и структурой. Для начала рассмотрим ситуацию, в которой структуры моделей статичны и сами модели отличаются друг от друга набором параметров, однако, как правило, значения их неизвестны. В данном случае следует выбрать наиболее подходящую модель из множества моделей  $\{M_j(\Gamma_{<pj>})\}$ . Кроме этого, стоит заметить, что указанные модели используются в решении задач по прогнозированию и выбору самых подходящих вариантов функционирования системы  $Ob_{<^{op}>}$ , если смотреть с точки зрения обобщённого показателя эффективности  $J$ . Этот показатель зависит от того, какие были выбраны управляющие воздействия и также от значений параметров модели, в результате взаимодействиями, с которыми данный выбор и состоялся.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В качестве заключения для всего вышесказанного, можно заметить, что на сегодняшний день в обществе существует серьёзная необходимость в разработке методов и методик теории оценки и управления качеством моделей или, иначе говоря, квалиметрии моделей и полимодельных комплексов. Эта теория является лишь составной частью целой научной отрасли, под названием качествоведение и сама вполне может быть разделена на огромное количество отдельных прикладных теорий, в которых может проводиться, например, оценка качества моделей, которые используются в какой-либо конкретной предметной области. Разработка квалиметрии моделей должна производиться одновременно в двух основных взаимодополняющих направлениях в исследованиях. В первом направлении необходимо осуществлять разработку общих положений, касающихся квалиметрии моделей, которые основываются на полученных в рамках огромного количества прикладных теорий оценки и управления качеством моделей, развивающихся в каждой конкретной предметной области.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Андрианов Ю.М., Субетто А.И. Квалиметрия в приборостроении. Л.: Машиностроение, 1990. 201 с.
- [2] Ростовцев Ю.Г., Юсупов Р.М. Проблема обеспечения адекватности субъектно-объектного моделирования // Известия ВУЗов. Приборостроение. 1991. № 7. С. 7–14.
- [3] Звягин Л.С. Метасистемный подход в решении современных управленческих задач в экономике // В сборнике: Системный анализ в экономике – 2016 Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции–биеннале. Под редакцией Г.Б. Клейнера, С.Е. Щепетовой. 2016. С. 315–320.
- [4] Звягин Л.С. Системный анализ в оптимизации и принятии решений // Всероссийская научная конференция по проблемам управления в технических системах. 2017. № 1. С. 167–170.
- [5] Юсупов Р.М., Иванищев В.В., Костельцев В.И., Суворов А.И. Принципы квалиметрии моделей // IV СПб Междунар. конф. «Региональная информатика-95»: тез. докладов. СПб.: 1995. С. 90–91.