

---

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ КВАЛИМЕТРИИ МОДЕЛЕЙ И ПОЛИМОДЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Б. В. Соколов, Р. М. Юсупов (Санкт-Петербург)

### Проблема оценивания и выбора моделей

В настоящее время математическое моделирование является универсальным инструментом познания, исследования и проектирования объектов в разных предметных областях. По мере усложнения указанных объектов значимость проблемы построения и использования моделей реально существующих и создаваемых объектов постоянно возрастает. Моделирование как метод (процесс) создания и исследования моделей позволяет практически устранить необходимость длительных и дорогостоящих натуральных испытаний, отказаться от использования традиционных методов «проб и ошибок». Поэтому математическое моделирование является практически единственным методом проектирования сложных организационно-технических систем (СОТС), которые зачастую являются уникальными и не имеющими прототипов. К таким системам, в первую очередь, относятся системы управления (СУ) активными подвижными объектами (АПО), СУ производственными, социально-экономическими объектами, военно-технические системы [4, 6, 10, 15, 20–24].

Вместе с тем, в современных условиях, к сожалению, практически остаётся не исследованной проблема многокритериального оценивания качества математических моделей, анализа и упорядочения различных классов моделей, обоснованного выбора моделей для решения конкретных прикладных задач. Актуальность данной проблемы в ещё большей степени усиливается в том случае, когда исследуемый объект описывается не одной моделью, а полимодельным комплексом, в состав которого входят различные и комбинированные модели (например, аналитико-имитационные, логико-алгебраические, логико-лингвистические и т.п.). Дополнительную сложность указанная проблема приобретает в том случае, когда при оценивании качества моделей приходится учитывать *фактор времени*. Это касается, прежде всего, тех объектов-оригиналов, у которых под действием различных причин (объективных, субъективных, внутренних, внешних и т.п.) наблюдается существенная структурная динамика [21]. В этих условиях для того, чтобы модель сохраняла свою точность и полезность, необходимо проводить адаптацию параметров и структур данной модели к изменяющимся условиям [21, 22]. Для этого, заранее, на этапе синтеза модели в состав её параметров и структур требуется вводить дополнительные элементы (избыточность), которые на этапе непосредственного использования модели позволят управлять качеством модели, снизят чувствительность модели и соответствующих показателей качества к изменениям состава, структуры и содержания исходных данных.

Однако для конструктивного решения проблемы оценивания и управления качеством моделей (выбора наиболее предпочтительных моделей), с нашей точки зрения, надо, в первую очередь, решить следующие основные задачи: провести описание, классификацию и выбор системы показателей, оценивающих качество моделей и полимодельных комплексов; разработать обобщённое описание (макро описание) различных классов моделей (макро модели), позволяющее, во-первых, устанавливать взаимосвязи и соответствия между видами и родами моделей, и, во-вторых, сравнивать и упорядочивать их, используя различные метрики; разработать комбинированные методы оценивания показателей качества моделей (полимодельных комплексов), заданных с использованием числовых и нечисловых (номинальных, порядковых) шкал; разработать методы и алгоритмы решения задач многокритериального анализа, упорядочения и вы-

бора наиболее предпочтительных моделей (полимодельных комплексов), управления их качеством.

Перечисленные задачи и методические основы их формализации и решения, дополненные разработкой понятийно-терминологической и методологической базы, могут, с нашей точки зрения, рассматриваться как компоненты новой прикладной теории, которую назовём *квалиметрией моделей* (моделеметрией) [21, 26, 27].

### **Квалиметрия моделей: основные понятия и определения**

В настоящее время роль и значение такого понятия как качество постоянно возрастает и находится в развитии под влиянием прогрессивных технологий, потребностей рынка, конкуренции продукции и производителей на рынке. На современном мировом рынке товары без наличия сертификата качества реализуются по вдвое сниженной цене [1, 2]. В связи с этим за последние два–три десятилетия проблемы, связанные с оценением качества продукции, стали предметом интенсивных исследований, проводимых в такой новой научной отрасли знаний, как *качествоведение*, в которой изучаются закономерности получения и обработки информации о качестве объекта на всех этапах его жизненного цикла [1]. К наиболее типичным разделам качествоведения можно отнести: анализ качества, оценивание качества, управлением качеством и др. Качество продукции принято определять по направлениям: альтернативному, качественному, количественному [2, 3]. При этом количественный подход характерен для *квалиметрии* – одного из основных разделов *качествоведения*, в котором разрабатываются методологические и методические основы количественного оценивания качества продукции, средства обеспечения единства форм оценивания указанного качества и достижения требуемой точности [1].

История становления и развития отечественной квалиметрии насчитывает уже более четверти века [1, 2]. Успешно развиваются многие её прикладные направления, вплоть до квалиметрии человека и образования. К настоящему времени уже разработана понятийно-терминологическая и методическая база теоретической квалиметрии, различных видов прикладной квалиметрии, которые разрабатываются для соответствующих предметных областей [1, 2]. Центральным понятием как качествоведения, так и квалиметрии является понятие *качества* – под которым, согласно Международному стандарту ISO 8402-2000, будем в дальнейшем понимать совокупность характеристик объекта, определяющих его способности удовлетворять установленным или предполагаемым потребностям [5]. В области создания и применения новых информационных технологий уже давно ведутся исследования, посвящённые оцениванию качества соответствующей продукции. Результаты указанных исследований находят своё отражение в соответствующих Международных стандартах и отечественных ГОСТах [12]. Например, в международном стандарте ISO 9126:1991 «Информационная технология. Оценка программного продукта. Характеристики качества и руководство по их применению» [13] и последующих стандартах, его развивающих (ISO 9126:1-4, ISO 14598 – 1-6: 1998–2000), приводятся модели и метрики качества программных продуктов [12, 13].

Анализ полученных в данной области результатов показывает, что к настоящему времени для уровня машинной модели (программы) существуют методические средства, позволяющие оценивать её качество [12]. Требуется разработка такого же рода средств оценивания качества моделей (методов, моделей, алгоритмов и методик), но теперь уже для более ранних этапов моделирования объектов-оригиналов.

Более того, требуется разработка моделей, методов, алгоритмов и методик оценивания качества самих технологий моделирования. На рис. 1 в качестве примера приведена типовая технология проведения системного (комплексного) моделирования [8,22,23]. На данном рисунке приняты следующие обозначения: *I* – теоретические ис-

следования; 2 – методы структурного и поведенческого анализа моделей; 3 – аналитическое исследование моделей; 4 – построение математической модели; 5 – разработка моделирующего алгоритма; 6 – построение машинной модели; 7 – имитационное исследование; 8 – отображение результатов. Ведущим понятием *квалиметрии моделей*, так же как и *теоретической квалиметрии*, является понятие *качества модели*, под которым (по аналогии с ГОСТами и Международными стандартами [1]) мы будем в дальнейшем понимать *свойство или совокупность свойств модели, обуславливающих её пригодность для использования по назначению*. Согласно [1, 2] в теоретической квалиметрии различают прямые и обратные задачи квалиметрии.

Под ними понимают соответственно задачи анализа качества продукции и задачи синтеза продукции заданными (требуемыми) свойствами. В основе решения прямой задачи лежат измерения качества продукции, в основе обратной задачи – управление качеством продукции с целью придания ей необходимых свойств. В отношении квалиметрии моделей необходимо учитывать следующее: сами модели являются основным предметом разработки и создаются как с целью анализа уже существующих объектов-оригиналов, так и с целью их синтеза. Поэтому в квалиметрии моделей основополагающую роль играют обратные задачи теоретической квалиметрии. Данный аспект определяет необходимость согласования позиций квалиметрии продукции вообще, и квалиметрии моделей как продукции определённого класса. Это может быть предметом одного из направлений дальнейших исследований и одним из отличительных признаков квалиметрии моделей как самостоятельного раздела прикладной квалиметрии. Важнейшим элементом разрабатываемой теории (квалиметрии модели) является её понятийно-терминологическая база. Поэтому кратко остановимся на тех *основных свойствах моделей*, которые должны впоследствии оцениваться при их сравнении и выборе.

а) *Адекватность* (лат. *adaequatus* – приравненный, сравнимый, вполне соответствующий). Указанным свойством должна обладать модель по отношению к тем или иным аспектам объекта-оригинала. Очевидно, что на практике следует говорить не о полной адекватности, а лишь об адекватности в некотором смысле (о некоторой степени адекватности). Для сложных систем (объектов-оригиналов), как уже отмечалось выше, одна модель может отражать лишь какую-либо сторону, аспект прототипа, и поэтому понятие адекватности «вообще» для такой модели не существует, речь может идти об адекватности отражения указанной стороны [3, 4, 8, 17, 18, 20].

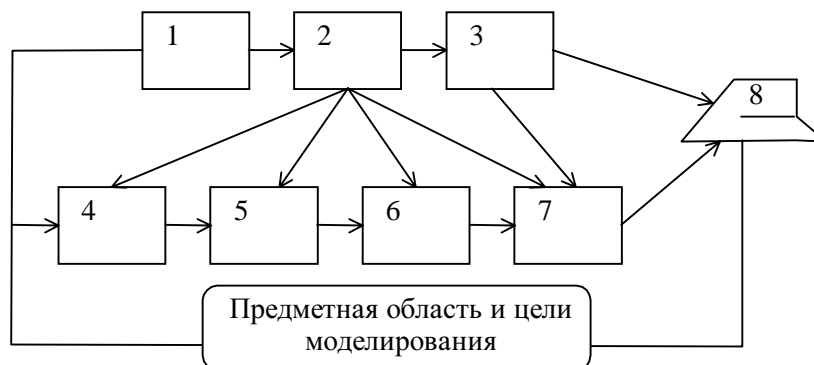


Рис.1. Технология системного моделирования

Для полимодельного комплекса может ставиться задача достижения адекватности в более широком смысле, охватывающем различные стороны прототипа. Однако во всех случаях оценивание адекватности модели (полимодельного комплекса) должна

проводиться с учётом того, в какой степени на данной модели могут быть достигнуты цели моделирования (цели субъекта).

При оценивании *адекватности модели* различают *качественную адекватность*, т.е. отражение с использованием модели тех или иных качественных сторон объекта-оригинала и *количественную адекватность*, под которой понимается воспроизведение тех или количественных характеристик прототипа с той или иной степенью точности [17, 18, 19]. Для этого вводятся различные типы метрик (Евклидова, Хэмминга, Ли и др.).

б) *Простота и оптимальность модели (полимодельного комплекса)*. Свойство адекватности модели непосредственно связано со свойствами простоты и оптимальности модели. В самом деле, для того, чтобы достичь требуемой степени адекватности, иногда приходится идти на существенное усложнение модели. С другой стороны, если существует возможность выбора между различными моделями, имеющими примерно одинаковую адекватность, целесообразно из них выбрать наиболее простую. Перечисленные вопросы приобретают особую актуальность при оптимальном выборе структуры полимодельного комплекса. В данном случае адекватность моделирования уже определяется не только свойствами каждой модели в отдельности, но также характеристиками взаимодействия моделей. В работах [5, 6, 17], развивающих общую теорию моделирования сложных систем, приведён целый ряд принципов, правил и приёмов, обеспечивающих корректный переход от формального описания объекта оригинала к формальной схеме моделирования (машинной программе).

в) *Гибкость (адаптивность) моделей*. Данное свойство моделей предполагает ввод в состав моделей таких параметров и структур, которые можно менять в заданных диапазонах для достижения целей моделирования.

г) *Универсальность и проблемная ориентация моделей*. Многочисленные исследования, направленные на поиск указанного компромисса показали, что в настоящее время разработка универсальных моделей  $Ob_{<>}^{op}$ , ориентированных на широкую предметную область, является трудно разрешимой проблемой. Целесообразно создавать модели, специализированные по допустимому классу моделируемых объектов и универсальные по поддерживаемым функциям.

К числу других свойств моделей, которые в рамках квалиметрии моделей должны быть исследованы в первую очередь, могут быть отнесены [4, 7, 14, 17, 19, 23, 25, 27]: *надёжность, унификация, простота, открытость и доступность модели, их интеллектуальность, эффективность машинной реализации, сложность, идентифицируемость, устойчивость, чувствительность, управляемость, наблюдаемость моделей, их инвариантность, развиваемость (самоорганизация и самообучение)*. В докладе рассматриваются возможные подходы к количественному оцениванию степени адекватности моделей, приводятся примеры использования предлагаемых подходов при анализе и синтезе моделей управления структурной динамикой сложных технических систем, в качестве которых рассматриваются группировки космических средств.

### Заключение

Подводя краткий итог сказанному, следует отметить, что в современных условиях назрела острая необходимость разработки методологических и методических основ теории оценивания и управления качеством моделей или, по-другому, *квалиметрии моделей* [21]. Данная теория, являющаяся составной частью такой научной отрасли знаний как качествоведение, сама может быть декомпозирована на множество частных прикладных теорий, в которых должно проводиться оценивание качества моделей, используемых в определённой предметной области. Так, на рис.2 в качестве примера

приведены основные элементы разрабатываемой в настоящее время теории оценивания и управления качеством моделей, используемых при интеграции данных и знаний (Information Fusion Models).

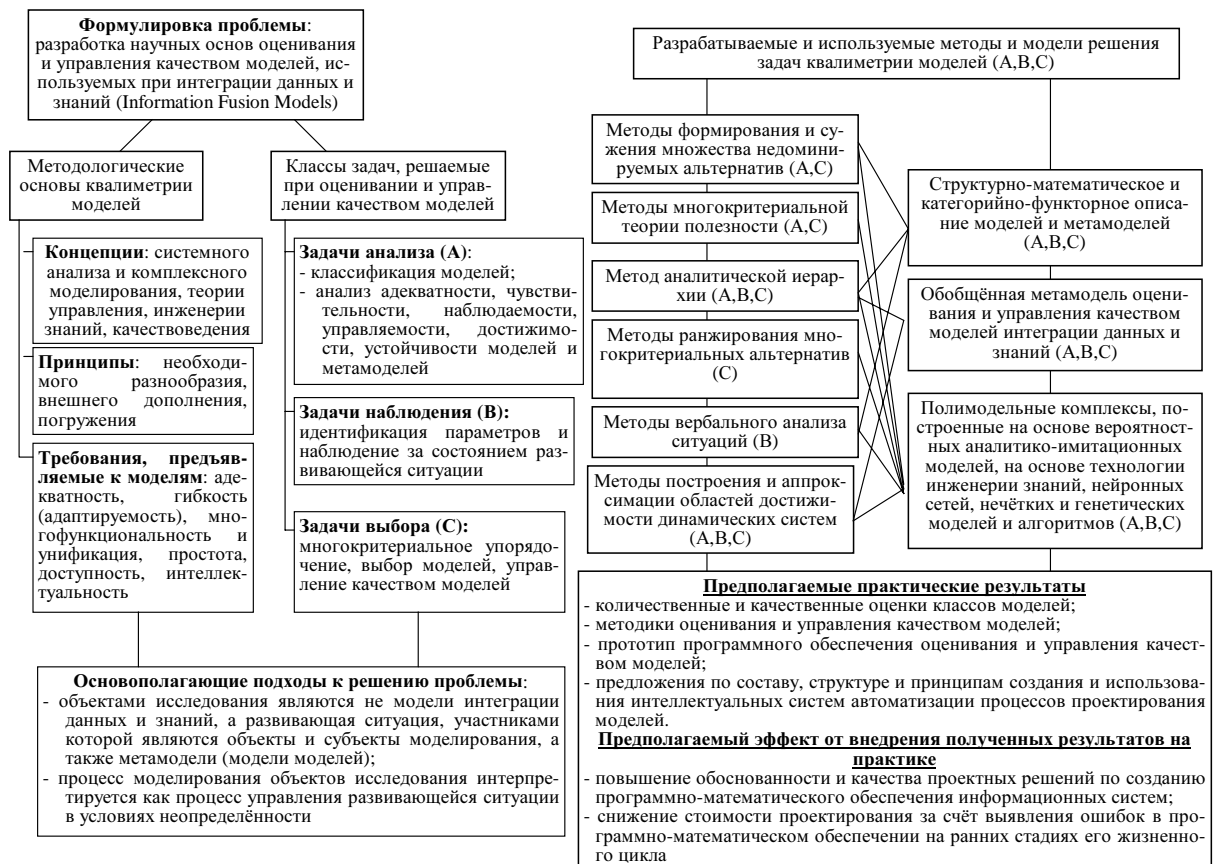


Рис. 2. Методологические и методические основы решения проблем квалиметрии моделей, используемых при интеграции данных и знаний

По нашему мнению, разработка квалиметрии моделей должна идти параллельно в двух основных взаимодействующих и взаимно обогащающих направлениях исследований. В рамках первого направления должны разрабатываться общие вопросы квалиметрии моделей, которые базируются на результатах, получаемых в рамках большого числа частных прикладных теорий оценивания и управления качеством моделей (второе направление исследований), развиваемых в каждой из предметных областей [1, 3, 5, 6, 8, 10, 14, 15, 18, 19, 21, 23,24].

Данная работа была выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 05-07-90088), Института системного анализа РАН (проект О-2.5/03), CRDF (Project # RUM 2-1554-ST-05).

### Литература

1. **Азгальдов Г.Г.** Теория и практика оценки качества товаров: Основы квалиметрии. – М.: Экономика, 1982. – 248 с.
2. **Андрианов Ю.М., Субетто А.И.** Квалиметрия в приборостроении. – Л.: Машиностроение, 1990. – 216 с.
3. **Бешенков С.А., Ракитина Е.А.** Моделирование и формализация. Методическое пособие. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 336., ил.

4. **Васильев С.Н.** От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению //Теория и системы управления. – 2001. – № 1. – С.5–22; № 2. – С.5–21.
5. **Горский Ю.М.** Системно-информационный анализ процессов управления. – Новосибирск: Наука, 1988. – 200 с.
6. **Гранберг А.Г.** Моделирование социалистической экономики. – М.: Экономика, 1988. – 488 с.
7. **Емельянов С.В., Ларичев О.И.** Многокритериальные методы принятия решений. – М.: Знание, 1985.
8. **Калашников В.В., Немчинов Б.В., Симонов В.М.** Нить Ариадны в лабиринте моделирования. – М.: Наука, 1993. – 192 с., ил.
9. **Киндлер Е.** Языки моделирования. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 288 с.
10. **Краснощёков П.С., Петров А.А.** Принципы построения моделей. – М.: Фазис, 2000. – 400 с.
11. **Ларичев О.И.** Теория и методы принятия решений.–М.: Логос, 2000. – 295 с.
12. **Липаев В.В.** Оценка качества программных изделий.–М.: ЭРИС, 2001.–252 с.
13. Международные стандарты ИСО серия 9000 и 10000 на системы качества: версии 1994 г. – М.: Изд-во стандартов, 1995.
14. **Нейлор Т., Ботон Дж., Бердик Д.** и др. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. – М.: Мир, 1975. – 500 с.
15. **Павловский Ю.А.** Имитационные модели и системы.–М.: Фазис, 2000.–132с.
16. **Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П.** Введение в системный анализ. – М.: Высшая школа, 1989. – 367 с.
17. **Пешель М.** Моделирование сигналов и систем. – М.: Мир, 1981. – 300 с.
18. **Полляк Ю.Г.** Вероятностное моделирование на электронных вычислительных машинах. – М.: Сов. радио, 1971. – 400 с.
19. **Ростовцев Ю.Г.** Основы построения автоматизированных систем сбора и обработки информации. – СПб.: ВИКИ, 1992. – 717 с.
20. **Ростовцев Ю.Г., Юсупов Р.М.** Проблема обеспечения адекватности субъектно-объектного моделирования//Известия ВУЗов. Приборостроение. 1991. – № 7. – С.7–14.
21. **Соколов Б. В., Юсупов Р.М.** Концептуальные основы оценивания и анализа качества моделей и полимодельных комплексов//Теория и системы управления. – 2004. – № 6 –С. 5–16.
22. **Скурихин В.И., Забродский В.А., Копейченко Ю.В.** Адаптивные системы управления машиностроительным производством. – М.: Машиностроение, 1989.– 207 с.
23. Технология системного моделирования / Е.Ф. Аврамчук, А.А. Вавилов, С.В. Емельянов и др.; Под общ. ред. С.В. Емельянова и др. – М.: Машиностроение; Берлин: Техника, 1988. – 500 с.
24. **Шеннон Р.** Имитационное моделирование – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
25. **Юдин Д.Б., Юдин А.Д.** Математически измеряют сложность//Число и мысль. – Вып. 8. – М.: Знание, 1975. – 191 с.
26. **Юсупов Р.М.** Элементы теории испытаний и контроля технических систем: / Под ред. Р.М. Юсупова. – М.: Энергия, 1977. – 189 с.
27. **Юсупов Р.М., Иванищев В.В., Костельцев В.И., Суворов А.И.** Принципы квалитметрии моделей//IV СПб Международная конференция «Региональная информатика-95», тез. докладов. – СПб., 1995. – С.90–91.