

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

№ 4 (58)
2014

МОДЕЛИРОВАНИЕ
СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ
И СИСТЕМ

ПРОГРАММНЫЕ
СИСТЕМЫ

СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ

ПРИКЛАДНЫЕ
ЗАДАЧИ

<http://www.sbook.ru/csit>



Содержание

Раздел 1. Моделирование сложных объектов и систем (шеф-редактор В.Л.Бурковский)

Аунг Пыйоз Вин, Шамберов В.Н. Вынужденные колебания в системе с сухим трением, находящейся под внешним гармоническим воздействием	4
Волошин М.В. Об асимптотической устойчивости решений одного класса систем нестационарных разностных уравнений	7
Губайдуллин И.М., Коледина К.Ф., Сафин Р.Р. Автоматизированная система структурной и параметрической идентификации кинетических моделей химических реакций с участием металлоорганических соединений на основе базы данных кинетических исследований	10
Спивак С.И., Исмагилова А.С., Кантор О.Г. Области неопределенности в математической теории анализа измерений	17

Раздел 2. Программные системы (шеф-редактор О.Я.Кравец)

Банкрутенко В.В., Белокрылов П.Ю. Подход к интеграции расчетного программного обеспечения и системы сквозного проектирования изделий машиностроения	22
Бормотова Г.О., Погодаев А.К. Техники сокращения объема индекса для задач нечеткого поиска в базах данных	26
Григорьева А.Н., Андрианов И.А. Алгоритм быстрого построения списков вхождений для индекса на основе мультиграмм	29
Курбатов А.Л., Малыш В.Н. Исследование алгоритмов бинарной классификации текстовых документов	34
Милов В.Р., Вдовин Л.М., Егоров Ю.С., Лунев В.А., Алексеев В.В., Милов Д.В. Программный комплекс автоматизированной верификации реализаций протокольных объектов	38
Локшин М.В. Методика получения временных оценок исполнения запросов в параллельных СУБД с репликацией данных	41

Раздел 3. Системы управления (шеф-редактор С.Л.Подвальный)

Андриянов А.И., Бутарев И.Ю., Малаханов А.А. Нелинейная динамика однофазных корректоров коэффициента мощности на основе непосредственного повышающего преобразователя напряжения	45
Golenko-Ginzburg D., Ljubkin S., Swid N. Hierarchical model for multilevel innovative companies	52
Дружинина О.В., Каледина Е.А., Щенников В.Н., Щенникова Е.В. Стабилизация многосвязной управляемой манипуляционной системы с использованием кусочно-постоянного управления	55
Ивановская А.В. Динамика нестационарной системы виброизоляции с одной степенью свободы	60
Князев Е.И., Кузнецов Н.А. Определение передаточной функции чувствительного элемента жидкостного датчика угла горизонта	63
Сотникова М.В. Синтез наблюдателя для оценивания скорости робота и координат цели с помощью видеокамеры	66
Подвальный С.Л., Провоторов В.В. Оптимизация по стартовым условиям параболической системы с распределенными параметрами на графе	70

Раздел 4. Прикладные задачи (шеф-редактор Е.С.Подвальный)

Бухарин С.В., Мельников А.В., Навоев В.В. Принцип единства решений прямой и обратной задач экспертизы при использовании нейронных сетей	75
Власичев Г.Н., Андреев В.В. Численное моделирование расплавления твэл с учетом перемещения оболочки при аварии быстрого реактора	78
Воронова Е.В., Гладких Т.В. Моделирование процесса обработки тестовых заготовок электромагнитным полем СВЧ	82
Потехин Д.С., Потехин С.Д. Использование метода восстановления векторной диаграммы для цифровой обработки сигнала дифференциального индуктивного датчика перемещения	85
Тихонов А.Н., Увайсов С.У., Кофанов Ю.Н., Сотникова С.Ю. Повышение достоверности диагностического моделирования в информационной технологии проектирования электронных средств управления	88
Тушавин В.А. Робастный подход к оценке комплексного показателя качества ИТ-услуг	92

Владимиру Николаевичу Буркову - 75	96
--	----

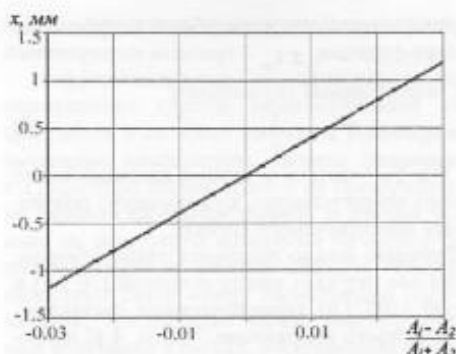


Рис.5. Результаты измерений при частоте возбуждения 2000 Гц.

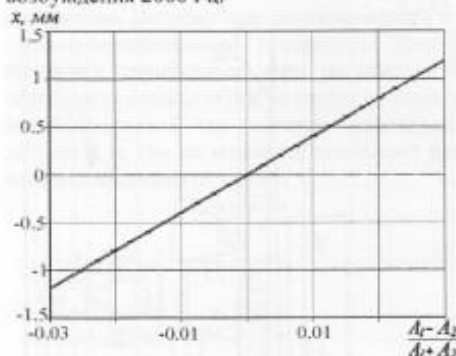


Рис.6. Результаты измерений при частоте возбуждения 225 Гц.

При частоте возбуждения 225 Гц:

$$\text{С кабелем: } x = 0.0058 + 16.7354 \frac{A_1 - A_2}{A_1 + A_2}$$

$$\text{Без кабеля: } x = 0.0041 + 16.7414 \frac{A_1 - A_2}{A_1 + A_2}$$

Выводы

Предложенный метод показал высокую помехоустойчивость и точность измерений перемещения дифференциальных индуктивных датчиков и позволил снизить влияние кабельной линии.

Список использованных источников

1. Потехин Д.С. Интегральный метод восстановления векторной диаграммы в системах цифровой обработки данных. // Системы управления и информационные технологии, № 2.1 (44), 2011. С. 161-164.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. // Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2006. – 751 с.
3. Потехин Д.С., Тарасов И.Е., Тетерин Е.П. Влияние коэффициентов и пределов интегрирования вейвлет-функции Морле на точность результатов анализа гармонических сигналов с нестационарными параметрами. // Научное приборостроение, 2002, т.12, №1, стр.90-95.
4. Потехин Д.С. Влияние белого шума на точность определения амплитуды и фазы гармонических сигналов с использованием вейвлет-преобразования функцией Морле // Системы управления и информационные технологии, 4.1 (38), 2009. – С. 180-183.

УДК 621.337.1

Тихонов А.Н., Увайсов С.У., Кофанов Ю.Н., Сотникова С.Ю. ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ НИУ ВШЭ, г.Москва

В статье разработан метод диагностирования электронных средств управления с применением математических моделей, учитывающих взаимное влияние друг на друга электрических и тепловых процессов, которые протекают в схемах и конструкциях. Разработанный метод даёт возможность выявить в них скрытые отказы.

*Для современных электронных средств управления (ЭСУ) важными параметрами являются показатели их надёжности и качества.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 14-07-00414).

На указанные показатели наибольшее влияние оказывают температуры электрорадиоэлементов (ЭРЭ), входящих в ЭСУ. При эксплуатации нагрев ЭРЭ обусловлен тепловыми процессами в ЭСУ, вызываемыми температурой окружающей среды и тепловыделениями в самих ЭРЭ при протекании в них электрических токов.

Сложность ЭСУ неуклонно возрастает, а с этим растёт потребляемая ими электроэнергия, а также растут внутренние тепловыделения. При использовании уплотнённого монтажа полупроводниковых дискретных и интегральных ЭРЭ ещё более увеличиваются удельные объёмные мощности тепловыделений. Всё это ведёт к перегреву ЭРЭ и к их выходу из строя.

Поэтому в работе разработан метод диагно-

стирования путём выявления возможных перегревов ЭРЭ на основе информационной технологии проектирования ЭСУ. Таким образом, обеспечению теплового режима при разработке ЭСУ всегда уделяется большое внимание.

Работы по диагностированию проводятся на разных этапах жизненного цикла и служат для обеспечения и поддержания требуемых показателей надежности и качества ЭСУ. Наилучший алгоритм диагностирования даёт выявление скрытых возможных отказов ЭРЭ и их предотвращение [1].

Однако, в настоящее время при диагностировании электрических характеристик ЭСУ уделяется недостаточно внимания учету взаимной связи электрических и тепловых процессов, протекающих в них. Многие программные средства, предназначенные для решения задач диагностирования, не учитывают реальное увеличение температур элементов в результате работы схемы и, соответственно, изменение их электрических параметров. В итоге это приводит к снижению достоверности результатов диагностирования и принятию неправильных проектных решений.

Как известно, при диагностировании требуется контролировать множество различных токов и напряжений в устройстве. Однако, в настоящее время на большинстве предприятий в процессе автоматизированной разработки ЭСУ, когда проводится закладка обеспечения диагностируемости изделия, принято исследовать отдельно электрические процессы в схемах и отдельно тепловые процессы в конструкциях. Также и при реализации процедур диагностирования не происходит совместного рассмотрения электрических и тепловых процессов ЭСУ с учетом их постоянного взаимного влияния друг на друга [2]. Однако, хорошо известно, что при увеличении температуры комплектующих элементов схемы изменяются их электрические характеристики. Поэтому, снятые в контрольных точках значения напряжений и токов будут отличаться от значений, полученных при моделировании ЭСУ с помощью программ электрического анализа при нормальной температуре окружающей среды (обычно $T = 20-25^\circ\text{C}$). Это приводит, чаще всего, к постановке ошибочного диагноза.

Таким образом, для повышения достоверности диагностического моделирования ЭСУ необходимо при электрическом моделировании обеспечить возможность учета реальных значений температур ЭРЭ.

Рассмотрим два возможных подхода к решению поставленной задачи комплексного моделирования электрических схем и тепловых

процессов в конструкциях, на которых реализована данная электрическая схема.

Первый подход – совместное последовательное использование двух программ электрического и теплового моделирования, предполагающее итеративную передачу данных с одного расчета на другой [3]. При этом из электрической модели передаются в тепловую модель мощности тепловыделений на ЭРЭ. Обратно из тепловой модели в электрическую модель передаются температуры корпусов ЭРЭ. Такой подход предполагает несколько итераций расчетов, пока не будет достигнута требуемая точность диагностического моделирования. Устанавливать диагноз ЭСУ по достоверным значениям электрических и тепловых режимов ЭРЭ можно после того, когда выходные характеристики (мощности и температуры) ЭРЭ на каждом шаге итерации не будут отличаться от предыдущих значений на заранее установленную инженером малую величину.

В работе предлагается альтернативный подход к решению задачи повышения достоверности диагностического моделирования ЭСУ. В предлагаемом подходе основным предложением является использование интегрированной комплексной электротепловой модели ЭСУ, в которой тепловая модель представлена в виде эквивалентной цепи, построенной на основе электротепловой аналогии [4] (см. табл. 1).

Таблица 1

Электротепловая аналогия

Вид под- модели	Потенциаль- ная характе- ристика узла модели	Потенциаль- ная характе- ристика ветви модели	Потоковая характери- стика ветви модели
Электри- ческая	Потенциал	Разность по- тенциалов	Ток
Тепловая	Температура	Разность тем- ператур	Тепловой поток

Математическая аналогия даёт возможность соединить цепь электрической эквивалентной схемы с тепловой цепью, которая становится продолжением электрической цепи. При этом в тепловую цепь вводятся потоковые источники тепловой мощности каждого ЭРЭ, зависящие от токов через эти ЭРЭ (мощности тепловыделений на сопротивлениях рассчитываются через токи по формуле $P=I^2 \cdot R$). В свою очередь, в эквивалентную цепь электрической схемы вводятся потенциальные зависимые источники тока, зависящие от температур ЭРЭ (при этом изменяются реальные значения параметров $R_{\text{реал}}=R_{25^\circ\text{C}} \cdot (1+\alpha \cdot (T-25))$, где α – температурный коэффициент параметра элемента).

Особенность интегрированной комплексной электротепловой модели ЭСУ заключается в

том, что ее можно реализовать с помощью только одной программы электрического моделирования.

Второй подход может быть более сложен тем, что инженеру потребуется изучить правила построения комплексных моделей, однако расчет с помощью одной программы электрического моделирования будет происходить гораздо быстрее итерационного моделирования, которое подразумевает передачу данных между расчетами ручным путем или, даже используя специально разработанные интерфейсы связи программ моделирования.

В данной работе предлагается диагностическую модель ЭСУ строить на основе второго подхода. Диагностическую комплексную электротепловую модель можно представить в общем виде, изображенном на рис. 1.

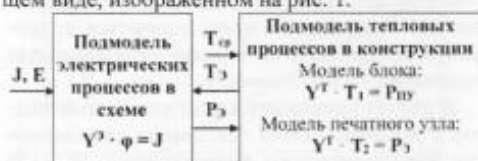


Рис. 1. Комплексная электротепловая модель для диагностики ЭСУ: J – вектор источников тока, E – вектор источников напряжения (ЭДС), Y^3 – матрица электрических проводимостей, ϕ – вектор электрических потенциалов, T_{cp} – температура среды, T_3 – вектор температур ЭРЭ, P_3 – вектор мощностей тепловыделений ЭРЭ, Y^T – матрица тепловых проводимостей, T_1 – вектор средних температур печатного узла (ПУ), материалов деталей блока, воздушных объемов, $P_{пу}$ – вектор суммарных мощностей тепловыделений ЭРЭ на каждом ПУ, T_2 – вектор температур ЭРЭ и материалов печатной платы

При моделировании электрической части комплексной модели получаемые мощности тепловыделений используются в подмодели тепловых процессов в качестве входных воздействий. На их основе при моделировании тепловой части рассчитываются реальные температуры корпусов ЭРЭ, от которых зависят, как известно, их электрические параметры.

Рассмотрим построение комплексной электротепловой модели простейшего делителя, состоящего из двух резисторов R10 и R8. Резисторы установлены на плате с использованием теплопроводящей пасты. Печатная плата в свою очередь установлена в блоке.

На рис. 2–4 показаны электрическая и тепловая подмодели; приняты следующие обозначения (первое обозначение для резистора R10, в скобках указаны параметры для второго резистора R8):

R1 (R11) – внутреннее тепловое сопротивление резистора от активной зоны до поверхности

корпуса резистора;

R2 (R12) – тепловое сопротивление конвекции с корпуса резистора в воздух между резистором и крышкой блока;

R3 (R13) – тепловое сопротивление конвекции с крышки блока в воздух между резистором и крышкой блока;

R4 (R14) – тепловое сопротивление излучения с корпуса резистора на крышку блока;

R5 (R15) – тепловое сопротивление пасты и печатной платы;

R6 (R16) – тепловое кондуктивное сопротивление воздушной прослойки между печатной платой и основанием блока;

R7 (R17) – тепловое сопротивление излучения с печатной платы на основание блока;

V3 – входное электрическое напряжение на делитель;

V8 (V9) – ЭДС, моделирующая температуру изотермического основания блока;

V10 (V11) – ЭДС, моделирующая температуру изотермической крышки блока;

E1, E2 – зависимые источники напряжения, управляемые температурным потенциалом резисторов R10 и R8;

G1, G2 – зависимые источники теплового потока, управляемые электрическими мощностями, выделяемыми на резисторах R10 и R8.

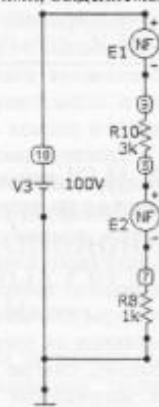


Рис. 2. Электрическая подмодель комплексной электротепловой модели делителя напряжения

Т.к. тепловая подмодель изображена как электрическая цепь, то в соответствии с электротепловой аналогией (см. табл. 1) электрический потенциал в каждом узле соответствует температуре в соответствующей точке конструкции блока. Поэтому узлы тепловой подмодели имеют следующие соответствия:

1 (11) – температура активной зоны резистора R10 (R8);

- 2 (12) – температура внешней поверхности корпуса резистора R10 (R8);
 3 (13) – температура воздуха между печатным узлом и крышкой;
 4 (14) – температура крышки блока;
 5 (15) – температура печатной платы;
 6 (16) – температура основания блока.

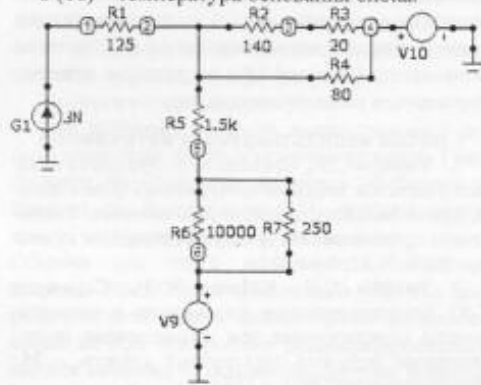


Рис. 3. Тепловая подмодель резистора R10 комплексной электротепловой модели делителя напряжения

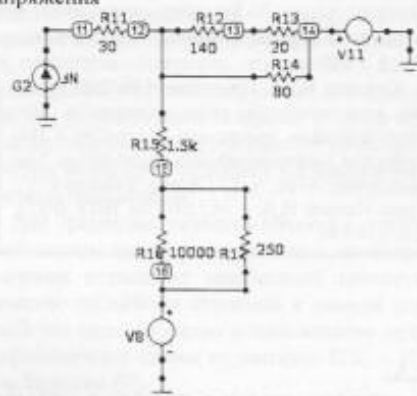


Рис. 4. Тепловая подмодель резистора R8 комплексной электротепловой модели делителя напряжения

Для передачи температуры корпусов ЭРЭ, полученных в узлах 2 (12), в электрическую подмодель необходимо поместить источники ЭДС E1 и E2 (рис. 2). Они отражают влияние температуры корпусов этих резисторов на изменение реальных значений сопротивлений:

$$R_{10_{\text{real}}} = R_{10_{25^\circ\text{C}}} (1 + \alpha_{R10} (T_{R10} - 25)),$$

$$R_{8_{\text{real}}} = R_{8_{25^\circ\text{C}}} (1 + \alpha_{R8} (T_{R8} - 25)),$$

где $R_{10_{25^\circ\text{C}}}$, $R_{8_{25^\circ\text{C}}}$ – значения сопротивлений резисторов R10 и R8 при температуре окружающей среды 25 °C, $R_{10_{\text{real}}}$, $R_{8_{\text{real}}}$ – реальные значения сопротивлений резисторов R10 и R8 во время работы электрической схемы, α_{R10} , α_{R8} – температурные коэффициенты сопротивле-

ний резисторов R10 и R8.

Мощность резистора зависит от тока, проходящего через него. Поэтому для передачи мощности тепловыделения в тепловую подмодель там необходимо поместить зависимый источник тока, который управляется током ветви R10 или R8 (см. на рис. 3 и 4 источники тока G1 и G2, соответственно).

В табл. 2 и 3 даны обозначения пассивных и активных параметров в электрических и тепловых подмоделях, и на основе аналогий между электрическими и тепловыми процессами даны обозначения унифицированной модели.

Таблица 2
Пассивные параметры в унифицированных моделях

Электрическая подмодель	Тепловая подмодель	Унифицированная топологическая модель физических процессов
Потенциал узла электрической подмодели	Температура в узле тепловой подмодели	Переменная узла модели ветви
Ток в электрической ветви	Тепловой поток в ветви подмодели	Переменная ветви модели
Электрическая проводимость	Тепловая проводимость	Диссипативный параметр ветви
Электрическая ёмкость	Тепловая ёмкость	Консервативный параметр 1 рода
Электрическая индуктивность	–	Консервативный параметр 2 рода

Таблица 3
Активные параметры в унифицированных моделях

Электрическая подмодель	Тепловая подмодель	Унифицированная топологическая модель физических процессов
Независимый источник тока	Независимый источник тепловой мощности	Независимый источник тока
Независимый источник напряжения	Независимый источник разности температур	Независимый источник напряжения
Зависимый источник тока	Зависимый источник тепловой мощности	Зависимые источники тепловой мощности от электрического тока
Зависимый источник напряжения (ЭДС)	Зависимый источник разности температур	Зависимые источники ЭДС от разности температур тепловой подмодели

Электрическая и тепловая подмодели строятся в виде топологических моделей с использованием пассивных и активных параметров.

Пассивные ветви топологических моделей, приведенные в табл. 2, являются двухполюсными компонентами: сопротивлениями R , емкостями C и индуктивностями L .

Активные ветви топологических моделей, приведенные в табл. 3, являются двухполюс-

ными компонентами: независимыми и зависимыми источниками потокового и потенциального воздействий. Параметрами независимых источников являются величины потоковых и потенциальных воздействий источников, а параметром зависимых источников является коэффициент управления источником (коэффициент пропорциональности между воздействием источника и потоковой или потенциальной переменной управляющей ветви).

Таким образом, комплексная электротепловая модель, построенная с использованием унифицированных обозначений, может быть рассчитана любой программой электрического моделирования. Этим облегчается проведение процесса диагностирования ЭСУ. Одновременно за счет интегрированности электрической и тепловой подмоделей точность моделирования повышается, значения потенциалов и токов изменяются, приближаясь к истинным значениям. При этом значения токов и напряжений, полученные при менее точном раздельном моделировании отдельно электрических и тепловых процессов, могут отличаться от истинных значений на существенные величины, однако не превышая предельно допустимые значения по нормативно-технической документации. Интегрированное электротепловое моделирование, давая значения токов и напряжений, значительно приближенные к истинным значениям (которые реализуются при эксплуатации ЭСУ), могут показать, что отдельные их значения превышают предельно допустимые значения.

В заключение отметим, что использование комплексной модели диагностирования, учи-

тывающей взаимное влияние электрических и тепловых параметров и характеристик друг на друга, на этапах отработки схемотехнических и конструкторских решений существенно повышает производительность информационно-управляющей системы контролепригодного проектирования. Диагностирование с использованием интегрированного моделирования позволяет выявить возможные отказы, которые не выявляются (скрыты) при раздельном неинтегрированном моделировании.

Список использованных источников

1. Увайсов С.У., Кофанов Ю.Н. Методика выявления скрытых дефектов интегральных схем и аппаратуры // Надежность и контроль качества. Ежемесячное приложение к журналу «Стандарты и качество». 2013. № 11, с. 19-31.
2. Увайсов С.У., Кофанов Ю.Н., Сотникова С.Ю. Комплексирование физического и математического моделирования при автоматизации проектирования бортовых электронных средств. - М.: Энергоатомиздат, 2011. - 119 с.
3. Кофанов Ю.Н., Шалумов А.С., Увайсов С.У., Сотникова С.Ю. Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств / Под отв. ред. Ю.Н. Кофанова. - М.: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2013. - 392 с.
4. Кофанов Ю.Н., Прусаков М.И. Электротепловое моделирование радиотехнических устройств с помощью программы Micro-Cap // Инновационные информационные технологии: Матер. междунар. НПК. Ч. 3 / Гл. ред. Увайсов С.У.; Отв. ред. Иванов И.А. - М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013, с. 534-539.

УДК 004.5

Тушавин В.А. РОБАСТНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ИТ-УСЛУГ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Целью статьи является решение задачи разработки методики оценки интегрированного показателя качества в условиях неопределенности весовых коэффициентов линейной свертки. Предложенный в статье подход позволяет решить эту задачу на основе рандомизации весов с помощью распределение Дирихле.

Введение

Специфической задачей квалиметрии, постоянно возникающей при оценке качества, является нахождение комплексного показателя Q , характеризующего качества объекта в целом,

для заданных единичных показателей $X^{(1)}, \dots, X^{(m)}$. В отличие от регрессионного анализа, в квалиметрических задачах для соотношения:

$$Q = f(X^{(1)}, \dots, X^{(m)})$$

значения показателя Q в большинстве случаев не заданы или представлены в нечисловой форме. Отсюда возникает задача синтеза комплексных показателей качества объектов, интегрирующих в себя информацию об единичных показателях. Немаловажно также, что введение комплексных показателей качества позволяет снизить размерность пространства, что