

Современный подход к оценке качества приборов на основе модифицированного экспертно-статистического метода и генетического алгоритма

Е. Г. Бишард¹, А. А. Минина²
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
¹bishard@mail.ru, ²aaminina@etu.ru

С. Ж. Филиппов
АО «Завод «Радиоприбор»
oks03@zrp.ru

Аннотация. Предлагается новый модифицированный экспертно-статистический метод оценки качества прибора, пригодный для прогнозирования его свойств. В основу положена замена сложного математического моделирования машинным обучением на основе генетического алгоритма.

Ключевые слова: качество; оценка качества прибора; экспертно-статистические методы; генетические алгоритмы

С термином «качество» мы сталкиваемся постоянно. Чаще всего это касается таких сфер как качество различного вида продукции, качество услуг, качество управления. И даже качество человека – сейчас широко распространено такое понятие как индекс развития человеческого потенциала, напрямую связанное с термином «качество».

Поэтому прежде чем говорить об оценке качества приборов, следует вспомнить, что само это понятие весьма неоднозначно и противоречиво, несмотря на то, что существует ряд общепризнанных нормативных документов, таких как: в международной сфере – стандарты ISO 9000-9004, и применительно к России – национальный стандарт ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества».

В этом докладе мы не будем останавливаться на философском аспекте понятия качества, а рассмотрим его с прикладных позиций, то есть займемся его оценением применительно к техническим устройствам, в частности измерительным приборам.

Естественно, что любое техническое устройство обладает множеством единичных свойств. Их иначе будем называть показателями качества. Существует перечень групп показателей качества, которым данные устройства должны соответствовать (порядка 12 показателей), включая показатели назначения, надежности, технико-экономические показатели и т.д. Понятно, что ни одно устройство не является идеальным и не может полностью удовлетворять перечисленному выше перечню.

При оценке качества прибора используется теория квалиметрии, в которой разработаны методы количественной оценки показателей качества. Остаётся главный вопрос – какие выбрать. Здесь на помощь приходит здравый смысл – выбираются наиболее существенные (главные в данном использовании) единичные параметры. Чаще всего используют показатели назначения, например погрешность, чувствительность диапазон измерений и т.п., которые напрямую показывают уровень соответствия прибора поставленным наукой, производством и потребителем цели измерения.

В научных трудах, посвящённых вопросом оценки качества измерительных приборов (например, в книге «Оценка качества электроизмерительных приборов» авторов Л.Г. Тульчина, А.М. Хаскина и В.Д. Шаповалова [1] – одной из первых книг по данному вопросу), подробно описаны различные методы, применяемые для этого. Эти методы делятся на три группы, отличающиеся помимо математического аппарата, и целью, преследуемой при оценке параметров. Кратко их перечислим:

- экспертные методы с использованием заданных моделей комплексного показателя качества в виде средневзвешенных зависимостей;
- экспертно-статистические методы и их вариация в виде методов эвристической классификации;
- чисто статистические методы с использованием методов корреляционного, регрессионного, факторного анализов и метода главных компонентов.

Во всех этих методах оценкой качества прибора выступает комплексный показатель K , который в общем случае с учетом временной зависимости определяется выражением:

$$K = f(E_1, E_2 \dots E_N) \times F(t) \quad (1)$$

где $E_1, E_2 \dots E_N$ – набор единичных параметров прибора, а $F(t)$ – временная функция, которая может быть найдена на

основании обработки статистических данных параметров E для некоей выборки приборов, выпущенных в различное время.

Наличие временной функции объяснимо, поскольку оценка качества является не просто самоцелью. Она должна послужить средством или инструментом для прогнозирования качества прибора, то есть его характеристик, и в принципе указать меры, которые должны быть и могут быть реализованы в системе управления качеством на предприятии, выпускающем прибор.

Выше отмечалось, что в общем виде прибор является многомерным объектом, и прогнозирование его характеристик представляет сложную трудоемкую задачу, к сожалению, не всегда полностью отражающую взаимосвязи между показателями качества. Именно поэтому в большинстве случаев переходят от прогнозирования совокупности единичных свойств прибора к прогнозированию и предварительной разработке именно комплексного показателя качества K.

Рассмотрим экспертно-статистический метод, пригодный для прогнозирования, и предложим его модификацию с использованием эвристических методов оптимизации на основе современных технологий.

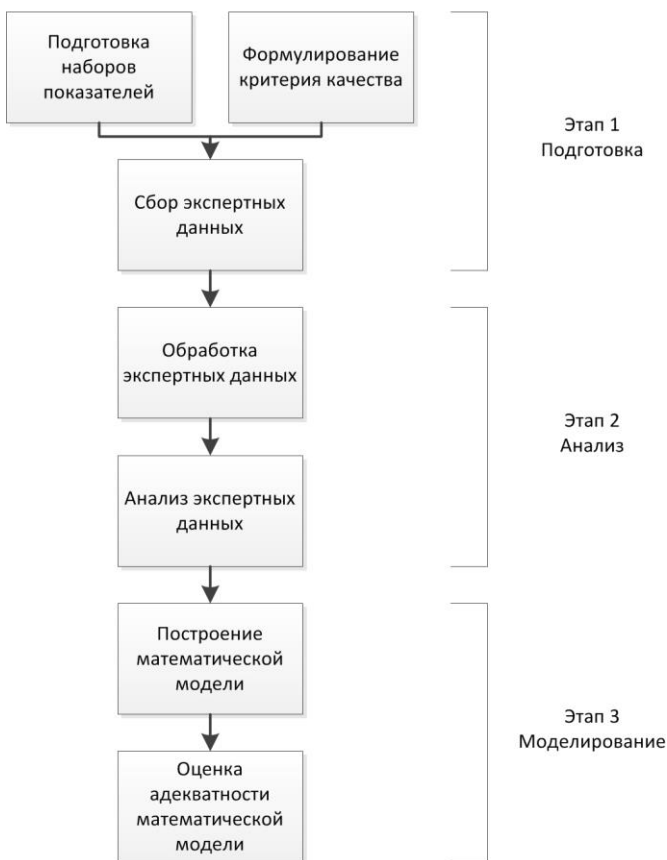


Рис. 1. Алгоритм экспертно-статистического метода

В основе экспертно-статистического метода лежит не вызывающее возражений утверждение о том, что

квалифицированный эксперт, получив набор единичных показателей прибора и сформулированную условным заказчиком цель управления качеством (по сути – критерии оценивания), способен выполнить анализ. То есть сопоставить этому набору параметров явную комплексную оценку, соответствующую заданной цели. Ряд экспертов, получив значимое количество таких наборов (то есть приборов, обладающих определенными характеристиками – настоящих или гипотетических, виртуальных) способны проранжировать их, распределив по предпочтительности с точки зрения обеспечения заданных критериев качества. Полученная информация может быть подвергнута статистической обработке для построения математической модели, которая свяжет единичные показатели качества с полученными в результате экспертного оценивания комплексными показателями, определив их веса и условную значимость. Таким образом, модель в дальнейшем можно будет применять к наборам единичных показателей, имеющих другие значения и не участвовавшим в экспертном оценивании. И, тем не менее, модель позволит получить оценки аналогичные тем, которые могли бы быть получены от квалифицированного специалиста, или точнее, эта оценка совпадет с взвешенным мнением экспертного сообщества. По сути, несмотря на то, что данный метод разработан уже довольно давно, однако можно отметить, что в самой его основе лежат определенные свойства, характерные для современных принципов машинного моделирования и построения экспертных систем.

Не раскрывая подробно математического аппарата данного метода (с ним желающие могут ознакомиться в литературе) остановимся и рассмотрим характеристики каждого из этапов с точки зрения основных требований к ним, их эффективности и трудоемкости.

Первый этап является определяющим с точки зрения критериев и базовой основы для дальнейшего построения модели. На нем должна быть сформирована выборка из реальных или гипотетических приборов, объем которой для обеспечения объективного оценивания статистическими методами должен значительно превышать число единичных показателей качества. Эксперты заполняют таблицу попарного сравнения наборов показателей (приборов).

ТАБЛИЦА I ПРИМЕР ТАБЛИЦЫ ПОПАРНОГО СРАВНЕНИЯ ПРИБОРОВ

		Приборы									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Приборы	1		0	0	1	0	0	1	1	1	1
	2	1		1	1	1	1	1	1	1	1
	3	1	0		1	1	1	1	1	1	1
	4	0	0	0		0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0		0	1	1	1	1
	6	0	0	0	0	0		1	1	1	1
	7	0	0	0	0	0	0		1	0	1
	8	0	0	0	0	0	0	0		0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	1		1
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Заполнение таких таблиц (их число равно числу экспертов, участвующих в оценивании), в которых единицей отмечается превосходство одного прибора над другим по мнению эксперта с точки зрения выбранных критериев качества, является половиной работы по первому этапу. Для каждого прибора по этой таблице можно посчитать «степень превосходства», то есть число приборов, которые он превосходит. Для того чтобы повысить объективность оценки и сделать данные более приемлемыми для статистической обработки, эксперт дополнительно ранжирует приборы по степени превосходства и выставляет им дополнительную оценку по заданной бальной шкале, где минимальной степени превосходства соответствует минимальное число баллов, максимальной – максимальное, а остальные оценки распределяются между ними. На этом работа эксперта заканчивается, и мы переходим ко второму этапу.

Можно отметить, что первый этап обладает низкой трудоемкостью (за исключением разве что работы эксперта по ранжированию, но она объективно находится в его профессиональной компетенции), а также носит объективный характер (опять же с точностью до квалификации выбранных экспертов).

Второй этап представляет собой обработку и анализ данных, полученных на первом этапе. Определяющим здесь является вычисление экспертного комплексного показателя качества, вычисляемого по формуле:

$$KЭ_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N K_{ij}, i = 1..L \quad (2)$$

где K_{ij} – оценка j -м экспертом i -го прибора.

Завершает этап проверка воспроизводимости экспертных данных и оценка их погрешности. Все действия, выполняемые в рамках данного этапа, представляют стандартную статистическую обработку данных, легко автоматизируются и являются безусловно объективными.

Теперь рассмотрим третий этап – этап создания математической модели комплексного показателя качества. Модифицируя формулу (1), задачу определения этого показателя можно представить в виде:

$$K = \begin{cases} f_1(E_1 \dots E_N, a_{11} \dots a_{L1}) \\ \dots \\ f_M(E_1 \dots E_N, a_{1M} \dots a_{LM}) \end{cases} \quad (3)$$

где $E_1 \dots E_N$ – набор единичных параметров прибора, $f_1 \dots f_M$ – возможные виды функциональных зависимостей, а $a_{11} \dots a_{LM}$ – наборы коэффициентов этих зависимостей.

Можно отметить, что этап моделирование сводится к двум нетривиальным задачам. Во-первых, это определение вида функциональной зависимости: они могут быть линейными, логарифмическими - практика показывает, что встречается целый ряд вариантов такого рода зависимостей. Во-вторых, для выбранной зависимости необходимо определить такие значения её коэффициентов

которые наиболее точно соответствуют поставленной цели и обеспечивают оценки близкие к экспертным.

Здесь исследователя ждёт целый ряд подводных камней. Необходимо сначала выдвигать гипотезу о возможном виде функциональной зависимости, а затем проверять её путем решения оптимизационной задачи и сложных математических расчётов. В процессе необходимо учитывать и физический смысл решаемой задачи. Не подтверждение гипотезы в результате расчетов обозначает необходимость повторного выдвижения новой гипотезы, выбора новой формы функциональной зависимости и повторения решения задачи оптимизации для нахождения коэффициентов.

Таким образом, выполнение третьего этапа является сложной, неочевидной с точки зрения алгоритмизации, математической трудной и не во всём объективной задачей. Ее решение требует высокой квалификации исполнителей, достаточно дорого и трудоемко.

Для решения описанных выше проблем мы предлагаем новый модифицированный экспертно-статистический метод, в котором третий этап базового алгоритма будет заменен более перспективным подходом с использованием современных интеллектуальных технологий и эвристических методов оптимизации.

Современные интеллектуальные технологии отличаются от многих классических технологий тем, что заменяют сложное моделирование машинным обучением, а точный расчет коэффициентов производственных правил – на их эвристический подбор или замену неявным выводом по принципу «черного ящика». К такого рода методам можно отнести искусственные нейронные сети, байесовский подход, генетические и эволюционные алгоритмы. Для модифицированного алгоритма мы предлагаем использование генетического алгоритма. Такой подход определенно соответствует сформулированной выше задаче. Экспертно-статистический метод, представляющий собой сочетание объективного, умеренно трудоемкого ранжирования на основе экспертных оценок и сложного моделирование, сочетающего в себе ряд субъективных элементов и сложных расчетов, модифицируется путём исключения из него моделирования, за счет использования генетического алгоритма для автоматического выбора формы функциональной зависимости и настройки параметров комплексного показателя.

Генетические алгоритмы (ГА) представляют собой современную технологию эвристического поиска, основанную на моделирование процессов эволюции. Искомые решения оптимизационной задачи кодируются в виде так называемых хромосом, каждая из которых представляет собой определенный набор генов, то есть отдельных чисел или рядов чисел, представленных в той или иной кодировке. Совокупность этих чисел в нашей задаче является закодированным обозначением функциональной зависимости и необходимым набором коэффициентов, использующихся в формуле определения комплексного коэффициента.

На первой итерации алгоритма формируется случайная или исходно заданная по сформулированному правилу выборка параметров – формируется набор хромосом, так называемая популяция. Она представляет собой начальное пространство допустимых решений поставленной задачи. В рамках популяции действуют эволюционные механизмы селекции, мутации и скрещивания, иначе называемого кроссинговером. Основой эволюционного взаимодействия является функция соответствия (ФС), которая сопоставляет хромосоме некое число и оценивает ее эволюционные перспективы, то есть соответствие поставленной задаче. В нашем случае в качестве такой функции выступит функция сравнения комплексного коэффициента, рассчитанного на основании параметров хромосомы, с комплексными оценками, полученными в результате экспортного ранжирования, на основании имеющейся выборки данных параметров и оценок.

Во время работы генетического алгоритма происходит генерация новых хромосом, то есть мутационное возникновение новых вариантов параметров, а также скрещивание имеющихся путем обмена разрядами или целыми значениями параметров между ними. Хромосомы включаются в поле решений, оцениваются при помощи целевой функции, также называемый функцией соответствия, а затем те из них, кто имеет наибольшее значение этой функции, попадают в следующее эволюционное поколение. Имеющие же низкое значение функции «вымирают», то есть исключаются из пространства возможных решений. Таким образом, генетический алгоритм на математическом уровне воспроизводит суровый мир естественной эволюции; для нашей же цели он обеспечивает выбор вида функциональной зависимости и определение оптимальных значений ее коэффициентов без использования явного моделирования на основании экспертных данных и их эвристического анализа.

Рассмотрим подробнее основные этапы модифицированного экспортно-статистического метода. Как уже говорилось выше первый и второй этап не имеют альтернатив и остаются неизменными. Моделирование же заменяется на определение функциональной зависимости и его коэффициентов при помощи генетического алгоритма. Вначале выполняется установка параметров алгоритма. К ним относятся: количество входных показателей, принцип их кодирования в хромосоме, выбор начального варианта функциональной зависимости, критерия макромутации и прочие характерные особенности генетического алгоритма. Все эти настройки делаются путём выбора из возможных, заданных для алгоритма, значений и не требуют существенных трудозатрат.

Затем случайным образом (с учётом выборов предыдущего пункта) генерируется первичная популяция и выполняется её оценка при помощи ФС. Напомним, что функция соответствия выставляет свою оценку путем сравнения экспертных заключений с критерием, сформированным по данным хромосомы.

Затем выполняются стандартные механизмы скрещивания и мутации для формирования следующего

поколения, таким образом, мы получаем новые возможные решения. Для того чтобы избежать ловушек локальных экстремумов и преждевременной сходимости алгоритма мы предусматриваем критерий макромутации и, соответственно, процедуру макромутации, которые предназначены для внесения дополнительного разнообразия в выборку по итогам формирования нового поколения. После этого выполняется его оценивание, сравнение со старым поколением и, наконец, формирование новой выборки на основании лучших решений из старой популяции и нового поколения.

Если уже достигнута необходимая точность, то есть лучшие хромосомы популяции на экспертной выборке дают решения близкие к полученным от экспертов, то срабатывает критерий завершения и алгоритм завершает свою работу. Если же мы не получили необходимые решения, то происходит переход к следующей итерации алгоритма и формированию нового поколения.

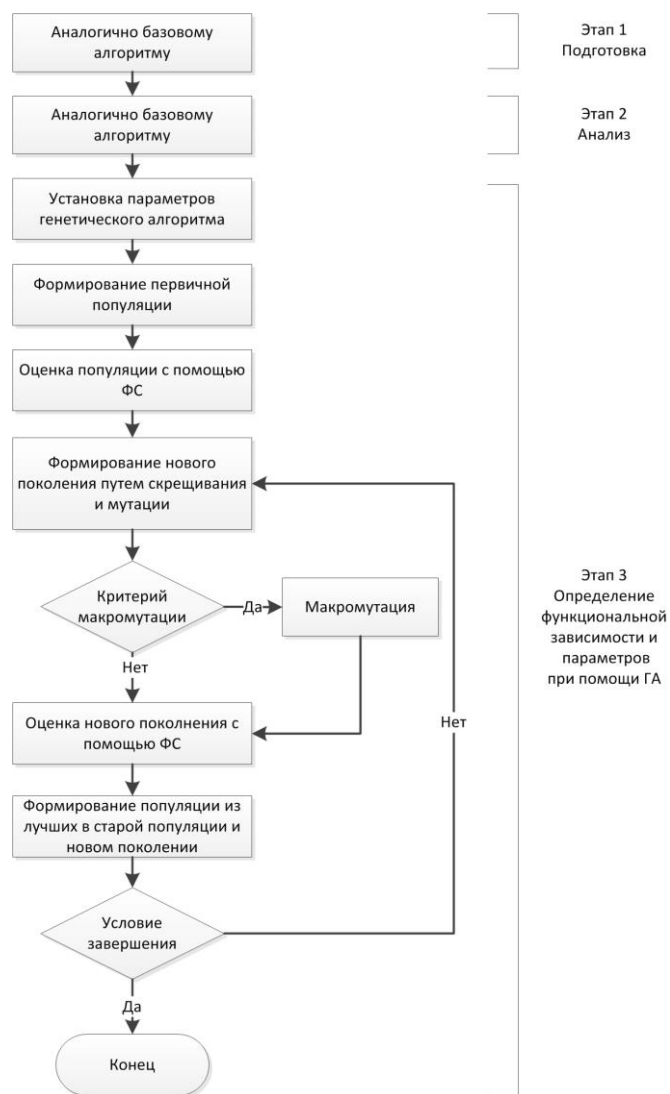


Рис. 2. Модифицированный алгоритм экспертно-статистического метода на основе ГА

Таким образом, предлагаемый подход позволяет, используя экспертные данные и генетический алгоритм, избежать трудоемкого моделирования получив при этом необходимые вид и параметры комплексного показателя качества.

Рассмотренный в данной статье подход можно развивать в нескольких направлениях. Во-первых, он предусматривает реализацию в виде программного продукта – экспертной системы. Во-вторых, в дополнительном исследовании нуждается оптимальный выбор используемого генетического алгоритма и его параметров. И наконец, в-третьих, интерес представляет

расширение сферы его возможного применения: от оценки качества приборов к определению качества в иных сферах, таких как, например, программное обеспечение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Тульчин Л.Г., Хаскин А.М. и Шаповалов В.Д. Оценка качества электроизмерительных приборов. Л: Электроиздат. Ленингр. отделение, 1982. 216 с.
- [2] Бишард Е.Г., Минина А.А. Оценка качества средств измерительной техники. Спб: Изд. СПбГЭТУ (ЛЭТИ), 2016, 55 с.
- [3] Гладков Л.А., Курейчик В.В. и Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. М: Физматлит, 2010. 368 с.