

УДК 621: 658.512: 519.233

УСТОЙЧИВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ, ТРЕБОВАНИЙ И ЗНАНИЙ

А.Я. Дмитриев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
Россия, 443086, Самара, Московское шоссе, 34
E-mail: dmitriev.aya@ssau.ru

Ключевые слова: управление качеством, развертывание функции качества, идентификация, матричные преобразования, обратная задача, регуляризация.

Аннотация: Важной проблемой в условиях цифровой экономики и системного развертывания функции качества по жизненному циклу продукции является создание устойчивого метода идентификации качества объекта. В первую очередь это связано с тем, что традиционные методы идентификации часто не позволяют получать надежные результаты в практических условиях их применения. Важным направлением повышения устойчивости параметрической идентификации математической модели продукции и технологических процессов является использование дополнительной информации эксперта системы менеджмента качества предприятия. Решение такой задачи параметрической идентификации позволяет получать оценки параметров состояния, согласованные как с результатами испытаний, так и дополнительной информацией эксперта. Предлагается идентификацию проводить на основе теории регуляризации.

1. Введение

Вопросы проектирования/модернизации продукции и технологий машиностроения при импортозамещении выходят на передний план для российской промышленности [1, 15]. Под проектированием качества продукции понимается разработка необходимой продукции на основе ожиданий потребителей, знаний и параметрической идентификации характеристик качества. Задача идентификации качества (определения приоритетов и целевых значений характеристик) на основе ожиданий потребителей и знаний разработчика является ключевой задачей, от решения которой зависят дальнейшие этапы проектирования и жизненного цикла продукции и в конечном итоге конкурентоспособность продукции. Трудности при идентификации качества новой и сложной продукции возникают в связи с тем, что задача параметрической идентификации качества является обратной. Необходимо определить характеристики проектируемой продукции или услуги (причину) по выявленной удовлетворенности (следствие). В то же время эта задача идентификации качества продукции и услуг, как и большинство важных обратных задач, является некорректной. Некорректность проявляется, в том числе, в высокой изменчивости решений в зависимости от изменчивости требований во времени, неоднозначности невысказанных ожиданий и т.д.

Целью работы является повышение качества и конкурентоспособности продукции за счет проектирования/модернизации продукции и технологических процессов на основе эффективного применения развертывания (структурирования) функции качества QFD (от англ. Quality Function Deployment) при использовании различного рода информации (знаний) и идентификации целевых значений характеристик продукции и параметров процессов [1-4].

2. Системы управления качеством и знаниями

Современные международные стандарты на системы менеджмента организацией, включая стандарт на систему менеджмента качества ISO 9001, разрабатываются с использованием единого подхода и требуют управления базами знаний организаций [5-7]. Так, версия стандарта ISO 9001:2015 разработана в соответствии с приложением к директиве ISO Annex SL (ISO/IEC Directives, Part 1 Consolidated ISO Supplement – Procedures specific to ISO). Директива устанавливает новый, единый стандарт для систем управления (на основе ISO 9001, ISO 14001, ISO 50001, ISO 22000, ISO/IEC 27001 и др.), в соответствии с которым все стандарты систем управления будут приведены к единой структуре.

Пункт 7.1.6 ISO 9001:2015 «Знания организации» в проекте стандарта ISO 9001:2015 содержит требования по управлению базой знаний [7].

Интеграция в ISO 9001 требований в области управления знаниями и внедрение риск-менеджмента являются основными направлениями обновления стандарта и приведения его к современному уровню развития управленческой науки.

Проектирование и разработка онтологий (онтологический инжиниринг) – основа концепции менеджмента знаний – на настоящий момент наиболее перспективный подход к управлению сложными «информационно наполненными» системами. Разработка систем менеджмента знаний включает несколько этапов: накопление, извлечение, структурирование, формализация и программная реализация, обслуживание. Основная задача онтологического подхода – упорядочение знаний путём их систематизации, создания единой иерархии понятий, унификации терминов и правил интерпретации - отвечает общей цели повышения эффективности проектирования продукции в соответствии с требованиями и ожиданиями потребителя.

3. Разработка модели идентификации качества продукции на основе онтологического подхода и QFD

Ключевой задачей обеспечения качества является определение (идентификация) характеристик качества продукции. От решения этой задачи зависят дальнейшие этапы жизненного цикла продукции и, в конечном итоге, конкурентоспособность организации. В теории управления под идентификацией системы понимают определение структуры системы и её параметров путем анализа входных и выходных данных системы [8-11]. Ниже рассмотрим структурную и параметрическую идентификацию продукции с использованием методов управления качеством и онтологического анализа.

Современным методом трансформации требований потребителя в непосредственные характеристики новой (или модернизируемой) продукции и идентификации качества является метод QFD. Целью применения метода является преобразование запроса потребителя (требований и ожиданий) в технические характеристики продукции и рабочие инструкции, визуализация, документирование и

планирование качества продукции. Основным элементом QFD является именно развёртывание требований потребителя в производстве и достижение соответствующих технических характеристик, отвечающих ожиданиям потребителя.

Основным элементом Дома качества является матрица взаимосвязи: требований и характеристик продукции на I уровне QFD, характеристик продукции и характеристик компонентов на II уровне QFD, характеристик компонентов и параметров технологических процессов на III уровне QFD, параметров технологических процессов и параметров производственных/вспомогательных операций на IV уровне QFD. Наиболее часто используется 4-точечная шкала взаимосвязи: отсутствие, слабая, средняя, сильная) [1-4].

Результатом применения QFD является определение приоритетов и выявление характеристик продукции, характеристик компонентов, параметров технологического процесса и вспомогательных операций, в наибольшей степени влияющих на выполнение требований потребителя.

Следует выделить следующие недостатки или сложности существующих подходов к идентификации качества на основе развёртывания функции качества: трудоемкость вычислений и ограниченность возможных размеров матриц взаимосвязей, сложность учета отрицательных взаимосвязей, использование только приоритетов 1 уровня QFD, некорректность задачи, сложность или ограниченность использования различной информации об изменениях технических характеристик, изменчивости рынка, погрешности экспертных оценок и т.д.

Для преодоления указанных сложностей была поставлена задача создания модели идентификации характеристик качества как решения обратной некорректно поставленной задачи на основе метода развёртывания функции качества с усовершенствованным математическим аппаратом.

4. Устойчивый метод проектирования качества продукции

Предлагается использовать метод устойчивого приближенного решения следующего матричного уравнения (далее – линейная математическая модель, ЛММ):

$$(1) \quad H\delta\Theta = \delta P,$$

где $\delta\Theta$ – n -мерный вектор относительных отклонений параметров состояния (оценок целевых значений характеристик продукции для 1 уровня QFD), δP – k -мерный вектор относительных отклонений признаков состояния (важности требований и ожиданий потребителей (для 1 уровня QFD), H – матрица размером $(k \times n)$ коэффициентов взаимосвязи требований и характеристик (для 1 уровня QFD).

Предлагается параметрическую идентификацию проводить на основе теории регуляризации. При получении регуляризованных оценок, наилучшим образом учитывающих экспериментальную и дополнительную информацию, выбор параметра регуляризации α осуществляется с учетом погрешности измерений и погрешности коэффициентов (матрицы H) ЛММ [11-13].

В разработанном методе регуляризованное решение задачи параметрической идентификации математической модели определяется следующим образом:

$$\delta\hat{\Theta}^\alpha = \operatorname{argmin}_{\delta\Theta} M^\alpha[\delta\Theta]$$

где

$$(2) \quad M^\alpha[\delta\Theta] = \sum_{i=1}^k F_1(c_1, \Delta_i, p_i) + \alpha \sum_{j=1}^n F_2(c_2, \delta\Theta_j - \delta\Theta_j^0, q_i),$$

F_1 и F_2 – функции вида

$$F(c, \Delta, p) = \begin{cases} (\Delta/p)^2 & , |\Delta/p| < c \\ 2c|\Delta/p| - c^2 & , |\Delta/p| \geq c \end{cases}$$

в которых Δ – невязка, p – вес невязки, $c > 0$ – параметр Хубера.

Дополнительная информация о погрешностях признаков состояния и возможных значениях отклонений параметров состояния учитывается за счёт задания весов p , q , ожидаемого значения вектора отклонений параметров состояния $\delta\theta^0$, а также выбора коэффициентов c_1 , c_2 , определяющих интенсивность засорения данных, и возможности выбора параметра регуляризации α .

Для реализации представленного метода разработаны алгоритм и программный модуль [15, 16]. Преимуществом реализации модуля является открытость используемых данных и получаемых результатов в реальном времени. Предусмотрено использование исходных данных в виде стандартных таблиц MS Excel, что позволяет экспертам сосредоточиться на «качестве» исходных данных и дополнительной информации.

5. Апробация метода при проектировании продукции авиационного производства

Адекватность разработанного метода была исследована на примере существующей модели технической системы «турбовальный авиационный двигатель со свободной турбиной ТВД». Математическое моделирование и результаты испытаний газотурбинных двигателей (ГТД) используются для решения задач: доводка ГТД по основным данным и термогазодинамическим параметрам, диагностика состояния ГТД, идентификация динамических характеристик, контроль и отладка режимов работы двигателя [14, 15].

Проведено исследование на основе линейной модели ГТД, содержащей коэффициенты влияния (в том числе отрицательные) на определенном режиме. Изменения признаков состояния смоделированы с учетом информации о возможных изменениях определенных параметров состояния, СКО параметров состояния и СКО признаков состояния. По выбранной модели произведен расчет стандартным методом QFD и разработанным методом. Результаты, полученные стандартным методом QFD, не отражают смоделированных изменений. Определены приоритеты и наиболее важные параметры только с учетом самой линейной модели, в то время как смоделированные изменения признаков в стандартном расчете QFD не проявили себя и не повлияли на приоритетность параметров, так как для использования отрицательных значений в ЛММ, необходимы дополнительные расчеты. Расчет методом проведен с использованием разработанного программного модуля в соответствии с разработанным алгоритмом. В результате расчетов наибольшие приоритеты получены для выбранных параметров (сумма относительных приоритетов данных параметров составляет более 90%), для которых проведено моделирование признаков состояния.

6. Заключение

Предложенный метод идентификации качества продукции и технологического процесса в условиях цифровой экономики опирается на подход, развиваемый в системах менеджмента качества и закреплённый в международных стандартах, которые, по сути, образуют мета-онтологию. Разработанный метод позволяет существенно структурировать и облегчить конструкторам, технологам и экспертам решение практической задачи идентификации и дальнейшего планирования качества, а

также повысить достоверность и устойчивость результатов к погрешностям данных. Применение метода позволяет сократить сроки проектирования, повысить качество продукции за счёт расчёта приоритетов, уточнения технических характеристик продукции и параметров технологических процессов.

Понимание парадигмы проектирования качества продукции на основе развертывания функции качества QFD и параметрической идентификации моделей, требований потребителей, знаний должно обеспечить ускоренное повышение качества на всех этапах жизненного цикла продукции и конкурентоспособности в различных отраслях промышленности.

Список литературы

1. Дмитриев А.Я., Вашуков Ю.А., Митрошкина Т.А. Робастное проектирование и технологическая подготовка производства изделий авиационной техники: учеб. пособие // Самара: Изд-во СГАУ имени академика С.П. Королева, 2016. 76 с.
2. Akaou Y., Mazur G.H. The leading edge in QFD: past, present and future // International Journal of Quality & Reliability Management. 2003. Vol. 20, No. 1. P. 20-35.
3. Брагин Ю.В., Корольков В.Ф. Путь QFD: проектирование и производство продукции исходя из ожиданий потребителей. Ярославль: Центр качества, 2003. 240 с.
4. Дмитриев А.Я., Митрошкина Т.А., Вашуков Ю.А. Развёртывание функции качества (QFD). Самара: Изд-во СГАУ, 2009. 54 с.
5. Боргест Н.М. Научный базис онтологии проектирования // Онтология проектирования. 2013. № 1 (7). С. 7-25.
6. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. С.Пб.: Питер, 2000. 384 с.
7. ISO 9001:2015 Quality management systems. Requirements. International Organization for Standardization. http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=62085
8. Эйкхофф П. Современные методы идентификации систем. М.: Мир, 1983. 400 с.
9. Fehlmann T.M. The impact of linear algebra on QFD // Int. J. of Quality & Reliability Management. 2005. Vol. 22, No. 1. P. 83-96. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/02656710510573011>.
10. Дмитриев А.Я., Митрошкина Т.А. Проектирование качества продукции на основе параметрической идентификации моделей, требований потребителей, знаний: онтологическая парадигма // Онтология проектирования. 2015. Т. 5, № 3 (17). С. 313-327. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-3-313-327.
11. Дмитриев А.Я., Митрошкина Т.А. Метод идентификации качества продукции на основе матричного подхода // Известия СНЦ РАН. 2010. Т. 12, №4. С. 879-891.
12. Воскобойников, Ю.Е. Выбор параметра регуляризации одного класса нелинейных алгоритмов решения плохо обусловленных СЛАУ // Автоматика и программная инженерия. 2012. № 2 (2). С. 89-95.
13. Митрошкина Т.А., Дмитриев А.Я., Лаптев Н.И., Богатеев Г.Г. Современные инновационные методы структурирования качества продукции и управления рисками // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 8. С. 330-332. EDN SEMNPH.
14. Бочкарев С.К., Дмитриев А.Я., Кулагин В.В. и др. Опыт и проблемы компьютеризированного термогазодинамического анализа результатов испытаний газотурбинных двигателей сложных схем // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 1993. № 2. С. 68-70. EDN TZORBХ.
15. Дмитриев А.Я., Филиппова Т.С. Введение в онтологию инжиниринга качества. Часть 2. Методы, инструменты и применение // Качество и жизнь. 2022. № 4(36). С. 3-10. DOI 10.34214/2312-5209-2022-36-4-03-10. EDN BHRYKX.
16. Митрошкина Т.А., Дмитриев А.Я. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023687979 Российская Федерация. Системное планирование качества продукции и процессов MTQFD: № 2023687697: заявл. 13.12.2023; опубл. 19.12.2023; заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева». EDN GWRMII.