ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 72068— 2025/ ISO/TS 16355-6:2019

Статистические методы

ПРИМЕНЕНИЕ К НОВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ И ПРОЦЕССУ РАЗРАБОТКИ ПРОДУКЦИИ

Часть 6

Руководство по подходам к оптимизации, связанным с QFD-методом

(ISO/TS 16355-6:2019, Applications of statistical and related methods to new technology and product development process — Part 6: Guidance for QFD-related approaches to optimization, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «Интеллект-НН» (ООО «Интеллект-НН») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии документа, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 125 «Применение статистических методов»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 июня 2025 г. № 536-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному документу ISO/TS 16355-6:2019 «Применение статистических методов к новым технологиям и процессу разработки продукции. Часть 6. Руководство по подходам к оптимизации, связанным с QFD-методом» (ISO/TS 16355-6:2019 «Application of statistical and related methods to new technology and product development process — Part 6: Guidance for QFD-related approaches to optimization», IDT).

Международный документ разработан Техническим комитетом ISO/TC 69.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного документа для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5 (пункт 3.5).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© ISO, 2019
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Основные концепции QFD-метода 2
5 Объединение QFD-метода и робастного параметрического проектирования 2
6 Виды проектов QFD и робастного проектирования 6
7 Команда QFD и робастного параметрического проектирования 6
8 Робастное параметрическое проектирование 6
Приложение А (справочное) Интеграция робастного параметрического проектирования (RPD), структурирования качества по функциям (QFD) и теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) 12
Приложение В (справочное) Другие методы оптимизации 14
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам 15
Библиография 16

Введение

Структурирование качества по функциям (QFD)[1)] — это метод обеспечения удовлетворенности потребителей и заинтересованных сторон новой и существующей продукцией путем разработки продукции с учетом требований, наиболее важных для потребителей и заинтересованных сторон, и обеспечения качества на протяжении всей последующей деятельности по проектированию, разработке, поставке, изготовлению, коммерциализации, поддержке и выводу из эксплуатации. Понимание этих требований основано на использовании количественных и неколичественных методов повышения качества на этапах проектирования и разработки. Помимо удовлетворенности продукцией процесс разработки и производства новой продукции улучшает робастное параметрическое проектирование.

Результаты использования QFD включают повышение удовлетворенности потребителей продукцией на момент ее выпуска, улучшение межфункциональной коммуникации, систематизацию и прослеживаемость проектных решений, эффективное использование ресурсов, сокращение количества доработок, сокращение сроков вывода продукции на рынок, снижение стоимости жизненного цикла, улучшение репутации организации среди ее потребителей и заинтересованных сторон.

Настоящий стандарт демонстрирует динамичный характер подхода, ориентированного на потребителя. С момента своего основания в 1966 году применение QFD расширяло и углубляло свои методы и приемы, позволяющие реагировать на меняющиеся условия. Пользователи более старых моделей QFD могут увидеть, что введенные улучшения упрощают использование QFD. Приведенные методы и приемы представляют собой результаты десятилетий совершенствования QFD; их перечень, приведенный в настоящем стандарте, не является ни исчерпывающим, ни исключительным. Пользователям следует рассмотреть применимость этих методов и приемов в качестве рекомендаций.

Оценку робастности следует проводить с учетом общих потерь в течение жизненного цикла продукции. Общие потери состоят из затрат и убытков на каждом этапе жизненного цикла продукции. Они включают все затраты не только на этапе производства, но и на этапах утилизации. Если продукция не является робастной, это приводит к многочисленным экологическим и социально-экономическим потерям (включая убытки изготовителя и пользователей) на протяжении всего срока ее службы от отгрузки до окончательной утилизации. Поставщики продукции несут ответственность за поставку на рынок робастной продукции, что позволяет предотвратить потери и ущерб, связанные с дефектами продукции. Роль параметра робастности в процессе QFD показана на примерах со ссылками на другие документы ИСО и связанные с ними материалы.

Информация, приведенная в настоящем стандарте, не является исчерпывающей и изменяется в зависимости от отрасли, продукции и рынка. Данную информацию следует рассматривать как руководство, побуждающее пользователей к поиску действий, необходимых для достижения искомой цели в отношении своей продукции.

Настоящий стандарт охватывает все функции организации, необходимые для обеспечения удовлетворенности потребителей, включая бизнес-планирование, маркетинг, продажи, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), информационные технологии (IT), производство, закупки, обслуживание, упаковку и логистику, сопровождение, испытания, управление, проектирование бизнес процессов, обслуживание аппаратных средств, программного обеспечения и т. п.

[1)] Расшифровка аббревиатуры QFD в настоящее время окончательно не сформировалась. Использованный вариант наиболее близок к предложенному Ю.П. Адлером и достаточно точно отражает смысл понятия QFD.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Статистические методы

ПРИМЕНЕНИЕ К НОВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ И ПРОЦЕССУ РАЗРАБОТКИ ПРОДУКЦИИ

Часть 6

Руководство по подходам к оптимизации, связанным с QFD-методом

Statistical methods. Application to new technology and product development process. Part 6. Guidance for QFD-related approaches to optimization

Дата введения — 2026—01—01

1 Область применения

В настоящем стандарте установлено руководство по подходам к оптимизации, связанным с QFD-методом, с помощью робастного параметрического проектирования для обеспечения удовлетворенности потребителей новой продукцией, услугами и информационными системами. Настоящий стандарт применим для определения оптимальных номинальных значений параметров проекта на основе оценки робастности их функционирования на этапе проектирования продукции.

Примечание — Некоторые действия, описанные в настоящем стандарте, могут быть использованы как на более ранних, так и на более поздних этапах. Другие подходы к решению задач оптимизации процессов разработки новых технологий и продукции приведены в приложении В.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных стандартов применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)]:

ISO 16336:2014, Applications of statistical and related methods to new technology and product development process — Robust parameter design (RPD) [Применение статистических методов к новым технологиям и процессу разработки продукции. Робастное параметрическое проектирование (RPD)]

ISO 16355-1:2015[1)], Application of statistical and related methods to new technology and product development process — Part 1: General principles and perspectives of Quality Function Deployment (QFD) [Применение статистических методов к новым технологиям и процессу разработки продукции. Часть 1. Общие принципы и перспективы технологии структурирования качества по функциям (QFD)]

[1)] Заменен на ISO 16355-1:2021. Однако для однозначного соблюдения требования настоящего стандарта, выраженного в датированной ссылке, рекомендуется использовать только указанное в этой ссылке издание.

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины, определения и обозначения по ИСО 16336 и ИСО 16355-1.

ИСО и МЭК ведут терминологические базы данных для использования в области стандартизации по следующим адресам:

- платформа онлайн-просмотра ИСО: доступна по адресу gost.e-ecolog.ru ;
- Электропедия МЭК: доступна по адресу gost.e-ecolog.ru .

4 Основные концепции QFD-метода

Основные концепции QFD-метода приведены в ИСО 16355-1:2015, раздел 4.

5 Объединение QFD-метода и робастного параметрического проектирования

5.1 Технология качества

5.1.1 Общие положения

Доктор Генити Тагути, первооткрыватель в области японских методов контроля качества, разработал философию инжиниринга качества, основанную скорее на технологии качества, чем на теории качества, предназначенную для того, чтобы измерять потери, поддерживать качество на производстве и постоянно улучшать его. Цель состоит в том, чтобы создавать высококачественные товары и услуги с низкой ценой, удовлетворяющие потребности потребителей, эта цель является также целью структурирования качества по функциям (QFD) [3].

5.1.2 Функция потерь

Измерение потерь можно объяснить с помощью концепции функции потерь; любое отклонение от идеальной функции продукции приводит к потерям:

a) у потребителя, который не может в полной мере пользоваться продукцией по назначению в течение ожидаемого срока службы [8].

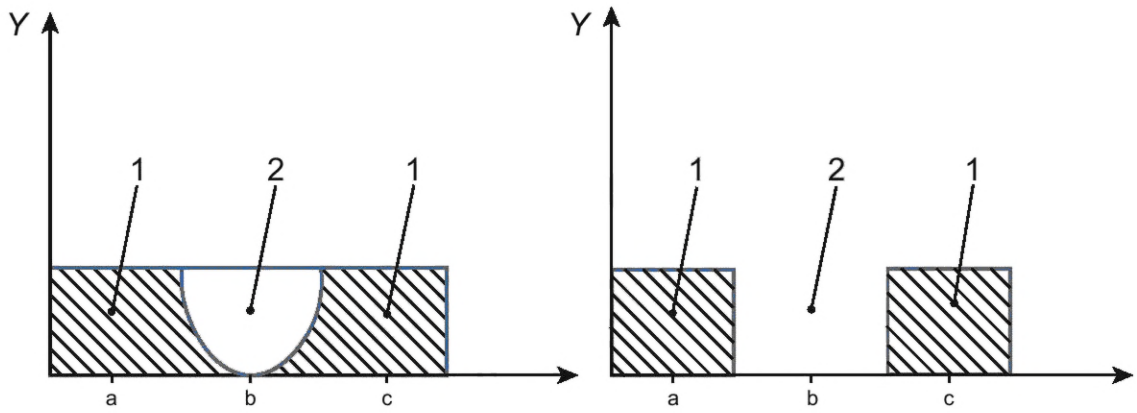
Примечание — При робастном параметрическом проектировании основное внимание уделяют снижению качества продукции, вызванному вариабельностью функции или характеристики продукции. В качестве альтернативы это называют издержками низкого качества [2];

b) у организации, где могут возникнуть проблемы в результате выполнения ненужной работы, использования излишних материалов и/или времени, переделок, брака, замен по гарантии, технического обслуживания [12];

c) у общества, когда могут возникнуть проблемы в результате правового регулирования, утилизации, восстановления, обеспечения безопасности, появления опасностей [7].

5.1.2.1 Функция потерь Тагути в сравнении с функцией потерь, связанной с допуском

Измерение потерь может быть выполнено путем расчета затрат заказчика, организации и общества в целом, вызванных отклонениями от целевого значения (требований спецификации) при проектировании, направленных на полное удовлетворение требований потребителя. Определение этого целевого значения описано в ИСО 16355-5:2017, раздел 9, в таблице максимальных значений, и в ИСО 16355-5:2017, 10.3.4.1, в таблицах планирования эксперимента как с весовыми коэффициентами, так и без них. Функция потерь Тагути рассматривает любое отклонение от целевого требования как потерю для потребителя, организации и общества, и это может быть количественно оценено с точки зрения затрат. Традиционная функция потерь является ступенчатой функцией, поскольку до тех пор, пока характеристики продукции или ее компонента находятся в пределах границ поля допуска номинального целевого значения, потери отсутствуют, как показано на рисунке 1.



[a] Нижняя граница поля допуска.
[b] Целевое значение.
[c] Верхняя граница поля допуска.

Y — затраты; *1* — потери; *2* — потери отсутствуют

Рисунок 1 — Функция потерь Тагути (слева) и функция потерь, связанная с допуском (справа)

5.1.2.2 Вычисление функции потерь

Чем больше отличаются характеристики продукции или компонента от номинального целевого значения, тем больше потери по Тагути. Монетизация среднего показателя потерь позволяет команде QFD рассматривать различные варианты проектирования с различными затратами и потерями. Средние потери могут быть рассчитаны с помощью квадратичной формулы [13]:

$$\overline{L} = k[\sigma^2 + (\overline{y} - T)^2],$$

где $\overline{L}$ — потери потребителя, организации или общества;

k = деньги/Δ^2, где Δ —допуск, разность между проектным номинальным значением и границей поля допуска, а «деньги» — сумма потерь в денежном выражении, когда характеристика выходит за границы поля допуска Δ;

T — целевое значение характеристики;

σ^2 — дисперсия характеристики;

$\overline{y}$ — выборочное среднее характеристики.

Определение допуска Δ приведено в ИСО 16337:2021, 4.3.

Примечание 1 — Приведенное выше квадратичное уравнение функции потерь Тагути, как правило, используют в QFD-методе, когда целевое значение представляет собой номинальное значение наилучшего функционирования или нефункциональное требование. Также допускается использовать различные уравнения для требований «чем больше, тем лучше» и «чем меньше, тем лучше» [11].

Примечание 2 — При применении QFD-метода значение k может быть установлено равным 1, поскольку денежные потери потребителей одинаковы для всех конкурирующих организаций [13].

Примечание 3 — Конкурентный сравнительный анализ функционирования объекта может быть проведен в реальных условиях (называемых гемба в QFD-методе), которые представляют ключевые применения ключевых потребителей, определенные в таблице сегментов потребителей, описанной в ИСО 16355-2:2017, 9.2.2.2, и размещены по приоритетам в сегментах бизнес-целей потребителей матрицы приоритезации, описанной в ИСО 16355-2:2017, 9.2.3. Если это невозможно, в качестве примера допускается использовать лабораторное или компьютерное моделирование. Результаты могут быть занесены в таблицу максимальных значений, описанную в ИСО 16355-5:2017, раздел 9, а также в таблицы планирования эксперимента с весовыми коэффициентами и без них, описанные в ИСО 16355-5:2017, 10.3.4.1.

Примечание 4 — Функцию потерь для динамических характеристик определяют в виде $\overline{L} = k\sigma^2 = k/\eta$ в соответствии с ИСО 16337:2021, 4.3.

5.1.3 Типы факторов, влияющих на вариабельность

Целью робастного параметрического проектирования является минимизация потерь, вызванных вариабельностью [5]. Существуют различные типы факторов, которые необходимо учитывать при минимизации потерь, вызванных вариабельностью (см. рисунок 2):

a) сдвиги среднего (B2 имеет более высокое среднее, чем B1);

b) изменение вариабельности (C2 имеет меньшую вариабельность, чем C1);

c) изменение затрат, то же среднее или вариабельность, но можно снизить затраты, выбрав менее затратную альтернативу (D1 или D2);

d) компромисс между средним и вариабельностью (A1 против A2).

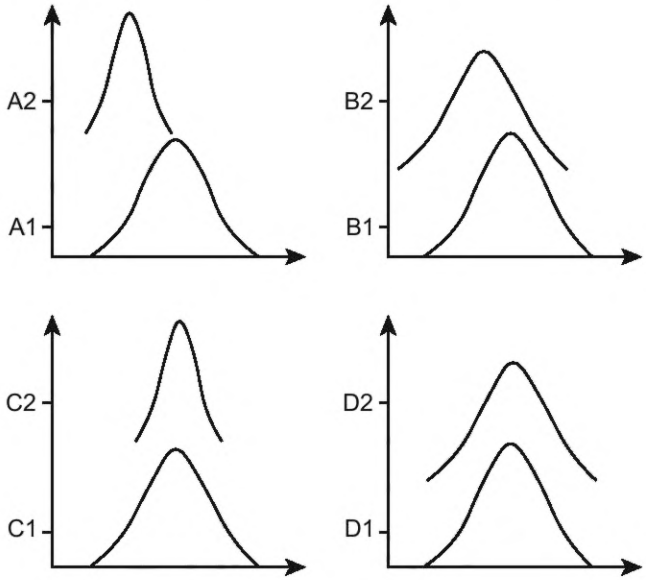


Рисунок 2 — Типы факторов

5.2 Период применения технологии качества

Технологию качества можно использовать на протяжении всего процесса разработки новой продукции [9].

a) На этапе планирования и разработки он может помочь в проведении технологических исследований и технико-экономических обоснований концепций проектов, как описано в ИСО 16355-2:2017, 9.1.2.8.2.

b) На этапе проектирования он может помочь в проведении структурного моделирования, анализа видов и последствий отказов (FMEA), как описано в ИСО 16355-5:2017, 10.4.5.8, в установлении требований к испытаниям, как описано в ISO/TR 16355-8:2017, 11.2, и в принятии проектных решений.

c) На этапе планирования продукции он может повлиять на процесс проектирования, как описано в ISO/TR 16355-8:2017, раздел 10, на разработку прототипа, как описано в ISO/TR 16355-8:2017, 11.5, на стандартизацию, как описано в ISO/TR 16355-8:2017, 13.5, и принятие решений по цепочке поставок, как описано в ISO/TR 16355-8:2017, 12.4.

d) На этапе производства он может улучшить управление процессом, как описано в ISO/TR 16355-8:2017, 13.2, определение допусков, как описано в ISO/TR 16355-8:2017, 9.2, и контроль, как описано в ISO/TR 16355-8:2017, 13.5.1.

e) На этапе продаж и обслуживания он может улучшить процедуры обслуживания и сбора технической информации, как описано в ISO/TR 16355-8:2017, 15.5 и раздел 16, а также повысить удовлетворенность потребителей функциями и производительностью продукции, как описано в ИСО 16355-3:2019 и ISO/TR 16355-8:2017, раздел 17.

5.3 Робастное параметрическое проектирование, QFD и ТРИЗ

QFD-метод — это методология разработки новой продукции необходимого качества. Эта методология облегчает интеграцию с многочисленными методами количественного и качественного ана-

лиза, как описано в матрице методов и приемов QFD в соответствии с ИСО 16355-1:2015, А.1. В ИСО 16355-5:2017, 10.4.3.4, описан базовый процесс теории решения изобретательских задач (ТРИЗ). Как и при робастном параметрическом проектировании ТРИЗ изучает функции и их способность удовлетворять потребности потребителей. При проведении ТРИЗ впервые и выявлении множества решений проблемы, для выбора и дальнейшего совершенствования наиболее устойчивого из них может быть использовано робастное параметрическое проектирование [1], [6].

Следующие этапы объединяют QFD, ТРИЗ и робастное параметрическое проектирование Тагути [14]. Их взаимосвязи показаны в приложении А.

1) Уровень проекта

   i) Определение и расстановка приоритетов в сегментах потребителей, как описано в ИСО 16355-2:2017, 9.2.

   ii) Выявление будущих технологических тенденций, направленных на решение будущих проблем потребителей, как описано в ИСО 16355-5:2017, 10.4.3.5.1.1.

2) Уровень обслуживания потребителей

   i) Понимание среды использования продукции потребителем (гемба), как описано в таблице сегментов потребителей в ИСО 16355-2:2017, 9.2.2.2, модели процесса потребителей, описанной в ИСО 16355-2:2017, 9.2.5.2.3, и таблицы посещений гемба, описанной в ИСО 16355-2:2017, 9.2.5.2.4.

   ii) Адаптация методов Тагути для робастного проектирования к динамичным потребностям заказчика [9].

   iii) Применение ТРИЗ для поиска доступных ресурсов системы или среды использования, близких к идеалу (высокая функциональность, низкая стоимость), соответствующих историческим ограничениям, полезным или вредным функциям, как описано в вопроснике по инновационной ситуации согласно ИСО 16355-5:2017, 10.4.3.4.1.2.

   iv) Применение методов Тагути для поиска источников вариабельности, обусловленных окружающей средой или пользователем, как описано в 8.5.5.

3) Преобразование голоса потребителя в голос инженера

   i) В соответствии с QFD использование таблицы максимальных значений, как описано в ИСО 16355-5:2017, или матрицы потребностей заказчика — функциональных требований («дом качества»), как описано в ИСО 16355-5:2017, 9.3.6, для преобразования мнения заказчика в технические требования к продукции.

   ii) Применение ТРИЗ для минимизации технических и физических противоречий в рамках целевых значений, как описано в ИСО 16355-5:2017, 10.4.3.4.2.2 и ИСО 16355-5:2017, А.3.

   iii) Применение методов Тагути для использования преимуществ позитивных взаимодействий, как описано в 8.5.6.

   iv) Применение функции потерь Тагути для эффективного технического анализа конкурентоспособности продукции, как описано в 8.2.

4) Уровень концепции технологии

   i) Применение ТРИЗ при разработке множества концепций решений для функций и показателей эффективности, описанных в изобретательских принципах ИСО 16355-5:2017, 10.4.3.4.2.3 и А.4.

   ii) Применение ТРИЗ для выявления закономерностей эволюции, которые приводят к созданию уникальной продукции, описанных в ИСО 16355-5:2017, 10.4.3.5.1.1.

   iii) Применение методов Тагути для определения наилучших значений робастного проектирования для каждой рассматриваемой концепции, как описано в 8.2.

5) Уровень производства

   i) Применение ТРИЗ для улучшения производственного оборудования и процессов на основе анализа моделей развития, описанного в ИСО 16355-5:2017, 10.4.3.5.1.1.

   ii) Применение ТРИЗ для расширения области применения производственных процессов к другой продукции.

   iii) Применение ТРИЗ для улучшения производственного процесса.

   iv) Применение методов Тагути для того, чтобы сделать производство более устойчивым к вариабельности [3], [12].

   v) Создание базы знаний для будущего на основе планирования экспериментов по Тагути и «дома качества» QFD-метода, как описано в ИСО 16355-5:2017, 9.3.7.

6 Виды проектов QFD и робастного проектирования

Проекты QFD включают в себя новые разработки, а также совершенствование существующей продукции. Виды проектов QFD описаны в ИСО 16355-1:2015, раздел 6, и ИСО 16355-2:2017, раздел 6, примечания.

7 Команда QFD и робастного параметрического проектирования

7.1 Для выполнения QFD используют межфункциональные команды

Межфункциональные команды описаны в ИСО 16355-1:2015, 7.1.

7.2 Членство в основной команде

Состав основной команды описан в ИСО 16355-1:2015, 7.2.

7.3 Эксперты предметной области

Участие экспертов предметной области описано в ИСО 16355-1:2015, 7.3.

7.4 Руководство команды QFD

Руководство команды QFD описано в ИСО 16355-1:2015, 7.4.

Примечание — Проекты по робастному параметрическому проектированию, как правило, выполняет конструкторский отдел.

8 Робастное параметрическое проектирование

8.1 Общие положения

Робастное параметрическое проектирование на этапе проектирования QFD позволяет минимизировать дефекты, отказы и проблемы с качеством, вызванные функциональной вариабельностью, которая может возникнуть при использовании продукции. При робастном параметрическом проектировании оптимальные номинальные значения конструктивных параметров продукции считают управляющими факторами, которые можно исследовать и сделать их более устойчивыми при определенных факторах шума. Использование робастного параметрического проектирования на этапах разработки и проектирования помогает команде QFD определить оптимальные требования к конструкции, которые приводят к повышению качества продукции при ее использовании.

8.2 Отношение сигнал/шум

8.2.1 Общие положения

Функция системы продукции состоит в преобразовании входных данных в выходные. Любая входная вариабельность системы, которую для получения желаемого результата намеренно изменяет пользователь, является сигналом; любые нежелательные входные или выходные данные являются шумом. Тагути описывает взаимосвязь между желаемым и нежелательным входным сигналом, используя терминологию телекоммуникационной отрасли: чем выше желаемый входной сигнал, тем выше принимаемый желаемый выходной сигнал. Однако в телекоммуникационной системе из-за большого количества факторов также присутствуют нежелательные шумы. Соотношение между желаемым сигналом и нежелательным шумом называется отношением сигнал/шум (SN) и может быть выражено в децибелах (дБ). Например, 40 дБ означает, что величина выходного сигнала в 10 000 раз превышает величину шума. При робастном параметрическом проектировании чем выше отношение SN, тем выше качество. Робастная продукция обладает минимальной вариабельностью своих функций в различных условиях шума; ее функции более чувствительны к сигналу и менее чувствительны к изменениям уровня шума.

8.2.2 Сигнал

Существует два вида сигналов: активный и пассивный. Пользователь управляет активным сигналом для получения предполагаемого или желаемого отклика. Например, поворот рулевого колеса автомобиля приводит к изменению направления движения автомобиля. Пользователь управляет пас-

сивным сигналом, чтобы узнать смысл входного сигнала. Например, датчик температуры в автомобиле показывает температуру.

8.2.3 Шум

Шум состоит из внутреннего и внешнего шума. Внутренний шум возникает в результате изменения с течением времени внутренних параметров системы или ее частей, например из-за повреждений, старения и износа, а также изменений производства. Внешний шум возникает в результате эксплуатации или условий применения, таких как обычное использование автомобильных шин для поездок по городу или по шоссе, а также условий окружающей среды, таких как состояние дорог или сезонные колебания температуры и влажности окружающего воздуха.

8.2.4 Три типа отношений SN

8.2.4.1 Общие положения

Различают три типа отношений SN в зависимости от их характеристик.

8.2.4.2 Динамические характеристики

В зависимости от физических особенностей системы динамические характеристики имеют множество идеальных откликов, зависящих от значений сигнала. Различают динамические характеристики следующих видов:

a) пропорциональная идеальная функция с нулевой точкой (более подробная информация приведена в ИСО 16336:2014, 5.4.1);

b) линейная идеальная функция (более подробная информация приведена в ИСО 16336:2014, 5.4.2);

c) пропорциональная идеальная функция с опорной точкой (более подробная информация приведена в ИСО 16336:2014, 5.4.3).

8.2.4.3 Нединамические или статические характеристики

В зависимости от назначения системы нединамические или статические характеристики имеют фиксированный идеальный отклик. Различают нединамические/статические характеристики следующих видов:

a) «номинал — наилучший отклик», когда целевое значение является фиксированным (более подробная информация приведена в ИСО 16336:2014, 5.4.4);

b) «чем меньше, тем лучше», когда целевое значение равно нулю (более подробная информация приведена в ИСО 16336:2014, 5.4.5)

$$\eta = -10\log\sigma^2 = 10\log\frac{1}{\sigma^2},$$

где σ^2 — среднеквадратичная сумма (дисперсия);

c) «чем больше, тем лучше», когда целевое значение равно бесконечности (более подробная информация приведена в ИСО 16336:2014, 5.4.6)

$$\eta = -10\log\sigma^2 = 10\log\frac{1}{\sigma^2},$$

где σ^2 — среднеквадратичная сумма обратных значений (дисперсия).

Примечание — При использовании таблицы планирования эксперимента, приведенной в ИСО 16355-5:2017, раздел 9, выбор характеристики или функционального требования зависит от важности каждой потребности потребителя, к которой оно относится. Например, характеристикой складного зонта является его диаметр. Если потребность потребителя в том, чтобы «я оставался сухим под дождем», то рассматривают отклик вида «чем больше, тем лучше». Если потребность потребителя в том, чтобы «я легко могу носить зонт с собой», то рассматривают отклик вида «чем меньше, тем лучше». В этом случае можно изучить отклик вида «номинал — наилучший отклик», чтобы найти возможный компромисс, или применить инновационный метод, такой как ТРИЗ, для того чтобы помочь команде QFD найти способ поиска компромисса и сделать зонт одновременно маленьким и большим. ТРИЗ приведена в ИСО 16355-5:2017, 10.4.3.4.

8.2.4.4 Цифровые системы

Цифровые системы имеют бинарные входы и выходы, значения которых составляют 0 или 1. Значение входа должно соответствовать значению выхода, после калибровки порогового значения системы

отношение SN отражает ее возможности. Более подробная информация приведена в ИСО 16336:2014, 5.4.7.

8.3 Оценка робастности

Полезно иметь рациональный способ точной оценки и эффективного улучшения робастности продукции, системы или компонентов. Отношение сигнал/шум (SN) может быть рассчитано для проверки характеристик в различных условиях эксплуатации. Внутренний и внешний шум это усложняют. Для выявления скрытых факторов необходимо провести сравнение реальной функции с идеальной функцией в реальных условиях шума. Оценка робастности в значительной степени зависит от выбора факторов шума и их уровней. Для проверки изменяющихся условий использования и заранее определенных факторов шума, которые могут привести к отклонению характеристик от целевых значений, выполняют стратегическое планирование эксперимента. При сравнительном анализе конкурентной продукции или нескольких концепций решений необходимо использовать одинаковые уровни одних и тех же факторов шума.

8.4 Двухэтапная оптимизация

8.4.1 Общие положения

Для того чтобы найти оптимальные значения параметров проекта, необходимо рассчитать чувствительность (среднее значение в случае «номинал — наилучший отклик») и отношение SN для комбинации значений параметров проекта. Первый этап заключается в оптимизации проекта по робастности на основании отношения SN, а второй этап — в корректировке целевого значения параметра с использованием чувствительности.

8.4.2 План эксперимента (DOE)

Если существует много параметров плана с различными уровнями характеристик и множеством факторов шума на различных уровнях, неэффективно оценивать все возможные комбинации, чтобы определить, какие из них являются оптимальными. Например, для оценки всего трех параметров проекта с двумя уровнями характеристик необходимо провести $2^3 = 8$ испытаний. При использовании DOE для прогнозирования оптимальных значений может потребоваться всего 4 испытания. Ортогональный план может определить сбалансированное подмножество испытаний, которое позволяет найти недостающие комбинации. В методах Тагути определены различные подмножества планов в зависимости от количества и уровней переменных [11]. На рисунке 3 показано, как выбранное подмножество уровней переменных отображают в ортогональной таблице L_4, а линейный график показывает назначенные точки.

		Переменная A (2 уровня)	Переменная B (2 уровня)	Переменная C (2 уровня)
Испытания	1	1	1	1
	2	1	2	2
	3	2	1	2
	4	2	2	1

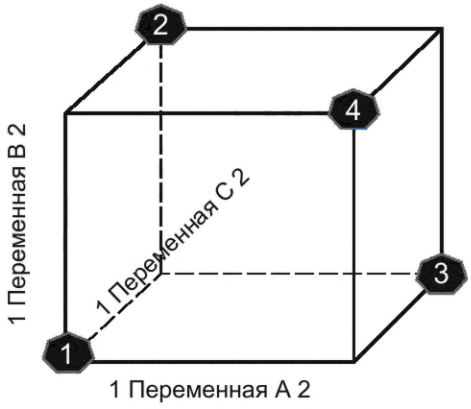


Рисунок 3 — Ортогональная таблица L_4

8.5 Этапы робастного параметрического планирования экспериментов

8.5.1 Общие положения

Рациональный подход к точной оценке и эффективному повышению робастности продукции обеспечивает выполнение следующих этапов. Более подробное руководство приведено в ИСО 16336:2014, 5.3.

a) Выбирают базовые технологии и системы, подсистемы, компоненты для оценки. Более подробная информация приведена в ИСО 16355-5:2017, 10.4.3.7.2.

b) Выполняют детальное проектирование продукции, выбрав ключевые функциональные требования (характеристики и возможности) с оптимальными значениями для робастности и эффективности. Определение ключевых функциональных требований на основе таблицы максимальных значений и «дома качества» приведено в ИСО 16355-5:2017, 9.2 и 9.3.6 соответственно.

Примечание — В оптимальном состоянии продукция обеспечивает наилучшие эксплуатационные характеристики во всех возможных условиях использования и областях применения. Фактические условия использования могут быть определены из таблицы сегментов потребителей, описанной в ИСО 16355-2:2017, 9.2.2.2, модели процесса потребителей, описанной в ИСО 16355-2:2017, 9.2.5.2.3, и таблицы посещений гемба, описанной в ИСО 16355-2:2017, 9.2.5.2.4.

8.5.2 Этап 1. Определение идеальной функции системы

Функция — это действия, которые выполняет система для достижения своей цели. В QFD функции — это то, что продукция должна выполнять, чтобы быть приемлемой для потребителя. Функции, как правило, представляют собой описание характеристик с использованием конструкции «глагол + существительное», которые имеют измеримые параметры. Продукция может выполнять как функциональные, так и эстетические функции [4]. Функциональные требования в более общем плане определяют как характеристики и возможности продукции, не зависящие от решения или обеспечивающей технологии, как это определено в ИСО 16355-1:2015, 3.4.

В QFD функциональные требования определяют в таблице максимальных значений и матрице функциональных требований-потребностей потребителей («дом качества»), описанных в ИСО 16355-5:2017, 9.2 и 9.3.6 соответственно. Приоритеты и целевые показатели функциональных требований определены в таблице планирования эксперимента, описанной в ИСО 16355-5:2017, раздел 9.

При робастном параметрическом проектировании определение идеальной функции описано в ИСО 16336:2014, 6.2.

Примечание — При наличии нединамических или статических характеристик следующий этап 2 можно опустить.

8.5.3 Этап 2. Выбор фактора сигнала и его диапазона

Выбор фактора сигнала и его диапазона описан в ИСО 16336:2014, 6.3.

В QFD ожидаемые условия использования могут быть определены из таблицы сегментов потребителей, описанной в ИСО 16355-2:2017, 9.2.2.2, модели процесса потребителей, описанной в ИСО 16355-2:2017, 9.2.5.2.3, и таблицы посещений гемба, описанной в ИСО 16355-2:2017, 9.2.5.2.4.

В QFD сегменты потребителей распределяют по приоритетам в соответствии с их важностью для целей проектирования. Более подробная информация приведена в ИСО 16355-2:2017, 9.2.3.

8.5.4 Этап 3. Выбор метода измерения отклика на выходе

Выбор метода измерения отклика на выходе приведен в ИСО 16336:2014, 6.4.

В QFD выходные характеристики являются функциональными требованиями и могут быть определены на основе потребностей потребителя с использованием диаграммы «следствие-причина», как описано в ИСО 16355-5:2017, 9.2.2. Метод измерения может быть определен так же, как описано в ИСО 16355-5:2017, 9.3.6.2.2.

В QFD метод измерения и уровень, необходимые для того, чтобы удовлетворять потребности потребителей лучше, чем альтернативные решения, документируют в таблице планирования качества с весовыми коэффициентами и без них, описанной в ИСО 16355-4:2017, 12.2.

Примечание — Для трудноизмеримых откликов, зависящих от времени, могут быть разработаны новые методы измерения, позволяющие лучше оценивать робастность.

8.5.5 Этап 4. Разработка стратегии управления шумом, выбор факторов шума и их уровней

Разработка стратегии управления шумом и выбор факторов шума приведены в ИСО 16336:2014, 6.5.

В QFD условия и факторы шума, а также ожидаемая среда использования могут быть определены по таблице сегментов потребителей, описанной в ИСО 16355-2:2017, 9.2.2.2, модели процесса потребителей, описанной в ИСО 16355-2:2017, 9.2.5.2.3, и таблице посещений гемба, описанной в ИСО 16355-2:2017, 9.2.5.2.4.

8.5.6 Этап 5. Выбор управляемых факторов и их уровней для параметров проекта

Выбор управляемых факторов и их уровней для параметров проекта описан в ИСО 16336:2014, 6.6.

В QFD параметры проекта и управляющие факторы определяют на основе функциональных требований, как описано в ИСО 16355-5:2017, 9.3.6.2.2. Функциональные требования, которые являются характеристиками и возможностями, независящими от проекта, позволяют избежать проблем с взаимодействиями и корреляциями.

Если проект ограничен использованием одного и того же плана, материалов или других компонентов, то функциональные требования могут быть независимыми. Взаимосвязи могут быть обнаружены с помощью матрицы корреляции функциональных требований, также известной как «крыша дома качества», описанной в ИСО 16355-5:2017, 10.4.3.4.1.1.

8.5.7 Этап 6. Распределение экспериментальных факторов между внутренней и внешней таблицами

Распределение экспериментальных факторов между внутренней и внешней таблицами описано в ИСО 16336:2014, 6.7.

Таблица 1 — Внутренняя и внешняя таблицы для эксперимента L_4

Внутренняя таблица (управляемые факторы)

		Фактор A (2 уровня)	Фактор B (2 уровня)	Фактор C (2 уровня)
Испытания	1	1	1	1
	2	1	2	2
	3	2	1	2
	4	2	2	1

Внешняя таблица (неуправляемые факторы)

Шум уровень 1	Шум уровень 2	Шум уровень 1	Шум уровень 2
Сигнал 1	Сигнал 1	Сигнал 2	Сигнал 2
Данные результатов эксперимента			

Примечание — В небольших экспериментальных таблицах, таких как L_4, возникает сложное взаимодействие между любыми двумя столбцами, поэтому они не устойчивы к сильным взаимодействиям между управляемыми факторами. В больших ортогональных таблицах, таких как L_{12}, L_{18}, L_{36} и L_{54} могут быть выявлены относительно сильные основные эффекты без анализа специфических сложных взаимодействий.

8.5.8 Этап 7. Проведение эксперимента и сбор данных

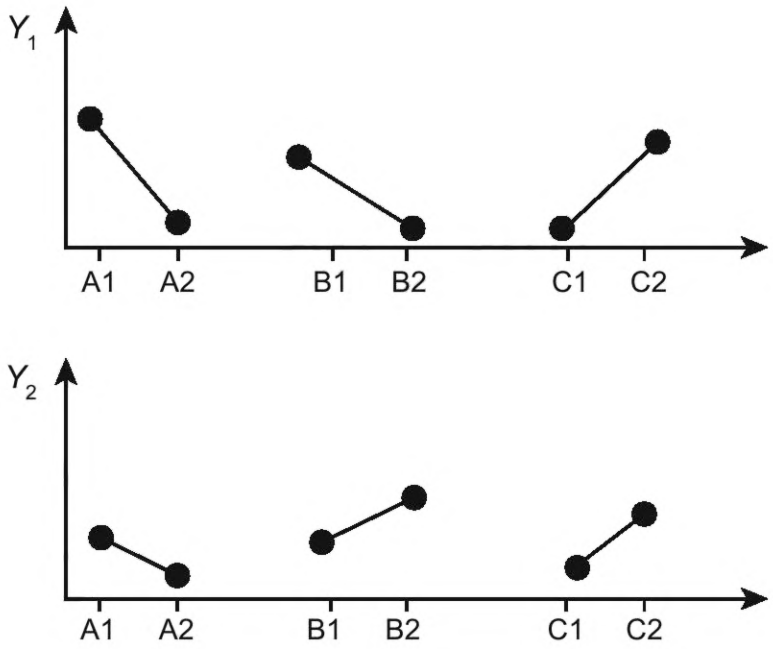
Проведение эксперимента и сбор данных описаны в ИСО 16336:2014, 6.8.

8.5.9 Этап 8. Вычисление отношения сигнал/шум η и чувствительности S

Отношение сигнал/шум и чувствительность вычисляют в зависимости от типа характеристики, как описано в 8.2.4. Для каждого уровня управляемого фактора вычисляют средние значения SN и S. Формулы приведены в ИСО 16336:2014, 6.9.

8.5.10 Этап 9. Построение диаграмм эффектов факторов для отношения SN и чувствительности

На диаграммы эффектов факторов наносят значения отношений SN и чувствительностей, основываясь на результатах вычислений средних значений. Данные диаграммы на рисунке 4 демонстрируют влияние управляемых факторов на отношение SN и чувствительность. Отношение SN характеризует вариабельность, а значение чувствительности — угловой коэффициент прямой или среднее значение отклика. Более подробная информация приведена в ИСО 16336:2014, 6.10.



Y_1 — отношение SN, дБ; Y_2 — чувствительность, дБ

Рисунок 4 — Диаграммы эффектов факторов

8.5.11 Этап 10. Выбор оптимальных условий

Выбор оптимальных условий описан в ИСО 16336:2014, 6.11.

В QFD оптимальные значения могут быть введены в качестве целевых значений в таблицу максимальных значений, описанную в ИСО 16355-5:2017, раздел 9, таблицы планирования эксперимента с весовыми коэффициентами и без них, описанные в ИСО 16355-5:2017, 10.3.4.1.

8.5.12 Этап 11. Оценка повышения робастности по величине прироста

Определение оценки повышения робастности по величине прироста приведено в ИСО 16336:2014, 6.12.

8.5.13 Этап 12. Проведение проверочного эксперимента, контроль прироста и воспроизводимости

Проведение проверочного эксперимента, контроль прироста и воспроизводимости описаны в ИСО 16336:2014, 6.13.

В QFD результаты проверки должны быть указаны в таблице максимальных значений, описанной в ИСО 16355-5:2017, раздел 9, а также в таблицах планирования эксперимента с весовыми коэффициентами и без них, описанных в ИСО 16355-5:2017, 10.3.4.1.

8.5.14 Выводы

Снижая потери пользователя, можно повлиять на изменение рыночной стоимости. Снижая потери организации, можно повлиять на снижение затрат. Снижая потери для общества, можно повлиять на повышение эффективности бренда и соответствие продукции обязательным требованиям. Во многих случаях проектирование с оптимальным значением параметров проекта не приводит к увеличению затрат или приводит к их незначительному увеличению.

К таким выводам приводят как QFD, так и робастное параметрическое проектирование.

8.6 Примеры применения робастного параметрического проектирования

В ИСО 16336:2014, раздел 7, и ИСО 16336:2014, приложение В, приведены примеры применения робастного параметрического проектирования. Дополнительная информация приведена в [11]. Примеры применения QFD можно найти в ISO/TR 16355-8:2017, 12.3, и в библиографии.

Приложение А
(справочное)

Интеграция робастного параметрического проектирования (RPD), структурирования качества по функциям (QFD) и теории решения изобретательских задач (ТРИЗ)

Для решения конкретных задач современные приемы обеспечения качества и инноваций используют независимо друг от друга. Однако при разработке новой продукции эти методы и приемы интегрируются и пересекаются на нескольких этапах. В настоящем стандарте рассмотрены робастное параметрическое проектирование, QFD и ТРИЗ, а на рисунке А.1 показаны области, в которых сбор и анализ данных можно выполнять совместно на системной основе.

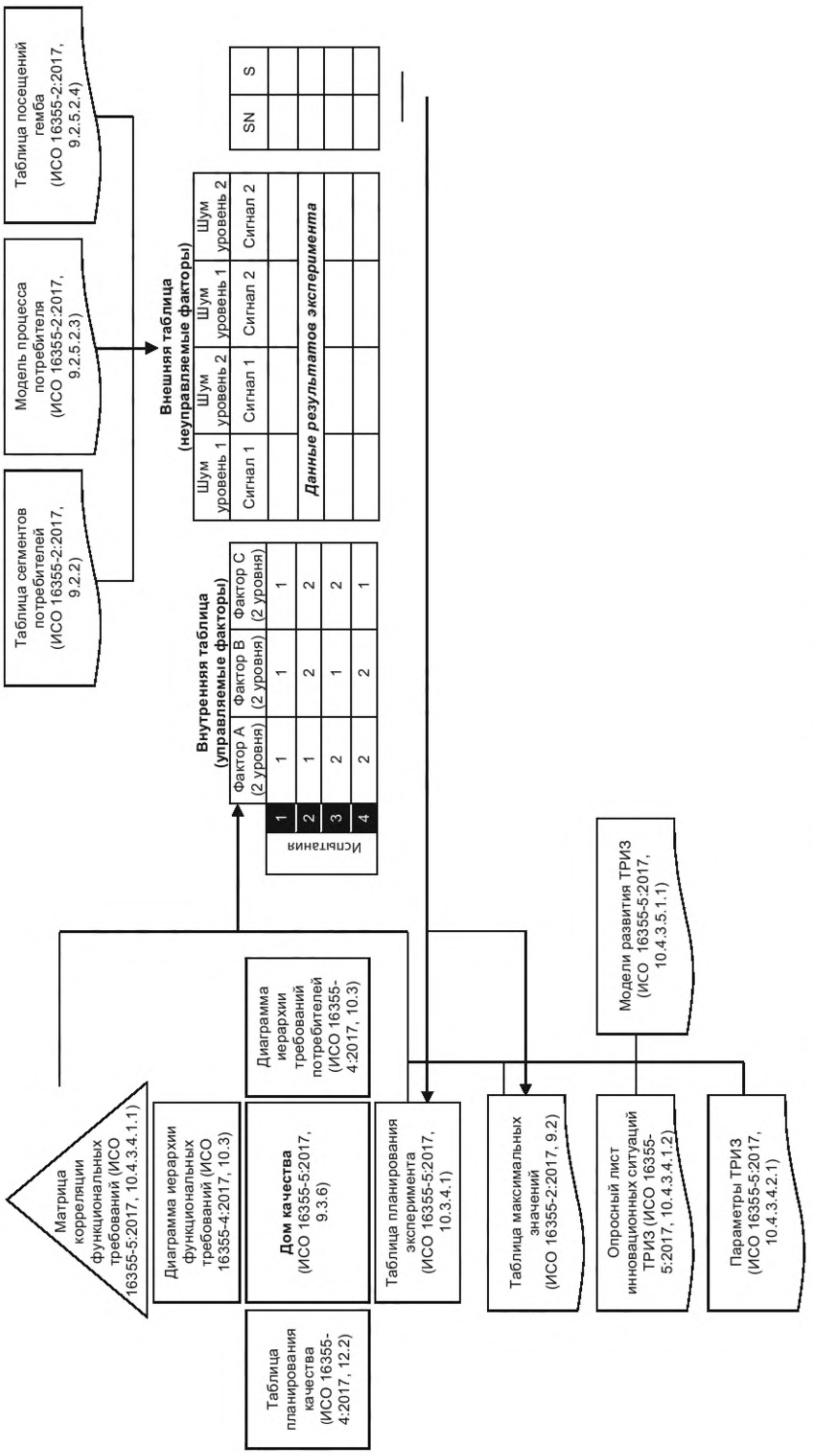


Рисунок А.1 — Объединение методов и приемов RPD, QFD и ТРИЗ

Приложение В
(справочное)

Другие методы оптимизации

В ИСО 16336:2014 приведено руководство по применению робастного параметрического проектирования при разработке любой продукции для получения робастной продукции путем минимизации вариабельности функции продукции в различных условиях шума. Существуют также другие методы оптимизации, которые имеют другие цели и критерии оптимизации. В таблице В.1 приведен перечень методов, которые могут быть объединены с QFD для обеспечения удовлетворенности потребителей. Также могут быть применены методы оптимизации, не указанные в данном перечне.

Таблица В.1 — Взаимосвязь QFD с другими методами оптимизации

Метод оптимизации	Краткое описание метода	Технические области применения
DOE: планирование экспериментов	Систематическая методология сбора информации для улучшения любого процесса	ИСО 3534-4:2014 и ИСО 13053-2:2011 содержат только общее описание методологии
Планирование экспериментов с помощью «полного» факторного моделирования	Факторный эксперимент, состоящий из всех возможных комбинаций уровней факторов. Все взаимодействия и основные эффекты могут быть оценены с помощью полного факторного эксперимента	ИСО 3534-4:2014 содержит только общее описание методологии
Робастное параметрическое проектирование	Методология оптимизации, основанная на методах Тагути, предназначенная для разработки робастной продукции	ИСО 16336:2014 и ISO/TS 16355-6:2019 подробно описывают данный метод
Проектирование поверхности отклика	Планирование эксперимента, которое определяет подмножество факторов, подлежащих оптимизации. Проекты поверхности отклика характеризуют взаимосвязь между откликом и набором независимых переменных путем оценки самой поверхности отклика	ИСО 3534-3:2013 содержит только общее описание методологии
Моделирование методом Монте-Карло	Исследование и проверка на основе моделей с использованием генераторов случайных чисел	DMAIC, DFSS (проектирование методом «Шесть сигм»), CASE и т. д.
Регрессионный анализ	Процедуры, связанные с оценкой моделей, связывающих независимые переменные с откликами	ИСО 3534-1:2006 содержит только общее описание. ИСО 3534-3:2013 подробно описывает метод

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ISO 16336:2014	IDT	ГОСТ Р ИСО 16336—2020 «Статистические методы. Применение к новым технологиям и процессу разработки продукции. Робастное параметрическое проектирование (RPD)»
ISO 16355-1:2015	—	*

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует.

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандарта:

- IDT — идентичный стандарт.

Библиография

[1] Chu Y.-F. (1996). A Robust Quality Design Model that Integrated QFD and Taguchi Methods. Transactions from the 2nd International Symposium on QFD & the 8th North American Symposium on QFD (pp. 425—434). Ann Arbor: QFD Institute

[2] Cook H.E. (2000). Enlarging QFD to Include Forecasts of Market Share and Profits in Making Tradeoffs. Transactions from the 6th International Symposium on QFD — Novi & 12th North American Symposium on QFD (pp. 313—334). Ann Arbor: QFD Institute

[3] Macfarlane S., Eager K. (1995). QFD, Robust Design and Professional Services: Hospital Emergency Room Case. Transactions from the 7th Symposium on Quality Function Deployment (pp. 113—122). Ann Arbor: QFD Institute

[4] Miles L. D., (1989). Techniques of Value Analysis and Engineering, 3rd Edition. Lawrence D. Miles Value Foundation

[5] Novick D.T. (1999). Variability Reduction: Common Ground for Integration of Advanced Quality Tools and Processes. Transactions from the 11th Symposium on Quality Function Deployment (pp. 1—11). Ann Arbor: QFD Institute

[6] Okamoto H., Isaka Y., Miyamura Y., Todoroki M. (2007). Design of the Product Development Process in Cooperation with QFD, TRIZ, and Taguchi Method (II). Transactions from the 13th International Symposium on QFD — Williamsburg & 19th Symposium on Quality Function Deployment (pp. 387—394). Ann Arbor: QFD Institute

[7] Overby C.M. (1991). QFD & Taguchi for Design with Environmental Elegance. Transactions from the 3rd Symposium on Quality Function Deployment (pp. 272—283). Ann Arbor: QFD Institute.

[8] Quinlan J. (1991). Filling in the Blanks: QFD and Technical Optimization. Transactions from the 3rd Symposium on Quality Function Deployment (pp. 199—216). Ann Arbor: QFD Institute

[9] ReVelle, J. (1989). The New Quality Technology: An Introduction to Quality Function Deployment (QFD) and the Taguchi Methods. Hughes Aircraft Company

[10] ReVelle J. (1991). Using QFD with Dynamic Customer Requirements. Transactions from the 3rd Symposium on Quality Function Deployment (pp. 153—181). Ann Arbor: QFD Institute

[11] Taguchi G., Chowdhury S., Wu Y., (2005). Taguchi;s Quality Engineering Handbook. John Wiley & Sons, Inc.

[12] Terninko J. (1995). Taguchi's Philosophy Helps Manufacturing Deployment. Transactions from the 7th Symposium on Quality Function Deployment (pp. 275—297). Ann Arbor: QFD Institute

[13] Terninko J., (1997). Step-by-step QFD: Customer Driven Product Design. CRC Press

[14] Terninko J. (1997). The QFD, TRIZ, and Taguchi Connection: Customer-Driven Robust Innovation. Transactions from the 9th Symposium on Quality Function Deployment (pp. 187—194). Ann Arbor: QFD Institute

[15] ISO 16337:2021, Applications of statistical and related methods to new technology and product development process — Robust tolerance design (RTD)

[16] ISO 16355-2:2017, Applications of statistical and related methods to new technology and product development process — Part 2: Non-quantitative approaches for the acquisition of voice of customer and voice of stakeholder

[17] ISO 16355-3:2019, Applications of statistical and related methods to new technology and product development process — Part 3: Quantitative approaches for the acquisition of voice of customer and voice of stakeholder

[18] ISO 16355-4:2017, Applications of statistical and related methods to new technology and product development process — Part 4: Analysis of non-quantitative and quantitative Voice of Customer and Voice of Stakeholder

[19] ISO 16355-5:2017, Applications of statistical and related methods to new technology and product development process — Part 5: Solution strategy

[20] ISO/TR 16355-8:2017, Applications of statistical and related methods to new technology and product development process — Part 8: Guidelines for commercialization and life cycle

[21] ISO 3534-1:2006, Statistics — Vocabulary and symbols — Part 1: General statistical terms and terms used in probability

[22] ISO 3534-3:2013, Statistics — Vocabulary and symbols — Part 3: Design of experiments

[23] ISO 3534-4:2014, Statistics — Vocabulary and symbols — Part 4: Survey sampling

УДК 658.562.012.7:65.012.122:006.352 ОКС 03.120.30

Ключевые слова: конструктивный параметр, допуск, робастность, чувствительность, робастное параметрическое проектирование, структурирование качества по функциям, управляемый фактор, шум, план эксперимента, моделирование

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 09.06.2025. Подписано в печать 20.06.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,32.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru