

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Д.В. АНТИПОВ, И.П. ВАСИЛЬЕВА, Е.В. ЕСЬКИНА

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве учебного пособия для обучающихся по основной образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 27.03.02 Управление качеством

САМАРА
Издательство Самарского университета
2022

УДК 338(075)

ББК 65.05я7

А 721

Рецензенты:

д-р техн. наук, доц., и.о. проректора по научно-организационной деятельности,
начальник управления - академического развития ФГАОУВО

«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Ю. С. К л о ч к о в,

канд. техн. наук, доц., доцент кафедры производства летательных аппаратов
и управления качеством в машиностроении ФГАОУВО «Самарский
национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»

И. А. Д о к у к и н а

Антипов, Дмитрий Вячеславович

А 721 Статистические методы управления качеством продукции:

учебное пособие / *Д.В. Антипов, И.П. Васильева, Е.В. Еськина.* –

Самара: Издательство Самарского университета, 2022. – 88 с.: ил.

ISBN 978-5-7883-1733-5

Изложен порядок применения статистических методов управления качеством, применяемых при управлении как производственными, так и бизнес-процессами. Среди рассматриваемых методов приводятся семь простых статистических методов, семь новых статистических методов, а также методика структурирования функций качества (QFD), методика анализа рисков и потенциальных отказов (FMEA), методика решения проблем по качеству (8D).

Пособие может быть использовано при изучении теоретического материала по технологии машиностроения, статистического управления технологическими процессами и проектирования технологических процессов обучающимися 1-5 курсов университета. Может быть полезно молодым специалистам аэрокосмических отраслей, а также молодым ученым.

Предназначено для обучающихся по направлению подготовки 27.03.02 Управление качеством и по специальностям 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов, 24.05.07 Самолето- и вертолетостроение.

Подготовлено на кафедре производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении Самарского университета.

УДК 338(075)

ББК 65.05я7

ISBN 978-5-7883-1733-5

© Самарский университет, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 СЕМЬ ПРОСТЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ	5
1.1 Контрольный листок	5
1.2 Диаграмма Парето. Методика ABC	12
1.3 Гистограммы	17
1.4 Причинно-следственная диаграмма Исикавы. Диаграмма типа «6М». Метод «5 почему»	21
1.5 Контрольные карты для количественного и альтернативного признака	26
1.6 Стратификация и расслоение данных	37
1.7 Диаграмма рассеивания	39
ГЛАВА 2 СЕМЬ НОВЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ	42
2.1 Диаграмма сродства	43
2.2 Древовидная диаграмма	45
2.3 Диаграмма связей	47
2.4 Матричная диаграмма	50
2.5 Матрица приоритетов	55
2.6 Стрелочная диаграмма	60
2.7 Диаграмма процесса осуществления программы	64
ГЛАВА 3 АНАЛИЗ РИСКОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (FMEA АНАЛИЗ). МЕТОД 8D	68
ГЛАВА 4 РАЗВЕРТЫВАНИЕ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА (QFD АНАЛИЗ)	78
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	84

ВВЕДЕНИЕ

Управление качеством с помощью статистических методов управления помогает предупреждать возникновение брака и доделок в процессе производства. Статистические методы позволяют установить наличие в исследуемом процессе случайных или системных влияний, проанализировать структуру вариации. В результате исследования можно оценить возможность управления процессом и создать необходимые условия для этого управления. Основная идея статистического управления – стабильность и предсказуемость средних характеристик процесса, которая создаёт основу для последующего улучшения процесса.

Статистические методы управления качеством применимы на всех стадиях производства. Их роль – методическое обеспечение процессов получения, обработки, хранения передачи знаний. С помощью этих методов можно указать, где для повышения качества изделия должна быть изменена конструкция, либо технология изготовления.

Для изучения методов статистического анализа предлагается использовать данное учебное пособие.

ГЛАВА 1 СЕМЬ ПРОСТЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

1.1 Контрольный листок

Любое статистическое исследование начинается со сбора данных, которые необходимо зафиксировать/регистрировать на бумаге или в электронной форме.

Контрольный листок – инструмент для сбора первичной информации, фиксации и автоматического их упорядочения для облегчения дальнейшего использования собранной информации.

Основное назначение контрольного листка – представлять информацию в удобном для восприятия виде в систематизированной форме. Они могут применяться на любом этапе жизненного цикла продукции, процесса или системы. В зависимости от поставленной задачи формы, вид и содержание листков могут быть самыми разнообразными.

Контрольный листок представляет собой форму (как правило, таблицу) для регистрации и подсчета данных, собираемых в результате наблюдений или измерений контролируемых показателей в течении установленного периода времени. Собираемые данные могут быть как целочисленными (например, число дефектов), так и интервальными (например, диапазон значений измерений).

В таблице уже определены типы несоответствий (дефектов, брака), которые могут возникнуть в объекте, и предусмотрено место для заполнения количества обнаруженных несоответствий. В ходе проверочной операции контролер отмечает с помощью простых символов каждое выявленное несоответствие. Прежде, чем начать собирать данные, надо решить, что с ними впоследствии делать, для каких целей осуществляется их сбор и обработка. Обычно цели сбора данных в процессе контроля качества состоят в следующем:

- контроль и регулирование процесса;
- анализ отклонений от установленных требований;
- контроль качества продукции.

В процессе сбора важно тщательно упорядочить данные, чтобы облегчить их последующую обработку.

Для этого необходимо:

- зарегистрировать источник данных (время, оборудование);
- продумать характер, частоту и способы измерения;
- регистрировать данные так, чтобы их было легко использовать.

При подготовке контрольных листов необходимо обращать внимание на следующие моменты:

- простота заполнения контрольных листов (например черточки, значки, цифры);
- наглядность и полнота полученных результатов.

Контрольные листы имеют следующие преимущества:

- легкость применения, систематизация данных для работы с другими инструментами качества, наглядность, простота освоения и применения;
- могут применяться лицами, не являющимися экспертами;
- будучи должным образом разработанными, они объединяют широкий диапазон исследования в одну простую в применении систему.

Контрольные листы имеют следующие недостатки:

- если в процессе наблюдений обнаружится событие, которое не определено в контрольном листке (вид дефекта или диапазон измерений), то это событие не будет зарегистрировано в контрольном листке;
- большое разнообразие форм и размеров контрольных листов.

Результаты заполнения контрольного листа можно использовать в дальнейшем для построения диаграмм Парето, контрольных карт, гистограмм.

Виды контрольного листка классифицируются в зависимости от фиксации измеряемого параметра – могут быть как количественные, так и качественные характеристики процесса (место выявленных дефектов на изделии, виды отказов и др.).

Примеры контрольных листков.

1. Контрольный листок для регистрации видов дефектов.

Количественные характеристики процесса можно фиксировать в контрольном листке для регистрации видов дефектов. Применяется, если на объектах контроля возможны дефекты различных видов. Листок этого вида представляет собой бланк (таблицу) с заранее указанными типовыми дефектами (рисунок 1). Всякий раз, когда контролер обнаруживает дефект, он делает в нем пометку. В конце рабочего дня он может быстро подсчитать число и разновидности встретившихся дефектов. К недостаткам этого листка можно отнести невозможность провести расслоение данных.

Порядок заполнения контрольного листка для регистрации видов дефектов:

В графе 1 указывается порядковый номер дефекта i .

В графе 2 – наименование дефекта.

В графе 3 – результаты контроля, отмечаемые удобным для подсчета образом: в виде чёрточек (по четыре, перечёркнутые пятой) или в виде значков, цифр и т. д.

В графу 4 вносится общее число дефектов данного вида за время наблюдения m_i .

В графе 5 дается результат вычисления доли (относительного числа) дефектов данного вида.

Просто знание числа дефектов не позволяет принять корректирующие меры. Однако, если используется листок, подобный этому, он может дать важную информацию для совершенствования процесса, поскольку показывает, какие виды дефекта встречаются наиболее часто, а какие нет.

2. Контрольный листок для регистрации распределения измеряемого параметра в ходе производственного процесса.

Данный тип контрольного листка (рисунок 2) позволяет выявить изменения в размерах деталей. Как правило, такие листки заполняют для анализа технологического процесса путем построения гистограмм.

Нужно соблюдать следующие правила.

1. Необходимо установить суть изучаемой проблемы и поставить вопросы, нуждающиеся в разрешении.

2. Следует разработать форму контрольного листка, позволяющую с минимальными затратами времени и средств получить достоверную информацию о процессе.

3. Необходимо разработать методику измерений, исключаящую получение данных, не учитывающих важные условия протекания процесса. Например, измерения следует производить на одном виде оборудования при использовании определенной оснастки, с указанием режимов процесса, исполнителя, времени и места протекания процесса. Это позволит в дальнейшем учесть влияние этих факторов на процесс.

4. Необходимо выбрать сборщика данных, непосредственно получающего информацию о процессе в качестве оператора, наладчика или контролера, не заинтересованного в ее искажении, обладающего квалификацией для получения достоверных данных.

5. Со сборщиками данных следует провести инструктаж о методике измерений или обучить их.

Для достижения этих требований необходимо заранее продумать форму контрольных листов и постоянно совершенствовать эту форму с учетом замечаний и пожеланий тех, кто заполняет контрольные листки. Следует стремиться к тому, чтобы при фиксации результатов требовалось производить минимум записей, например, просто делать отметки в нужных графах. Но при этом контрольный листок должен содержать максимум исходной информации (не просто диаметр валика, а станок, на котором изготавливалась деталь, смена, время, обрабатываемая партия и т.п.).

Так как полученная информация необходима для последующего анализа причин дефектов, связанных как с несовершенством технологического процесса, так и с различными другими факторами, то следует требовать очень тщательного заполнения всех граф контрольного листка. При составлении контрольных листов необходимо предусматривать, что в листе должно быть указано, кто, на каком этапе процесса и в течение какого времени собирал данные, а также, чтобы форма листка была простой и понятной без дополнительных пояснений.

Кроме того, в любом контрольном листке обязательно должна быть адресная часть, в которой указывается его название, измеряемый параметр, название и номер детали, цех, участок, станок, смена, оператор, обрабатываемый материал, режимы обработки и другие данные, представляющие интерес для анализа путей повышения качества изделия или производительности труда. Ставится дата заполнения, листок подписывается лицом, его непосредственно заполнявшим, а в случаях, если на нем приводятся результаты расчетов – лицом, выполнявшим эти расчеты.

1.2 Диаграмма Парето. Методика ABC

Диаграмма Парето – инструмент, позволяющий объективно представить и выявить основные причины, влияющие на исследуемую проблему, разделить факторы, влияющие на возникшую проблему, на важные и несущественные для распределения усилий по ее решению.

В основе диаграммы Парето лежит принцип 80/20, согласно которому 20% причин приводят к 80% проблем и дефектам, поэтому целью построения диаграммы является выявление этих причин для концентрации усилий по их устранению.

Анализ Парето применяется как для выявления проблем или острых вопросов, так и для анализа причин, вызывающих эти проблемы.

Классифицируют два вида диаграмм Парето:

1. Диаграмма Парето по результатам деятельности.

Предназначена для выявления главной проблемы и отражает нежелательные результаты деятельности, связанные:

- с качеством (дефекты, поломки, ошибки, отказы, рекламации, ремонты, возвраты продукции);
- с себестоимостью (объем потерь, затраты);
- с сроками поставок (нехватка запасов, ошибки в составлении счетов, срыв сроков поставок);
- безопасностью (несчастные случаи, трагические ошибки, аварии).

2. Диаграмма Парето по причинам.

Отражает причины проблем, возникающих в ходе производства, и используется для выявления главной из них:

- по кадрам: смена, бригада, возраст, опыт работы, квалификация, индивидуальные характеристики;

- оборудование: станки, агрегаты, инструменты, оснастка, организация использования, модели, штампы;

- сырье: изготовитель, вид сырья, завод-поставщик, партия;

- метод работы: условия производства, заказы-наряды, приемы работы, последовательность операций;

- измерения: точность (указаний, чтения, приборная), верность и повторяемость (умение дать одинаковое указание в последующих измерениях одного и того же значения), стабильность (повторяемость в течение длительного периода), совместная точность, тип измерительного прибора (аналоговый или цифровой) [2].

Построение диаграммы Парето начинают с классификации возникающих проблем по отдельным факторам (например, проблемы, относящиеся к браку; проблемы, относящиеся к работе оборудования или исполнителей, и т.д.). Затем следуют сбор и анализ статистического материала по каждому фактору, чтобы выяснить, какие из этих факторов являются преобладающими при решении проблем. Можно для регистрации данных использовать форму контрольного листка.

Для построения диаграммы Парето необходимо разработать шаблон таблицы, содержащей следующие данные:

- типы (признаки) случаев, фактов (данные лучше всего располагать в убывающем порядке – в начале таблицы тип события, имеющий наибольшее количество повторений, в конце таблицы – наименьший). Группу «прочие» следует размещать в последней строке независимо от ее числовых значений, поскольку ее составляет совокупность признаков, числовой результат по каждому из которых меньше, чем самое маленькое значение;

- количество появлений (повторений) каждого типа;

- накопленная сумма числа каждого типа (с нарастающим итогом: к числу предыдущего типа прибавляется следующее);

- процент числа по каждому признаку в общей сумме;

Диаграмма Парето нужна для коррекции оценки состояния и разработки мероприятий по улучшению работы. ABC-анализ позволяет обоснованно определять приоритеты работ по управлению качеством проекта.

1.3 Гистограммы

Числовые данные, собранные в результате наблюдения, не могут быть одинаковыми, но подчиняются определенным закономерностям, называемым законами распределения.

Гистограмма – это столбиковая диаграмма, служащая для графического представления имеющейся количественной информации, собранная за длительный период времени (неделя, месяц, год и т.д.), отображающий зависимость частоты попадания параметров качества изделия или процесса в определенный интервал значений от этих значений. Гистограмма дает важную информацию для оценки проблемы и нахождения способов ее решения. Благодаря графическому представлению имеющейся количественной информации, можно увидеть закономерности, трудно различимые в простой таблице с набором цифр, оценить проблемы и найти пути их решения.

Гистограмма применяется главным образом для анализа значений измеряемых параметров.

Порядок построения гистограмм следующий:

1. Собираются данные контролируемого параметра (X_i) за определенный период (месяц, квартал, год и т.д.). Число данных должно быть не менее 30-50, оптимальное число порядка 100.

2. Определяются наибольшее X_{max} и наименьшее X_{min} значения из всех полученных данных и вычисляется размах R :

$$R = X_{max} - X_{min}.$$

Размах характеризует разброс контролируемой величины, он определяет ширину гистограммы.

- Симметричная гистограмма имеет колоколообразный вид. Вид приближается к нормальному Гауссовскому распределению и свидетельствует о стабильности процесса. Гистограмма располагается внутри поля допуска, среднее совпадает с номиналом, вариация в пределах допусков.

- Гребенка, когда классы через один имеют более низкие частоты. Требуется осуществить расслоение данных, то есть определить дополнительные признаки для группировки наблюдаемых значений.

- Положительно/отрицательно скошенное распределение. Форма ассиметрична – среднее значение гистограммы локализуется справа/слева от середины основания гистограммы. Частоты довольно резко спадают при движении влево/вправо и медленно вправо/влево. Встречается, когда нижняя/верхняя граница регулируется по значению допуска или когда левое/правое значение недостижимо.

- Распределение с обрывом слева/справа. Форма ассиметрична, среднее арифметическое гистограммы локализуется далеко слева/справа от середины основания. Встречается после 100% калибровке изделий из-за плохой воспроизводимости процесса.

- Плато. Встречается, когда смешиваются несколько распределений, имеющих различные средние, но может указывать на какой-либо преобладающий фактор.

- Двугорбая. В окрестностях середины основания частота низкая, но есть два возвышения с каждой стороны. Встречается, когда смешиваются два распределения с далеко отстоящими средними значениями, имеет смысл провести расслоение данных.

- С отдельным пиком. Встречается когда была допущена ошибка при измерениях.

1.4 Причинно-следственная диаграмма Исикавы.

Диаграмма типа «6М». Метод «5 почему»

Причинно-следственная диаграмма Исикавы – инструмент, который с помощью графического отображения позволяет выявить взаимосвязи между решаемой проблемой и причинами, влияющими на конечный результат (следствие). Идея метода – выявить, а затем последовательно устранять или минимизировать воздействие выявленных причин.

Диаграмма Исикавы (иногда ее называют диаграмма «рыбья кость») дает возможность выявить ключевые параметры процессов, влияющие на характеристики изделий, установить причины проблем процесса или факторы, влияющие на возникновение дефекта в изделии. В том случае, когда над решением проблемы работает группа специалистов, причинно-следственная диаграмма помогает группе достичь общего понимания проблемы. Также, с помощью диаграммы Исикавы можно понять, каких данных, сведений или знаний о проблеме недостает для ее решения и тем самым сократить область принятия необоснованных решений.

Порядок построения причинно-следственной диаграммы условий и результатов следующий:

1. Определяется цель – выбор проблемы для решения. Графически проводится горизонтальная стрелка («хребет рыбы»). В конце в прямоугольнике указывается проблема.

2. Составляется список наиболее существенных факторов – условий, влияющих на рассматриваемую проблему. Факторы записываются выше и ниже прямой и соединяются с хребтом наклонными большими стрелками. Эти факторы являются причинами первого порядка.

Метод «5 почему»

«Пять почему» – это простой метод поиска причин возникших несоответствий, который позволяет быстро построить причинно-следственные связи. Название метода – «5 Почему» (Five Whys) происходит от количества задаваемых вопросов. Для того чтобы найти причину несоответствия необходимо последовательно задавать один и тот же вопрос – «Почему это произошло?», и искать ответ на этот вопрос. Число пять выбрано исходя из того, что такого количества обычно достаточно для выявления сути и источника проблемы. Но, несмотря на то, что метод называется «5 почему» для поиска причин каждого конкретного несоответствия может задаваться как меньшее, так и большее количество вопросов.

За счет применения метода «5 почему» можно выстроить «дерево» причин, т.к. при ответе на поставленный вопрос возможно возникновение нескольких вариантов. Поэтому метод «5 почему» схож с методом причинно-следственных диаграмм. Для графического отображения «дерева» причин применяется древовидная диаграмма.

За счет применения метода «5 почему» становится возможным определить и составить модель проблемной ситуации и соответственно более объективно работать с выявленным несоответствием.

Порядок применения метода «5 почему»:

1. Формулируется несоответствие или проблема, для которой необходимо найти решение. Проблема может быть записана на листе бумаги или карточке. Документирование позволяет рабочей группе прийти к единому мнению как сформулировать несоответствие и тем самым сконцентрироваться на нем.

2. Задается вопрос «Почему это несоответствие возникло?» или «Почему это произошло?». Определяются варианты ответов

на поставленный вопрос. Ответов может быть несколько. Все они записываются под, либо сбоку от проблемы. Ответы необходимо формулировать кратко. Для поиска ответов может применяться метод мозгового штурма. Чтобы структурировать поиск решений по методу можно предварительно определить основные подобласти, которые приводят к возникновению несоответствия.

3. Если причины, выявленные на шаге 2, могут быть детализированы далее, то по каждой из выявленных причин опять задается вопрос «Почему это произошло?». Ответы на этот вопрос записываются на третьем уровне детализации.

4. Проводится проверка возможности дальнейшей детализации причин. Если детализация возможна, то цикл постановки вопроса повторяется. Как правило, чтобы детализировать причины до самого нижнего уровня достаточно 5-ти повторений цикла.

5. После того как анализ будет завершен, и дальнейшая детализация причин станет невозможна, проводится пересмотр всех выявленных причин и определяются ключевые причины. В ходе пересмотра диаграммы некоторые из причин могут перемещаться с уровня на уровень или дублироваться в различных ветках дерева причин.

Основные преимущества, которыми обладает метод «5 почему» это возможность быстро определить корневые причины поставленной проблемы, легкость освоения и применения.

Недостатки метода проявляются при решении сложных и комплексных проблем. В этом случае метод может дать неправильные или субъективные решения. Для комплексных проблем более подходящими являются метод причинно-следственных диаграмм Исикавы.

1.5 Контрольные карты для количественного и альтернативного признака

Основным инструментом анализа и статистического управления процессами являются контрольные карты, основоположником которых является У. Шухарт.

Контрольные карты (Шухарта) – инструмент, позволяющий отслеживать ход протекания процесса и воздействовать на него (с помощью соответствующей обратной связи), предупреждая его отклонения от предъявленных к процессу требований [2].

Контрольная карта (карта Шухарта) – это линейчатый график (диаграмма), построенный на основании данных измерений показателей процесса (или продукта) в различные периоды времени. Он позволяет отразить динамику изменений показателя и за счет этого контролировать процесс.

Статистическими характеристиками процесса могут быть, например: среднее арифметическое анализируемого показателя качества, стандартное отклонение, число дефектов в выборке и др. На контрольные карты наносятся верхняя и нижняя контрольные границы и среднее значение контролируемого параметра. Получаемая по выборкам информация о текущем состоянии процесса сравнивается с контрольными границами, представляющими пределы собственной изменчивости процесса.

Цель построения контрольной карты – выявление точек выхода процесса из стабильного состояния для последующего установления причин появившегося отклонения и их устранения. Соответственно, это график, на который последовательно в порядке отбора выборок наносят значения статистического показателя, вычисляемого по выборочным данным, и который (график) используют для анализа и управления процессом с целью оценки и снижения изменчивости изучаемого статистического показателя.

Порядок нанесения на карту значений статистического показателя должен быть привязан к времени или порядку отбора выборок.

Каждый производственный или технологический процесс обладает определенной изменчивостью, вследствие действия на него множества факторов. В силу этого результаты процесса – продукция и ее характеристики качества, обладают определенной степенью непостоянства, т.е. так же подвержены изменчивости и варьируются в разных пределах в зависимости от силы воздействующих факторов. Исследование величины изменчивости (вариаций характеристик качества) с использованием контрольных карт создает возможность управления процессом.

Управление процессом с использованием контрольных карт получило название статистического управления процессами (SPQ). Задача такого управления – это поддержание процесса в стабильном, статистически управляемом состоянии, гарантирующем соответствие результатов процесса установленным требованиям.

Признаком статистически управляемого состояния процесса является отсутствие на контрольной карте точек за контрольными границами, трендов и необычных структур точек внутри контрольных границ.

Стандарт ГОСТ Р 50779.42-99 «Статистические методы. Контрольные карты Шухарта», дает следующие комментарии в отношении сущности контрольных карт:

Контрольная карта Шухарта – это график значений выборочных статистических характеристик в зависимости от номеров выборок [9].

Для построения контрольной карты Шухарта требуется данные, получаемые от процесса через определенные временные интервалы с помощью выборок (подгрупп данных). Временные интервалы могут быть заданы либо временем (например, каждый час), либо связываться с моментом проверки определенного коли-

чества продукции (например, каждая партия). Обычно каждая выборка (подгруппа) состоит из однотипных единиц продукции с одними и теми же контролируемыми показателями качества. Все выборки (подгруппы) чаще всего имеют равные объемы. Для каждой выборки (подгруппы) определяют одну или несколько статистических характеристик, таких как суммарное число несоответствий, доля несоответствующих единиц продукции, среднее арифметическое значение, выборочный размах и т.п.

Контрольная карта Шухарта имеет центральную линию (*CL*). При изучении процесса и оценке того, находится ли процесс в статистически управляемом состоянии, центральной линией служит среднее арифметическое значение рассматриваемых данных. При управлении процессом центральной линией служит целевое значение характеристики качества продукции, установленное в технических условиях.

Контрольная карта Шухарта также имеет две, определяемые на основе статистических данных, контрольные границы, обычно симметрично расположенные относительно центральной линии, которые называются верхней контрольной границей (*UCL*) и нижней контрольной границей (*LCL*). Контрольные границы находятся на расстоянии 3σ вверх и вниз от центральной линии ($\pm 3\sigma$), где σ – стандартное отклонение случайных вариаций используемой статистической характеристики (статистики) в генеральной совокупности. Изменчивость внутри выборок (подгрупп) является мерой именно таких случайных вариаций и не включает величину межгрупповых вариаций.

Случайные вариации, как показывает теория и практика, следуют нормальной модели распределения (для количественных данных).

В случае нормального распределения изучаемого показателя качества границы $\pm 3\sigma$ указывают на то, что около 99,7 % значений

выборочных статистик (характеристик подгрупп) попадут в эти пределы при условии, что процесс находится в статистически управляемом состоянии. Нахождение всех точек контрольной карты между контрольными границами, т.е. в интервале $\pm 3\sigma$ по отношению к центральной линии, следует рассматривать как свидетельство нахождения процесса в статистически управляемом состоянии.

Преимущества использования контрольных карт:

- наглядность, простота построения и использования;
- возможность различать причины изменчивости процесса и, в зависимости от вида этих причин, определять, на каком уровне (исполнительском или управленческом) эти действия должны выполняться;
- возможность достижения статистически управляемого состояния процесса и, следовательно, обеспечение стабильного уровня качества результатов процесса;
- возможность совершенствования статистически управляемого процесса путем снижения влияния обычных причин изменчивости и настройки процесса на оптимальный уровень;
- возможность их использования в качестве понятного графического средства обмена информацией между специалистами, службами, поставщиками и потребителями.

Применение контрольных карт позволяет:

- 1) определить находится ли процесс в состоянии статистической управляемости, т.е. функционирует под действием постоянной системы случайных причин и факторов, характеризующих собственную изменчивость процесса;
- 2) оценить собственную изменчивость процесса;
- 3) определить и исследовать специальные причины изменчивости, включая различные тренды и использовать данные об изменчивости для управления процессом;

- 4) оценить соответствие характеристик продукции требованиям;
- 5) регулировать ход процесса для обеспечения его стабильности (статистической управляемости) или обеспечения соответствия характеристик продукции установленным требованиям.

Существуют различные типы контрольных карт. В первую очередь они различаются видом используемых данных для их построения.

Различают:

- 1) контрольные карты для количественных данных (для количественного признака) предназначены для контроля параметров качества, представляющих собой непрерывные случайные величины, значения которых являются количественными данными параметра качества;
- 2) контрольные карты для альтернативных данных (для альтернативного признака) для контроля параметров качества, представляющих собой дискретные (альтернативные) случайные величины и значения, которые являются качественными.

Количественные данные для вычисления выборочных статистических показателей и построения контрольных карт получают с помощью шкальных измерительных приборов и инструментов.

1. Контрольные карты по количественному признаку.

Карты по количественному признаку используются для анализа стабильности и управления процессом, как по уровню его настройки, так и по величине разброса показателя качества. Для этого контрольные карты по количественному признаку, как правило, анализируются попарно: одна карта для положения, а другая – для разброса.

Наиболее часто применяются следующие контрольные карты:

- средних арифметических значений и размахов ($\bar{X} - R$ - карты);

- средних арифметических значений и стандартных отклонений ($\bar{X} - S$ - карты);
- медиан и размахов ($\bar{X} - R$ - карты);
- индивидуальных значений и скользящих размахов ($X_i - MR$ - карты).

Контрольная карта средних арифметических значений и размахов ($\bar{X} - R$ - карта)

В контрольных картах по количественному признаку анализируются результаты наблюдений, проводимых с помощью измерения числовых значений показателя качества. Определяется объем партий изделий, из которых берутся выборки. Партия может состояться как выработка за час, смену, или другой период времени, может формироваться из потока одинаковыми группами изделий или другим способом. Желательно, чтобы партии были одинаковыми.

$\bar{X} - R$ карты строят по измерениям конкретной характеристики процесса на выходе. Данные собирают небольшими подгруппами постоянного объема с периодическим отбором подгрупп (например дважды за смену). Из каждой партии отбирается определенное число деталей – выборка – обычно от 3 до 5, в зависимости от задач, требуемой точности, объема и способа контроля. Для каждой карты объем выборки остается постоянным. Выборкам присваиваются номера i от 1 до n . Всего берется 25 – 30 выборок.

Традиционно $\bar{X} - R$ карты строят одну над другой. Значения \bar{X} и R откладывают на вертикальных осях. Номера подгрупп откладывают по горизонтальной оси.

Для каждой группы/выборки вычисляют среднее значение и размах

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n},$$

$$R = X_{max} - X_{min},$$

где n – число измеренных значений в группе;

X_1, \dots, X_n – измеренные значения;

Контрольная карта доли дефектных единиц продукции (p - карта)

Построение контрольной карты для альтернативного признака:

1. На основе контрольного листка заполняется карта p . По данным контрольного листка заполняется строка числа несоответствующих изделий в выборке, объем выборки, подсчитывается и записывается доля несоответствующих изделий в выборке.

2. На шкалу по вертикали наносятся деления для долей несоответствующих изделий (удобнее в процентах), а по горизонтали – номера выборок.

3. Наносят на бланк среднюю и контрольные границы. Следует обратить внимание на то, что при расчете контрольной границы LCL получается отрицательное число. Такая ситуация может возникнуть при расчете контрольных границ из-за того, что вычисления производятся приближенными методами. Поэтому контрольную границу совмещают с осью абсцисс (приравнивают к нулю). Кроме того, следует помнить, что число несоответствий в выборке и число несоответствующих изделий могут быть только целыми числами, поэтому полученные значения для верхней границы округляют до ближайшего большего целого числа, а для нижней границы – до ближайшего меньшего целого числа. Наносят точки, соответствующие значениям p .

В случае, когда объем выборки n неодинаков при каждом отборе, то долю дефектных изделий и границы для нее вычисляют для каждой выборки.

4. Рассматривая значение исследуют, насколько оно отвечает требованиям с технической и экономической точек зрения. Если это значение будет признано удовлетворительным, то его используют как среднюю контрольную линию. Если же принимается решение, что доля дефектных изделий слишком велика, то необходимо выработать воздействия, уменьшающие долю дефектных изделий.

2. Разброс данных внутри слоев должен быть меньше, чем до их расслоения.

Расслоение осуществляется по следующим факторам:

- по исполнителям – по квалификации, полу, стажу работы;
- по оборудованию и машинам – по новому и старому оборудованию, марке, конструкции, сроку службы и т.д.;
- по материалу – по качеству сырья, партии, месту производства, сроку выпуска и т.д.;
- способу производства – технологическому приёму, месту производства, условиям производства и т.д.;
- по измерению – по методу измерения, типу измерительных средств или их точности и т.д. [2].

Метод расслоения используется при построении причинно-следственных диаграмм, диаграмм Парето, гистограмм.

Порядок проведения расслоения следующий:

1. Сбор данных контролируемого параметра (x_i) за определенный период (месяц, квартал, год и т.д.) с применением соответствующих листов наблюдений (контрольных листов).
2. Разработка контрольного листа для регистрации данных.
3. Построение гистограммы.
4. Анализ гистограммы. Если гистограмма не удовлетворяет допуску, то необходимо оценить данные по критериям «6М».

На рисунке 10 приведен пример анализа источника возникновения дефектов.

Все дефекты (100%) были классифицированы на четыре категории – по поставщикам, по операторам, по смене и по оборудованию. Из анализа представленных данных наглядно видно, что наибольший вклад в наличие дефектов вносит в данном случае «поставщик 1».

ГЛАВА 2 СЕМЬ НОВЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

2.1 Диаграмма сродства

Диаграмма сродства (КJ-метод по имени её основоположника, японского ученого Джиро Кавакита) – инструмент, позволяющий выявлять основные нарушения процесса путем обобщения и анализа близких устных данных.

Диаграмма сродства служит для определения причин нарушения процесса, группирования и упорядочивания большого количества качественных (не числовых) данных и их систематизации в целях облегчения поиска мер, направленных на их исключения. Проблемы систематизированные, подбираются по принципу сродства, того количества словесных данных которые относятся к этим проблемам. Каждая группа данных представляет собой группу, выделенную по некоторому признаку, характерному только для этой группы.

Объединение информации в группы происходит в основном не за счет логической связи между этой информацией, а скорее за счет ассоциаций. Как правило, диаграмма сродства необходима для обработки результатов «мозгового штурма» или опросов и анкетирования.

Диаграммы сродства строятся в тех случаях, когда имеется большое число идей, точек зрения и информации, которые необходимо сгруппировать для выяснения их взаимоотношений. Данная методика часто используется вслед за мозговой атакой для того, чтобы творческим образом соотнести те идеи, которые были высказаны.

Порядок создания диаграммы сродства:

1. Определить предмет или тему, которая станет основой для сбора данных. В качестве предмета исследования могут выбираться несоответствия по процессу, часто возникающий брак в работе и т.п.

2.2 Древовидная диаграмма

Древовидная диаграмма (дерева, системная, дерево решений) – инструмент стимулирования процесса творческого мышления, способствующий систематическому поиску наиболее подходящих и эффективных средств решения проблем. Инструмент, используемый для систематического рассмотрения проблемы (темы) в виде составляющих факторов (элементов), расположенных на различных уровнях и удобного представления логических связей между этими факторами (элементами).

Древовидная диаграмма строится в виде многоступенчатой древовидной структуры, составными частями которой являются различные элементы (факторы, причины) рассмотрения идеи или решения проблемы.

Древовидная (системная) – используют в качестве метода системного определения оптимальных средств решения возникших проблем и строят в виде многоступенчатой древовидной структуры, элементами которой являются различные средства и способы решения:

- когда не ясно сформированные пожелания потребителя в отношении продуктов преобразуются в пожелания потребителя на управляемом уровне;
- когда необходимо исследовать все возможные части проблемы;
- когда краткосрочные цели должны быть достигнуты раньше результатов всей работы, на этапе проектирования.

Она является инструментом, который позволяет систематически рассматривать предмет (проблему) в виде составляющих элементов (причин) и показывать логические и являющиеся следствием или продолжением связи между этими элементами (причинами).

Применяется древовидная диаграмма когда необходимо определить и упорядочить все потенциальные причины рассматриваемой проблемы, систематизировать результаты «мозгового штурма» в виде иерархически выстроенного логического списка, провести анализ причин проблемы, оценить применимость результатов различных решений проблемы, выстроить иерархическую взаимосвязь между элементами диаграммы сродства и пр.

Визуально диаграмма выглядит в виде «дерева» – в основании диаграммы находится исследуемая проблема, от которой «ответвляются» две или более причины, каждая из которых далее «разветвляется» еще на две или более причины и так далее.

Древовидная диаграмма строится в виде многоступенчатой древовидной структуры, составные части которой – различные элементы (причины, средства, способы) решения проблемы. Принцип построения древовидной диаграммы проиллюстрирован на рисунке 12.

Древовидная диаграмма строится следующим образом:

1. Определяется исследуемая проблема. Эта проблема будет являться основанием «ветвей» древовидной диаграммы. Проблему необходимо формулировать ясно и четко, таким образом, чтобы не возникало двоякого толкования формулировки. Если берется формулировка из другого инструмента качества (например, диаграммы сродства), то она должна совпадать с этой формулировкой.

2. Устанавливаются причины, которые приводят к возникновению рассматриваемой проблемы. Для этой цели может применяться метод «мозгового штурма». Если ранее применялась диаграмма сродства или диаграмма связей, то причины берутся из этих диаграмм. Причины размещаются на одном уровне диаграммы. Связь между исследуемой проблемой и причинами первого уровня отображается в виде линий. При выполнении данного шага необходимо проверять обоснованность размещения причин на первом уровне.

Задачей этого инструмента является установление соответствия основных причин нарушения процесса, выявленных, например, с помощью диаграммы сродства, тем проблемам, которые требуют решения. Вот почему есть некоторые сходства между диаграммой связей и диаграммой Исикавы. Различие в том, что в диаграмме Исикавы изначально заданы факторы, относительно которых рассматриваются причины возникновения проблемы. Эти факторы упорядочивают причины в логические последовательности. Когда составляется диаграмма связей, такие факторы отсутствуют.

Диаграмма связей является, главным образом, логическим инструментом, противопоставленным диаграмме сродства (или дополняющим диаграмму сродства).

Примеры ситуаций, когда диаграмма связей может быть полезной:

- тема (предмет, проблема) настолько сложна, что связи между различными идеями не могут быть установлены с помощью обычных рассуждений;

- временная последовательность, согласно которой делаются шаги, является решающей;

- есть подозрение, что проблема, затронутая в процессе работы, – это всего лишь симптом более фундаментальной и пока незатронутой проблемы.

Порядок разработки диаграммы связей:

1. Определяется и формулируется основная проблема, по отношению к которой необходимо выявить причинно-следственную связь. Формулировать проблему следует ясно и четко, так, чтобы она была понятна всем участникам команды, и все участники были с ней согласны. Если для исследования берется результат применения другого инструмента качества (например,

диаграммы сродства), то необходимо проверить, чтобы формулировки проблемы совпадали.

2. Собирается информация из различных источников. Этими источниками могут быть результаты предыдущей работы с диаграммой сродства, древовидной диаграммой или методом «мозгового штурма».

3. Предполагаемые причины исследуемой проблемы располагаются по кругу и один из элементов этого круга (любой) выбирается в качестве начальной точки для дальнейших действий. Этот элемент последовательно сопоставляется с каждым из элементов круга. При сопоставлении элементов команда решает, есть ли между элементами причинно-следственная связь и какова сила этой связи (слабая или сильная связь).

4. После того, как команда придет к согласию по наличию и виду связи между этими элементами, на диаграмме графически изображается связь (в виде стрелки) и указывается направление связи. Стрелка рисуется от «причины» к «следствию». Сильные связи отражаются сплошной линией, слабые связи – пунктирной. На диаграмме не должно быть двунаправленных стрелок.

5. По завершении круга парного сопоставления одного элемента, переходят к следующему элементу и выполняют аналогичные парные сопоставления с этим элементом и т.д.

6. Возле каждого элемента указывают количество входящих и исходящих стрелок (рисунок 13) [9].

Диаграмма связей обеспечивает структурированный подход к анализу комплексных взаимодействий, что является ее сильной стороной. Слабой стороной является то, что приходится сильно полагаться на субъективные суждения о факторах взаимосвязи и, кроме того, она может быть слишком сложной или трудной для восприятия, если на ней отображается большое число элементов.

В менеджменте качества наиболее часто используется *L*-матрица. Как правило, в этой матрице элементы списка, расположенные в строках представляют рассматриваемые проблемы, а в столбцах предполагаемые решения. Также, часто встречается и матрица типа «крыша». Она входит составной частью в «домик качества» (инструмент техники развертывания функций качества).

Применяется матричная диаграмма в основном для решения сложных и комплексных проблем. При этом сопоставление производится для наиболее критических элементов, а не для всех аспектов рассматриваемых проблем. Это связано с тем, что даже для самой простой *L*-матрицы необходимо выполнять большое число сопоставлений (например, для матрицы, состоящей из 10 элементов в строках и 10 элементов в столбцах, таких сопоставлений будет выполнено 100).

Матричная диаграмма строится следующим образом:

1. Определяется проблема, для решения которой может понадобиться матричная диаграмма – сопоставление элементов различных списков, выявление взаимосвязи между ними и силы этой взаимосвязи.

2. Формируется команда для проведения анализа проблемы и составления матричной диаграммы. Желательно, чтобы в состав команды входило не менее 4-х человек. Командная работа повышает объективность результатов, которые дает матричная диаграмма.

3. Определяется, что необходимо сопоставлять с помощью матричной диаграммы. Для этого возможно потребуются применение других инструментов качества. В результате выполнения этого действия могут появиться один, два или более списков элементов, между которыми необходимо установить взаимосвязь.

4. Выбирается подходящий вариант матрицы – *L*, *T*, *Y*, *X*, *S* или матрица типа «крыша».

5. Выбирается система обозначений для представления силы взаимосвязи между сравниваемыми элементами списков (например, сильная связь, средняя связь, слабая связь). Система обозначений может быть числовой или символьной. Если выбирается символьная система, то для каждого символа необходимо назначить весовой коэффициент, определяющий силу взаимосвязи.

6. Элементы из списков, составленных на шаге 3, размещаются в строках и столбцах матрицы, и выполняется попарное сопоставление элементов. В случае если команда решит, что между элементами существует взаимосвязь, в ячейке матрицы проставляется символ или число в соответствии с выбранной на шаге 5 системой обозначений.

7. Проводится оценка и анализ матричной диаграммы – выявляются элементы, которые имеют малое количество связей с другими элементами (или не имеют их вовсе), определяются ключевые элементы (имеют большое количество связей с другими элементами), выявляются элементы, взаимосвязь которых требует дальнейшего исследования [8].

Основные преимущества, которыми обладает матричная диаграмма по сравнению с другими методами, – это наглядное графическое представление взаимосвязи между различными элементами, возможность быстро оценить силу взаимосвязи, возможность проводить многомерное сравнение элементов списков (от двух до четырех). К недостаткам можно отнести ограниченность числа сопоставляемых элементов при увеличении числа сравниваемых списков.

2.5 Матрица приоритетов

Матрица приоритетов – инструмент, для обработки большого количества числовых данных, полученных при построении матричных диаграмм (таблиц качества), с целью выявления приоритетных данных.

Основное назначение матрицы приоритетов – это распределение различных наборов элементов в порядке значимости, а также установление относительной важности между элементами за счет числовых значений.

Матрица приоритетов может быть построена тремя способами:

1. *Аналитический метод* применяется, когда относительно невелико число критериев (не больше 6), необходимо получить полное согласие всех экспертов, принимающих участие в оценке (число экспертов не превышает 8 человек), возможны большие потери в случае ошибки с расстановкой приоритетов.

2. Метод определения критериев *на основе консенсуса* применяется, когда число экспертов составляет более 8 человек, существует значительное число критериев (от 6 до 15), имеется большое число ранжируемых данных (порядка 10–20 элементов).

3. *Матричный метод* применяется, в основном, когда между ранжируемыми элементами есть сильная взаимосвязь, а нахождение элемента с наибольшим влиянием является критичным для решения поставленной задачи.

Порядок действий, по которым строится матрица приоритетов, для всех трех вариантов, в основном, одинаковый. Различия заключаются в определении значимости критериев. Следует рассмотреть все эти нюансы на примере.

Матрица приоритетов строится в следующем порядке:

1. Определяется основная цель, ради которой строится матрица приоритетов.

Пример: уменьшить количество дефектов в изделии.

2. Формируется команда экспертов, которая будет работать над поставленной задачей. Эксперты должны понимать область решаемой проблемы и иметь представление о методах коллективной работы (например, о методе «мозгового штурма» и т. п.).

3. Составляется список возможных решений поставленной проблемы. Список может быть составлен за счет применения других инструментов качества, например, «мозгового штурма», диаграммы Исикавы и пр.

Пример: список решений поставленной проблемы, сформулированный командой экспертов:

- изменить технологию изготовления;
- увеличить число точек контроля;
- провести обучение мастеров;
- изменить конструкцию изделия.

4. Определяется состав критериев. Изначально он может быть достаточно большим. Матрица приоритетов будет включать в себя только часть этих критериев, т.к. в дальнейшем он сократится за счет выбора наиболее важных и существенных.

Пример: состав критериев для оценки приоритетности решений:

- требуется не более 100 чел./ч на реализацию решения;
- низкая стоимость реализации решения;
- количество вовлекаемого персонала не более 50 чел.;
- снижение затрат на брак не менее чем в 1,5 раза.

5. Назначается весовой коэффициент для каждого критерия. Назначение весового коэффициента производится в зависимости от выбранного метода.

Для аналитического метода:

- устанавливается рейтинговая шкала для каждого критерия;
- для каждого числового значения шкалы дается определение значимости. Для того, чтобы различия в весовых коэффициентах были более заметны, обычно применяют шкалу с числовыми значениями 1–3–9 (где 1 – малая значимость, 3 – средняя значимость, 9 – большая значимость) (таблица 6).

определены проблемы, требующие решения, намечены необходимые меры, определены сроки и размечен ход осуществления запланированных мер. Инструмент используется для обеспечения уверенности, что планируемое время выполнения всей работы и отдельных ее этапов достижения конечной цели является оптимальным. Широко применяется при планировании и для последующего контроля за ходом выполнения запланированных работ, при разработке проектов и планировании производства.

Стрелочная диаграмма обычно графически представляет ход проведения работ. Из стрелочной диаграммы должны быть наглядно видны порядок и сроки проведения различных этапов работы.

Одновременно этот инструмент обеспечивает уверенность, что планируемое время выполнения всей работы и отдельных ее этапов является оптимальным при достижении конечной цели. Стрелочные диаграммы широко применяются не только при планировании работ, но и для последующего контроля их выполнения, в частности, при проектировании и разработке, а также при контроле производственной деятельности.

Стрелочные диаграммы чаще всего представляют в виде одной из двух форм – диаграммы Ганта (рисунок 17) и сетевого графика (рисунок 18).

Методика построения стрелочной диаграммы:

1. Определите задачу построения стрелочной диаграммы.
2. Соберите необходимые данные с использованием других инструментов качества. Для построения стрелочной диаграммы необходимо определить мероприятия (работы) для решения поставленной задачи, сроки их реализации.

Кроме того, при сложной зависимости этапов выполнения мероприятий друг от друга следует установить (определить) данные взаимосвязи.

Большим преимуществом сетевого графика над диаграммой Ганта является возможность отобразить сложные взаимосвязи выполнения мероприятия друг с другом.

При каких-либо затруднениях или, наоборот, ускорении выполнения каких-то мероприятий, в сетевом графике довольно легко разобраться – на какие связанные мероприятия это повлияет и как это отразится на окончательных сроках выполнения всех работ. В графике Ганта, если мероприятия связаны не простой линейной последовательностью, отследить это практически невозможно.

Преимущество диаграммы Ганта, в свою очередь, является одновременное отображение мероприятий и сроков их выполнения, а также представление информации в привычном табличном виде, что значительно облегчает восприятие этой информации [8].

2.7 Диаграмма процесса осуществления программы

Блок-схема процесса принятия решения (диаграмма процесса, поточная диаграмма процесса, диаграмма процесса осуществления программы) (Process Decision Program Chart – PDPC) – это инструмент, который помогает запустить механизм непрерывного планирования. Его использование способствует уменьшению риска практически в любом деле. Планирует каждый мыслимый случай, который может произойти, перемещаясь от утверждения проблемы до возможных решений.

Диаграмма процесса осуществления программы – этот инструмент представляет собой графическое отображение этапов процесса, удобное для исследования возможностей улучшения за счет накопления подробных сведений о фактическом протекании процесса. Рассматривая связь различных этапов процесса друг с другом, часто удается выявить потенциальные источники неприятностей.

В литературе по менеджменту качества этот инструмент часто называется «карта технологического процесса». Карты технологического процесса могут применяться ко всем аспектам любого процесса, начиная с этапа маркетинговых исследований и вплоть до этапов продажи, а затем монтажа и обслуживания продукции у потребителя.

PDPC отображает последовательность действий и решений, необходимых для получения желаемого результата, но может быть использована для оценки сроков и целесообразности проведения работ по выполнению программы, например, в соответствии со стрелочной диаграммой Ганга, как до их начала, так и в процессе выполнения этих работ (с возможной корректировкой сроков их выполнения).

При использовании поточной диаграммы для описания существующего процесса желательно следовать таким рекомендациям:

- идентифицируйте начало и конец процесса;
- наблюдайте процесс целиком от начала до конца;
- определите этапы процесса (действия, решения, входящие и выходящие потоки, операции контроля, ведение записей и очередность их выполнения);
- постройте черновой вариант поточной диаграммы;
- рассмотрите черновой вариант с сотрудниками, участвующими в осуществлении процесса;
- улучшите поточную диаграмму на основе рассмотрения;
- сверьте диаграмму с фактическими этапами процессами;
- отметьте на получившейся поточной диаграмме название и местоположение процесса, дату составления диаграммы, сведения об участниках работы по составлению диаграммы и любую другую информацию, достойную внимания.

Полученная поточная диаграмма существующего (разрабатываемого) процесса служит документом о фактическом (предпола-

Четкое соблюдение очередности и выполнение всех этапов процесса позволяет минимизировать время, необходимое для осуществления процесса.

Практика показывает, что при оформлении PDPC наиболее часто используют только три символа, а именно:

- овал (для обозначения начала и конца процесса);
- прямоугольник (для обозначения действий и операций);
- линии со стрелками (для указания направления протекания процесса).

При необходимости диаграмма осуществления программы, может быть представлена в виде поточной диаграммы (карты технологического процесса), выполненной с применением полного набора символов.

Поточные диаграммы процессов и PDPC широко используются при решении сложных проблем в области научно-исследовательских работ, при проектировании и разработке новых видов продукции, выполнении крупных производственных заказов и т. п.

Диаграмма сродства и диаграмма связей обеспечивает общее планирование.

Диаграмма дерева, матричная диаграмма и матрица приоритетов обеспечивает промежуточное планирование.

Блок-схема процесса принятия решения и стрелочная диаграмма обеспечивают детальное планирование [8].

ГЛАВА 3 АНАЛИЗ РИСКОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (FMEA АНАЛИЗ). МЕТОД 8D

Анализ видов и последствий отказов (метод FMEA – Failure Mode and Effects Analysis) – это метод, применяемый при проектировании продукции и производственных процессов, при помощи которого систематически идентифицируются последствия каждого отдельного компонента аварийных состояний. Непременной отличительной чертой в любом FMEA является рассмотрение каждого основного компонента или части системы на предмет того, каким образом он достигает аварийного состояния и как это влияет на аварийное состояние всей системы.

При использовании метода FMEA возможно снижение количество вносимых изменений на стадии производства, а соответственно и затрат на проведение изменений; а так же уменьшает количество ошибок, а, следовательно, и связанные с ними дефекты и брак.

Целью применения метода анализа видов и последствий отказов – это изучение причин и механизмов возникновения несоответствий и сокращение затрат на устранение несоответствий на всех стадиях жизненного цикла продукции, что приводит к повышению качества продукции.

Саму процедуру FMEA можно описать как систематизированный комплекс действий для:

1. Распознавания и оценки потенциальных отказов продукции/процессов и их последствий;
2. Определения действий, которые могли бы устранить или снизить шансы возникновения потенциальных отказов;
3. Документирования этого процесса.

FMEA анализ можно разделить на два вида:

1. DFMEA – анализ видов и последствий потенциальных несоответствий конструкции. Цель проведения DFMEA – выявление потенциальных несоответствий конструкции, вызывающих наибольший риск потребителя и внесение изменений в конструкцию изделия, которые бы позволили снизить такой риск. DFMEA может проводиться как для разрабатываемой конструкции, так и для уже существующей.

2. PFMEA – анализ видов и последствий потенциальных несоответствий технологических процессов проводится при планировании производства с участием представителей заинтересованных служб и, при необходимости, представителей потребителя. Проведение PFMEA начинается на стадии технической подготовки производства и заканчивается своевременно до монтажа производственного оборудования.

Последовательность проведения FMEA:

1. Формируется команда экспертов из различных служб предприятия от 4 до 10 человек (конструкторских, технологических, производственных, контролирующих, специалистов по применяемым материалам, службы качества, специалистов поставщиков и др.). Данная команда проводит сбор и изучение исходных данных и сведений о назначении изделий и требованиях процессов. Исходные данные для анализа FMEA процесса должны содержать информацию о процессе и продукции, требованиях, предъявляемых к системе в целом и отдельным ее составляющим, технологических процессов, факторах окружающей среды, влияющих на результаты. Материалы и данные для дальнейшего анализа могут включать чертежи, технологические и другие документы.

2. Для каждой части исследуемого объекта команда экспертов определяет возможные отказы в работе, причины каждого несоответствия, определить и описать последствия этих отказов для потребителей.

3. Рассчитывается комплексная оценка риска (приоритетное число риска (ПЧР) с учетом факторов значимости потенциального отказа/дефекта (S), вероятность возникновения (возможности) отказа/дефекта (O), вероятность обнаружения отказа/дефекта (D).

Для отказов (дефектов, пороков), имеющих несколько причин, определяют соответственно несколько ПЧР. Каждое ПЧР может иметь значение от 1 до 1000. Для ПЧР риска должна быть заранее установлена критическая граница ($ПЧР_{гр}$), например, в пределах от 100 до 125. Если какие-то значения ПЧР превышают установленное значение $ПЧР_{гр}$, значит, именно для них следует вести доработку объекта.

4. Затем проводится анализ выбранных объектов и документирование результатов анализа. Результаты проведения анализа FMEA регистрируются последовательно в графах протокола анализа (см. рисунок 20).

5. Далее необходимо заняться выработкой технических решений, которые позволят предотвратить последствия отказов для наиболее рискованных ситуаций; установить промежуток времени, через который должна производиться периодическая верификация выработанного решения.

Приоритетное число риска (ПЧР) – обобщенная количественная характеристика объекта анализа. ПЧР определяется после получения экспертных оценок составляющих – рангов значимости, возникновения и обнаружения, путем их перемножения. Объекты анализа упорядочиваются по убыванию значений ПЧР. Таким образом приоритетное число риска – это произведение значимости S, возможности появления O и обнаружения D:

$$ПЧР=(S) \times (O) \times (D).$$

Для каждой области применения должно быть установлено граничное значение ПЧР – $ПЧР_{гр}$. В случае если фактическое значение ПЧР превосходит $ПЧР_{гр}$, по результатам анализа должны разрабатываться и внедряться корректирующие/предупреждающие действия для снижения или устранения риска последствий. Если фактическое значение не превосходит $ПЧР_{гр}$, то считается, что объект анализа не является источником существенного риска и корректирующие/предупреждающие действия не требуются.

Количественные оценки значимости, возникновения и обнаружения потенциальных несоответствий или их причин определяются на основе статистических данных или мнений экспертов с помощью соответствующих типовых шкал.

Значимость потенциального отказа (S) – это оценка наиболее серьезного последствия потенциального отказа для следующего компонента, подсистемы, системы или для потребителя.

Потенциальная причина отказа определяется как указание недостатка конструкции, следствием которого является вид отказа. Оценка определяется по 10-балльной шкале серьезности последствия. Ранг (балл) значимости определяется экспертно по типовой шкале. Если последствий несколько и значимости их разные, то для дальнейшего расчета ПЧР используется максимальное значение значимости.

Таблица 10. Рекомендуемая шкала баллов значимости S
для FMEA конструкции

Последствие	Критерий значимости последствия	Балл S
Опасное без предупреждения	Очень высокий ранг значимости, когда вид потенциального дефекта ухудшает безопасность работы объекта и/или вызывает несоответствие обязательным требованиям безопасности и экологии без предупреждения	10

предотвращения повторения этих проблем в будущем. В методике 8D применяются командный, процессный, проблемный и аналитический подходы.

Каждый шаг 8D методики имеет в своем наименовании букву D, что означает discipline (дисциплина). Каждая из восьми дисциплин имеет свои входные и выходные информационные потоки. Типовой бланк 8D имеет восемь секций, каждая из которых определяет свою дисциплину.

D0 – Определение проблемы и разработка плана.

D1 – Формирование команды.

D2 – Определение и описание проблемы.

D3 – Определение временных сдерживающих мер сдерживание проблемы.

D4 – Проведение причинно-следственного анализа корневых причин.

D5 – Определение и разработка корректирующих мероприятий.

D6 – Внедрение и валидация (оценка) корректирующих действий.

D7 – Разработка предупреждающих действий.

D8 – Закрытие мини проекта 8D. Составление отчета.

Методика «8D» применяется в случаях: наличие проблемы (дефекта) причины которой нам непонятны; требование потребителя; требование производства.

Преимущества методики «8D»: Это мощный инструмент по решению проблем, потому что устраняются причины, а не только сами проблемы. Кроме того, методика «8D» учит специалистов работать в команде.

ГЛАВА 4 РАЗВЕРТЫВАНИЕ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА (QFD АНАЛИЗ)

Развертывание (структурирование) функции качества (*QFD - Quality Function Deployment*) – это экспертный метод разработки новой продукции или процесса, целью которого является преобразование требований потребителя в технические характеристики продукции и рабочие инструкции, визуализация и документирование планирования качества продукции и учитывающий возможности конкурентов. Данный метод позволяет повысить степень удовлетворенности потребителя и снизить затраты на проектирование и подготовку производства изделий.

Технология QFD – это последовательность действий производителя по преобразованию фактических показателей качества (потребительских свойств) изделия в технические требования к продукции, процессам и оборудованию. В основе метода QFD лежат четыре из семи новых инструментов контроля качества, которые по существу являются инструментами управления качеством (диаграмма сродства, диаграмма связей, древовидная диаграмма, матричная диаграмма).

Метод QFD используется на всех 4 этапах создания продукции: планирование продукта, проектирование продукта, проектирование процесса, производство. Результаты применения QFD на всех этапах взаимосвязаны. Выход первого этапа (характеристики продукта в целом) является входом второго этапа. Выход второго этапа (характеристики компонентов продукта) является входом третьего этапа. Выход третьего этапа (параметры технологического процесса) является входом четвертого этапа. Выходом четвертого этапа являются характеристики оборудования и оснастки, средства и методы контроля качества продукта.

Инструментом QFD служит специальная таблица «дом качества», в которой отображается связь между потребительскими свойствами и техническими характеристиками продукции и проводится сравнение с продукцией конкурентов.

Последовательность проведения QFD:

1. «Дом качества» начинается с выяснения мнения потребителей с помощью маркетинговых исследований. Высказанные требования часто объединяют в группы, представляющие общие взгляды потребителей. А разработчики затем их переводят в инженерные характеристики, оказывающие влияние на одно или несколько потребительских свойств.

2. Затем формируется список технических характеристик готового продукта и определяется степень корреляции между потребительскими требованиями и техническими характеристиками.

3. С помощью бенчмаркинга проводится рыночное оценивание произведенной продукции и ее конкурентоспособности.

4. На основе сравнительной оценки важности выделенных потребителями характеристик и возможного достижения по ним конкурентного преимущества составляется плановая матрица: определяются контролируемые характеристики изделия, обеспечение которых должно «развертываться», т.е. структурироваться, и учитываться при формировании технологии производства, методов контроля.

Применение метода QFD позволяет на стадии проектирования продукта подобрать технологию производства (а также, возможно, упаковки, хранения), а также выявить контрольные точки, в которых формируется качество продукта, требуемое потребителем.

Достоинства использования QFD:

- позволяет наиболее эффективным способом идентифицировать ожидания потребителей, выделять среди них ключевые (с точки зрения достижения успеха организации) требования и воплощать их в продукцию;

- резко сокращает время цикла «Исследование рынка – проектирование – производство – сбыт»; снижает затраты на выпуск опытной партии продукции (на 20-40%), а затраты на предварительную разработку продукции – более чем в 5 раз;

- более четко определяет процессы самой организации, нуждающиеся к тому же в меньшей переделке, начиная с того времени как продукция будет запущена в производство;

- предоставляет возможность оптимально распределять, а значит – наиболее эффективно использовать ограниченные ресурсы организации для обеспечения как тактических, так и стратегических целей.

Недостатки использования QFD:

- недостаточная коммуникативность потребителей;
- сложность и громоздкость ручных вычислений и анализа;
- сложность получения количественного значения целей улучшения технических характеристик или параметров [4].

Заполнение Дома качества (рисунок 22):

1. Вначале заполняется левая комната Дома качества: по вертикали записываются требования (ожидания) потребителя. Основной вопрос «Чего хотят потребители и что мы будем делать?». В зависимости от важности факторов выбора присваивается факторам вес по 10 бальной шкале (см. п. 1 на рисунке 22).

2. В центральной части дома строится матрица связей: по горизонтали выписываются инженерные технические характеристики продукта (легкость, размер, эргономичность, форма, цвет и т.д). Основной вопрос «Как сделать?» – как воплотить в жизнь список пожеланий потребителя. В клетках отмечается уровень зависимости, если она есть (см. п. 4.).

3. В центральной комнате определяется уровень взаимосвязи между ожиданиями потребителя и характеристиками продукта: инженерным характеристикам присваиваются веса степени взаимосвязи: тесная – 9 баллов, средняя – 3, слабая – 1. (см. п. 5).

Вместе с рейтингом важности технических характеристик продукции для всех колонок «как» указывают также рейтинг сложности технического воплощения целевого значения параметра качества. Этот рейтинг назначают обычно по 5-балльной системе и он учитывается при проектировании следующих этапов жизненного цикла продукции.

4. Для определения взаимосвязи основных характеристик продукта строится корреляционная матрица – крыша дома качества. Зависимость характеристик друг от друга указывается символами или знаками, например, присваиваем им «+» – если усиливают друг друга, «-» – если ослабляют, «=» – если характеристики и факторы выбора никак друг с другом не взаимодействуют (см. п. 6).

5. В правой комнате прописывается оценка выполнения требований конкурентов аналогичной продукции по 5 балльной шкале. Основной вопрос «Почему?» (см. п. 2).

6. Проводятся анализ изделий конкурента и бенчмаркинговые исследования. Полученная информация о технических характеристиках своей продукции и продукции конкурентов заносится в «подвал» Дома качества.

7. Определяются целевые значения технических характеристик и оценивается относительная техническая трудность достижения каждой технической характеристики. Результаты оценки по 10-балльной шкале также заносятся в «подвал» Дома качества (см. п. 7).

8. Определяются целевые характеристики улучшенной продукции путем испытаний заносится в строку в «подвал» Дома качества (см. п. 8).

9. Определяется очередность реализации необходимых изменений технических характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радкевич, Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация. В 3 ч. Часть 2. Стандартизация: учебник для академического бакалавриата / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе. – 5 изд., перераб. и доп. – Москва: Изд-во «Юрайт», 2018. – 481 с.
2. Чекмарев, А.Н. Статистические методы управления качеством. – Москва: Машиностроение, 1999. – 320 с.
3. Годлевский, В.Е. Применение статистических методов в автомобилестроении / В.Е. Годлевский, П.Н. Плотников, Г.Л. Юнак; под ред. А.В. Васильчука. – Самара: ГП «Перспектива», 2003. – 196 с.
4. Развертывание функции качества (QFD): методические указания / Ю.А. Вашуков, А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина. – Самара: СГАУ, 2009. – 54с.
5. Анализ видов, последствий и причин потенциальных несоответствий (FMEA): методические указания / Ю.А. Вашуков, А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина. – Самара: СГАУ, 2008. – 31 с.
6. Быков, Ю.М., СПС. Статистическое управление процессами / Ю.М. Быков, С.Ю. Быков. – URL: <http://www.tem-consulting.ru> (дата обращения: 26.06.2017).
7. Солонин, С.И. Метод контрольных карт. – УрФУ. <http://www.urfu.ru>
8. Горбунова, О.И. Инструменты и методы управления качеством: учебное пособие / О.И. Горбунова, И.К. Гусева. – Иркутск: Изд-во БГУ, 2016. – 116 с.
9. ГОСТ Р 50779.42-99 «Статистические методы. Контрольные карты Шухарта».

Учебное издание

*Антипов Дмитрий Вячеславович,
Васильева Ирина Павловна,
Еськина Елена Владимировна*

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
И ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ
КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ**

Учебное пособие

Редакционно-издательская обработка А.В. Ярославцевой
Компьютерная вёрстка А.В. Ярославцевой

Подписано в печать 16.05.2022. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печ. л. 5,5.
Тираж 120 экз. (1-й з-д 1-25). Заказ № . Арт. – 10(P1У)/2022.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

Издательство Самарского университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.