

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Политехнический институт
Кафедра «Инструментальные и метрологические системы»

Утверждено на заседании кафедры ИМС

18 сентября 2024 г., протокол № 1

И.о. заведующего кафедрой

 В.А. Белякова

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
КУРСОВЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)
«Аналитические методы и инструменты управления
производственными процессами»**

**основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки
27.03.04 Управление в технических системах

с направленностью (профилем)
«Цифровые технологии в системах обеспечения качества»

Форма обучения: *очная*

Идентификационный номер образовательной программы: 270304-01-24

Тула 2024 год

Разработчики:

Плахотникова Е. В., д. т. н., проф.

Белов Д.Б., к. т. н., доц.



(подпись)



(подпись)

6 семестр

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Целями курсовой работы является закрепление знаний по курсу " Аналитические методы и инструменты управления производственными процессами " и развитие навыков самостоятельной работы студентов при моделировании процессов и оценке их качества.

Задачами выполнения курсовой работы являются:

- получение навыков моделирования процессов,
- разработка системы показателей для оценки качества процессов.

2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

2.1. Тематика курсовой работы

В курсовой работе выполняется структурно-функциональное моделирование процесса и разрабатывается система показателей для оценки его качества.

2.2. Исходные данные к курсовой работе

Исходными данными являются название и описание процесса (процесс выбирается по согласованию с преподавателем).

2.3. Задание на курсовую работу

Задание оформляется на типовом бланке отдельно для каждого студента. В задании указывается номер варианта и название процесса.

Руководитель по согласованию со студентом может выдать задание, которое по сложности эквивалентно типовому заданию.

2.4. Объем курсовой работы

Результаты выполнения курсовой работы представляются в виде пояснительной записки объемом 35...40 листов формата А4 и графического материала объемом 2 листа формата А1 (или в виде презентации).

2.5. Работа над курсовой работой

Работа над курсовой работой включает следующие этапы:

Этап 1. Описать процесс.

Этап 2. Построить блок схему процесса.

Этап 3. Выполнить его структурно-функциональное моделирование на основе методологии IDEF0 и DFD.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ НАД КУРСОВОЙ РАБОТОЙ

3.1 Содержание и цели процессного подхода

Процесс – совокупность взаимосвязанных и (или) взаимодействующих видов деятельности, использующих входы для получения намеченного

результата (ГОСТ Р ИСО 9000-2015).

Процессный подход – управление и постоянное улучшение системы взаимосвязанных и взаимодействующих процессов. Преимущества такого подхода – простота организации, синхронизации, взаимосогласованной, т.е. оптимизации как самих процессов, так и ресурсов, потребляемых процессами. В эффективной системе менеджмента качества процессы и связанные с ними ответственности, процедуры и ресурсы установлены, согласованы и взаимосвязаны.

Процессом в свою очередь называют совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих видов деятельности, которая преобразует входы в выходы. Процесс всегда служит для выпуска определенной продукции, которая и является основным выходом процесса. Продукция всегда предназначена для удовлетворения потребностей конкретных потребителей. И это предъявляет ряд существенных требований к процессам.

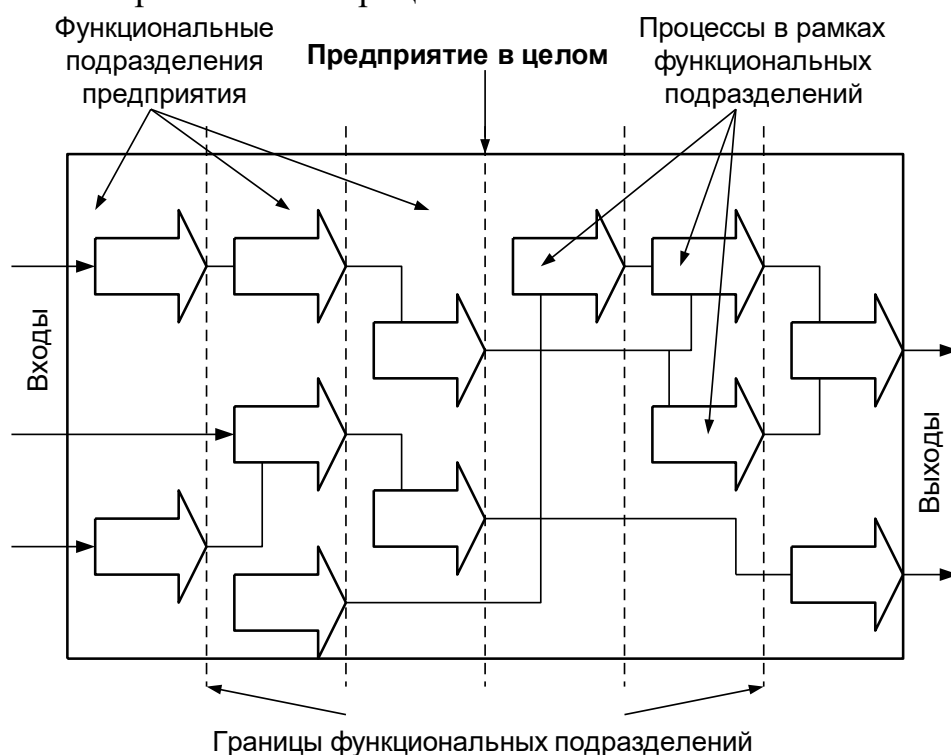


Рисунок – Предприятие как сеть процессов

1. Продукция (услуги) должна соответствовать ожиданиям потребителя. Если этого нет, продукция не нужна. В таком случае не нужен и сам процесс.

2. Процесс должен быть всегда настроен на потребителя, он должен учитывать изменение его пожеланий. Так как требования потребителей непрерывно растут, то процесс должен непрерывно совершенствоваться, не только улучшая продукцию, но и сокращая затраты на ее производство и сроки поставки.

3. Требования потребителей должны быть известны на входе в процесс. Все работы, объединенные процессом, должны ориентироваться на удовлетворение этих требований. Именно заказы потребителей либо потребности рынка запускают процесс.

Итак, любой процесс начинается с запросов потребителей и кончается предоставлением потребителю продукции, которая соответствует его ожиданиям.

Весьма важным признаком процессного подхода является то, что основное внимание менеджмента концентрируется на процессах, объединяющих отдельные самостоятельные функции, выполняемые различными подразделениями и должностными лицами в общие потоки, нацеленные на конечные результаты деятельности организации (рисунок 1). Несомненным достоинством процессного подхода является также управление на стыках деятельности подразделений и должностных лиц.

Другим важным положением является то, что процесс представляет собой совокупность работ, каждая из которых в свою очередь является процессом (функцией). Оптимизация отдельных работ – функций без увязки со всем процессом не может принести сколько-нибудь заметных результатов. Рассмотрение процессов как совокупности функций часто позволяет выявить тот факт, что некоторые из функций просто не нужны для получения конечного результата. Большие потери, особенно на крупных предприятиях, обычно происходят из-за несогласованных действий подразделений.

3.2 Классификация процессов на предприятиях

В стандарте СМК представлено четыре группы процессов:

1. Процессы управленческой деятельности руководства (взаимоотношение с потребителем; формирование политики в области качества; планирование; распределение ответственности, полномочий и обмен информацией; анализ со стороны руководства; управление документацией; управление записями). Это процессы из разных разделов ИСО 9001, но они включены в одну группу, поскольку имеют одного владельца – представителя руководства, ответственного за СМК.

2. Процессы обеспечения ресурсами (менеджмент персонала; менеджмент инфраструктуры; управление производственной средой).

3. Процессы жизненного цикла продукции (планирование процессов жизненного цикла продукции; процессы, связанные с анализом требований потребителя; проектирование и разработка; закупки; производство и обслуживание; управление устройствами для мониторинга и измерений).

4. Процессы измерения, анализа и улучшений (мониторинг и измерение; управление несоответствующей продукцией; анализ данных; улучшение системы менеджмента качества).

Все процессы, необходимые для получения конечных результатов деятельности организации и приносящие ей доход, относятся к бизнес-процессам. Любая организация, производящая продукцию или услуги реализует n-е число бизнес-процессов, участниками которых являются высшее руководство и все подразделения организации, а также заинтересованные в улучшении деятельности организации стороны: владельцы, партнеры, поставщики, инвесторы и др. Совокупность всех бизнес-процессов организации, обеспечивает ее бизнес, т.е. деятельность, приносящую доход.

Процессы на предприятии могут быть классифицированы по следующим признакам.

По сфере охвата подразделений организации:

- *корпоративные* процессы (макропроцессы), охватывающие всю организацию. Число их может достигать до 6 – 10;

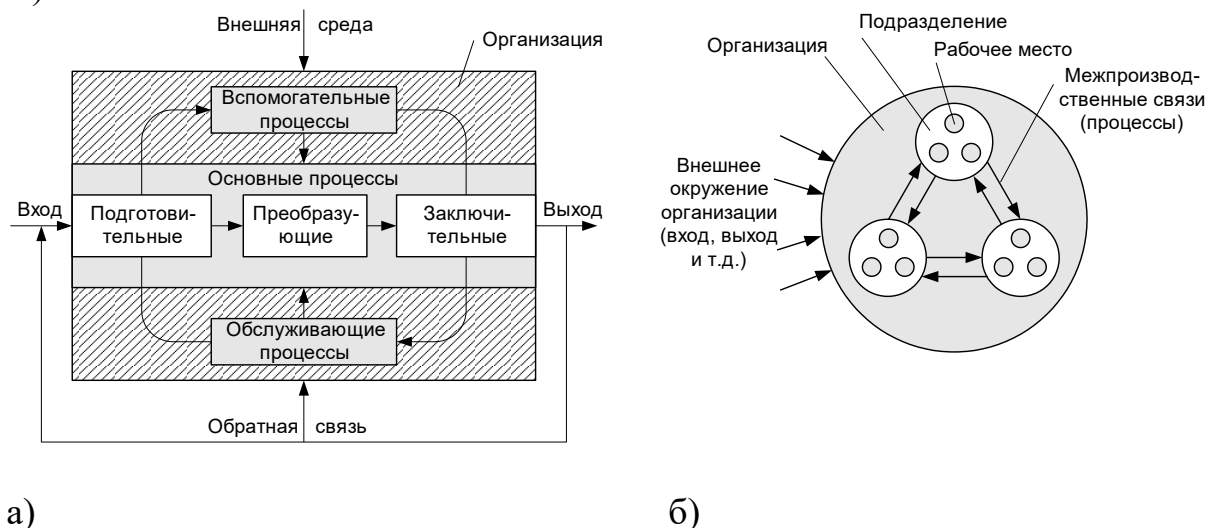
- *процессы*, охватывающие отдельные подразделения и ориентированные на конкретные виды продукции или услуг.

По категориям потребителей (получателей результатов процесса):

- *внешние процессы*, выходы которых предназначены для внешних потребителей. Входы таких процессов также образованы внешними субъектами, в том числе и потребителями;

- *внутренние процессы*, имеющие поставщиков и потребителей внутри организации.

По целям и степени влияния на получение добавленной ценности (рисунок 1):



а)

б)

Рисунок 1 – Виды и взаимосвязи процессов в организации

а) по ходу производства; б) по уровням иерархии

- *основные процессы* – предназначенные для достижения главной цели бизнеса организации или предприятия, непосредственным результатом которых является выпуск продукции;

- *вспомогательные* – процессы, способствующие нормальному протеканию основных процессов. Они связаны с ТО и ремонтом технологического оборудования, зданий и сооружений, транспортных средств, а также с обеспечением основных процессов оборудованием, приспособлениями, режущим и измерительным инструментом и т.п.;

- *обслуживающие* – процессы, обеспечивающие функционирование основных и вспомогательных процессов путем оказания транспортно-складских услуг, организации сбыта продукции, услуг по логистике на входе и выходе организации;

- *управленческие (процессы менеджмента)* – реализуют функции руководства организации по стратегическому и оперативному управлению, управлению улучшениями, управлению персоналом, материальными ресурсами и инфраструктурой. Они могут быть выделены либо в виде отдельных

процессов на предприятии, либо могут быть реализованы в виде функций управления на отдельных этапах каждого бизнес-процесса.

3.3 Способы выделения процессов на предприятиях

Для успешной деятельности предприятия необходимо выделить на нем сеть процессов и управлять ими. При этом должны рассматриваться реальные процессы предприятия, а не искусственно обособленные. Реальность процессов достигается только путем привязки сети (системы) процессов к существующим функциональным подразделениям предприятия.

Связывая процессы с функциональными подразделениями, можно добиться однозначного определения:

- 1) границ процессов (по входам/выходам, выполняемым функциям подразделений);
- 2) взаимодействия процессов в рамках сети (системы) процессов предприятия;
- 3) владельцев процессов, отвечающих за результативность и эффективность каждого процесса.

Такое понимание процессного подхода не ставит механически знак равенства между подразделением и процессом, так как строится система управления процессом, которая весьма существенно отличается от традиционной системы управления деятельностью функционального подразделения (кроме того, в одном подразделении можно выделить несколько процессов). При этом обеспечивается четкое, регламентированное взаимодействие процессов различных подразделений по входам/выходам, тем самым, обеспечивая условия для эффективной деятельности всей организации или, другими словами, эффективности сквозных процессов.

3.4 Описание процесса

Практическая реализация процессного подхода на предприятиях предусматривает описание процессов с учетом всех компонентов, необходимых для его надлежащего функционирования. В общем случае, в развернутом описании процесса целесообразно указывать следующие его характеристики:

полное наименование процесса (оно должно быть кратким и по возможности выражено отглагольным существительным);

определение процесса (формулировка, раскрывающая сущность, основное содержание процесса);

цель процесса (необходимый или желательный результат процесса);

владелец процесса (лицо, ответственное за перспективное планирование, ресурсное обеспечение и эффективность процесса);

руководитель процесса (лицо, ответственное за текущее планирование и ведение процесса с целью достижения запланированных результатов);

нормативы процесса (документация, содержащая показатели норм, в соответствии с которыми осуществляется процесс);

входы процесса (материальные и информационные потоки, поступающие в процесс извне и подлежащие преобразованию);

выходы процесса (результаты преобразования, добавляющие стоимость). Любой процесс должен иметь, по крайней мере, один выход;

ресурсы (финансовые, технологические, материальные, временные и информационные, посредством которых осуществляется преобразование входов в выходы);

процессы поставщиков (внутренние или внешние поставщики – источники входов рассматриваемого процесса);

процессы потребителей (процессы внутреннего или внешнего происхождения, являющиеся пользователями результатов рассматриваемого процесса);

измеряемые параметры процесса (его характеристики, подлежащие измерению и контролю);

показатели результативности и эффективности процесса (отражающие степень соответствия фактических результатов процесса запланированным, а также связь между достигнутым результатом и использованными ресурсами).

Пример описания процесса

В таблице 1 представлены основные характеристики процесса процесса ТО и ремонта технологического оборудования.

Таблица 1 – Характеристики процесса ТО и ремонта

Полное наименование процесса	Техническое обслуживание и ремонт технологического оборудования
Определение процесса	Удовлетворение потребностей предприятия в проведении работ по поддержанию в работоспособном состоянии имеющихся средств производства (технологического оборудования, машин и т.д.)
Цель процесса	Сохранение работоспособности оборудования при оптимальном сроке его службы и минимальных трудовых и материальных затратах
Владелец процесса	Главный инженер
Руководитель процесса	Главный механик
Нормативы процесса	СТП (Техническое обслуживание и ремонт технологического оборудования), типовая система ТО и ремонта оборудования, предыстория выполнения ремонтных работ, план-график ППР.
Входы процесса	- номенклатура оборудования; - технологическое оборудование: а) исправное (подлежащее ТО и плановому ремонту); б) неисправное (вышедшее из строя в результате аварии)

Выходы процесса	- оборудование прошедшее ТО; - оборудование, прошедшее ремонт (плановый и внеплановый); - отчет о проведении работ по ТО и ремонту
Ресурсы	- персонал ремонтной службы; - <i>инфраструктура (оборудование, здания и производственные помещения, транспорт, связь и т.д.);</i> - материальные и временные ресурсы, необходимые для выполнения всех видов ремонтных работ; - программное обеспечение, задействованное при выполнении процесса
Поставщик и потребитель процесса	Предприятие в целом, производственные подразделения, цехи в частности.
Измеряемые параметры процесса	ТУРС (технический уровень ремонтной службы), материальный ущерб основному производству
Показатели результативности и эффективности процесса	Технико-экономические показатели деятельности ремонтной службы (Инструмент мониторинга процесса ТО и ремонта)

На основе данных таблицы 1 можно сделать следующие выводы, характеризующие процесс ТО и ремонта оборудования.

1. Процесс ТО и ремонта ориентирован на определенных потребителей – цехи основного производства, которые и являются получателями продукции (исправного оборудования) – основного выхода процесса.

2. Процесс ТО и ремонта оборудования должен быть всегда настроен на ожидания потребителей, которые надо знать. Поэтому необходимо иметь описание процесса с указанием гарантированных показателей качества.

3. Обращение потребителя запускает процесс, а предоставление услуги (продукции) завершает его.

4. Процесс ТО и ремонта образуется совокупностью взаимосвязанных и завершенных работ. Результаты одной работы являются началом другой, образуя цепочку внутренних поставщиков и потребителей. Иными словами, каждый участник данного процесса является одновременно потребителем результатов работы предыдущего и поставщиком для следующего за ним исполнителя.

5. Каждая из работ в составе процесса ТО и ремонта обычно выполняется отдельными людьми или подразделениями ремонтной службы предприятия. Отдельное подразделение или работник ремонтной службы может принимать участие в нескольких подпроцессах.

3.5 Разработка блок-схемы процесса

Для проведения более детального анализа процесса полезно создать детальную блок-схему (рис.2). Если описание процесса представляет общую

картину выполнения процесса, то блок – схема показывает детали отдельных шагов процесса.

Блок – схема процесса помогает лучше увидеть реальные проблемы, определить точки принятия решений, и установить возможности для улучшения процесса.

Блок-схема - это графическое отображение процесса, которое четко показывает нам, как протекает процесс. Блок-схема показывает систематическую последовательность этапов выполнения работы и то, какие группы вовлечены в процесс.

Для чего используют блок-схемы?

- Документировать и описывать текущий процесс.
- Разрабатывать модификации к текущему процессу или исследовать то, где могут возникнуть проблемы.
- Разрабатывать совершенно новый процесс.
- Определять как, когда и где , измерять текущий процесс, чтобы убедиться, соответствует ли он устойчивым требованиям.

Пример построения блок-схемы процесса

В качестве примера, ниже приведена блок-схема процесса построения диаграммы Парето (рис. 2).

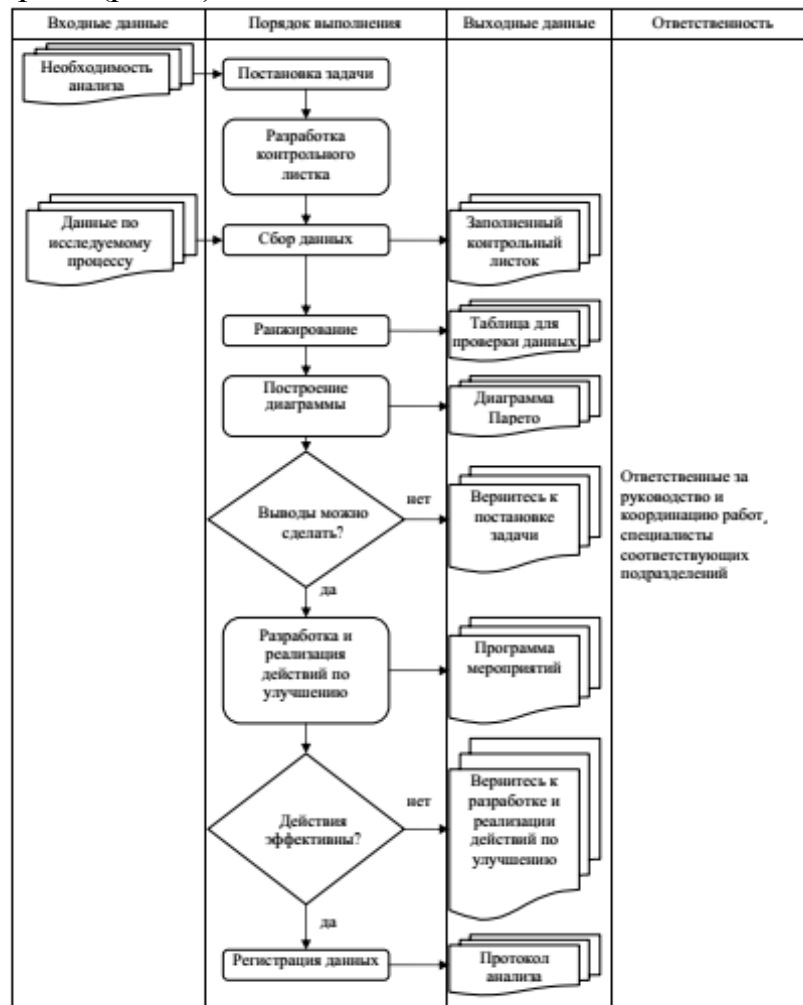


Рисунок 2 – Блок-схема процесса «Построение диаграммы Парето»

3.6 Структурно-функциональная модель процесса

IDEF0 – технология структурного анализа и проектирования. Это язык моделирования, согласно которому анализируемый процесс представляется в виде совокупности множества взаимосвязанных действий, работ (Activities), которые взаимодействуют между собой на основе определенных правил (Control), с учетом потребляемых информационных, человеческих и производственных ресурсов (Mechanism), имеющих четко определенный вход (Input) и не менее четко определенный выход (Output).

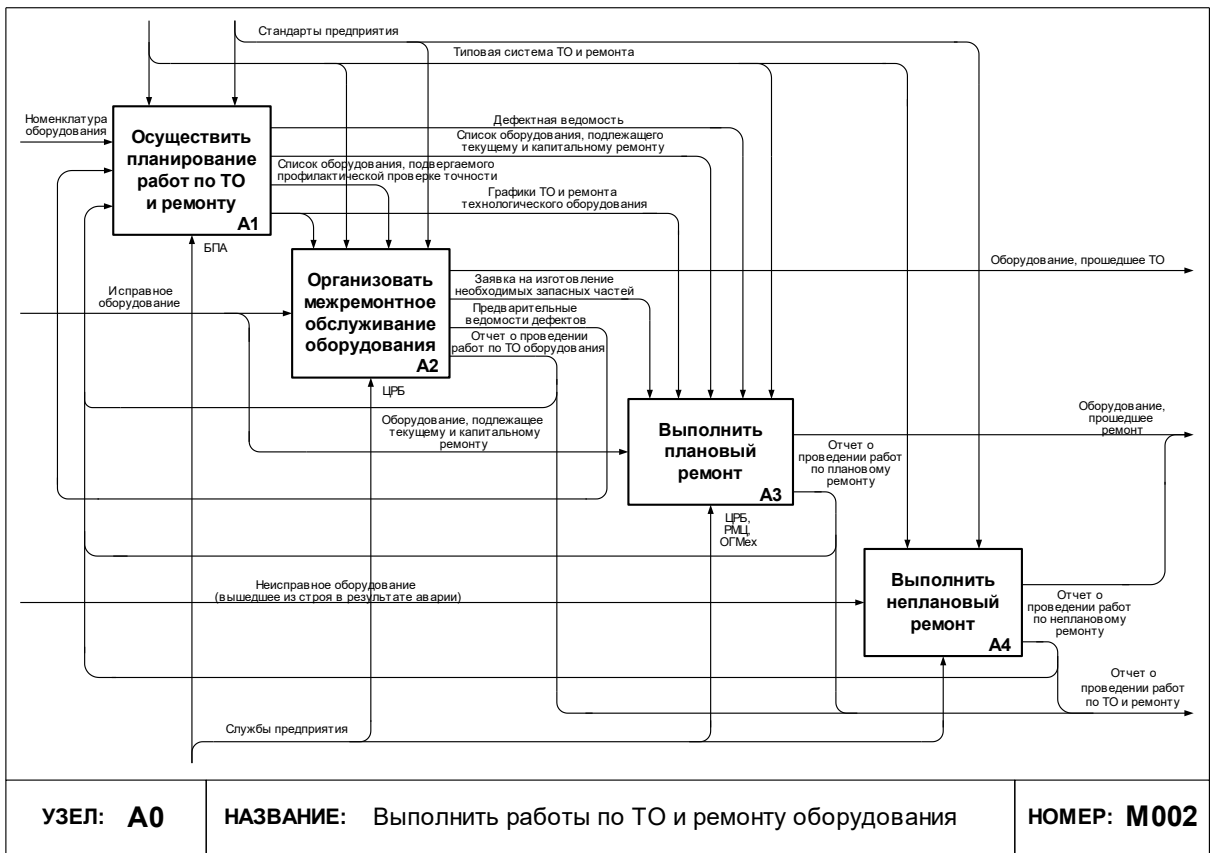
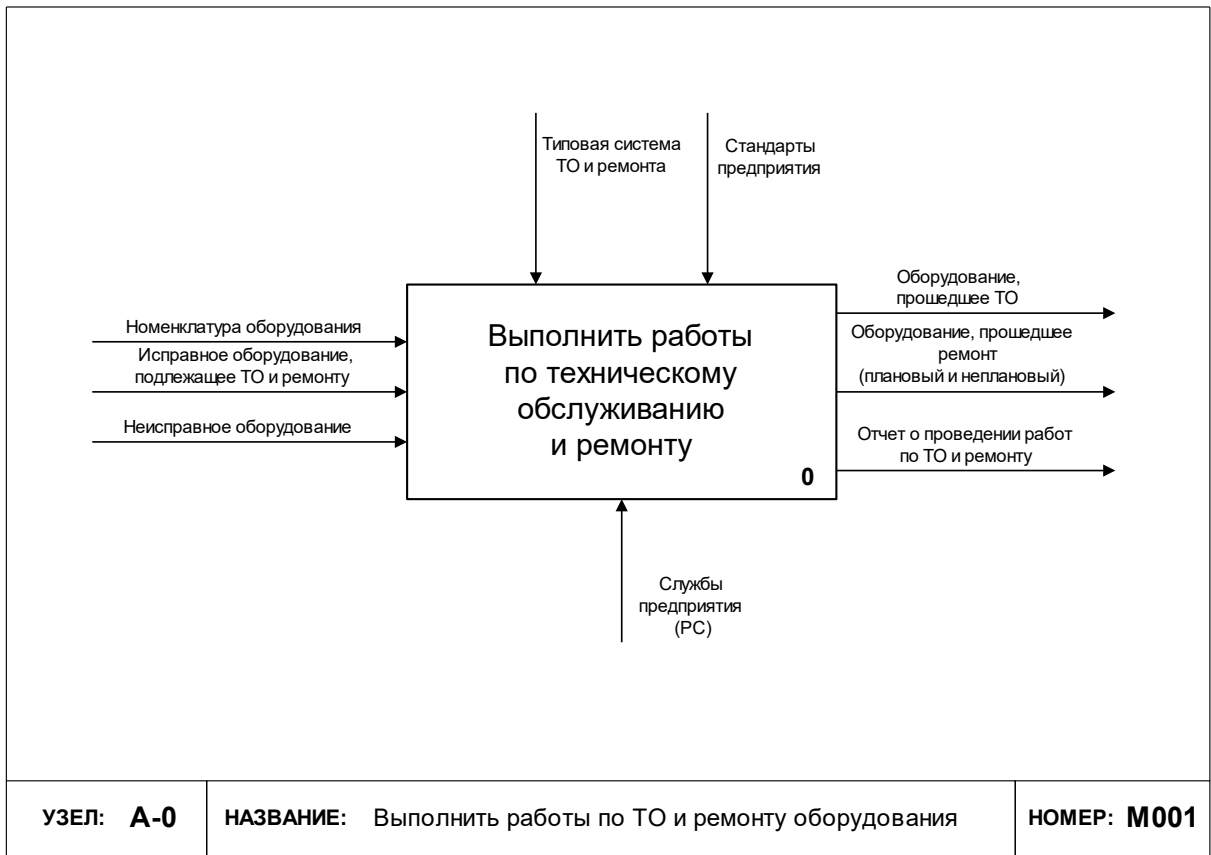
DFD – структурный анализ потоков данных. Диаграммы DFD позволяют описать процесс обмена информацией между элементами изучаемой системы. DFD отображает источники и адресаты данных, идентифицирует процессы и группы данных, связывающие в потоки одну функцию с другой, а также, что важно, определяет накопители (хранилища) данных, которые используются в исследуемом процессе.

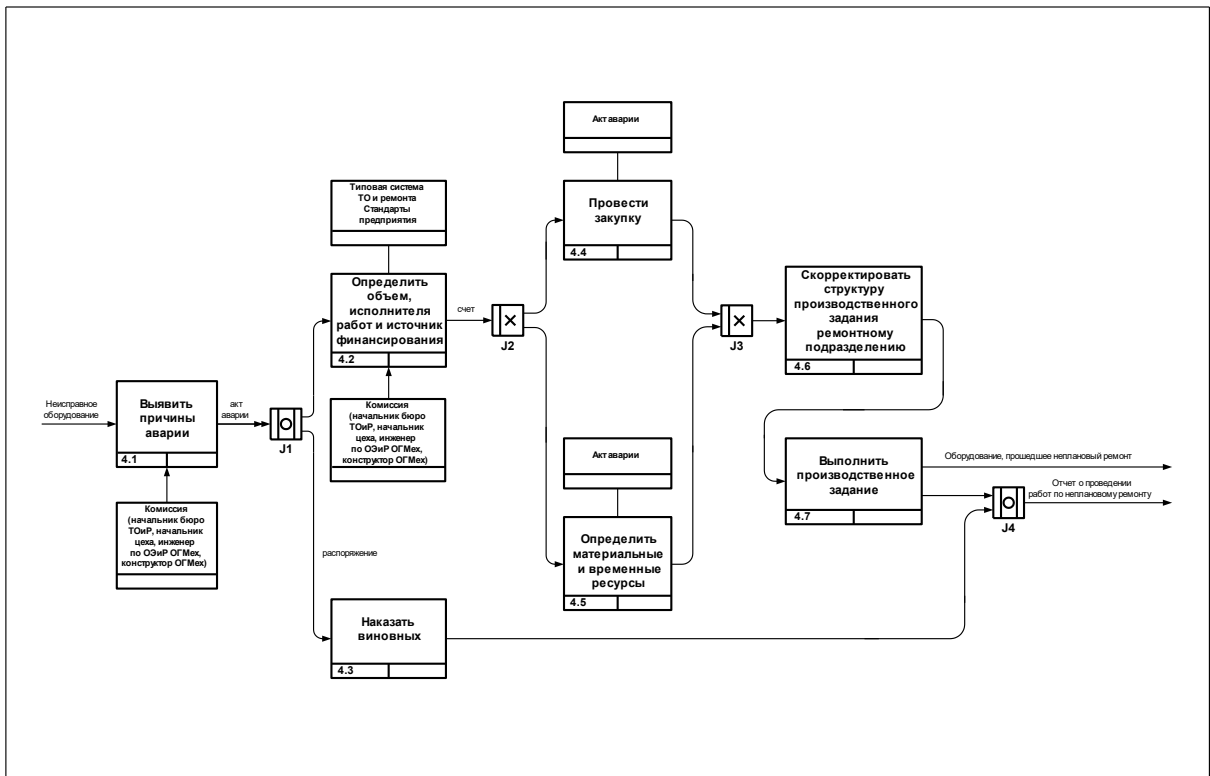
Однако следует отметить, что дуги в IDEF0 жестко типизированы (вход, выход, управление, исполнитель), в то время как применительно к системам обработки информации стирается смысловое различие между входами-выходами с одной стороны, и управлениями и механизмами, с другой: входы, выходы и управления являются потоками данных и/или управления и правилами их трансформации. Более того, в IDEF0 вообще отсутствуют выразительные средства для моделирования особенностей систем обработки информации. Поэтому при проектировании информационных систем декомпозицию функций наиболее целесообразно проводить при помощи DFD-диаграмм.

IDEF-моделирование – это способ уменьшить количество дорогостоящих ошибок за счет структуризации процесса на ранних этапах создания интеллектуальной системы, улучшения контактов между пользователями и разработчиками и сглаживания перехода от анализа к проектированию. Причем исследования показывают, что цена обнаружения и исправления ошибок становится выше на более поздних стадиях проектирования интеллектуальных систем.

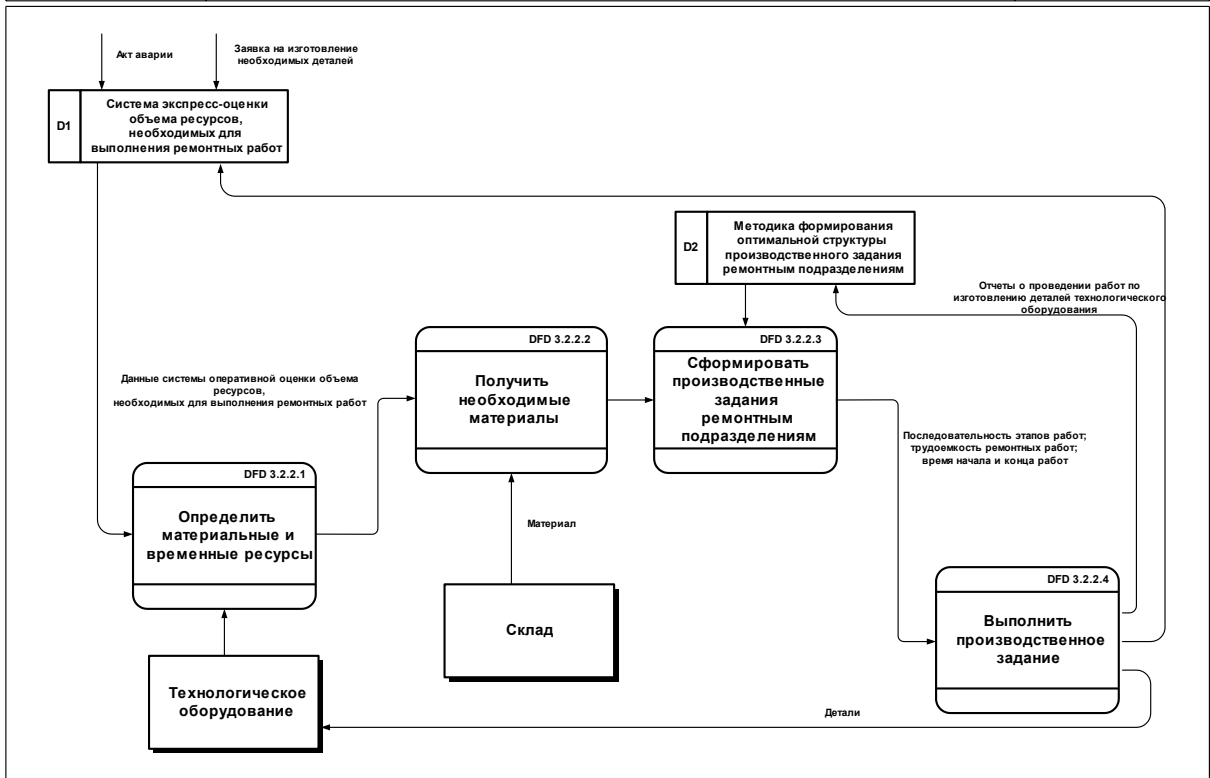
Исходя из положений IDEF-моделирования, сложная задача разбивается на ряд простых задач, решение которых позволяет наиболее просто справиться с исходной проблемой. Структурно-функциональное моделирование с выделением событий производится по методологии IDEF0, описание процессов – по методологии IDEF3, а для построения диаграмм потоков данных используется метод DFD.

Например, структурно-функциональная **процесса ТО и ремонта технологического оборудования**, построенная по данным таблицы 1 с использованием описанных методологий будет иметь следующий вид:

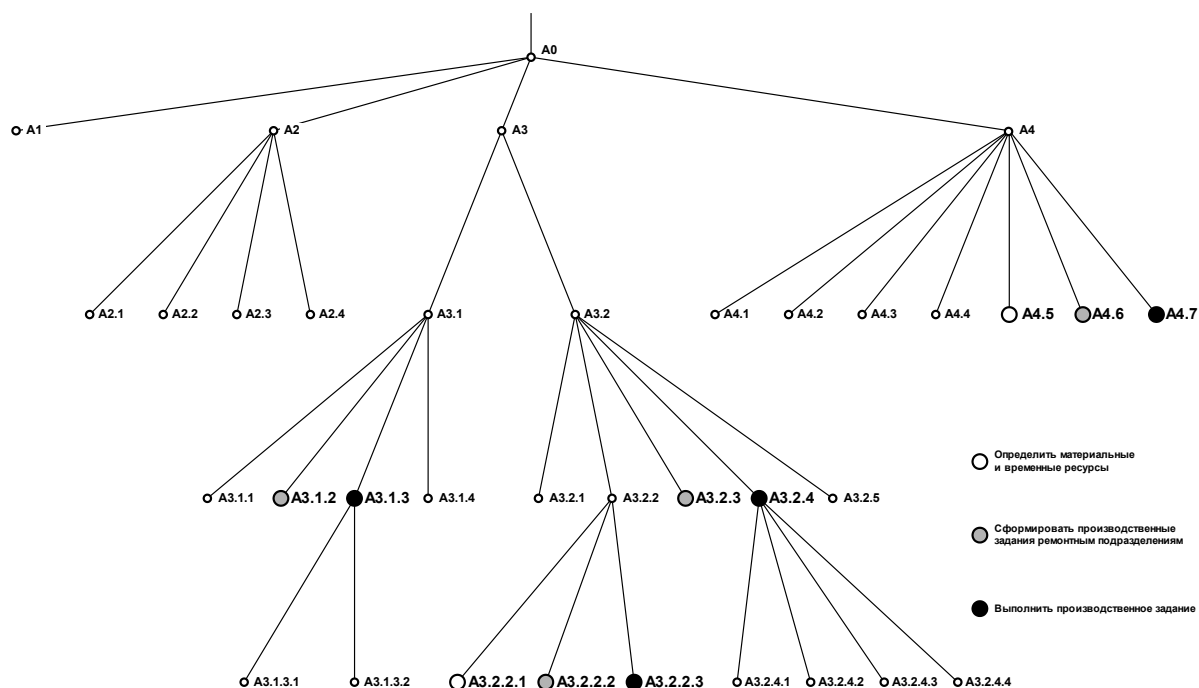




УЗЕЛ: A4	НАЗВАНИЕ: Выполнить unplanned ремонт	НОМЕР: M005
-----------------	--------------------------------------	--------------------



УЗЕЛ: A3.2.2	НАЗВАНИЕ: Изготовить детали, требующие замены	НОМЕР: M008
---------------------	---	--------------------



4. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

Объем пояснительной записки должен составлять 15-30 страниц формата А4. Очередность разделов следующая:

- титульный лист;
- бланк задания;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- библиографический список.

Во введении должны быть кратко описан моделируемый процесс и его роль в деятельности предприятия. В заключении дается краткая характеристика проделанной работы. В остальных разделах описываются расчеты, представленные в п. 3 данных методических указаний.

Графическая часть курсовой работы оформляется в виде презентации и содержит следующие разделы:

- Характеристики процесса (см. табл 1);
- Блок схема процесса (см. рис. 2);
- Модели IDEF0 и DFD (см. п.3.6);

7 семестр

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Целью курсовой работы – закрепление знаний теории, приобретение навыков и умения самостоятельно использовать аналитические методы методов оценки.

В соответствии с поставленной целью в курсовой работе предлагается решить задачу по анализу надежности технологического процесса, путем использования методов FMEA.

2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

В курсовой работе необходимо провести анализ видов и последствий оцениваемого продукта (процесса) и предложить методы совершенствования.

В первой части пояснительной записки необходимо изложить теоретические сведения с указанием требований нормативных документов и приведение расчетных формул оценки продукции (процесса).

В раздел входят:

- Введение;
- Аннотация;
- Обзор литературы по проблеме;
- Теоретический анализ проблемы.

Во второй части пояснительной записки необходимо провести анализ видов и последствий оцениваемого продукта (процесса) и предложить методы совершенствования.

3. ОБЪЕМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа состоит из 15 - 25 листов, и графической части выполненной на листе А-4 (презентация).

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

СУЩНОСТЬ И ПРИНЦИПЫ FMEA-МЕТОДОЛОГИИ

Работы по проведению FMEA - анализа регламентированы ГОСТ Р 51814.2 – 2001 (“Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов”).

В основе данного документа лежат несколько принципов, соблюдение которых необходимо для получения адекватной оценки конструкции. Рассмотрим их более подробно.

1. *Командная работа.* Реализация метода FMEA осуществляется силами специально подобранной межфункциональной команды экспертов.
2. *Иерархичность.* Для сложных технических объектов анализу подвергается как объект в целом, так и его составляющие.
3. *Итеративность.* Анализ повторяют при любых изменениях объекта или требований к нему, которые могут привести к изменению комплексного риска дефекта.
4. *Регистрация результатов проведения FMEA.* В соответствующих отчетных документах должны быть зафиксированы результаты проведенного анализа и решения о необходимых изменениях и действиях.

Определив общие принципы FMEA- методологии, перейдем к более глубокому рассмотрению метода.

СОСТАВ FMEA – КОМАНДЫ

В соответствии с ГОСТ Р 51814.2-2001 FMEA - команда должна представлять собой временный коллектив из различных специалистов, созданный специально для анализа и доработки конструкции. Рекомендуемое число участников не должно превышать 8 человек.

Члены команды для анализа конструкции в совокупности должны иметь практический опыт в следующих областях деятельности:

- конструирование аналогичных технических объектов;
- процессы производства компонентов и сборки;
- технология контроля в ходе изготовления;
- техническое обслуживание и ремонт;
- испытания;
- анализ поведения аналогичных технических объектов в эксплуатации.

Таким образом, в состав FMEA - команды могут войти физические лица следующих специальностей: конструктор, технолог, сборщик, испытатель, контролер. Такая команда способствует устранению так называемых “стыков”, неизбежно возникающих при использовании специалистов одного технического направления.

Профессионально ответственным в команде FMEA по конструкции (возможен вариант команды FMEA процесса) является ведущий конструктор- разработчик электропривода.

Наряду с вышеперечисленными специалистами, в число членов команды целесообразно ввести лицо, хорошо знакомое с методикой и принципами

FMEA анализа с целью исключения возможных ошибок на стадии регистрации результатов проведения анализа.

МЕТОДИКА РАБОТЫ FMEA - КОМАНДЫ

Суть работы FMEA - команды состоит в анализе и доработке предложенной конструкции. Этот процесс основан на составлении списка потенциальных дефектов рассматриваемых конструкций.

Команда рассматривает последствия и причины для каждого из потенциальных дефектов. Алгоритм работы FMEA - команды приведен на рис. 2.2.1

Следующим важным этапом работы FMEA - команды является оценка каждого дефекта по трем критериям значимости: по последствиям, частоте появления данного дефекта (по данной причине), частоте обнаружения данного дефекта или его причины на предприятии – изготовителе.

В ГОСТ Р 51614.2 – 2001 приведены рекомендуемые 10-балльные шкалы оценок для указанных трех критериев. Далее они будут рассмотрены более подробно. Обобщенной оценкой, указывающей на степень опасности данного дефекта (причины) для предприятия - изготовителя, является приоритетное число риска, равное произведению трех упомянутых балльных оценок.

Если полученное приоритетное число риска больше критической границы, то данная конструкция должна быть доработана. При доработке можно снизить частоту появления и повысить частоту обнаружения для данного дефекта (причины), но иногда удается снизить и значимость.

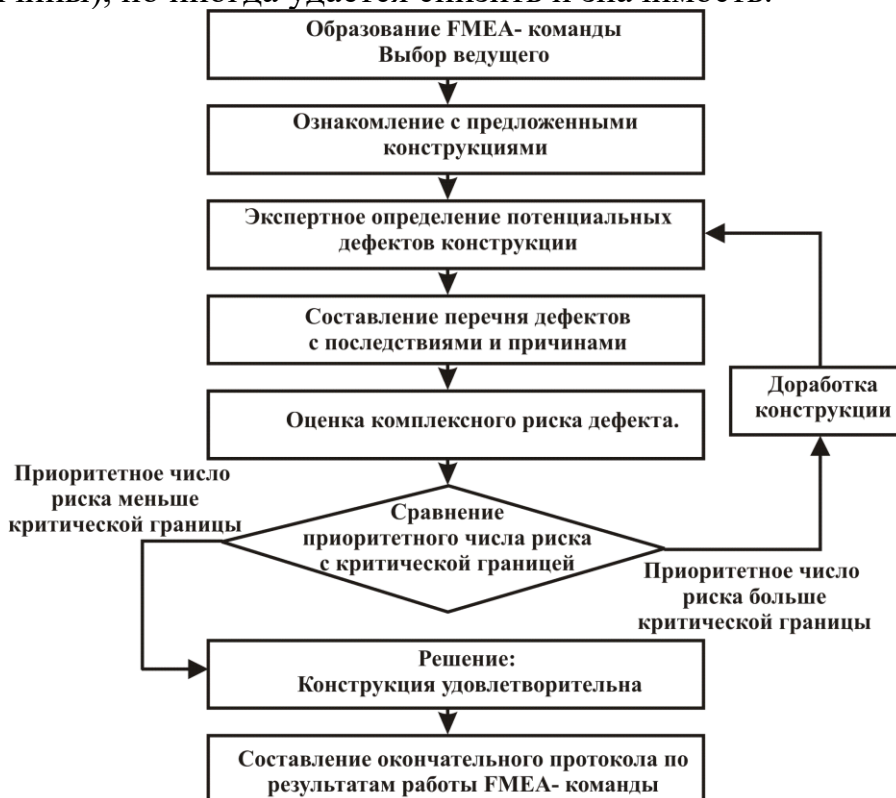


Рис. 2.2.1 – Алгоритм работы FMEA- команды при анализе конструкции

КРИТЕРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ РИСКА

В соответствии с методикой FMEA, каждый дефект и его причину оценивают экспертно по трем критериям:

- значимость;
- вероятность возникновения;
- вероятность обнаружения.

При оценке комплексного риска электропривода за основу берутся таблицы рекомендуемых шкал баллов значимости S (табл. 2.2.1), баллов вероятности возникновения O (табл. 2.2.2) и баллов вероятности обнаружения D (табл. 2.2.3).

Таблица 2.2.1– Рекомендуемая шкала баллов значимости S

Значение последствий отказа	Показатель S
1	2
Вероятность, близкая к нулю, что дефект может иметь какие-либо ощутимые последствия. Видимое воздействие на функцию или на дальнейшее выполнение операций процесса невозможно.	1
Незначительное влияние на функции системы или дальнейшее выполнение операций процесса. Потребитель, заметит лишь незначительную неисправность системы.	2-3
Умеренное влияние. Вызывает недовольство потребителя. Функции системы нанесен ущерб.	4-6
Существенное влияние. Существенные функции системы полностью выпадают. Несоответствие вызывает досаду, но безопасность или соответствие законам здесь не затрагиваются.	7-8
Очень существенное влияние. Тяжелые последствия, ведущие к остановке производства.	9
Критическое. Отказ угрожает безопасности и противоречит законодательству предприятия.	10

Таблица 2.2.2– Рекомендуемая шкала баллов вероятности возникновения O

Характеристики вероятности пропускания отказа или причин отказа	Коэффициент O
1	2
Близкая к нулю. Возникающий отказ или причина отказа явно распознаются.	1
Очень маленькая. Выявление отказа или причины отказа очень вероятно.	2-3
Небольшая. Выявление отказа или причины отказа очень вероятно; проводимые испытания относительно достоверны	4-5
Умеренная. Выявление возникающих отказов или причин от-	6-7

казов менее вероятно; проводимые испытания недостаточно достоверны	
Высокая. Выявление возникающих отказов или причин отказов весьма затруднительно; проводимые испытания неэффективны	8-9
Очень высока. Возникающие отказы или причины отказов выявить нельзя; технологические проверки не проводятся.	10

Таблица 2.2.3– Рекомендуемая шкала баллов вероятности обнаружения D

Характеристика появления отказа	Показатель D
1	2
Вероятность близкая к нулю	1
Очень незначительная вероятность. Конструкция, в общем, соответствует прежним проектам, при применении которых наблюдалось сравнительно незначительное количество отказов.	2-3
Незначительная вероятность. Конструкция, в общем, соответствует проектам, при применении которых наблюдалось небольшое количество отказов.	4-6
Средняя вероятность. Конструкция, в общем, соответствует проектам, при применении которых в прошлом всегда вызывало трудности.	7-8
Высокая вероятность. Конструкция - ненадежна.	9-10

ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ FMEA - АНАЛИЗА

В качестве примера рассмотрены конструкции электроприводов.

Анализ проводился при заполнении формуляра в виде табл. 2.2.6, в соответствии с общепринятой схемой (см. рис. 2.2.1).

В столбцы по порядку записывались следующие сведения:

1. Элементы электропривода. В рамках работы, нами было принято решение провести FMEA-анализ только основных частей электропривода: электродвигатель, редуктор, корпус и т.д.
2. Номер отказа.
3. Описание потенциального отказа.

В конструкции электроприводов возможно несколько видов проявления отказов (в зубчатой передаче - поломка зубьев, в электродвигателе - обрыв фаз и т.д.), и все они записываются один под другим.

4. Типы конструкций, в которых возможен представленный отказ. Так например, в силу конструктивных особенностей редуктора отказ связанный с поломкой зуба, не характерен ни для односкоростного, ни для кулисного электропривода.

5. Возможные последствия отказа.

В работе учитывались последствия? связанные с потерей функций, а именно: несрабатывание, поломка, остановка и т.д.

6. Величина коэффициента S , учитывающего значение последствий отказов (тяжесть последствий проявления причин отказов) для потребителя.

Для оценки данного коэффициента используется таблица рекомендуемых шкал (см. табл. 2.1). Например: поломка зуба может привести к отказу зубчатой передачи и остановке электропривода, поэтому в соответствии с данной таблицей $S = 9$ и т.д.

7. Меры, принятые для обнаружения отказа до поставки объекта потребителю.

В данном столбце отражаются испытания, которым электропривод подвергается в процессе производства и при выходном контроле, в соответствии с ТУ на электропривод типа "Г".

8. Величина коэффициента O (оценивалась по таблице 2.2), учитывающего вероятность не обнаружения отказа или его причины до возникновения последствий отказа непосредственно у потребителя.

Все возможные отказы электропривода можно обнаружить с большой вероятностью, но исключение составляет только выход из строя редуктора связанный с поломкой зубьев. Таким образом, данному отказу присвоен коэффициент $O = 9$.

9. Причины возникновения каждого из видов отказов.

11. 10. Величина коэффициента D , учитывающего вероятность появления причины отказа, определенного по табл. 2.3.

12. Приоритетное число риска K_{pn} , рассчитано по формуле (2.2.1) [30] для каждой из установленных причин и всех типовых конструкций.

$$K_{pn}^i = S_n^i \cdot O_n^i \cdot D_n^i \quad (2.2.1)$$

где K_{pn}^i - фактическое значение коэффициента риска n -го отказа i -ой конструкции электропривода;

i - индекс, соответствующий типу конструкции (односкоростного, двухскоростного, кулисного);

n - номер возможного отказа.

Элементы электропривода	№	Возможные отказы	Тип конструкц.	Возможное последствие отказа	S	Меры по обнаружению	O	Возможная причина	Кр			
									Омско-ростов	Дзюжско-ростов	Кулиевин	
Электродвигатель	1	обрыв фазы	Однокоростной Двухкоростной Кулиевин	несрабатывание привода	5	проверка эл. прочности изоляции, проверка качества монтажа	2	1.1 некачественная пайка; 1.2 вибрации	3	30	30	30
	2	короткое замыкание			5	испыт. на герметичность, испыт. на воздействие влажного воздуха	1	2.1 попадание влаги; 2.1 перетрев из-за перегрузки	2	10	10	10
Корпус	3	трещина	Однокоростной Двухкоростной Кулиевин	разгерметиз. коррозия	1	испыт. на прочность испыт. на герметичность	2	случайный удар	2	4	4	4
Редуктор	4	поломка зуба	Двухкоростной	остановка привода	9	измерение уровня шума, испытания на прочность	9	нарушение технол. термообработки (завышенная тверд.	5	0	305	0
Выходная муфта	5	поломка кулачка	Однокоростной Двухкоростной	вращение выходного вала привода не передается на арматуру	9	испытание на подтверждение показателей надежности, испытания на прочность	4	нарушение технологии изготовления	3	108	108	0
Устройство сигнализации	6	разрегулирование кулачка	Однокоростной Двухкоростной Кулиевин	поломка арматуры	10	проверка работы пусковых выключателей, испыт. на подтверждение показателей надежности	2	нарушение технологии сборки	2	40	40	40
Коэффициент риска (Ki)									192	497	84	

3. ЗАДАНИЕ

1. В соответствии со специализацией либо по усмотрению преподавателя выбрать объекты оценивания. Описать назначение и основные характеристики выбранных объектов.

2. На основе полученных данных установить приоритеты дальнейшей работы.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

Параметры страницы: все поля страницы – 2,5 см; переплет – 0. Весь набирают шрифтом Times New Roman с полуторным интервалом исключительно в текстовом редакторе MS Word.

Основной текст набирают с выравниванием по ширине страницы (размер шрифта – 14 пт). Абзацный отступ – 1,5 см.

8 семестр

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Целями курсовой работы является закрепление знаний по курсу " Аналитические методы и инструменты управления производственными процессами " и развитие навыков самостоятельной работы студентов при моделировании процессов и оценке их качества.

Задачами выполнения курсовой работы являются:

- проверка гипотезы о виде закона распределения вероятности с помощью критерия Колмогорова-Смирнова,
- Построение контрольных карт.

2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

2.1. Тематика курсовой работы

В курсовой работе выполняется проверка гипотезы о виде закона распределения вероятности с помощью критерия Колмогорова-Смирнова и построение и анализ контрольных карт Шухарта.

2.2. Исходные данные к курсовой работе

Исходными данными являются результаты измерений (вариант задания выбирается по согласованию с преподавателем).

2.3. Задание на курсовую работу

Задание оформляется на типовом бланке отдельно для каждого студента. В задании указывается номер варианта.

Руководитель по согласованию со студентом может выдать задание, которое по сложности эквивалентно типовому заданию.

2.4. Объем курсовой работы

Результаты выполнения курсовой работы представляются в виде пояснительной записки объемом 35...40 листов формата А4 и графического материала объемом 2 листа формата А1 (или в виде презентации).

2.5. Работа над курсовой работой

Работа над курсовой работой включает следующие этапы:

Часть 1. Проверка гипотезы о виде закона распределения вероятности с помощью критерия Колмогорова-Смирнова.

Часть 2. Построение контрольной карты.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ НАД КУРСОВОЙ РАБОТОЙ

Часть 1. Проверка гипотезы о виде закона распределения вероятности с помощью критерия Колмогорова-Смирнова

1. На основании исходных данных определим среднее арифметическое значение \bar{x} и среднее квадратическое отклонение результатов измерений S_x :

$$\bar{x} = \frac{\sum_1^n x_j}{n}$$
$$\bar{x} = 12,125$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_j - \bar{x})^2}{n - 1}}$$
$$S_x = 0,090112$$

2. При помощи правила «трех сигм» проверим наличие грубых промахов:

$$x_{max}^{доп} = \bar{x} + 3S_x = 12,125 + 3 \cdot 0,090112 = 12,395$$

$$x_{min}^{доп} = \bar{x} - 3S_x = 12,125 - 3 \cdot 0,090112 = 11,855$$

Ни один из результатов не выходит за границы интервала $[x_{min}^{доп}; x_{max}^{доп}]$, следовательно, с вероятностью $P=0,9973$ принимается гипотеза об отсутствии грубых промахов.

3. Построение гистограммы и выдвижение гипотезы о виде закона распределения вероятности.

Участок оси абсцисс, на котором располагается вариационный ряд значений физической величины, разбивается на k одинаковых Δx .

Принимаем: $k = 9$

Ширину интервала определяем по формуле: $\Delta x = \frac{x_k - x_H}{k}$

Выбираем начало первого интервала $x_H = 11,860$. Конец последнего интервала окажется в точке $x_k = 12,330$.

$$\Delta x = \frac{12,330 - 11,860}{9} = 0,0522$$

Сведем полученные данные в таблицу 1.

Таблица 1

x_H	x_K	m_j
11,860	11,912	2
11,912	11,964	1
11,964	12,017	5
12,017	12,069	19
12,069	12,121	21
12,121	12,173	23
12,173	12,226	15
12,226	12,278	10
12,278	12,330	4

Строим саму гистограмму (рис.1)

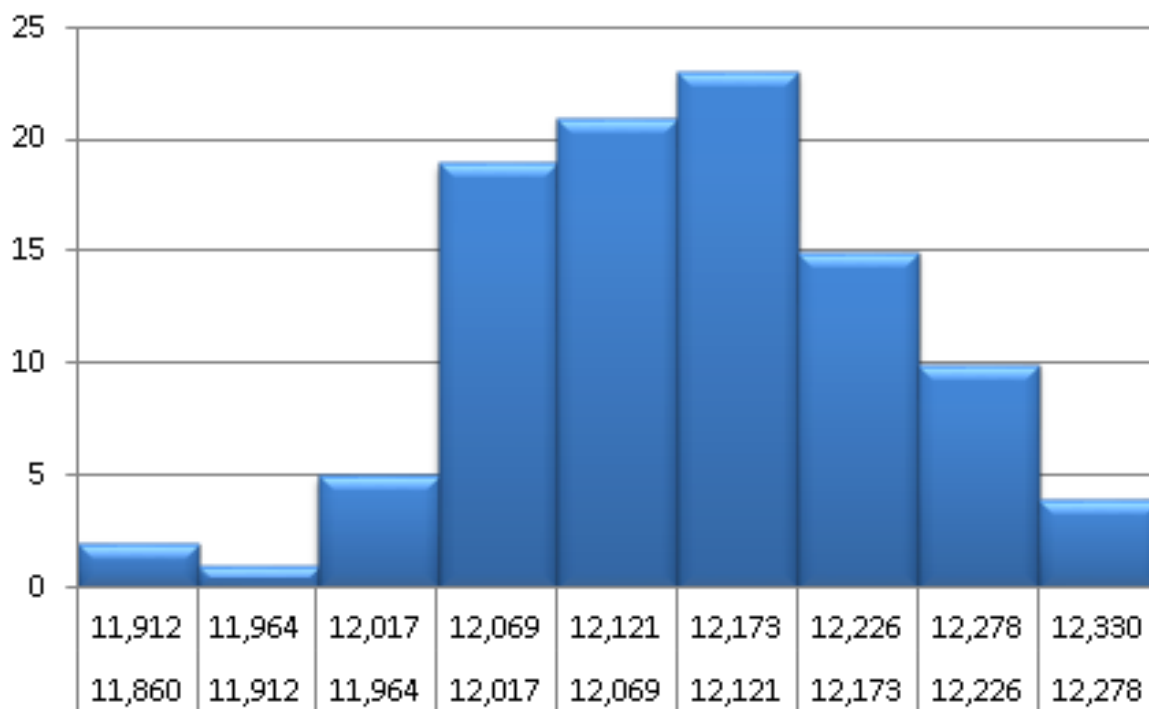


Рисунок 1. Гистограмма

Из вида гистограммы на рис.1 можно сделать предположение о том, что вероятность результата измерения подчиняется нормальному закону. Проверим правдивость этой гипотезы.

Для проверки нормальности закона применим критерий Колмогорова-Смирнова.

Определяем эмпирические вероятности (эмпирические относительные частоты для каждого интервала).

$$P_{эj} = \frac{m_j}{n}$$

где $P_{эj}$ - эмпирическая вероятность j -ого интервала.

$$P_{э1} = \frac{2}{100} = 0,02$$

$$P_{э2} = \frac{1}{100} = 0,01$$

$$P_{э3} = \frac{5}{100} = 0,05$$

$$P_{э4} = \frac{19}{100} = 0,19$$

$$P_{э5} = \frac{21}{100} = 0,21$$

$$P_{э6} = \frac{23}{100} = 0,23$$

$$P_{э7} = \frac{15}{100} = 0,15$$

$$P_{э8} = \frac{10}{100} = 0,10$$

$$P_{э9} = \frac{4}{100} = 0,04$$

Определяем накопленные эмпирические вероятности (относительные частоты) для каждого интервала.

$$F_{эj} = F_{эj-1} + P_{эj}$$

где $F_{эj}$ - накопленная эмпирическая вероятность j -ого интервала.

$$F_{э1} = P_{э1} = 0,02$$

$$F_{э2} = F_{э1} + P_{э2} = 0,02 + 0,01 = 0,03$$

$$F_{э3} = F_{э2} + P_{э3} = 0,03 + 0,05 = 0,08$$

$$F_{э4} = F_{э3} + P_{э4} = 0,08 + 0,19 = 0,27$$

$$F_{э5} = F_{э4} + P_{э5} = 0,27 + 0,21 = 0,48$$

$$F_{э6} = F_{э5} + P_{э6} = 0,48 + 0,23 = 0,71$$

$$F_{э7} = F_{э6} + P_{э7} = 0,71 + 0,15 = 0,86$$

$$F_{э8} = F_{э7} + P_{э8} = 0,86 + 0,1 = 0,96$$

$$F_{э9} = F_{э8} + P_{э9} = 0,96 + 0,04 = 1$$

Определяем теоретические вероятности попадания значений в каждый интервал для начал и окончаний интервалов соответственно.

$$P_{тj} = \Phi(t_{kj}) - \Phi(t_{hj});$$

где $P_{тj}$ - теоретическая вероятность попадания в j -й интервал.

$\Phi(t_{kj})$ и $\Phi(t_{hj})$ - значения функции Лапласа для её аргументов t_{kj} и t_{hj} соответственно.

Индексы k и h означают конец и начало интервала соответственно.

Аргументы функции Лапласа t_{hj} и t_{kj} определяются:

$$t_{hj} = \frac{x_{hj} - \bar{x}}{S_x} \qquad t_{kj} = \frac{x_{kj} - \bar{x}}{S_x}$$

где x_{hj} и x_{kj} - начало и конец соответствующего j -ого интервала.

Для первого интервала:

$$t_{H1} = \frac{11,860 - 12,125}{0,090112} = -2,94 \qquad t_{K1} = \frac{11,912 - 12,125}{0,090112} = -2,36$$

По таблице функции Лапласа определяем её значение для аргументов t_{Hj} и t_{Kj} .

$$\Phi(t_{H1}) = \Phi(-2,94) = -0,4984 \qquad \Phi(t_{K1}) = \Phi(-2,36) = -0,4909$$

Тогда теоретическая вероятность попадания в первый интервал равна:

$$P_{T1} = \Phi(t_{K1}) - \Phi(t_{H1}) = -0,4909 - (-0,4984) = 0,0075$$

Для второго интервала:

$$t_{H2} = \frac{11,912 - 12,125}{0,090112} = -2,36 \qquad t_{K2} = \frac{11,964 - 12,125}{0,090112} = -1,78$$

$$\Phi(t_{H2}) = \Phi(-2,36) = -0,4909 \qquad \Phi(t_{K2}) = \Phi(-1,78) = -0,4626$$

$$P_{T2} = \Phi(t_{K2}) - \Phi(t_{H2}) = -0,4626 - (-0,4909) = 0,0283$$

Для третьего интервала:

$$t_{H3} = \frac{11,964 - 12,125}{0,090112} = -1,78 \qquad t_{K3} = \frac{12,017 - 12,125}{0,090112} = -1,20$$

$$\Phi(t_{H3}) = \Phi(-1,78) = -0,4626 \qquad \Phi(t_{K3}) = \Phi(-1,20) = -0,3854$$

$$P_{T3} = \Phi(t_{K3}) - \Phi(t_{H3}) = -0,3854 - (-0,4626) = 0,0772$$

Для четвертого интервала:

$$t_{H4} = \frac{12,017 - 12,125}{0,090112} = -1,20 \qquad t_{K4} = \frac{12,069 - 12,125}{0,090112} = -0,62$$

$$\Phi(t_{H4}) = \Phi(-1,20) = -0,3854 \qquad \Phi(t_{K4}) = \Phi(-0,62) = -0,2333$$

$$P_{T4} = \Phi(t_{K4}) - \Phi(t_{H4}) = -0,2333 - (-0,3854) = 0,1521$$

Для пятого интервала:

$$t_{H5} = \frac{12,069 - 12,125}{0,090112} = -0,62 \qquad t_{K5} = \frac{12,121 - 12,125}{0,090112} = -0,04$$

$$\Phi(t_{H5}) = \Phi(-0,62) = -0,2333 \qquad \Phi(t_{K5}) = \Phi(-0,04) = -0,0172$$

$$P_{T5} = \Phi(t_{K5}) - \Phi(t_{H5}) = -0,0172 - (-0,2333) = 0,2160$$

Для шестого интервала:

$$t_{H6} = \frac{12,121 - 12,125}{0,090112} = -0,04 \qquad t_{K6} = \frac{12,173 - 12,125}{0,090112} = 0,54$$

$$\Phi(t_{H6}) = \Phi(-0,04) = -0,0172 \qquad \Phi(t_{K6}) = \Phi(0,54) = 0,2041$$

$$P_{T6} = \Phi(t_{K6}) - \Phi(t_{H6}) = 0,2041 - (-0,0172) = 0,2214$$

Для седьмого интервала:

$$t_{H7} = \frac{12,173 - 12,125}{0,090112} = 0,54 \qquad t_{K7} = \frac{12,226 - 12,125}{0,090112} = 1,12$$

$$\Phi(t_{H7}) = \Phi(0,54) = 0,2041 \qquad \Phi(t_{K7}) = \Phi(1,12) = 0,3678$$

$$P_{T7} = \Phi(t_{K7}) - \Phi(t_{H7}) = 0,3678 - 0,2041 = 0,1636$$

Для восьмого интервала:

$$t_{H8} = \frac{12,226 - 12,125}{0,090112} = 1,12 \qquad t_{K8} = \frac{12,278 - 12,125}{0,090112} = 1,70$$

$$\Phi(t_{H8}) = \Phi(1,12) = 0,3678 \qquad \Phi(t_{K8}) = \Phi(1,70) = 0,4550$$

$$P_{T8} = \Phi(t_{K8}) - \Phi(t_{H8}) = 0,4550 - 0,3678 = 0,0872$$

Для девятого интервала:

$$t_{H9} = \frac{12,278-12,125}{0,090112} = 1,70 \quad t_{K9} = \frac{12,330-12,125}{0,090112} = 2,27$$

$$\Phi(t_{H9}) = \Phi(1,70) = 0,4550 \quad \Phi(t_{K9}) = \Phi(2,27) = 0,4885$$

$$P_{T9} = \Phi(t_{K9}) - \Phi(t_{H9}) = 0,4885 - 0,4550 = 0,0335$$

Определяем накопленные теоретические вероятности для каждого интервала по формуле:

$$F_{Tj} = F_{Tj-1} + P_{Tj}$$

где F_{Tj} - накопленная теоретическая вероятность.

$$F_{T1} = P_{T1} = 0,0075$$

$$F_{T2} = F_{T1} + P_{T2} = 0,0075 + 0,0283 = 0,0358$$

$$F_{T3} = F_{T2} + P_{T3} = 0,0358 + 0,0772 = 0,1130$$

$$F_{T4} = F_{T3} + P_{T4} = 0,1130 + 0,1521 = 0,2651$$

$$F_{T5} = F_{T4} + P_{T5} = 0,2651 + 0,2160 = 0,4812$$

$$F_{T6} = F_{T5} + P_{T6} = 0,4812 + 0,2214 = 0,7025$$

$$F_{T7} = F_{T6} + P_{T7} = 0,7025 + 0,1636 = 0,8661$$

$$F_{T8} = F_{T7} + P_{T8} = 0,8661 + 0,0872 = 0,9534$$

$$F_{T9} = F_{T8} + P_{T9} = 0,9534 + 0,0335 = 0,9869$$

Определяем расхождение эмпирической и теоретической функции распределения вероятностей для каждого интервала по формуле:

$$D_j = |F_{Эj} - F_{Tj}|$$

где D_j - расхождение эмпирической и теоретической функции распределения вероятностей для j -ого интервала.

$$D_1 = |F_{Э1} - F_{T1}| = |0,02 - 0,0075| = 0,0125$$

$$D_2 = |F_{Э2} - F_{T2}| = |0,03 - 0,0358| = 0,0058$$

$$D_3 = |F_{Э3} - F_{T3}| = |0,08 - 0,1130| = 0,0330$$

$$D_4 = |F_{Э4} - F_{T4}| = |0,27 - 0,2651| = 0,0049$$

$$D_5 = |F_{Э5} - F_{T5}| = |0,48 - 0,4812| = 0,0012$$

$$D_6 = |F_{Э6} - F_{T6}| = |0,71 - 0,7025| = 0,0075$$

$$D_7 = |F_{Э7} - F_{T7}| = |0,86 - 0,8661| = 0,0061$$

$$D_8 = |F_{Э8} - F_{T8}| = |0,96 - 0,9534| = 0,0066$$

$$D_9 = |F_{Э9} - F_{T9}| = |1 - 0,9869| = 0,0131$$

Таблица 2.

№ интервала	Начало x_{Hj}	Конец x_{Kj}	m_j	$P_{эj}$	$F_{эj}$	$\Phi(t_{Hj})$	$\Phi(t_{Kj})$	P_{Tj}	F_{Tj}	$D_j = F_{эj} - F_{Tj} $
1	11,860	11,912	2	0,02	0,02	-0,4984	-0,4909	0,0075	0,0075	0,0125
2	11,912	11,964	1	0,01	0,03	-0,4909	-0,4626	0,0283	0,0358	0,0058
3	11,964	12,017	5	0,05	0,08	-0,4626	-0,3854	0,0772	0,1130	0,0330
4	12,017	12,069	19	0,19	0,27	-0,3854	-0,2333	0,1521	0,2651	0,0049
5	12,069	12,121	21	0,21	0,48	-0,2333	-0,0172	0,2160	0,4812	0,0012
6	12,121	12,173	23	0,23	0,71	-0,0172	0,2041	0,2214	0,7025	0,0075
7	12,173	12,226	15	0,15	0,86	0,2041	0,3678	0,1636	0,8661	0,0061
8	12,226	12,278	10	0,10	0,96	0,3678	0,4550	0,0872	0,9534	0,0066
9	12,278	12,330	4	0,04	1	0,4550	0,4885	0,0335	0,9869	0,0131

Изобразим графически эмпирическую и теоретическую функции распределения вероятности, т.е. F_3 и F_T .

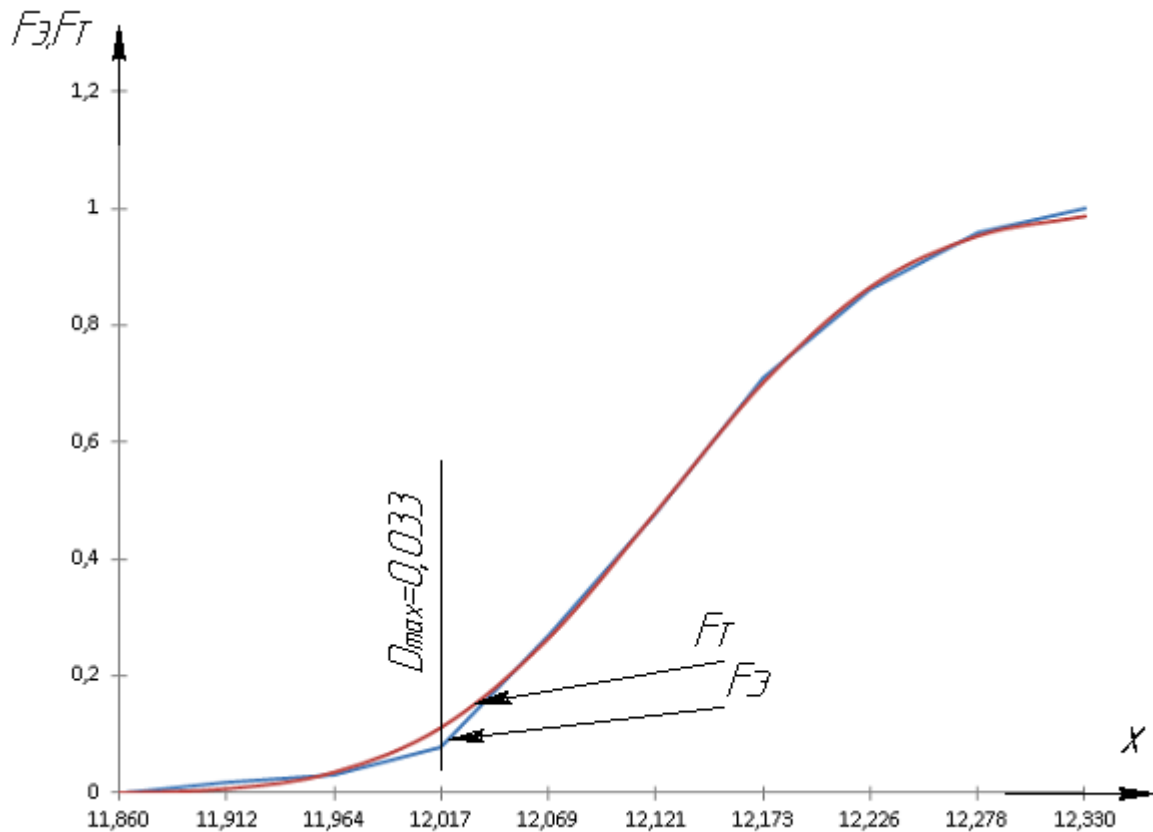


Рисунок 2. Эмпирическая и теоретическая функции распределения вероятности

Определяем наибольшее значение из расхождений эмпирической и теоретической функции распределения вероятности:

$$D_{max} = D_3 = 0,033$$

Определяем расчетные значения критерия Колмогорова-Смирнова:

$$\lambda = D_{max} \cdot \sqrt{n}$$

$$\lambda_p = 0,033 \cdot \sqrt{100} = 0,0033$$

Сравниваем расчетные значения критерия Колмогорова-Смирнова с его критическим значением $\lambda_{кр}$.

Если выполняется условие $\lambda_p \leq \lambda_{кр}$, то гипотеза о нормальности распределения вероятности результатов измерений принимается с заданной доверительной вероятностью p (уровнем значимости α).

При доверительной вероятности $p=0,95$ и уровне значимости $\alpha=1-p=0,05$, критическое (табличное) значение критерия Колмогорова-Смирнова равно $\lambda_{кр}=1,36$.

$\lambda_p=0,0033 < \lambda_{кр}=1,36$, следовательно гипотеза о нормальности распределения результатов измерений принимается с вероятностью $p=0,95$ (уровнем значимости $\alpha=0,05$).

Часть 2. Контрольные карты

Основы контрольных карт Шухарта

Контрольная карта Шухарта представляет собой график, который используют для представления статистической меры, полученной по количественным или альтернативным данным.

Для карт Шухарта необходимы данные, получаемые выборочно из процесса через приблизительно равные интервалы. Интервалы могут быть заданы либо по времени (например, каждый час), либо по количеству продукции (каждая партия). Обычно данные представляют собой выборки или подгруппы, состоящие из однотипных единиц продукции или услуг, с одними и теми же контролируемыми показателями и равными объемами подгрупп. Для каждой подгруппы определяют одну или несколько характеристик, таких как среднее арифметическое \bar{x} , размах R , стандартное отклонение s или счетную характеристику, такую как доля единиц продукции заданного класса.

Контрольная карта Шухарта - это график значений заданной характеристики подгруппы в соответствии с номером подгруппы. Карта имеет центральную линию (CL), соответствующую опорному значению характеристики. При определении состояния статистической управляемости процесса в качестве опорного значения обычно используют среднее арифметическое используемого статистического показателя. При управлении процессом опорным значением может быть значение характеристики, установленное в технических условиях, значение, основанное на предыдущей информации о процессе, находившемся в управляемом состоянии, или намеченное целевое значение характеристики продукции или услуги.

Контрольные границы на карте Шухарта находятся на расстоянии 3σ по обе стороны от центральной линии, где σ - известное стандартное отклонение совокупности или его оценка. Шухарт принял решение использовать контрольные границы на расстоянии 3σ от центральной линии, учитывая экономические соображения относительно баланса затрат на поиск проблем процесса, когда такие проблемы не существуют, и невыявление проблем, когда функционирование процесса не соответствует требованиям. Расположение границ слишком близко к центральной линии может привести к ложному обнаружению большого количества проблем (реально не существующих), а расположение границ слишком далеко друг от друга увеличивает риск ложного необнаружения проблем (реально имеющих место). Если статистика подчиняется нормальному распределению, границы на расстоянии $\pm 3\sigma$ от центральной линии показывают, что приблизительно 99,7% значений статистики попадут в эти пределы при условии, что процесс находится в статистически управляемом состоянии. Другими словами, вероятность того, что точка на карте окажется вне контрольных границ, когда процесс стабилен, равна приблизительно 0,003 (или в среднем три на тысячу случаев). Слово "приблизительно" использовано потому, что отклонения

от предположений, таких как вид распределения исходных данных, оказывают влияние на значения вероятности.

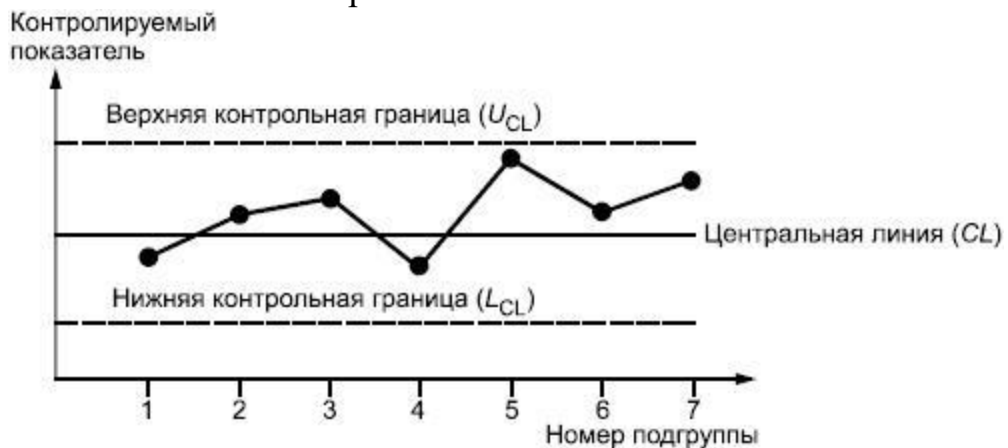


Рисунок 1 - Общий вид контрольной карты

Некоторые практики предпочитают вместо множителя, равного 3, использовать значение 3,09 для обеспечения вероятности 0,001 (в среднем одно ошибочное наблюдение на тысячу), но Шухарт выбрал число 3, чтобы избежать попыток учета значения вероятностей. Аналогично в некоторых случаях применяют фактические значения вероятностей для карт, основанных на распределениях, отличных от нормального, таких как карты размахов и долей несоответствий. В карте Шухарта использованы границы на расстоянии ± 3 с акцентом на эмпирической интерпретации.

Вероятность нарушения границ, вызванного случайностью события, а не реальным изменением процесса, предполагается столь малой, что при появлении точки вне этих границ следует предпринять определенные действия. Так как действия предпринимают именно в этой точке, то контрольные границы уровня 3 иногда называются "границами действий".

Часто на контрольной карте границы проводят еще и на расстоянии ± 2 . Тогда любое выборочное значение, попадающее за границы ± 2 , может служить предупреждением о приближающемся выходе процесса из состояния статистической управляемости. Поэтому границы ± 2 иногда называют "предупреждающими". Несмотря на то, что действия не требуются, некоторые пользователи предпочитают немедленно отобрать другую подгруппу того же самого объема для определения необходимости корректирующих действий.

При определении состояния процесса с использованием контрольных карт возможны ошибки двух типов. Ошибка первого рода возникает в ситуации, когда процесс находится в статистически управляемом состоянии, а точка выходит за контрольные границы. В результате принимают ошибочное решение о том, что процесс вышел из состояния статистической управляемости. Возникают затраты на поиск причин несуществующей проблемы.

Ошибка второго рода возникает, когда рассматриваемый процесс не находится в статистически управляемом состоянии, а точки выборочных значений случайно оказываются внутри контрольных границ. В этом случае принимают ошибочное решение о том, что процесс находится в статистиче-

ски управляемом состоянии. Такая ошибка может вызвать существенные затраты, связанные с необнаружением изменений положения или изменчивости процесса, результатом чего может быть изготовление несоответствующей продукции. Вероятность ошибки второго рода является функцией трех факторов: ширины зоны между контрольными границами, степени неуправляемости процесса и объема выборки. Обычно масштаб изменений процесса не может быть известен, поэтому мало что можно сказать о значении величины этой ошибки.

Поскольку в общем случае нецелесообразно выполнять анализ риска и затрат, связанных с ошибкой второго рода, система контрольных карт Шухарта разработана для работы с ошибкой первого рода. В случае нормального распределения с контрольными границами на уровне 3σ , значение ошибки первого рода равно 0,003. Другими словами, ошибка происходит в среднем только 3 раза из 1000, если процесс находится в состоянии статистической управляемости.

Фактически выбор k (количества сигм) вместо 3σ влияет на необходимые затраты при принятии решения о состоянии процесса.

Если процесс находится в статистически управляемом состоянии, контрольные карты реализуют метод непрерывной статистической проверки нулевой гипотезы о том, что процесс не изменился и остается стабильным. Поскольку на этапе 1 часто существует неопределенность в таких вопросах, как распределение вероятностей исследуемой характеристики, а установленные допустимые отклонения характеристики процесса от целевого значения обычно не определены, то контрольную карту Шухарта не следует, в строгом смысле, рассматривать как инструмент проверки гипотез. Уолтер Шухарт подчеркивал эмпирическую полезность контрольной карты для выявления выхода процесса из состояния статистической управляемости (стабильности) и сократил роль вероятностных интерпретаций.

Когда наблюдаемое значение оказывается за любой из контрольных границ или серия значений демонстрирует необычную структуру (см. раздел 8), далее нельзя считать, что процесс находится в состоянии статистической управляемости. В этом случае необходимо исследовать и обнаружить неслучайные (специальные) причины, а процесс может быть остановлен или перенастроен. Как только особые причины выявлены и исключены, процесс снова пригоден к продолжению работы. Как сказано выше, в редких случаях можно не найти никакой особой причины. Тогда считают, что произошло достаточно редкое случайное событие, приведшее к выходу точки за контрольную границу, хотя сам процесс находится в статистически управляемом состоянии.

Если процесс впервые должен быть изучен с целью достижения состояния статистической управляемости, часто необходимо использовать ранее полученные данные наблюдений за процессом или получить новые данные до построения контрольной карты. Этот этап, в процессе которого устанавливаются параметры контрольной карты, часто называют этапом 1. Должно быть собрано достаточно данных для получения достоверных оце-

нок для построения центральной линии и контрольных границ контрольных карт. Контрольные границы, установленные на этапе 1, считаются пробными границами, поскольку они основаны на данных, собранных в условиях, когда процесс, возможно, не находился в состоянии статистической управляемости. Идентификация причин появления сигналов на контрольной карте на данном этапе может быть достаточно трудной задачей из-за недостатка информации о предыдущих изменениях характеристик процесса. Однако, если специальные причины вариации процесса идентифицированы и приняты меры по ликвидации их воздействия, ретроспективные данные о процессе, полученные под влиянием специальной причины, должны быть удалены и параметры контрольной карты должны быть пересчитаны. Эту итеративную процедуру продолжают до тех пор, пока пробная контрольная карта не покажет отсутствие сигналов и, следовательно, процесс можно рассматривать как управляемый, а значит - стабильный и предсказуемый. Поскольку некоторые данные могут быть удалены из рассмотрения на этапе 1, пользователю, вероятно, придется получить дополнительные данные о процессе для обеспечения достоверности оценок параметров.

Как только состояние статистической управляемости процесса достигнуто, центральная линия и контрольные границы контрольной карты, полученные на этапе 1, становятся параметрами контрольной карты для последующего мониторинга процесса. Цель теперь состоит в том (эту стадию работы с контрольными картами называют - этап 2), чтобы поддерживать процесс в состоянии статистической управляемости, а также обеспечивать быструю идентификацию специальных причин, которые могут время от времени воздействовать на процесс. Следует признать, что переход от этапа 1 к этапу 2 может быть трудным и длительным. Он крайне важен, так как неудача при устранении специальных причин приводит к повышенной оценке изменчивости процесса. В этом случае зона между контрольными границами контрольной карты окажется слишком широкой, что может приводить к не выявлению наличия специальных причин изменчивости.

Типы контрольных карт

Контрольные карты Шухарта бывают двух основных типов: для количественных и альтернативных данных. Для каждой контрольной карты встречаются две ситуации:

- а) значения параметров процесса не заданы;
- б) значения параметров процесса заданы.

Значения параметров процесса могут быть заданы на основе установленных требований, целевых значений или оценок параметров, полученных на основе данных за длительный период времени, когда процесс находился в статистически управляемом состоянии.

Контрольные карты для которых не заданы стандартные значения:

Цель применения карт данного типа - обнаружение таких отклонений значений наблюдаемых характеристик (например, ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015

Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта, R или какой-либо другой статистики), какие превышают вариации, вызываемые только случайными причинами. В этом случае контрольные карты строятся только по данным самого процесса. Такие контрольные карты используют для выявления изменчивости, обусловленной неслучайными причинами, и приведения процесса в состояние статистической управляемости..

2 Контрольные карты при наличии заданных стандартных значений:

Целью таких карт является определение того, что наблюдаемые значения ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015 Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта, s и т.п. для нескольких подгрупп (каждая объемом n наблюдений) отличаются от соответствующих заданных значений ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015 Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта, ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015 Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта и т.п. больше, чем можно ожидать при действии только случайных причин. Отличием карт с заданными значениями параметров от карт, для которых значения параметров не заданы, является наличие дополнительных требований, определяющих параметры положения центральной линии и изменчивости процесса. Установленные значения могут быть заданы на основе опыта, полученного при использовании контрольных карт без априорной информации или заданных значений, а также на основе экономических показателей, установленных после анализа потребностей в услуге и стоимости производства, или могут быть указаны в технических требованиях на продукцию.

Предпочтительно, чтобы установленные значения были определены на основе исследования предварительных данных, которые, как предполагается, являются типичными для всех будущих данных. Для эффективного использования контрольных карт, установленные значения должны быть сопоставимы с присущей процессу собственной изменчивостью. Карты, основанные на таких установленных значениях, особенно полезны для управления процессами и поддержания однородности продукции на желаемом уровне.

Типы контрольных карт для количественных и качественных признаков:

В стандарте рассматриваются следующие контрольные карты:

1. Контрольные карты для количественных данных:

1.1) карты среднего (\bar{X}) и размахов (R) или выборочных стандартных отклонений (s);

1.2) карта индивидуальных значений (\bar{X}) и скользящих размахов (R);

1.3) карта медиан (Me) и размахов (R);

2. Карты для альтернативных данных:

2.1) карта долей несоответствующих единиц продукции (p-карта);

2.2) карта числа несоответствующих единиц продукции (np-карта).

Контрольные карты для количественных данных:

2.3) карта числа несоответствий (с-карта);

2.4) карта числа несоответствий на единицу продукции (u-карта).

Количественные данные представляют собой наблюдения, полученные с помощью измерения и записи значений некоторой характеристики для каждой единицы, рассматриваемой в подгруппе. Карты для количественных данных, и особенно простейшие из них (X - и R-карты), — это классические контрольные карты, применяемые для управления процессами.

Контрольные карты для количественных данных имеют следующие преимущества:

а) большинство процессов и их продукция на выходе имеют характеристики, которые могут быть измерены, так что применимость таких карт потенциально широка;

б) измеренное значение содержит больше информации, чем простое утверждение «да — нет»;

в) характеристики процесса могут быть проанализированы безотносительно установленных требований. Карты запускаются вместе с процессом и дают независимую картину того, на что процесс способен. После этого характеристики процесса можно сравнивать или нет с установленными требованиями;

г) хотя получение количественных данных дороже, чем альтернативных, объемы подгрупп для количественных данных почти всегда гораздо меньше и при этом намного эффективнее. Это позволяет в некоторых случаях снизить общую стоимость контроля и уменьшить временной разрыв между производством продукции и корректирующим воздействием.

Для контрольных карт, использующих количественные данные, предполагается нормальное (гауссово) распределение для вариаций внутри выборок, причем отклонения от этого предположения влияют на эффективность карт. Коэффициенты для вычисления контрольных границ выведены при условии нормальности. Поскольку контрольные границы используются только как эмпирические критерии при принятии решений, целесообразно пренебрегать малыми отклонениями от нормальности.

Благодаря центральной предельной теореме выборочные средние имеют распределение, приближающееся к нормальному с ростом объема выборки, даже когда отдельные наблюдения не подчиняются нормальному закону. Это обосновывает возможность предположения о нормальности для X-карт даже при объемах выборок, столь малых как 4 или 5 единиц, взятых для проведения контроля. Если используют отдельные наблюдения для изучения возможностей процесса, истинное распределение важно. Рекомендуется периодически перепроверять выполнение таких предположений, чтобы убедиться, что используемые данные принадлежат одной совокупности. Распределения размахов и стандартных отклонений отличаются от нормального, хотя предположение нормальности использовалось при оценке коэффициентов для вычисления контрольных границ. Такие границы, как правило, приемлемы для процедур принятия эмпирических решений.

1.1) карты среднего (\bar{X}) и размахов (R) или выборочных стандартных отклонений (s):

Карты средних (ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015 Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта-карты) и размахов (R -карты) используют в случае, когда объем выборки небольшой или умеренный (обычно менее 10). В случае больших объемов выборки подгруппы (ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015 Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта) предпочтительно использование ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015 Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта-карты и s -карты, так как при увеличении объема выборки размах становится менее эффективным в качестве оценки стандартного отклонения процесса. Если для вычисления границ процесса применяют электронные устройства, предпочтительно использование стандартного отклонения.

1.2) карта индивидуальных значений (\bar{X}) и скользящих размахов (R):

В некоторых ситуациях для управления процессами невозможно либо непрактично иметь дело с рациональными подгруппами. Время или стоимость, требуемые для измерения при одиночном наблюдении, столь велики, что проведение повторных наблюдений даже не рассматривают. Это обычно происходит, когда измерения дорогостоящие (например при разрушающем контроле) или выход продукции все время относительно однороден. В других ситуациях нельзя получить более одного значения, например показание прибора или значение характеристики партии исходных материалов, поэтому приходится управлять процессом на основе индивидуальных значений.

При использовании карт индивидуальных значений рациональные подгруппы для обеспечения оценки изменчивости внутри партии не применяют и контрольные границы рассчитывают на основе меры вариации, полученной по скользящим размахам обычно двух наблюдений. Скользящий размах — это абсолютное значение разности измерений в последовательных парах, т. е. разность первого и второго измерений, затем второго и третьего и т. д. На основе скользящих размахов вычисляют средний скользящий размах R , который используют для построения контрольных карт. Также по всем данным вычисляют общее среднее \bar{X} .

При использовании карт индивидуальных значений необходимо учитывать следующее:

а) карты индивидуальных значений не столь чувствительны к изменениям процесса, как \bar{X} - и R -карты;

б) при интерпретации карт индивидуальных значений следует проявлять осторожность, если распределение процесса не является нормальным;

в) карты индивидуальных значений не оценивают повторяемость процесса от изделия к изделию, и поэтому в некоторых случаях лучше использовать обычные \bar{X} - и R -карты с малыми объемами выборочных подгрупп (от 2 до 4), даже если это приведет к увеличению интервала между подгруппами.

1.3) карта медиан (Me) и размахов (R):

Карты медиан — альтернатива \bar{X} - и R-картам для управления процессом с измеряемыми данными. Они обеспечивают аналогичные выводы и имеют определенные преимущества. Такие карты просты в применении и не требуют больших вычислений. Это может облегчить их внедрение в производство. Поскольку на карты наносят значения медиан наряду с индивидуальными значениями, карта медиан дает разброс результатов процесса и подробную картину вариаций.

2. Карты для альтернативных данных:

Альтернативные данные представляют собой наблюдения, фиксирующие наличие или отсутствие некоторых характеристик (или признаков) у каждой единицы рассматриваемой подгруппы. На основе этих данных производится подсчет числа единиц, обладающих или не обладающих данным признаком, или число таких событий в единице продукции, группе или области. Альтернативные данные в общем случае могут быть получены быстро и дешево, для сбора их не требуется специального обучения.

В случае контрольных карт для количественных данных принято ведение пары контрольных карт: для управления средним и управления рассеянием, так как исходное распределение предполагается нормальным и зависит от этих двух параметров. При использовании контрольных карт для альтернативных данных достаточно одной карты, так как предполагаемое распределение имеет только один независимый параметр — средний уровень. p - и np -карты основаны на биномиальном распределении, а c - и u -карты — на распределении Пуассона.

Расчеты для этих карт одинаковы, за исключением случаев непостоянства объема подгрупп. Когда объем подгрупп постоянен, для каждой подгруппы могут быть выбраны одни и те же контрольные границы. Если число контролируемых единиц в каждой подгруппе различно, должны быть рассчитаны контрольные границы отдельно для каждого объема подгруппы. Таким образом, np - и c -карты могут быть применены при постоянном объеме подгруппы, а p - и u -карты — в любой ситуации.

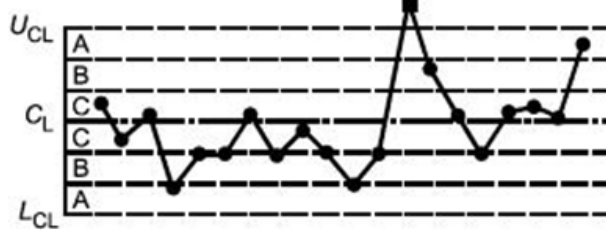
Когда объем подгруппы изменяется от выборки к выборке, для каждой подгруппы рассчитывают свои контрольные границы, при этом, чем меньше объем подгруппы, тем шире полоса между этими границами, и наоборот. Если объем подгрупп меняется несущественно, то можно ограничиться одним набором контрольных границ, основанным на среднем объеме подгруппы. Для практических целей достаточно, если объемы подгрупп находятся в пределах $\pm 25\%$ целевого объема подгруппы.

Альтернативная процедура для ситуаций, в которых объем подгруппы меняется существенно, — использование нормированных переменных.

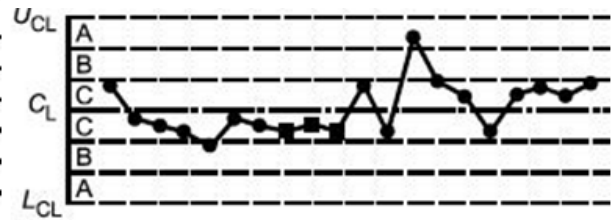
Проверка структур на особые причины

Систематические или неслучайные структуры в расположении данных на контрольной карте могут указывать на такие изменения среднего или разброса процесса, какие, возможно, не настолько велики, чтобы привести к выходу точек за контрольные границы. Аналитик должен внимательно изучать

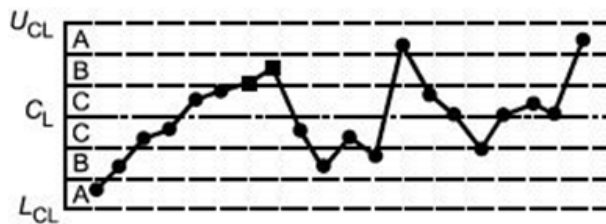
все структуры точек на карте, которые могут указывать на воздействие неслучайных причин на процесс. Для интерпретации типовых структур на картах средних и индивидуальных различий существует набор критериев, схематично представленный на рисунке 2.



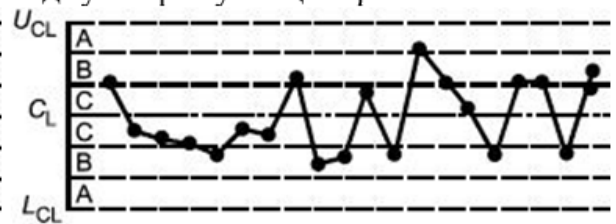
Критерий 1: Одна точка вне зоны А (вне контрольных границ)



Критерий 2: Семь или более последовательных точек расположены по одну сторону от центральной линии



Критерий 3: Тренд - семь последовательно возрастающих или убывающих точек



Критерий 4: Участок с явно неслучайным изменением значений

Рисунок 2 - Примеры типовых структур, вызванных особыми причинами
Примечание 1 - В некоторых отраслях используют другие критерии.

Примечание 2 - Для карт p , np , c и u , где нижняя контрольная граница равна нулю, невозможно создать три односигмовые зоны ниже центральной линии.

Для применения этих критериев контрольную карту делят на три зоны А, В и С с каждой стороны от центральной линии. Ширина каждой зоны составляет одну сигму. Такое деление облегчает обнаружение участков отклонения от области управляемости процесса. Например, участки явно неслучайного изменения значений (критерий 4) при использовании такого деления могут быть легко обнаружены. В среднем $2/3$ точек стабильного процесса лежат в зоне С. Если в зоне С находится существенно менее $2/3$ точек (см. критерий 4 на рисунке 3), следует обратить внимание на такое расположение точек. Появление такой структуры требует исследования процесса на наличие особых причин. Ниже приведены типичные четырех структур, показанных на рисунке 2:

- критерий 1 указывает на присутствие особой причины;
- критерий 2 указывает на то, что среднее или изменчивость процесса сместились от центральной линии;
- критерий 3 указывает на наличие систематического линейного тренда процесса;
- критерий 4 указывает на наличие неслучайного или циклического участка изменчивости процесса.

Процесс, у которого последовательность точек на карте соответствует одному или более критериям, является неуправляемым, и особые причины его изменчивости должны быть выявлены и устранены. Эти дополнительные правила улучшают способность контрольной карты обнаруживать небольшие изменения среднего процесса за счет увеличения количества ложных сигналов. Если на \bar{X} или R -картах Шухарта наблюдаются от одной до трех типовых структур одновременно, то вероятность появления ложного сигнала составляет приблизительно 10 на 1000, тогда как при наличии только первой структуры - три на тысячу, соответственно.

Построение R – и \bar{X} – карт

Таблица 3.

№ подгруппы	X_1	X_2	X_3	X_4	\bar{X}_i	R_i
1	12,01	12,08	11,88	12,13	12,025	0,25
2	12,02	12,15	12,32	12,14	12,158	0,3
3	12,05	12,24	12,17	12,09	12,138	0,19
4	12,12	12,07	12,16	12,06	12,103	0,1
5	12,05	12,11	12,14	12,10	12,1	0,09
6	12,22	12,01	12,07	12,14	12,11	0,21
7	12,25	12,19	12,21	12,19	12,21	0,06
8	12,02	12,25	12,33	12,28	12,22	0,26
9	12,03	12,21	12,17	12,19	12,15	0,18
10	12,00	12,27	12,15	12,20	12,155	0,27
11	12,07	12,03	12,09	11,98	12,043	0,11
12	12,21	12,09	12,04	12,05	12,098	0,17
13	12,16	12,04	12,24	12,18	12,155	0,2
14	12,20	12,03	11,96	12,07	12,065	0,24
15	12,10	12,13	12,08	12,26	12,143	0,18
16	12,25	12,03	12,15	12,17	12,15	0,22
17	12,22	11,86	12,15	12,13	12,09	0,36
18	12,06	12,02	12,02	12,13	12,058	0,11
19	12,23	12,10	12,18	12,11	12,155	0,13
20	12,10	12,18	12,17	12,06	12,128	0,12
21	11,99	12,28	12,16	12,12	12,138	0,29
22	12,06	12,16	12,07	12,09	12,095	0,1
23	12,17	12,21	12,18	12,26	12,205	0,09
24	12,26	12,08	12,06	12,09	12,123	0,2
25	12,14	12,16	12,02	12,14	12,115	0,14

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{X}_i = 12,125$$

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i = 0,1825$$

где n – количество подгрупп

На первом этапе необходимо подготовить R -карту и определить по ней состояние управляемости процесса. Значения D_4 и D_3 взяты из ГОСТ Р ИСО 78-70-2015 для $n=4$.

R -карта:

Центральная линия $C_L = \bar{R} = 0,1825$

Верхняя граница

$$U_{CL} = D_4 \bar{R} = 2,282 \cdot 0,1825 = 0,42$$

Нижняя граница

$$L_{CL} = D_3 \bar{R} = 0, \text{ где } D_3 = 0, \text{ если объем выборки менее } 7.$$

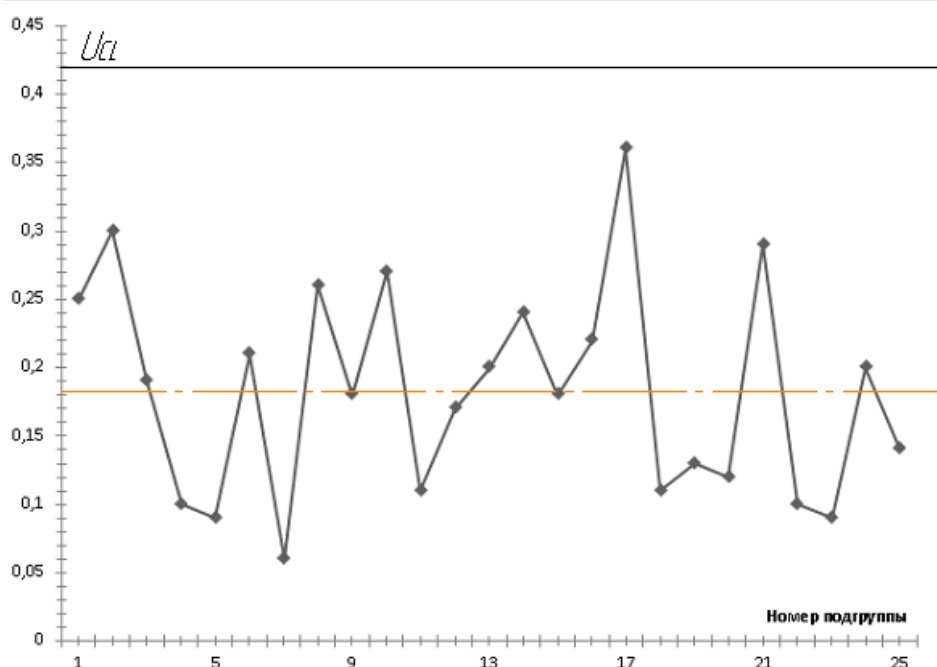


Рисунок 3. R -карта

R -карта показывает, что процесс находится в статистически управляемом состоянии.

Затем на основе значений \bar{X} и R следует построить \bar{X} -карту.

\bar{X} -карта:

Центральная линия $C_L = \bar{X} = 12,125$

Верхняя граница

$$U_{CL} = \bar{X} + A_2 \cdot \bar{R} = 12,125 + 0,729 \cdot 0,1825 = 12,2580425 \approx 12,26$$

Нижняя граница

$$L_{CL} = \bar{X} - A_2 \cdot \bar{R} = 12,125 - 0,729 \cdot 0,1825 = 11,9919575 \approx 12$$

Значение коэффициента A_2 взято из таблицы 2 для $n = 4$

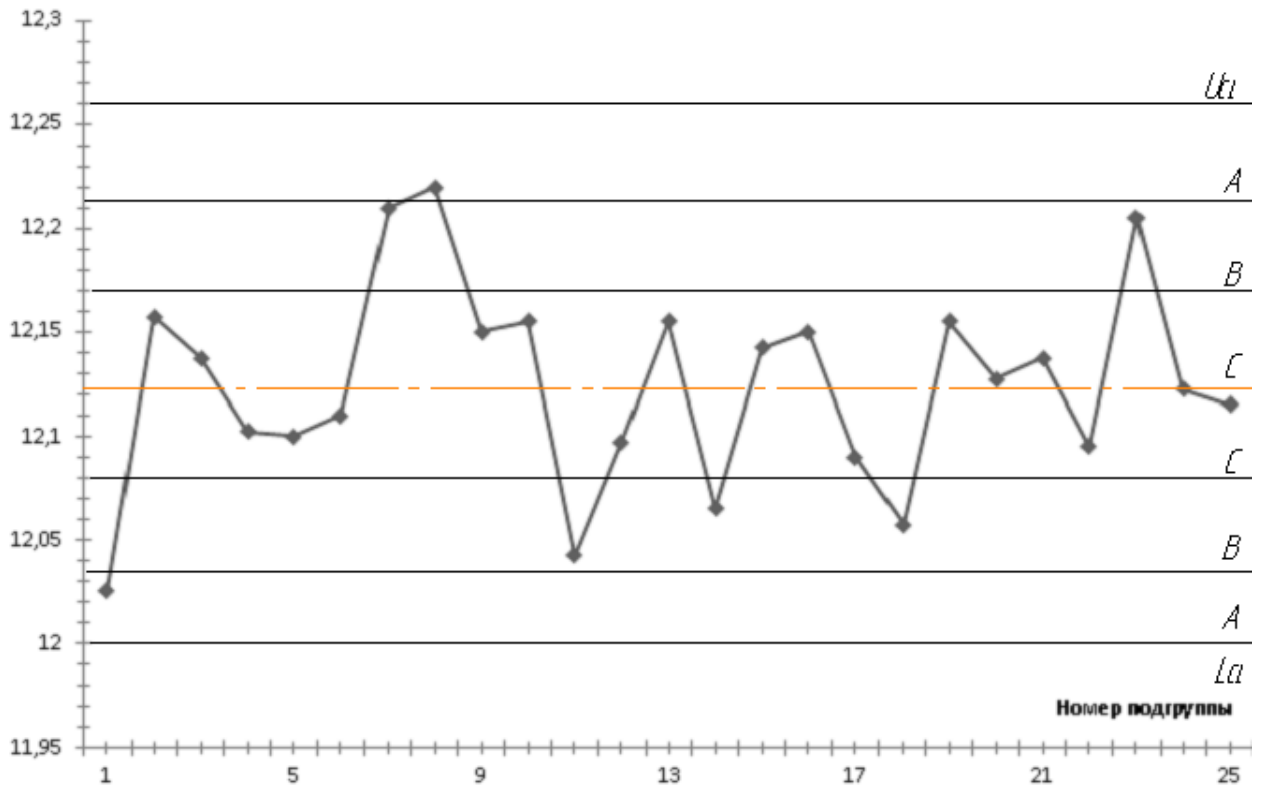


Рисунок 4. \bar{X} - карта

\bar{X} -карта показывает, что процесс находится в статистически управляемом состоянии, т.к. ни одна из контрольных точек не выходит из границ.

Проверка структур на особые причины не дала совпадений с критериями. Следовательно, проявление неслучайных причин не наблюдается.

4. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

Объем пояснительной записки должен составлять 15-30 страниц формата А4. Очередность разделов следующая:

- титульный лист;
- бланк задания;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- библиографический список.

Графическая часть курсовой работы оформляется в виде презентации

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ**Вариант 1**

Результаты измерений

20.47	20.35	20.62	20.52	20.64	20.32	20.34	20.48	20.40	20.27	20.39	20.14
20.41	20.44	20.47	20.48	20.41	20.40	20.43	20.54	20.09	20.47	20.36	20.40
20.33	20.38	20.42	20.73	20.57	20.41	20.47	20.41	20.56	20.26	20.38	20.52
20.43	20.41	20.72	20.29	20.43	20.35	20.41	20.56	20.53	20.57	20.27	20.38
20.31	20.55	20.57	20.40	20.32	20.27	20.23	20.74	20.60	20.22	20.57	20.27
20.66	20.46	20.29	20.29	20.35	20.39	20.44	20.10	20.54	20.27	20.56	20.31
20.31	20.15	20.38	20.39	20.32	20.24	20.26	20.52	20.27	20.59	20.39	20.44
20.36	20.36	20.54	20.42	20.44	20.53	20.27	20.51	20.54	20.44	20.42	20.42
20.59	20.42	20.44	20.61								

Вариант 2

Результаты измерений

17.87	17.88	17.83	17.81	17.76	18.33	17.80	18.15	17.73	18.14	17.89	18.02
18.02	17.67	17.83	17.78	17.80	18.32	17.90	17.87	18.23	17.73	17.86	17.97
17.93	18.02	17.96	17.72	18.15	17.91	17.58	17.66	17.52	18.11	17.85	18.12
17.66	17.84	17.79	18.03	17.74	17.72	17.57	17.87	18.02	17.67	17.76	17.58
18.03	18.05	17.64	17.95	17.99	17.62	17.87	17.91	17.74	17.82	18.04	17.72
17.92	18.08	17.93	18.19	18.13	17.97	18.02	18.05	17.80	18.21	18.01	17.86
17.68	18.09	17.82	17.72	18.07	17.74	17.67	18.28	17.60	17.94	17.56	18.10
17.89	17.66	17.80	17.75	17.97	17.92	17.78	17.89	17.87	17.96	18.21	17.90
17.56	17.52	17.95	17.92								

Вариант 3

Результаты измерений

20.73	20.56	20.60	20.59	20.56	20.44	20.65	20.46	20.86	20.63	20.61	20.69
20.67	20.37	20.63	20.66	20.77	20.66	20.48	20.65	20.84	20.66	20.75	20.69
20.52	20.51	20.42	20.65	20.54	20.42	20.70	20.46	20.54	20.84	20.67	20.77
20.70	20.66	20.62	20.60	20.60	20.44	20.69	20.68	20.69	20.67	20.36	20.33
20.72	20.35	20.68	20.51	20.63	20.68	20.83	20.69	20.61	20.64	20.54	20.66
20.82	20.46	20.66	20.53	20.58	20.77	20.44	20.21	20.59	20.66	20.60	20.46
20.60	20.58	20.73	20.57	20.42	20.74	20.52	20.51	20.55	20.75	20.37	20.69
20.66	20.63	20.75	20.61	20.68	20.58	20.61	20.44	20.62	20.63	20.66	20.55
20.41	20.59	20.75	20.53								

Вариант 4

Результаты измерений

19.17	19.18	19.02	18.94	19.28	19.09	19.04	19.04	19.03	19.13	19.13	19.15
19.06	19.13	18.92	19.20	18.99	19.13	19.27	18.96	19.36	18.89	19.09	19.31
19.01	19.05	19.06	18.89	19.22	19.00	19.04	19.23	19.23	18.99	19.08	19.08
19.02	19.12	19.24	18.97	19.08	19.01	19.04	19.01	18.82	19.08	19.05	19.18
18.92	19.24	19.07	19.19	19.12	19.22	19.10	19.38	19.26	18.97	19.21	19.01
19.21	19.15	19.25	19.11	19.12	19.12	19.20	19.02	19.06	19.08	19.13	19.15
19.26	19.01	19.04	19.06	19.02	19.15	19.18	19.15	19.00	19.14	19.16	19.07
19.06	19.02	19.17	19.14	19.36	19.25	19.18	18.98	19.21	19.04	18.87	19.17
18.98	19.10	19.13	19.23								

Вариант 5

Результаты измерений

32.62 32.49 32.20 32.38 32.64 32.59 32.27 32.40 32.58 32.11 32.28 32.39
 32.23 32.13 32.27 32.51 32.52 32.47 32.48 32.30 32.43 32.55 32.54 32.28
 32.68 32.27 32.39 32.41 32.43 32.60 32.54 32.26 32.55 32.56 32.24 32.59
 32.52 32.56 32.54 32.25 32.35 32.30 32.42 32.36 32.46 32.53 32.65 32.34
 32.44 32.47 32.29 32.59 32.63 32.59 32.31 32.73 32.28 32.50 32.60 32.50
 32.31 32.52 32.34 32.12 32.58 32.53 32.12 32.20 32.44 32.26 32.44 32.41
 32.62 32.38 32.29 32.41 32.48 32.28 32.07 32.29 32.48 32.20 32.56 32.40
 32.46 32.24 32.37 32.63 32.26 32.35 32.38 32.60 32.36 32.46 32.28 32.25
 32.35 32.48 32.31 32.39

Вариант 6

Результаты измерений

17.68 17.62 17.62 17.42 17.25 17.74 17.47 17.43 17.45 17.22 17.30 17.50
 17.50 17.38 17.42 17.79 17.35 17.36 17.56 17.47 17.58 17.33 17.47 17.49
 17.52 17.60 17.47 17.46 17.39 17.50 17.68 17.27 17.49 17.46 17.59 17.34
 17.51 17.54 17.37 17.53 17.72 17.58 17.51 17.39 17.40 17.63 17.74 17.82
 17.48 17.45 17.83 17.58 17.08 17.72 17.17 17.69 17.60 17.21 17.83 17.43
 17.56 17.65 17.45 17.23 17.12 17.48 17.54 17.48 17.68 17.71 17.45 17.68
 17.53 17.35 17.55 17.36 17.60 17.51 17.44 17.69 17.42 17.28 17.17 17.31
 17.27 17.56 17.22 17.40 17.36 17.62 17.50 17.56 17.31 17.32 17.36 17.44
 17.61 17.28 17.74 17.54

Вариант 7

Результаты измерений

41.09 41.35 41.24 41.15 41.28 41.09 41.27 41.18 41.11 41.04 41.15 41.12 41.14 41.26
 41.16 41.36 41.20 41.18 41.17 41.12 41.14 41.16 41.20 41.14 41.25 41.07 41.09 41.35
 41.14 41.31 41.23 41.27 41.28 41.14 41.23 41.31 41.23 41.29 41.09 41.34 41.09 41.23
 41.12 41.21 41.10 41.17 41.28 41.22 41.19 41.04 41.30 41.12 41.19 41.40 41.22 41.21
 41.36 41.30 41.04 41.16 41.23 41.09 41.32 41.10 41.14 41.21 41.26 41.12 41.22 41.18
 41.11 41.20 41.11 41.12 41.18 41.08 41.23 41.17 41.15 41.18 41.10 41.29 41.11 41.11
 40.94 41.31 41.15 41.18 41.27 41.14 41.17 41.25 41.16 41.23 41.21 41.24 41.16 41.12
 41.13 41.25

Вариант 8

Результаты измерений

13.46 13.99 13.44 13.56 13.42 13.63 13.59 13.57 13.55 13.40 13.55 13.66 13.51 13.74
 13.44 13.79 13.31 13.62 13.52 13.64 13.70 13.48 13.46 13.57 13.92 13.56 13.47 13.30
 13.60 13.44 13.40 13.85 13.43 13.53 13.63 13.93 13.35 13.72 13.98 13.68 13.42 13.39
 13.66 13.44 13.70 13.60 13.82 13.91 13.66 13.16 13.89 13.60 13.51 13.68 13.59 13.59
 13.38 13.59 13.75 13.65 13.52 13.84 13.52 13.77 13.82 13.59 13.72 13.55 13.75 13.69
 13.60 13.49 13.52 13.37 13.43 13.49 13.70 13.73 13.47 13.70 13.62 13.82 13.61 14.05
 13.54 13.73 13.40 13.73 13.62 13.68 13.49 13.36 13.78 13.67 13.77 13.87 13.56 13.69
 13.88 13.39

Вариант 9

Результаты измерений

43.34 43.14 42.91 43.17 43.29 43.17 43.28 43.05 43.24 43.22 43.01 43.24 43.15 43.13
 43.28 43.18 43.11 43.14 43.26 43.37 43.24 43.03 43.16 43.09 43.20 43.13 43.10 43.28
 43.19 43.49 42.99 43.12 43.21 43.07 43.18 43.07 42.94 43.06 43.13 43.30 43.07 43.43
 43.34 43.31 42.96 43.42 43.19 43.08 43.29 43.03 43.22 43.40 43.04 43.26 43.33 43.04
 43.24 43.38 43.27 43.05 43.37 43.20 43.40 43.15 43.41 43.24 43.05 43.05 43.39 43.34
 43.10 43.38 43.05 42.99 43.07 43.39 43.33 43.17 43.37 43.08 42.96 43.44 43.26 43.05
 43.19 43.07 43.24 43.08 43.34 43.40 43.24 43.13 43.25 43.21 43.38 43.10 43.30 43.23
 43.34 43.19

Вариант 10

Результаты измерений

21.91 21.96 21.69 21.61 21.69 22.04 21.89 21.65 21.90 21.59 21.92 22.01 22.03 21.94
 21.92 21.88 21.66 21.81 22.22 21.72 21.44 21.99 21.69 21.55 22.19 21.83 21.89 21.73
 21.58 21.83 21.80 21.90 21.53 21.59 21.86 21.40 21.71 22.11 22.12 21.58 22.03 22.14
 21.68 21.70 21.59 22.10 21.61 21.71 21.61 22.07 21.73 21.87 22.06 21.47 21.61 21.97
 22.07 21.92 21.69 21.67 21.67 21.98 22.03 21.63 21.86 21.72 21.90 22.01 21.91 21.66
 21.90 22.00 22.04 21.80 21.99 22.20 21.50 21.75 22.23 21.60 22.03 21.63 21.67 21.85
 22.23 22.02 21.82 21.66 21.99 21.63 21.63 21.82 21.76 21.62 21.57 21.71 21.84 21.81
 21.47 21.48

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015. Статистические методы. Контрольные карты Шухарта
2. Кане М.М., Иванов Б.В., Корешков В.Н., Схиртладзе А.Г. Системы, методы и инструменты менеджмента качества/ М.М. Кане, Б.В. Иванов, В.Н. Корешков, А.Г. Схиртладзе. – СПб.: Питер, 2009