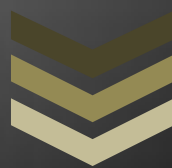


# Статистическое управление



Sorochkina O.Y.

*Лекция. Статистическое  
управление технологическим  
процессом*

Донской государственный  
технический университет.

Кафедра «Управление  
качеством»

21.03.2020

# СТАТИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

*Изменчивость процесса. Оценка качества технологического процесса. Оценка стабильности процесса. Индексы возможности, воспроизводимости и пригодности процесса.*

## Содержание

ВЕДЕНИЕ .....	1
1. МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ, ЗАВИСИМЫЕ ОТ ВРЕМЕНИ.....	3
2. ПОНЯТИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ИЗМЕНЧИВОСТЬЮ ДАННЫХ.....	14
3. ПРИГОДНОСТЬ ПРОЦЕССА, ПАРАМЕТРЫ И ИНДЕКСЫ .....	16
4. ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ ПРОЦЕССА, ПАРАМЕТРЫ И ИНДЕКСЫ.....	17
5. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ.....	19
6. АНАЛИЗ ПРИГОДНОСТИ И ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ПРОЦЕССА.....	20
6.1. Пригодность машины .....	23
6.2. Пригодность и воспроизводимость процесса.....	24
6.3 Параметр положения пригодности процесса .....	24
6.4 Анализ измерительной системы .....	25
6.5. Индексы пригодности и воспроизводимости .....	26
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	27
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	27

## ВЕДЕНИЕ

Процесс может быть дискретным или непрерывным. Дискретный процесс - это процесс последовательного изготовления различных единиц продукции (объектов), непрерывный процесс - это процесс изготовления непрерывной продукции (например, рулон бумаги). Целью процесса является изготовление продукции или выполнение услуги, которые должны удовлетворять установленным требованиям. Требования к процессу установлены в виде требований к одной или нескольким характеристикам продукции или услуги. Однако при анализе воспроизводимости или пригодности процесса рассматривают только одну характеристику. Характеристика может быть количественной, качественной или быть свойством продукции. Дискретный процесс может быть описан с помощью:

- действительных чисел;
- натуральных чисел;

- признаков, указывающих, какое событие из ряда событий произошло для конкретных объектов.

Целью анализа процесса является исследование свойств процесса. Знания о процессе необходимы для эффективного управления процессом и соответствия продукции, изготавливаемой процессом, установленным требованиям.

Значения рассматриваемых характеристик, как правило, определяют на основе выборок, отобранных из процесса. Объем выборки и частоту ее отбора следует определять в зависимости от типа процесса и вида продукции. Отобранные выборки должны отражать все важные изменения процесса. Для рассматриваемой характеристики выборки должны быть представительными. Для оценки стабильности процесса используют контрольные карты. (Рекомендации по использованию контрольных карт приведены в ИСО 7870-2).

Оценка того, насколько процесс способен удовлетворять требованиям, установленным в нормативных документах, - типовая задача для многих практических приложений, например технологических процессов, процессов обслуживания.

Такие задачи играют важную роль в системе взаимоотношений "поставщик - потребитель", включая предконтрактные оценки потенциальных возможностей поставщика удовлетворять требования потребителя, планирование качества разрабатываемой продукции, а также оценку возможностей процессов в период поставки продукции, включая их аттестацию.

В случаях, когда на выходе процесса показатель качества измеряют по количественному признаку и когда задают наибольшее и наименьшее предельные значения показателя качества (пределы поля допуска), соответствие процесса установленным требованиям можно измерять с помощью специальных показателей. Эти показатели определяют потенциальные и фактические возможности удовлетворить требования изготовителя в виде технического допуска при стабильном процессе и процессе, стабильность которого не подтверждена, при точной и смещенной настройке процесса.

Особую роль показатели возможностей играют в системах качества предприятий. Современные технологические процессы должны обеспечивать высокую однородность качества продукции и низкие доли несоответствующих единиц продукции (часто не более нескольких десятков единиц на миллион изделий). Одним из методов оценки ожидаемого качества продукции, приемлемым для широкого спектра уровней несоответствий, является оценка показателей возможностей процессов.

Оценку ожидаемого качества на основе потенциальных характеристик процесса следует проводить и при проектировании продукции и процессов. Во многих случаях это позволит избежать конфликта между требованиями конструкторских и технологических документов и возможностями реальных процессов.

## 1. МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ, ЗАВИСИМЫЕ ОТ ВРЕМЕНИ

Свойства исследуемой характеристики в течение короткого интервала времени характеризуют мгновенное распределение. Обычно это период времени, в течение которого отбирают выборку (например, подгруппу) из процесса. Непрерывное наблюдение за процессом в течение длительного времени позволяет определить результирующее распределение процесса и построить его зависимость от времени, которая отражает:

- мгновенное распределение рассматриваемой характеристики;
- изменения параметров положения, изменчивости и формы во времени.

На практике результирующее распределение может быть представлено целым набором данных, например, при применении SPC используют данные всех подгрупп, полученные при наблюдении за процессом.

Модели распределения, зависящего от времени, могут быть отнесены к одной из четырех групп в зависимости от того являются ли параметры положения и изменчивости постоянными или изменяются с течением времени (см. таблицу 2).

1. Модель А. Параметры положения и изменчивости процесса являются постоянными. В этом случае все средние и дисперсии мгновенных распределений равны друг другу и параметрам результирующего распределения.
2. Модель В. Параметр изменчивости процесса изменяется во времени, а параметр положения процесса остается постоянным.
3. Модель С. Параметр изменчивости процесса является постоянным, а параметр положения изменяется во времени.
4. Модель D. Параметры положения и изменчивости процесса изменяются во времени.

Модели могут быть классифицированы в зависимости от того, являются ли изменения моментов случайными, систематическими или теми и другими. Основные характеристики моделей распределения представлены в таблице 1. Графическое представление моделей приведено на рисунках 1-8. Подклассы распределений для моделей А и С введены из-за их практического значения. Они отличаются формой результирующего распределения и причинами, по которым процесс находится в неуправляемом состоянии.

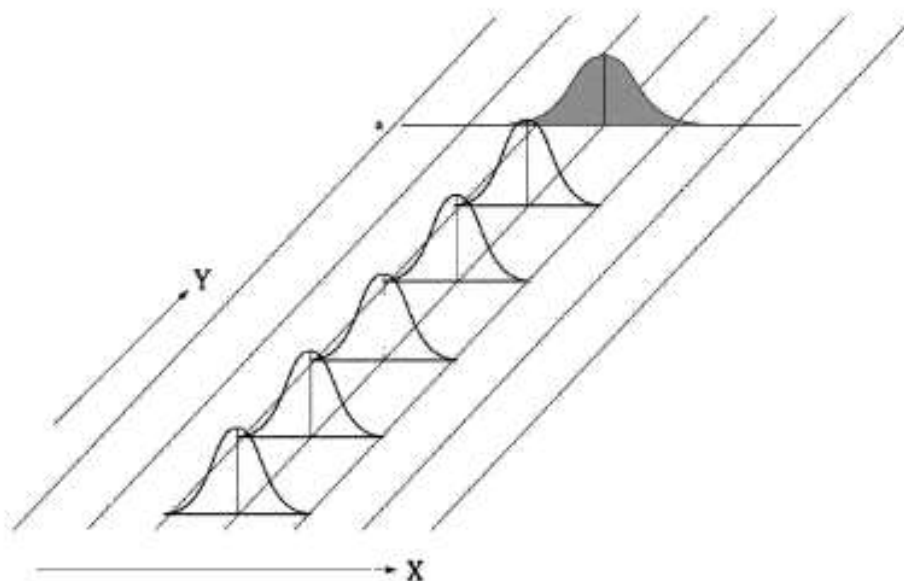
Таблица 1 - Основные характеристики моделей распределения.

Характеристика	Модели распределения зависящего от времени <sup>a</sup>							
	A1	A2	B	C1	C2	C3	C4	D
Параметр положения	c	c	c	r	r	s	s	S
Параметр изменчивости	c	c	s/r	c	c	c	c	s/r
Мгновенное распределение	nd	1m	nd	nd	nd	as	as	as
Результирующее распределение	nd	1m	1m	nd	1m	as	as	as
Рисунок	1	2	3	4	5	6	7	8
<p>Параметр положения/изменчивости:</p> <p>c — параметр остается постоянным;</p> <p>r — параметр изменяется случайным образом;</p> <p>s — параметр изменяется систематически.</p> <p>Мгновенное/результирующее распределение:</p> <p>nd — нормальное распределение;</p> <p>1m — унимодальное (не нормальное распределение);</p> <p>as — любая форма распределения</p> <p><sup>a</sup> Выбор модели является результатом анализа процесса.</p>								

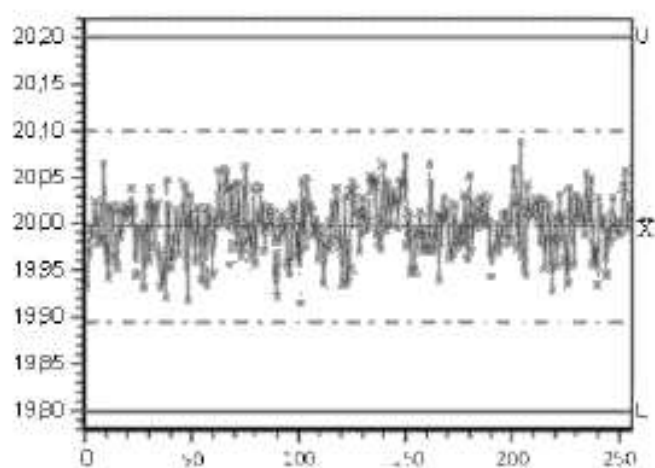
Таблица 2 - Классификация моделей зависимости распределения от времени

Стандартное отклонение процесса $s(t)$	Среднее процесса							
	Постоянное			Не постоянное				
	Распределение	А		Параметр положения, распределения	С			
		А1	А2		С1	С2	С3	С4
Постоянное	Кратковременное распределение	Нормальное распределение	Не нормальное распределение - (унимодальное)	Изменение параметра положения во времени	Случайное	Случайное	Систематическое (например, тренд)	Систематическое и случайное (например, от партии к партии)
				Вид мгновенного распределения	Нормальное распределение	Нормальное распределение	Нормальное распределение	Нормальное распределение
				Вид результирующего распределения	Нормальное распределение	Не нормальное распределение (унимодальное)	Нормальное или не нормальное распределение	Распределение любого вида (например, мультимодальное)
Не постоянное	Вид результирующего распределения	В		Результирующее распределение	D			
		Унимодальное распределение любого вида			Любая форма			

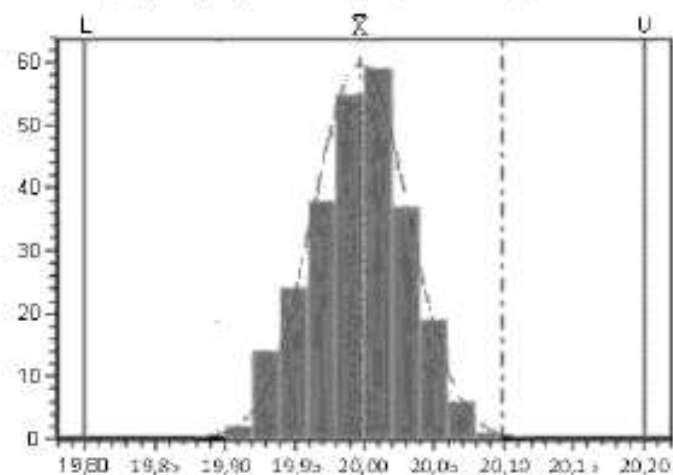
В таблице 2 приведены основные характеристики моделей зависимости распределения от времени.



а) Модель A1



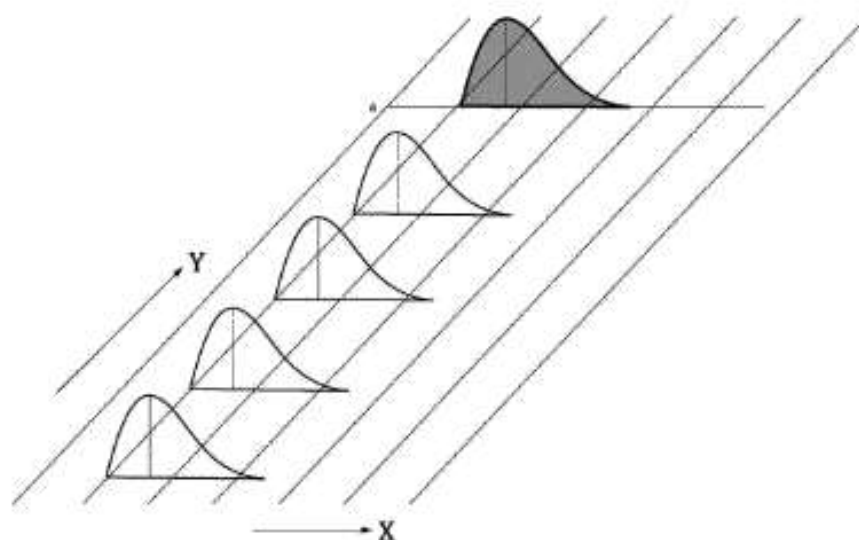
б) Пример временной диаграммы модели A1



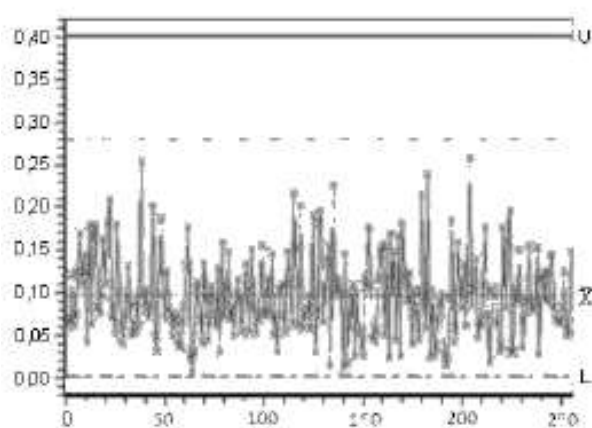
с) Пример гистограммы для модели A1

X — значение характеристики; Y — время; а — результирующее распределение

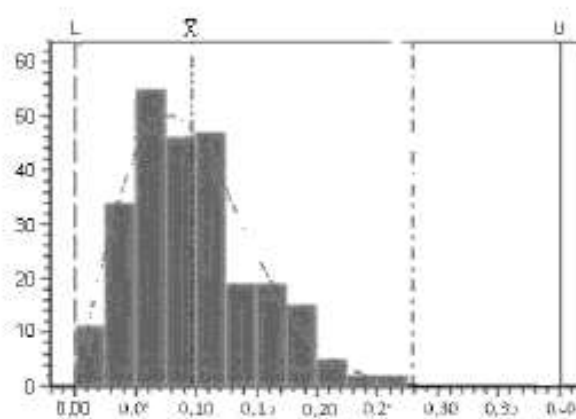
Рисунок 1 — Графическое представление модели A1



а) Модель A2



б) Пример временной диаграммы модели A2

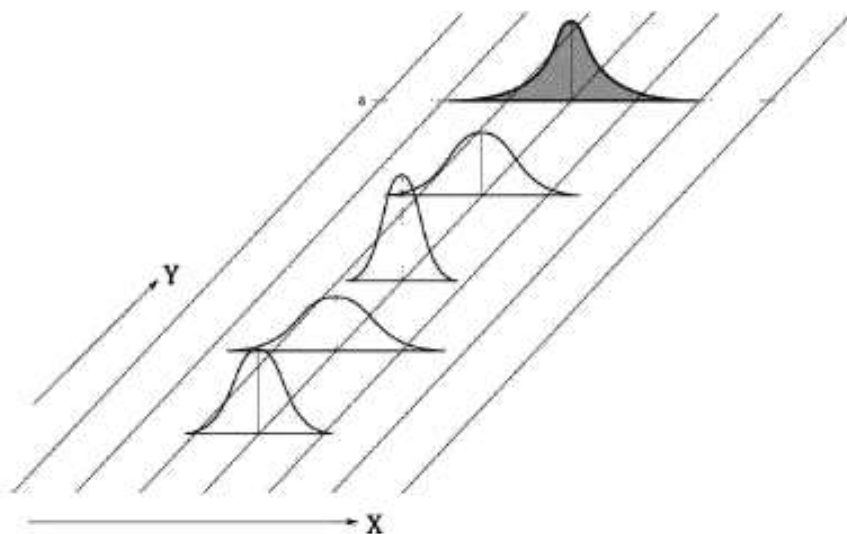


с) Пример гистограммы для модели A2

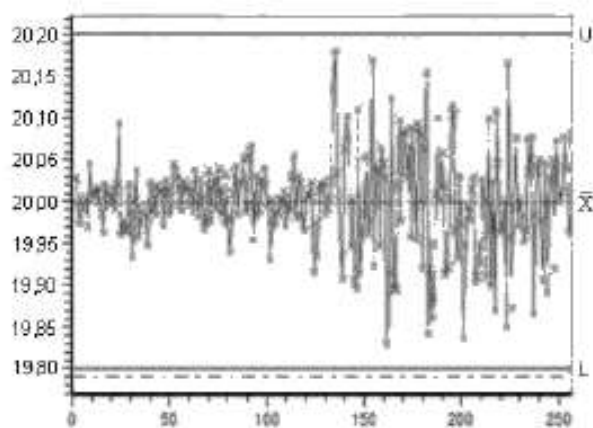
$X$  — значения характеристики;  $Y$  — время;  $a$  — результирующее распределение

Рисунок 2 — Графическое представление модели A2

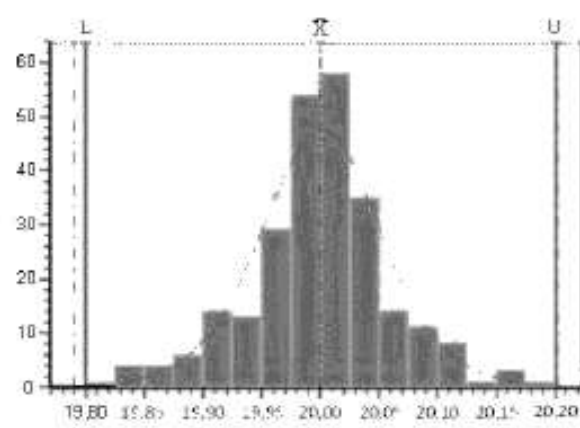




а) Модель В



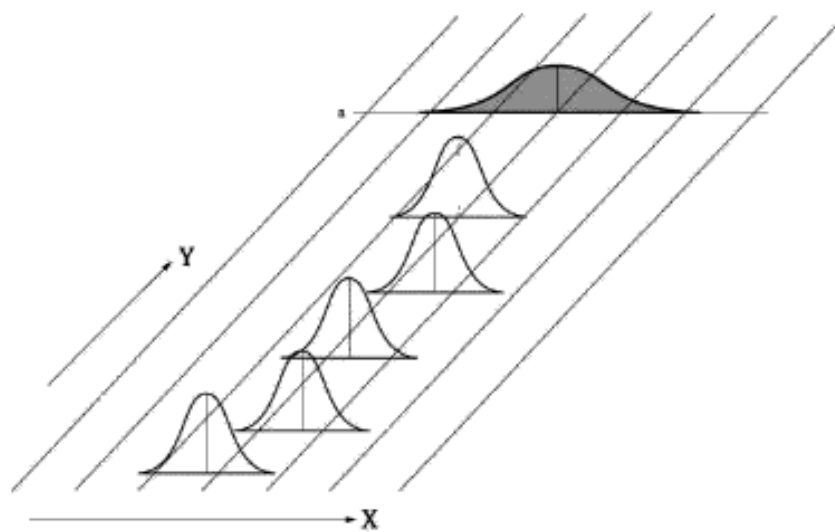
б) Пример временной диаграммы модели В



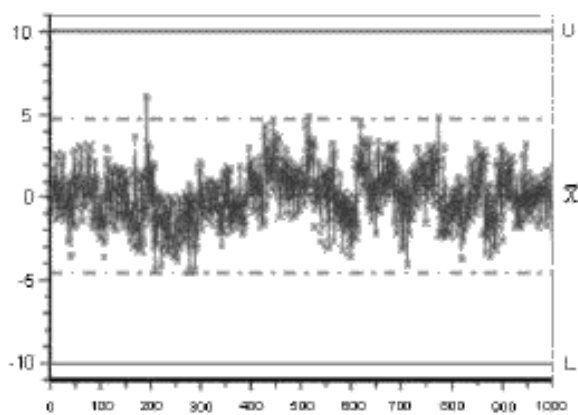
с) Пример гистограммы модели В

$X$  — значение характеристики;  $Y$  — время;  $a$  — результирующее распределение

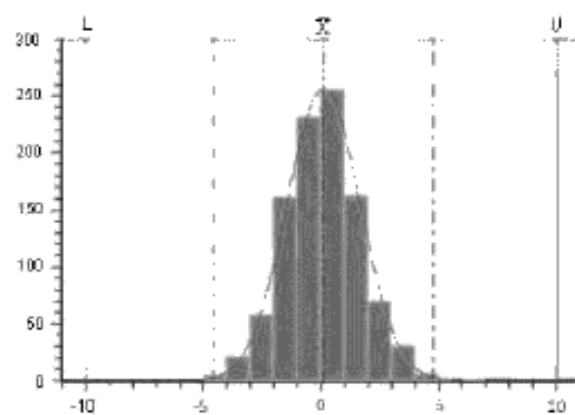
Рисунок 3 — Графическое представление модели В



а) Модель С1



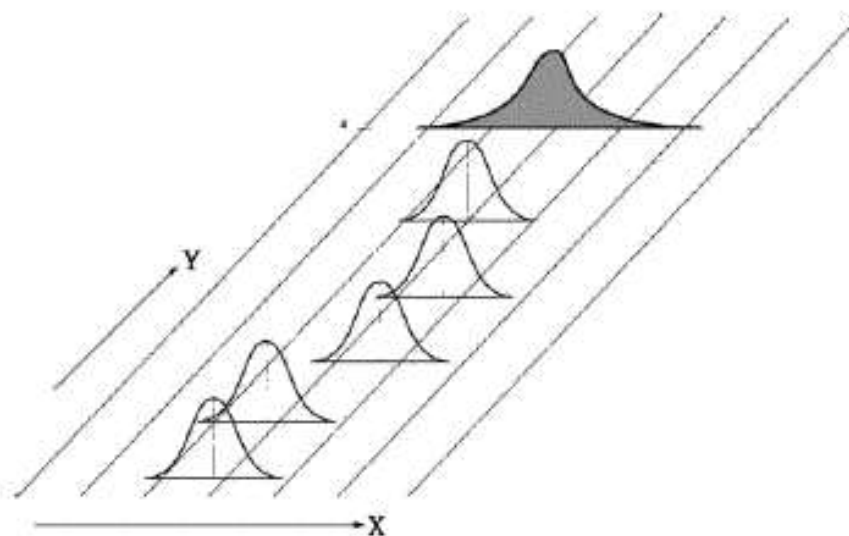
б) Пример временной диаграммы модели С1



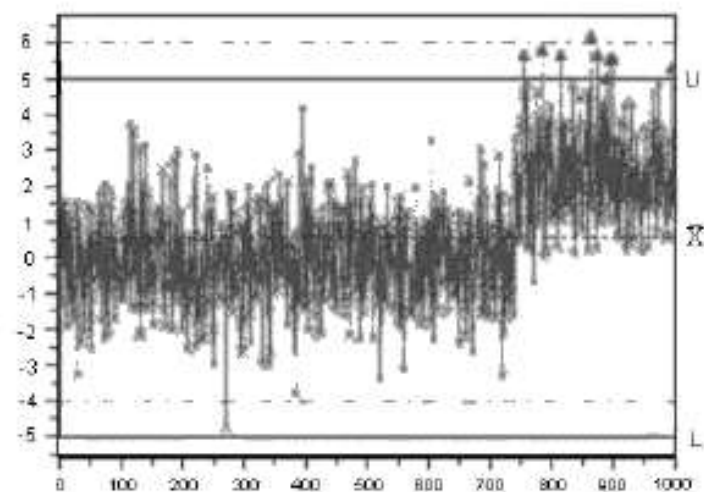
с) Пример гистограммы модели С1

$X$  — характерные значения;  $Y$  — время;  $a$  — результирующее распределение

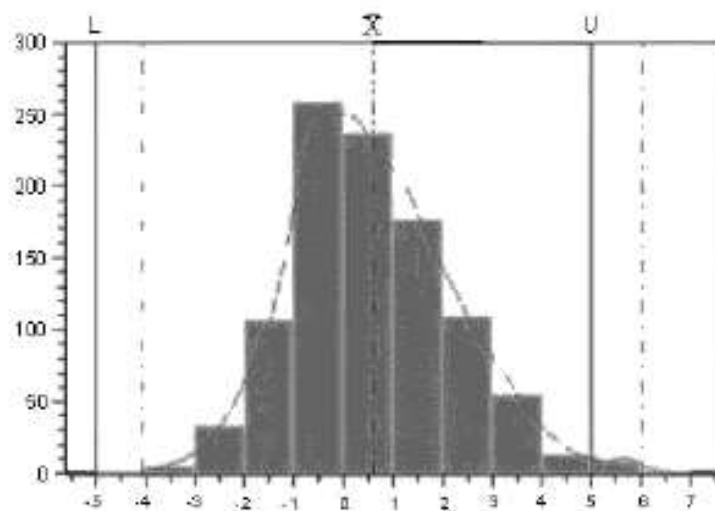
Рисунок 4 — Графическое представление модели С1



а) Модель C2



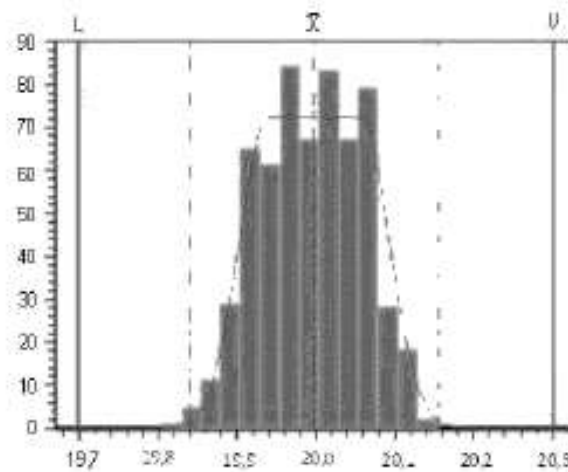
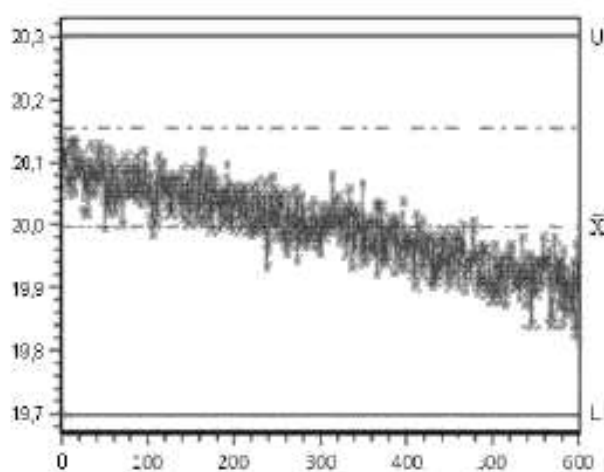
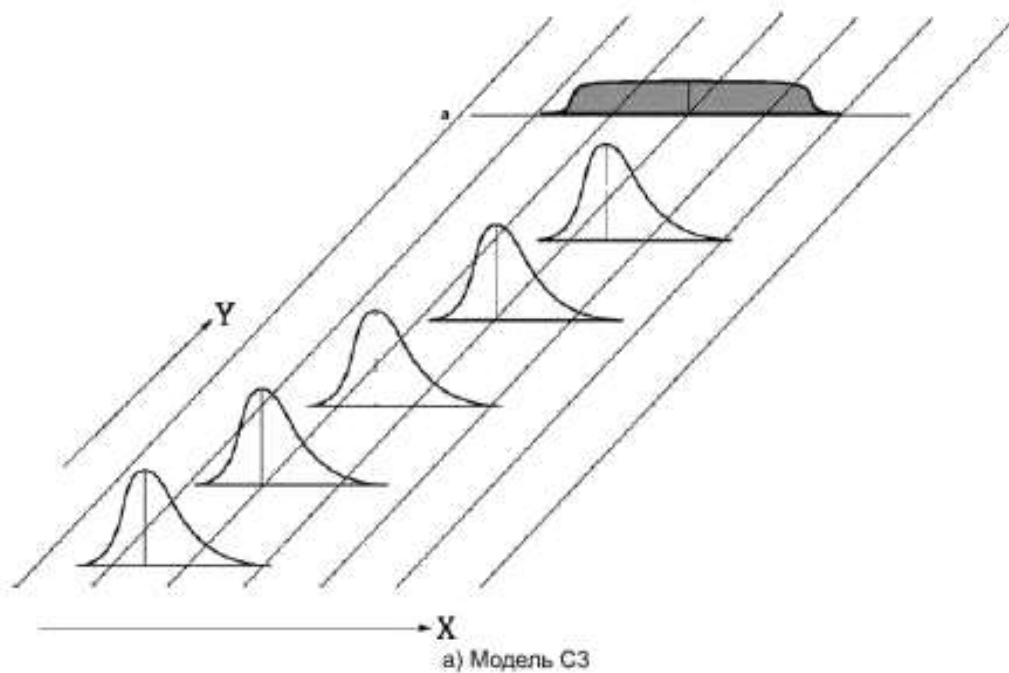
б) Пример временной диаграммы модели C2



в) Пример гистограммы модели C2

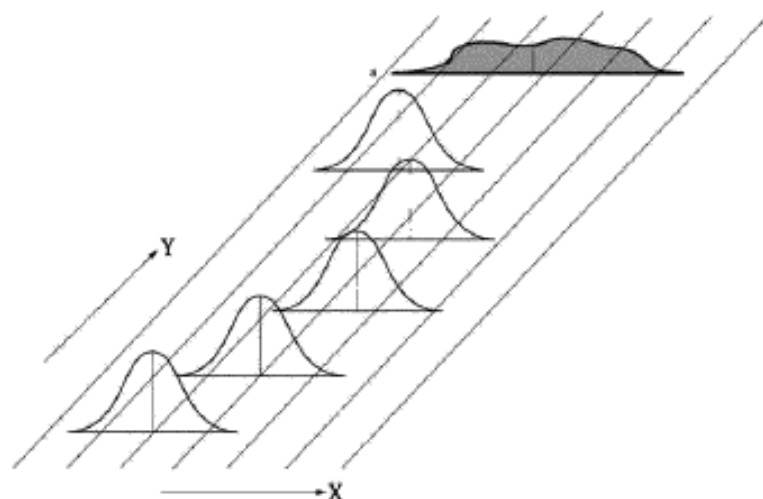
X — значение характеристики; Y — время;  $\mu$  — результирующее распределение

Рисунок 5 — Графическое представление модели C2

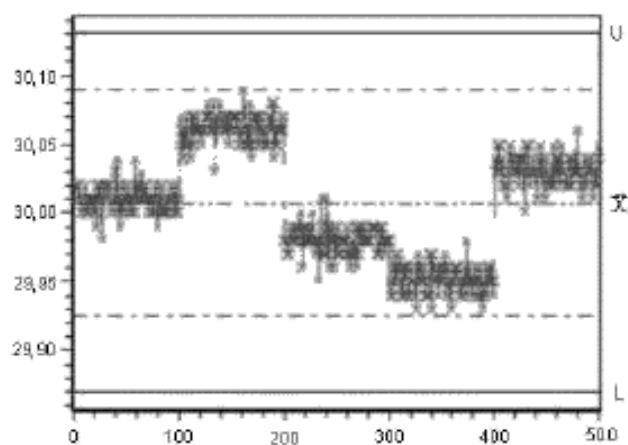


$X$  — значения характеристики;  $Y$  — время;  $a$  — результирующее распределение

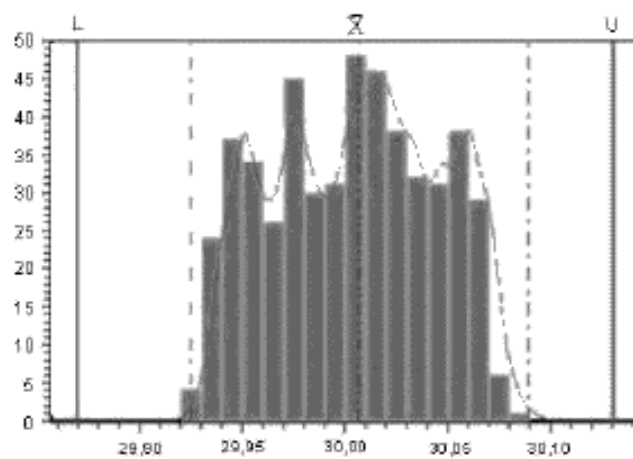
Рисунок 6 — Графическое представление модели С3



а) Модель С4



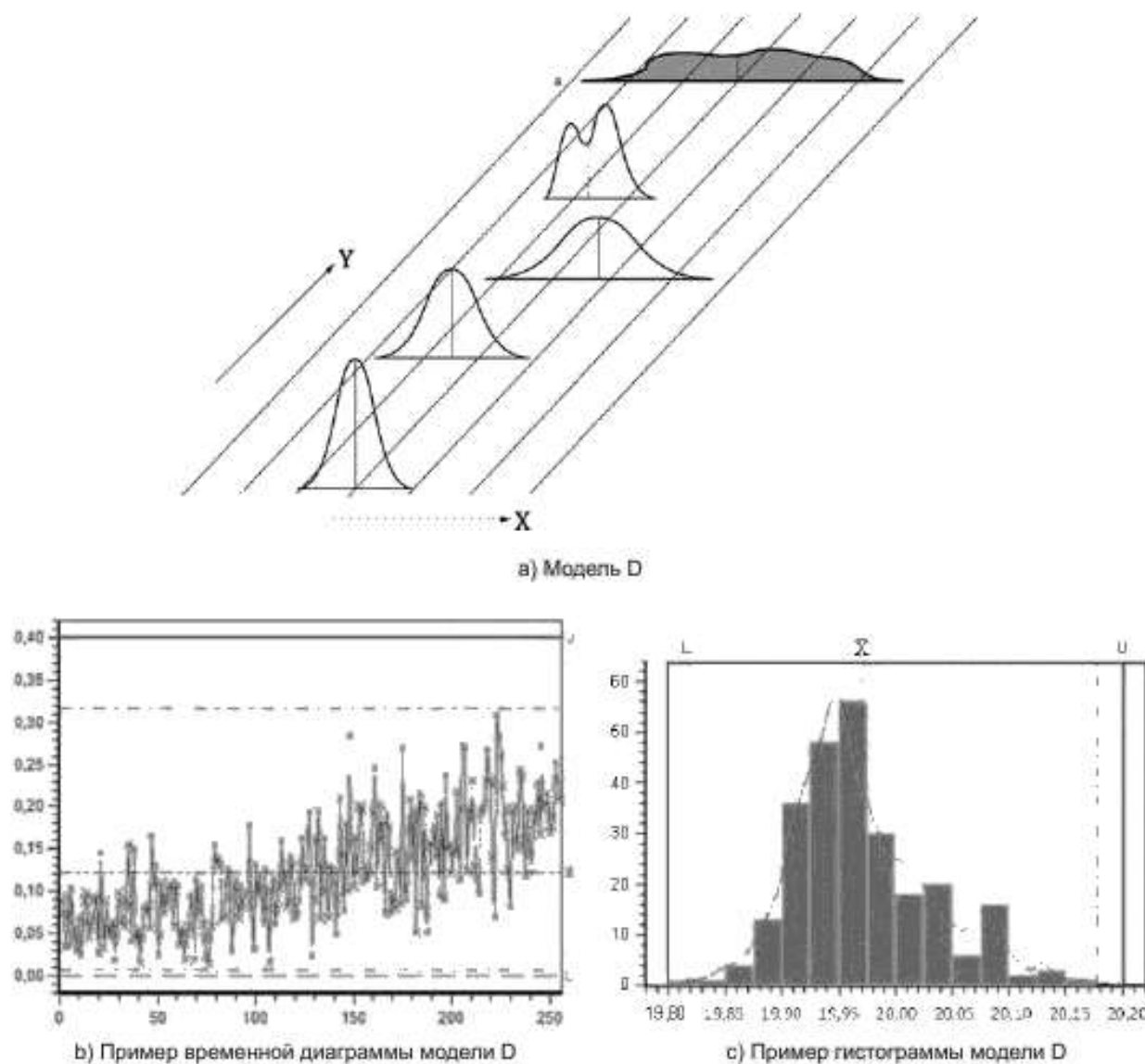
б) Пример временной диаграммы модели С4



с) Пример гистограммы модели С4

$X$  — значение характеристики;  $Y$  — время;  $a$  — результирующее распределение

Рисунок 7 — Графическое представление модели С4



$X$  — значения характеристики;  $Y$  — время;  $a$  — результирующее распределение

Рисунок 8 — Графическое представление модели D

Влияние точности технологической системы на качество производственных процессов было замечено давно. Но статистическое обоснование вариабельности системы, зависящей от различных, в большинстве своем случайных, производственных факторов, дал известный американский ученый В. Шухарт только в 20-м веке. Он выявил, что вариации (отклонения) в системе по своему происхождению вызываются двумя принципиально различными причинами: общими и специальными.

Общими причинами считаются те, которые являются неотъемлемой частью данного процесса, то есть внутренне ему (процессу) присущие. Общие причины связаны с точностью поддержания параметра и условий осуществления процесса, с идентичностью условий на входах и выходах процесса и т.д. Эти причины являются результатом совместного воздействия большого количества случайных величин,

каждая из которых вносит относительно малый вклад в результирующую вариацию системы.

Специальными причинами вариаций считаются воздействия на процесс (или на систему) внешних факторов, внутренне не присущих системе и не предусмотренных нормальным ходом процесса. Как правило, в результате воздействия специальных причин и происходит отклонение параметров от заданных значений параметров.

Разделение причин вариаций на два указанных вида определяет и разные методы борьбы с вариациями. В.Шухарт выдвинул два основных принципа борьбы с вариациями:

- искать не виновников брака, а вовлекать всех причастных к поиску и устранению причин несоответствий (отклонению параметров за границы допустимых значений),

- искать источники несоответствий в вариациях процесса.

Таким образом, стабилизировать процесс - это сделать его устойчивым к внешним воздействиям, что и является главной задачей статистического управления.

Для оценки качества технологического процесса (анализ возможности процесса) требуется сравнение допуска на размер с полем его рассеяния в конкретной технологической системе. Несмотря на то, что именно суммарная погрешность процесса изготовления является наиболее представительным значением поля рассеяния технологической системы, на практике таким сравнением пользуются редко, так как расчет суммарной погрешности процесса является исключительно трудоемкой операцией. Гораздо проще определить поле рассеяния какого-либо размера детали при ее изготовлении в конкретном технологическом процессе путем обработки результатов экспериментальных исследований.

Наиболее эффективным способом исследования распределения размера параметра является построение гистограммы. Гистограмма распределения – это графическое отображение вариабельности процесса.

Имеются и другие методы оценки точности технологического процесса. Один из них связан с определением индекса воспроизводимости процесса  $C_p$ , характеризующего соотношение поля рассеяния  $\omega$  и поля допуска  $T$ :

$$C_p = \frac{T}{6\sigma}$$

## 2. ПОНЯТИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ИЗМЕНЧИВОСТЬЮ ДАННЫХ

**изменчивость (variation):** Свойство характеристики принимать различные значения. Изменчивость характеризуют среднеквадратическим отклонением.

**собственная изменчивость процесса (inherent process variation):** Изменчивость, присущая наблюдаемой характеристике процесса, когда он функционирует в состоянии статистической управляемости.



**полная изменчивость процесса (total process variation):** Изменчивость процесса, вызванная как специальными, так и случайными причинами.

**специальная причина (special cause):** Причина изменчивости процесса, не являющаяся причиной собственной изменчивости процесса.

**случайная причина, общая причина, непредсказуемая причина (random cause, common cause, chance cause):** Причина, которая является причиной собственной изменчивости процесса в течение продолжительного интервала времени.

**стабильный процесс**, процесс в состоянии статистической управляемости (stable process, process in a state of statistical control): Процесс с постоянным средним, изменчивость которого вызвана только случайными причинами.

Для стабильного процесса выборки из процесса в любой момент времени являются случайными выборками из одной и той же генеральной совокупности.

Показатель воспроизводимости стабильного процесса может быть улучшен за счет сокращения или устранения части случайных причин и/или корректировки среднего в сторону предпочтительного значения.

**показатель пригодности процесса (process performance):** Статистический показатель выходной характеристики процесса, используемый для описания процесса, пребывание которого в состоянии статистической управляемости не подтверждено.

**показатель воспроизводимости процесса (process capability):** Статистический показатель процесса, находящегося в состоянии статистической управляемости, который позволяет оценить способность процесса поддерживать выходную характеристику качества процесса на уровне установленных для нее требований.

Показатели возможностей характеризуют потенциальные и фактические возможности процесса удовлетворять установленным техническим допускам для значений выходного показателя качества, измеряемого по количественному признаку.

Для применения показателей возможностей должны быть выполнены следующие условия:

- индивидуальные значения показателей качества отдельных единиц продукции должны подчиняться нормальному закону распределения или близкому к нему;
- предварительно должна быть проведена оценка стабильности процесса;
- изменчивость результатов измерений, обусловленная измерительной системой, а не только погрешностью измерительных приборов, должна быть мала по сравнению с техническим допуском.

Показатели возможностей используют для следующих целей:

- предконтрактный анализ потенциальных возможностей поставщика удовлетворять требования потребителя;
- установление в контрактах (договорах на поставку) требований к процессам;
- планирование качества разрабатываемой продукции;



- приемка процессов на основе опытных партий;
- аттестация процессов;
- планирование приемочного контроля;
- планирование непрерывного улучшения процессов;
- аудиты второй стороной и внутренние аудиты процессов.

### 3. ПРИГОДНОСТЬ ПРОЦЕССА, ПАРАМЕТРЫ И ИНДЕКСЫ

Понятия воспроизводимости и пригодности процессов всегда вызывали дискуссии. Основная тема дискуссий состояла в том, чтобы с философской точки зрения отделить то, что названо условиями воспроизводимости и условиями пригодности. Основным признаком отличия является наличие состояния статистической управляемости процесса (воспроизводимость) или его отсутствие (пригодность). Это соответствует двум наборам индексов. Необходимо четко различать эти понятия, так как часто неправильное определение индексов вводит в заблуждение относительно возможностей организации и ее процессов.

**Условия пригодности (процесса) (*performance conditions*):** Внешние условия, при которых проведена оценка параметров процесса.

Внешние условия должны быть тщательно установлены. Они включают:

- технические условия (качество исходных материалов, оборудования, инструментов и т.п., а также индивидуальные особенности операторов);
- процессы измерений (разрешающая способность приборов, условия правильности, повторяемости, воспроизводимости и т.п.);
- способы отбора данных (периодичность, частота).

Условия пригодности являются минимально допустимыми.

**Параметр пригодности процесса (*performance measure*):** Статистический показатель, определяемый на основе выходной характеристики процесса, используемый для описания процесса, пребывание которого в состоянии статистической управляемости не подтверждено (дисперсия, мат. ожидание, опорный интервал распределения характеристики). Выходная характеристика процесса — случайная величина, для которой необходимо определить вид распределения и оценить его параметры.

**Индекс пригодности,  $P_p$ ,  $P_m$  (*performance index*):** Величина, характеризующая меру пригодности процесса относительно установленного поля допуска.

Обычно индекс пригодности процесса  $P_p$ , выражают в виде длины интервала требований (поля допуска), деленной на длину опорного интервала характеристики продукции :

$$P_p = \frac{U - L}{x_{99.865\%} - x_{0.135\%}}$$

Для нормального распределения для опорного интервала равна  $6\sigma$ . где  $S$ , позволяет учесть изменчивость, вызванную случайными (общими) причинами, а также всеми специальными причинами, которые могут присутствовать. Оценка  $S$ ,

использована вместо  $\sigma$ , поскольку истинное стандартное отклонение, как правило, неизвестно.

**Верхний индекс пригодности процесса  $P_{pkU}$ ,  $P_{mkU}$  (*upper performance index*):** Индекс пригодности процесса относительно верхней границы поля допуска  $U$ .

Верхний индекс пригодности процесса  $P_{pkU}$  выражают в виде разности верхней границы поля допуска и 50%-ой квантили распределения  $X$ , деленной на разность верхней границы опорного интервала характеристики продукции и 50%-ой квантили распределения  $X_{50\%}$  :

$$P_{pkU} = \frac{U - x_{50\%}}{x_{99.865\%} - x_{50\%}}$$

Иногда верхний индекс пригодности процесса определяют в виде^

$$P_{pkU} = \frac{U - x_{50\%}}{3S_t}$$

где  $X_{50\%}$  - параметр положения, такой как математическое ожидание (среднее) или медиана распределения, а  $S_t$  - оценка стандартного отклонения распределения по выборке объема  $n$ .

**Нижний индекс пригодности процесса,  $P_{pkL}$ ,  $P_{mkL}$  (*lower performance index*):** Индекс пригодности процесса относительно нижней границы поля допуска  $L$ .

Обычно нижний индекс пригодности процесса  $P_{pkL}$  выражают в виде разности 50%-ой квантили распределения  $X_{50\%}$  и нижней границы поля допуска, деленной на разность 50%-ой квантили распределения  $X_{50\%}$  и нижней границы опорного интервала характеристики продукции:

$$P_{pkL} = \frac{x_{50\%} - L}{x_{50\%} - x_{0.135\%}}$$

Иногда нижний индекс пригодности процесса определяют в виде

$$P_{pkL} = \frac{x_{50\%} - L}{3S_t}$$

где  $X_{50\%}$  - параметр положения, такой как математическое ожидание (среднее) или медиана распределения, а  $S_t$  - оценка стандартного отклонения распределения по выборке объема  $n$ .

#### 4. ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ ПРОЦЕССА, ПАРАМЕТРЫ И ИНДЕКСЫ

**Условия воспроизводимости (процесса) (*capability conditions*):** Внешние условия, при которых проводилась оценка процесса.

Внешние условия должны быть точно установлены. Они включают:

- методы, применяемые для демонстрации того, что процесс является управляемым;
- технические условия (качество исходных материалов, оборудование, инструменты и т.п.. а также индивидуальные особенности операторов);

- процессы измерений (разрешающая способность приборов, условия правильности, повторяемости, воспроизводимости, и т.п.);
- способы отбора данных (периодичность, частота).

Условия воспроизводимости процесса более ограничительные, чем условия пригодности.

**Воспроизводимость процесса (capability):** Способность процесса (организации, системы) производить продукцию, удовлетворяющую установленным требованиям.

**Оценка воспроизводимости процесса (process capability estimate):** Статистическая оценка выходной характеристики процесса, для которого подтверждено состояние статистической управляемости (стабильности), характеризующая возможности процесса по изготовлению продукции, характеристика которой удовлетворяет установленным требованиям.

В результате действий по определению оценки воспроизводимости процесса определяют распределение, вид которого необходимо определить, а параметры оценить.

**Параметр воспроизводимости процесса (capability measure):** Величина, характеризующая одно или несколько свойств распределения характеристики продукции в условиях воспроизводимости.

1. Дисперсия распределения характеристики продукции в условиях воспроизводимости процесса.
2. Среднее распределения характеристики продукции в условиях воспроизводимости процесса.
3. Опорный интервал распределения характеристики продукции в условиях воспроизводимости процесса.

**Индекс воспроизводимости процесса,  $C_p$  (process capability index):** Индекс, характеризующий воспроизводимость процесса относительно установленного поля допуска.

Часто индекс воспроизводимости процесса выражают в виде длины интервала требований, деленной на длину опорного интервала для процесса в состоянии статистической управляемости:

$$C_p = \frac{U - L}{x_{99.865} - x_{0.135}}$$

Для нормального распределения длина опорного интервала равна  $6\sigma$ .

**Верхний индекс воспроизводимости процесса,  $C_{pku}$  (upper process capability index):** Индекс, характеризующий воспроизводимость процесса относительно верхней границы поля допуска.

Обычно верхний индекс воспроизводимости процессу выражают в виде разности верхней границы поля допуска и 50%-ой квантили распределения  $X_{50\%}$ , деленной на длину верхнего опорного интервала процесса в состоянии статистической управляемости:

$$C_{pkU} = \frac{U - x_{50\%}}{x_{99.865\%} - x_{50\%}}$$

Для нормального распределения длина верхнего опорного интервала равна  $3\sigma$ , а  $x_{50\%}$  представляет собой среднее и медиану:

$$C_{pkU} = \frac{U - x_{50\%}}{3\sigma}$$

**Нижний индекс воспроизводимости процесса,  $C_{pkL}$  (lower process capability index):** Индекс, характеризующий воспроизводимость процесса относительно нижней границы поля допуска.

Часто нижний индекс воспроизводимости процесса выражают в виде разности 50%-ой квантили распределения  $x_{50\%}$  и нижней границы поля допуска  $L$ , деленной на длину нижнего опорного интервала процесса в состоянии статистической управляемости

$$C_{pkL} = \frac{x_{50\%} - L}{x_{50\%} - x_{0.135\%}}$$

Для нормального распределения длина нижнего опорного интервала равна  $3\sigma$ ,  $x_{50\%}$  представляет собой среднее и медиану

$$C_{pkL} = \frac{x_{50\%} - L}{3\sigma}$$

**Статистика воспроизводимости (процесса),  $QCS$  (quality capability statistic.  $QCS$ ):** Статистика, позволяющая количественно охарактеризовать воспроизводимость процесса по характеристике качества.

## 5. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

Индексы воспроизводимости и пригодности описывают свойства хвостов распределений характеристик продукции. Различным семействам распределений соответствуют различные свойства и поэтому оценки индексов сильно зависят от выбранного распределения. Таким образом, распределение должно быть выбрано правильно.

На первом этапе следует определить объем выборки и частоту ее отбора, которые необходимы для анализа процесса.

Общий объем выборки, на которой основаны вычисления, следует выбирать в зависимости от желаемого уровня доверия, точности и типа исследуемого процесса, выбранный объем должен обеспечивать достоверность статистического анализа. Обычно общий объем данных составляет более 100 наблюдений.

В случаях, когда предполагают, что данные подчиняются не нормальному распределению, необходимо существенно увеличить объем выборки для определения вида соответствующего распределения. Это может потребовать увеличения количества данных на 50 %.

При записи результатов измерений важно добавить некоторые указания о качестве этих результатов. Неопределенность всегда присутствует в результатах измерений исследуемых характеристик, ее следует оценить.

Требования к воспроизводимости процесса измерений, установленные в ИСО 22514-7,  $C_{MP} \geq 1,33$ . Если процесс измерений соответствует  $C_{MP}$ , менее 1,33, то такой процесс не следует использовать в его текущем состоянии.

Выбросы представляют собой подмножество наблюдений из набора данных, которые заметно отличаются от остальных данных. Часть данных может принадлежать другой совокупности или быть результатом неправильной их регистрации или большой погрешности измерений.

Существуют сомнения в том, что они принадлежат к той же генеральной совокупности, что и остальные данные. Этот вопрос необходимо исследовать. Использование выбросов может привести к ошибочным выводам о фактической изменчивости процесса.

Для выявления выбросов используют анализ временных рядов, контрольные карты или статистические критерии.

## 6. АНАЛИЗ ПРИГОДНОСТИ И ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ПРОЦЕССА

Шесть различных типов пригодности и воспроизводимости процесса

В настоящее время определено шесть различных видов пригодности и воспроизводимости процесса:

1. пригодность машины (оборудования);
2. «предварительная» пригодность процесса;
3. «текущая» воспроизводимость процесса;
4. пригодность измерительного оборудования;
5. параметр положения пригодности - пригодность многомерных характеристик;
6. пригодность альтернативных данных.

Иногда они необходимы для вычисления индексов воспроизводимости.

Первые три типа из приведенного списка принадлежат одной группе. Главное различие между ними состоит в выборе момента времени проверки и, таким образом, базы для вычисления стандартного отклонения.

Метод оценки воспроизводимости и пригодности процесса состоит из четырех этапов.

**Этап 1.** Данные, полученные при отборе выборки, изображают на графике в виде гистограммы (рисунок 9).

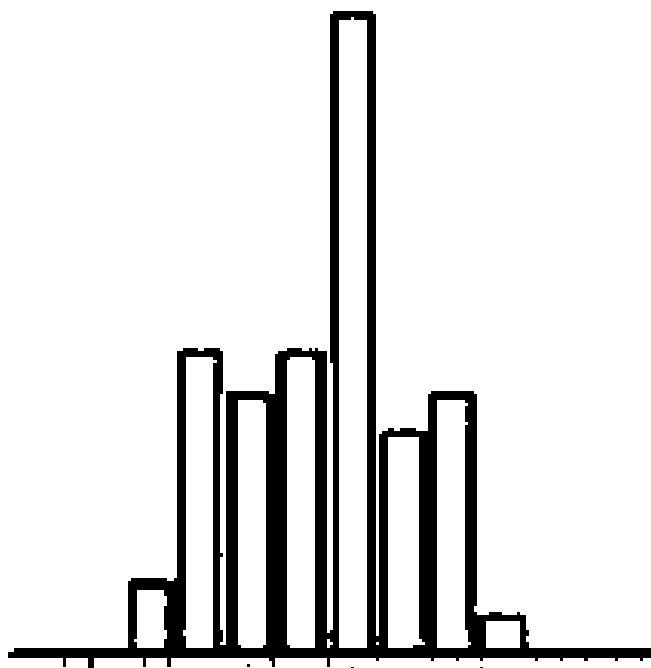


Рисунок 9 - Гистограмма

**Этап 2.** Выбирают соответствующую статистическую модель распределения на основе фактических данных и знания процесса (Рисунок 10).

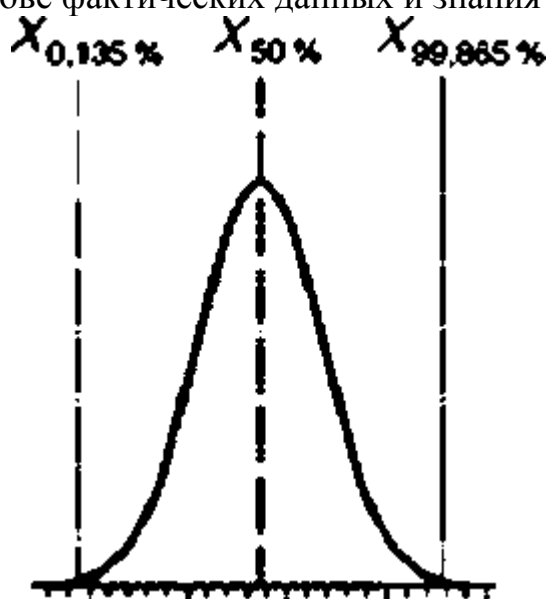


Рисунок 10 - Распределение

**Этап 3.** Идентифицируют границы поля допуска для выбранной характеристики\ (Рисунок 10).

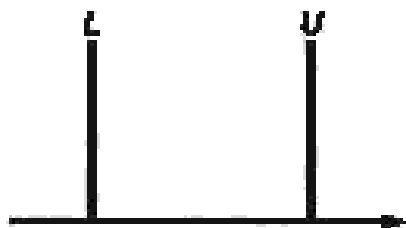


Рисунок 10 - Границы поля допуска

**Этап 4.** Сопоставляют интервал требований и выбранное распределение (Рисунок 11)

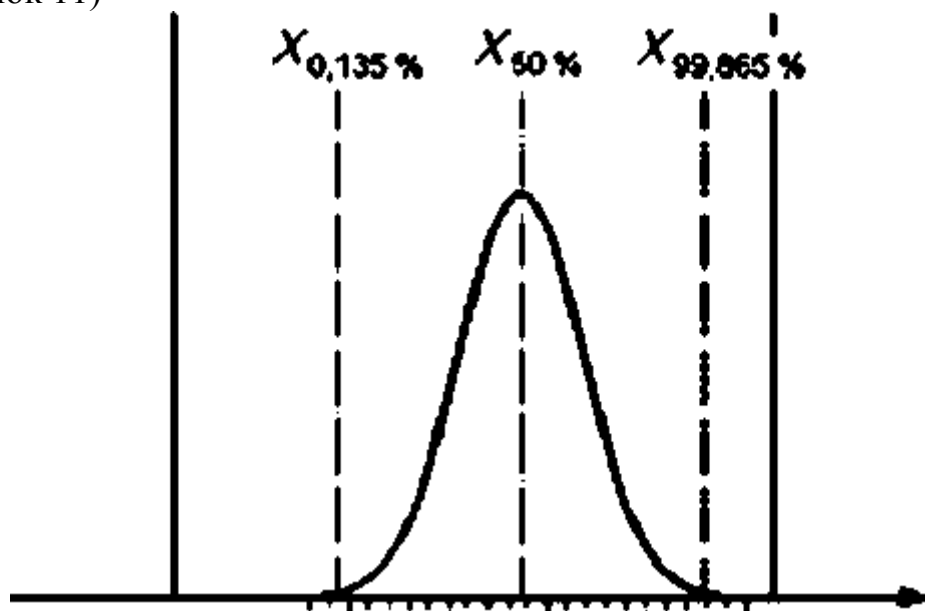


Рисунок 11 - Сопоставление в соответствии с этапом 4.

Различные виды пригодности и воспроизводимости процесса показаны на рисунках 12 и 13.

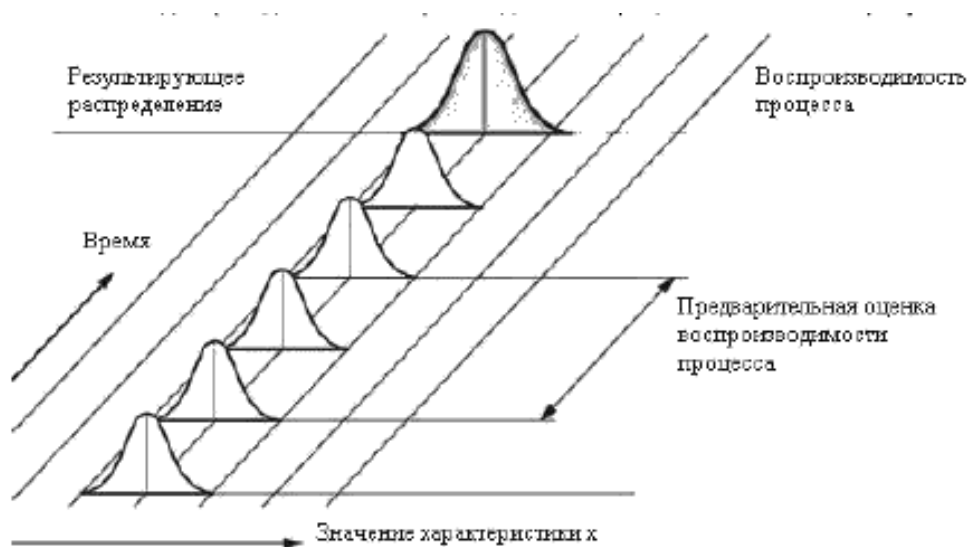


Рисунок 12 - Стабильный процесс и его воспроизводимость

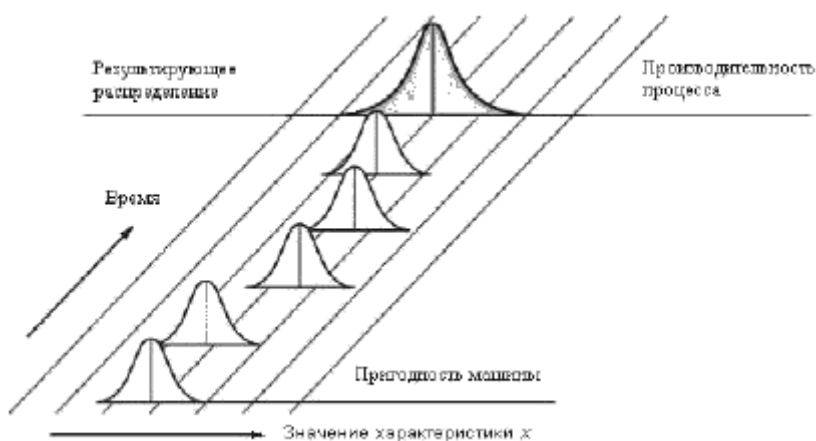


Рисунок 13 - Нестабильный процесс и его пригодность

Анализ воспроизводимости процесса может быть выполнен в разные моменты времени.

Если установлены односторонние требования, например геометрические допуски, вычисляют только минимальный из индексов пригодности/воспроизводимости.

### 6.1. Пригодность машины

Анализ пригодности производственного оборудования также называют анализом «пригодности машины». Его выполняют для получения ранней оценки пригодности процесса в виде «снимка» процесса. Анализ также может быть использован для определения модели распределения, соответствующей функционированию процесса и пригодности машины. Метод может быть использован для сопоставления и оценки способности различного оборудования, используемого в процессе, соответствовать установленным требованиям. При анализе обычно не используют контрольные карты, поскольку для этого необходим продолжительный период наблюдений.



ГОСТ Р ИСО 22514-3-2015 Статистические методы. Управление процессами. Часть 3. Анализ пригодности машин на основе данных измерений единиц продукции.

ГОСТ Р ИСО 22514-8-2015 Статистические методы. Управление процессами. Часть 8. Пригодность машин для процессов с несколькими состояниями

## **6.2. Пригодность и воспроизводимость процесса**

Анализ пригодности и воспроизводимости процесса аналогичны, в процессе анализа проводится проверка области естественной изменчивости процесса в заданный период времени.

Пригодность и воспроизводимость процесса описывают распределение в течение продолжительного периода времени наблюдений. Они позволяют оценить возможности процесса по изготовлению продукции в соответствии с установленными требованиями или допусками.

Сначала проводят проверку нового или измененного процесса. Это позволяет на ранних стадиях получить информацию о качестве функционирования процесса. На этой проверке данные выборки должны быть нанесены на контрольную карту, используемую до получения результата.

Если собранные данные являются результатами измерения (для продукции или процесса), возможно определение естественной области изменчивости процесса. Если процесс находится в состоянии статистической управляемости, область изменчивости процесса (доля распределения) должна быть предсказуемой.

ISO 22514-4:2016 Статистические методы в управлении процессами. Воспроизводимость и пригодность. Часть 4. Оценки воспроизводимости процесса и критерии пригодности.

## **6.3 Параметр положения пригодности процесса**

Традиционные методы, используемые для анализа пригодности процесса, предназначены для одномерных распределений. В случае позиционного допуска в соответствии с ИСО 1101 в требованиях установлены границы отклонения осей относительно двух или более базовых точек. Результаты наблюдений подчиняются двумерному распределению, которое в этом случае следует использовать в качестве модели, описывающей выход процесса. Типичный пример - положение оси отверстия.

В общем случае для вычислений:

- анализируемую характеристику описывают данными, характеризующими положение оси (контролируемое) относительно двух координатных осей в виде пары чисел (оси координат должны быть перпендикулярны друг другу);
- устанавливают позиционные допуски в виде круговой, а не прямоугольной зоны допуска.

При анализе и вычислении индексов используют одни и те же определения одномерных (оцениваемых) характеристик и сопоставление данных о процессе с

соответствующими требованиями. В этом случае анализ сводится к сопоставлению эллипса, представляющего результаты процесса с эллипсом зоны допуска.

Данные измерений по двум осям должны быть исследованы на стабильность.

Для принятия решения по результатам наблюдений используют диаграмму разброса наблюдений. При этом проверяют расположение всех результатов наблюдений в зоне допуска. Распределение наборов данных должно быть исследовано для сегментации и выявления неслучайных точек.

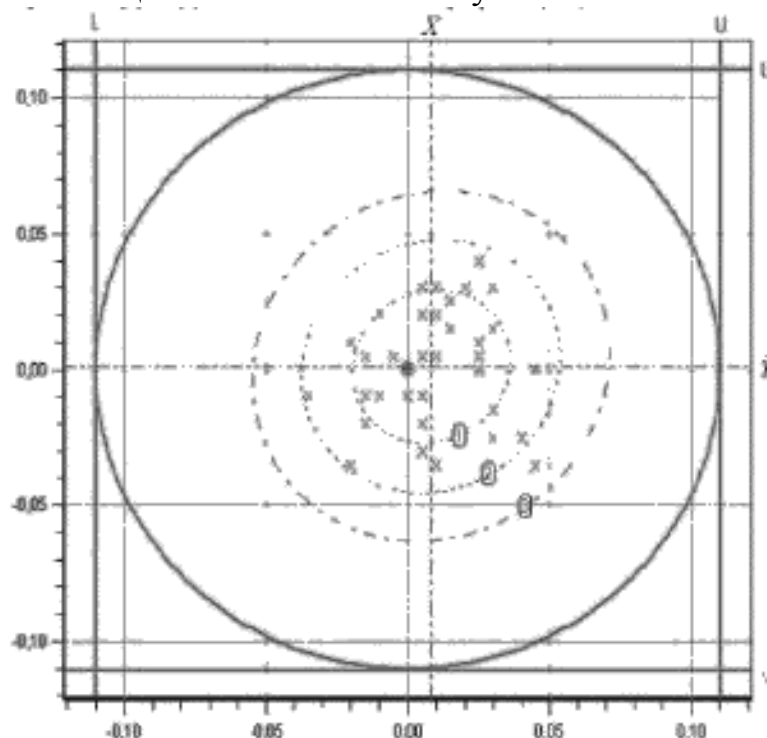


Рисунок 14 - Зона позиционного допуска

ГОСТ Р ИСО 22514-6-2014 Статистические методы. Управление процессами. Часть 6. Статистики воспроизводимости процесса для многомерного нормального распределения.

#### 6.4 Анализ измерительной системы

Набор методов, используемых для оценки неопределенности процесса измерений в диапазоне условий, в которых функционирует процесс, известен как анализ воспроизводимости процесса измерений. Процесс измерений анализируют, используя те же методы, что и при анализе процессов.

ГОСТ Р ИСО 22514-7-2014 Статистические методы. Управление процессами. Часть 7. Воспроизводимость процессов измерений

Понимание того, что изменчивость, соответствующая процессу измерений, всегда присутствует и необходимо получение информации о факторах, вызывающих эту изменчивость, является основой анализа процесса. Если изменчивость измерительной системы относительно общей изменчивости процесса измерений является большой, необходимо сократить количество компонентов

неопределенности, влияющих на измерительную систему измерений, до начала анализа влияния этих компонентов на процесс.

Исследование процесса измерений часто подразделяют на несколько типов:

1. проверка на смещение, линейность и стабильность;
2. исследование GRR (сходимости и воспроизводимости измерительной системы);
3. особое исследование (тип III), используемое для определения повторяемости при отсутствии влияния оператора;
4. определение различных дополнительных факторов, влияющих на процесс измерений.

Анализ процесса измерений обеспечивает эффективный способ выбора процесса измерений и оборудования. Он также обеспечивает основу для сравнения и уменьшения различий результатов измерений путем определения изменчивости процесса измерений.

### 6.5. Индексы пригодности и воспроизводимости

Различные типы пригодности и воспроизводимости могут быть представлены с помощью индекса, связывающего текущий процесс с областью допуска. Часто используют индекс воспроизводимости  $C_p$ , равный отношению разности границ полного интервала требований к разности границ опорного интервала для характеристики продукции (в случае нормального распределения это  $6\sigma$ ). Эта величина является мерой теоретической воспроизводимости процесса, у которого среднее расположено точно посередине между границами поля допуска.

Часто используют также индекс  $C_{pk}$ , который характеризует фактическую воспроизводимость процесса, среднее которого не обязательно расположено посередине между границами поля допуска.

Если процесс находится в состоянии статистической управляемости, то следует использовать индексы  $C_p$  и  $C_{pk}$ , в противном случае следует использовать индексы  $P_p$  и  $P_{pk}$ .

При выполнении анализа оборудования следует использовать индексы  $P_m$  и  $P_{mk}$ .

Как следствие, существуют различные ситуации, в которых используют и другие индексы, имеющие более подходящие свойства для этих ситуаций (например, в случае распределений отличных от нормального). Одним из них является индекс  $C_{pm}$ , который вычисляют по формуле:

$$C_{pm} = \frac{d}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} = \frac{d}{6\sqrt{E[(X - T)^2]}} \sigma_x^2$$

где  $T$  - целевое значение;

$d$  - разность границ интервала требований;

$E[.]$  - математическое ожидание.

Если данными процесса являются данные контроля по альтернативному признаку (например, процент или число несоответствующих единиц продукции),

пригодность процесса равна доле или частоте несоответствующих единиц продукции

$$C_p = \frac{z_{1-p}}{3}$$

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. ГОСТ Р ИСО 11462-1-2007 Статистические методы. Руководство по внедрению статистического управления процессами. Часть 1. Элементы. Введен впервые. Дата введения 01.09.2007 – М.: Стандартинформ, 2007
2. ГОСТ Р ИСО 11462-2-2012 Статистические методы. Руководство по внедрению статистического управления процессами. Часть 2. Методы и приемы. Введен впервые. Дата введения 29.11.2012 – М.: Стандартинформ, 2014
3. ГОСТ Р ИСО 22514-1-2015 Статистические методы. Управление процессами. Часть 1. Общие принципы. - М.: Стандартинформ, 2016.
4. ГОСТ Р ИСО 22514-2-2015 Статистические методы. Управление процессами. Часть 2. Оценка пригодности и воспроизводимости процесса на основе модели его изменения во времени. - М.: Стандартинформ, 2016.
5. ГОСТ Р ИСО 22514-7-2014 Статистические методы. Управление процессами. Часть 7. Воспроизводимость процессов измерений. - М.: Стандартинформ, 2015.
6. Ю. М. Быков Анализ точности и стабильности процессов : учеб. Пособие - Волгоград : Изд-во ВолгГТУ, 2010
7. Ю.В. Васильков Статистические методы в управлении предприятием: доступно всем / Ю. В. Васильков, Н. Иняц. - М.: Стандарты и качество, 2008
8. Я. С. Гродзенский Статистические методы контроля и управления качеством : учеб. Пособие - М.: Изд-во МИРЭА, 2011

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Что такое процесс?
2. Какие факторы влияют на процесс?
3. Зачем проводят анализ процесса?
4. В чем суть показателя возможности?
5. Что такое «модели процесса, зависящего от времени»?
6. Какие модели вы знаете?
7. В чем суть Модели А?
8. Как ведет себя параметр изменчивости в Модели В?
9. Какими параметрами характеризуется Модель С?
10. Приведите пример Модели D.
11. Приведите пример гистограммы, характеризующую Модель А.
12. Как может выглядеть карта Шухарта процесса по Модели В?
13. Особенность графического отображения Модели С.

14. Как вы понимаете фразу «Общая причина вариабельности процесса»?
15. Какие причины вариабельности процесса можно назвать Специальными?
16. Что такое изменчивость процесса?
17. Дайте формулировку термина «Стабильный процесс».
18. Что характеризуют показатели возможности процесса?
19. Условия для применения показателей возможности процесса.
20. Цели использования показателей возможности процесса.
21. Назовите условия пригодности процесса.
22. Что такое «Параметр пригодности процесса»?
23. Приведите формулу Индекса пригодности процесса.
24. Назовите условия воспроизводимости процесса.
25. Что такое «Параметр воспроизводимости процесса»?
26. Приведите формулу Индекса воспроизводимости процесса.
27. В чем отличие Индекса пригодности и Индекса воспроизводимости?
28. Условия применения Индексов.
29. Назовите требования к воспроизводимости процесса измерений, установленные в ИСО 22514-7.
30. Перечислите различные виды пригодности и воспроизводимости процесса.
31. Назовите основные этапы метода оценки воспроизводимости и пригодности процесса.
32. В чем суть параметра «Пригодность машин»?
33. Особенности параметра «Пригодность и воспроизводимость процесса».
34. Порядок определения «Параметра положения пригодности процесса».
35. Для чего используется «Анализ измерительной задачи»?