

**STATISTICAL
METHODS
FOR QUALITY
IMPROVEMENT**

HITOSHI KUME

THE ASSOCIATION FOR OVERSEAS
TECHNICAL SCHOLARSHIP
(AOTS)

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА

Под редакцией
ХИТОСИ КУМЭ

Перевод с английского
и дополнение
Ю.П. АДЛЕРА
Л.А. КОНАРЕВОЙ



МОСКВА
„ФИНАНСЫ И СТАТИСТИКА“
1990

ББК 16.2.9
С78

Статистические методы повышения качества: Пер. С78с англ./Под ред. Х.Кумэ. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 304 с.: ил.

ISBN 5-279-00441-3.

В книге японских авторов реализованы передовые методики массового обучения персонала промышленных предприятий методам анализа дефектов и совершенствования технологий. Книга рассчитана на практическое овладение универсальными методами контроля качества и регулирования технологических процессов: построение кривых Парето, диаграмм причин и результатов и диаграмм рассеивания, гистограмм, контрольных карт. Материал изложен просто, ясно, не требует специальной математической подготовки.

С $\frac{0702000000-097}{010(01)-90}$ 109-90

ББК 16.2.9

ISBN 4-906224-34-2 (англ.)

© The Association for Overseas Technical Scholarship, 1985

ISBN 5-279-00441-3 (рус.)

© Ю.П. Адлер, Л.А. Конарева, перевод на русский язык, дополнение, 1990

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Техника и технология обязаны своим возникновением законам естественных наук. На этих законах базируются технические разработки, их органическая комбинация, используемая в промышленной технологии, позволяет достичь определенной цели. Возьмем, к примеру, автомобиль. В его проектировании и производстве применяется совокупность различных законов таких наук, как термодинамика, прикладная механика, теория электромагнетизма, металлургия и химия. Эти многочисленные законы взяты как из фундаментальных естественных наук, так и из здравого смысла, заимствованного из повседневной жизни. В заводской практике применяется огромное число научных законов. Некоторые из них известны широкой публике, другие защищены патентами. В их число входит также и то, что составляет корпоративные секреты и известно под названием "know-how". Отдельные законы были открыты рабочими прямо в цехе. Можно сказать, что разумное использование в технологии различных законов, описанных выше, обеспечивает экономичное производство изделий, выполняющих определенную функцию.

Стремительное познание естественных законов привело к созданию современной технической системы, наивысшими достижениями которой являются ракеты, запущенные на Луну, производство атомной энергии, биотехнология, разработки с использованием сверхпроводимо-

сти и т.д. Именно благодаря такому большому прогрессу кажется, будто бы каждое явление уже осмыслено. На самом деле большинство явлений все еще не понято. Например, невозможно достаточно точно предсказать, куда опустится тонкий лист бумаги, падающий с высоты. Эту, кажущуюся такой простой задачу мы не в состоянии решить даже сейчас, в век, когда стал возможным запуск ракеты на Луну. Поэтому не будет преувеличением сказать, что никто не знает, будет ли конкретный метод проектирования и производства изделия действительно необходимым и достаточным для обеспечения его применения в различных ситуациях. Некоторые его составляющие могут оказаться недостаточно конструктивно проработанными, в других выявятся лишние детали. Поскольку существующий объем знаний и опыт далеки от того, чтобы решить подобную проблему с максимальной полнотой в целях более рационального производства, существуют бесконечные возможности для усовершенствований. На данном этапе развития нужно не только использовать существующие законы, но и открывать новые. И в этом деле эксперименты, проводимые либо при исследованиях и разработках, либо в заводском производстве, играют важную роль.

Основное условие, превращающее какие-либо явления в закон, — воспроизводимость. Это означает, что если что-то повторяется в тех же условиях, то и результаты будут одинаковыми. Мы говорим, что открыли закон, если обнаружили явление, которое непременно произойдет при определенных условиях. Таким образом, кажется, что естественный закон описать очень просто, но в действительности существует бесконечное число случаев, тогда как известные нам факты всегда ограничены. Выявить закон, применимый к бесконечному числу ситуаций, рас-

полагая ограниченным числом фактов, — непростая задача. Это подобно задаче воспроизведения формулы неизвестной кривой по конечному числу точек. Можно нарисовать множество кривых, проходящих через данные точки. Кроме того, даже если мы знаем столько фактов, сколько хотим, возможны многие варианты их интерпретации и объяснения. Обычно они называются гипотезами. Для того чтобы определить, какая же гипотеза верна, нужно либо собрать дополнительные факты, либо искусственно создать возможность экспериментальной проверки. Если же мы окажемся ленивы, то могут возникнуть предрассудки.

Вообще говоря, основные причины неудач в производстве — несовершенная работа и неполные знания. Это, кстати, относится не только к производству, возможно, это основные причины всех проблем в мире. В отношении неполноты знаний существуют две ситуации: люди либо признают, что у них недостаточно знаний, либо не признают. Многие беды возникают во втором случае. Если люди осознают, что они не очень хорошо разбираются в ситуации, они могут провести исследование или эксперимент в попытке обнаружить то, чего они не понимают. Когда же люди уверены в своей правоте, даже если недостаточно хорошо понимают ситуацию, то решать проблемы не просто.

Одна из причин этого состоит в том, что факты часто путают с суждениями. Люди склонны принимать нечто, к чему они имеют отношение, за факты. Это похоже на китайскую сказку, в которой слепцы ощупывали слона. Тот, кто трогал хобот, был убежден, что слон — это некий длинный предмет, подобный трубе, в то время как у другого человека, притронувшегося к бивню, возникало ощущение, что слон — что-то твердое и острое. Мы должны постоянно спрашивать себя, а верны ли наши суждения, и, по

возможности, "ощупывать слона" так, чтобы постепенно составить правильную картину. Если вместо этого мы упрямо будем настаивать на сложившемся представлении о том, что есть "слон", принимать это субъективное суждение за абсолютный факт и на этой основе строить работу и производить операции, то неизменно будут возникать дефекты, и их число не уменьшится, пока мы не изменим ошибочного суждения.

Пример 1. Ветровые стекла автомобилей.

При совместной обработке двух заготовок листов безосколочного стекла в них возникли затемненные места, поскольку стекла не прилегали плотно друг к другу, в результате около 10 % ветровых стекол оказались дефектными.

Предполагали, что причина дефектов заключается в том, что на заводе-поставщике в процессе гибки стекол не обеспечивалась единая конфигурация, и управляющих заводом попросили усилить контроль за процессом гибки. В ходе анализа, предпринятого с целью уменьшения дефектов, собрали данные. Когда исследовали места расположения дефектов, то оказалось, что они все сосредоточены в правой части стекол. Стало ясно, что поставщик не причастен к возникновению дефектов. Причиной их появления была неисправность пресса на заключительной операции, в результате чего в двух половинах стекол давление распределялось неравномерно. Когда отрегулировали давление, исчезли и дефекты.

Пример 2. Магнитная лента.

Некоторая часть выпускаемой на заводе магнитной ленты оказалась покоробленной. Думали, что причина этого — повышенная влажность, так как большое число дефектов появлялось в дождливые дни. Для исправления дефектов ленту стали сушить с помощью инфракрасных

лучей. Однако, когда начали исследовать взаимосвязь между возникновением дефектов и числом катушек, наматываемых в процессе резки ленты, выявилась истинная корреляция. Стало ясно, что причина деформации ленты — не влажность, а напряжение, вызванное затуплением режущего инструмента. Установив норму на использование режущего инструмента, его стали подзачивать и дефекты деформации ленты исчезли.

Один из путей познания — осмысление законов, которым подчиняется явление. Как уже было сказано, необходимым условием превращения каких-либо явлений в закон служит воспроизводимость результатов. Это означает, что если что-то осуществляется в тех же условиях, то и результаты будут одинаковыми. Однако практически невозможны идентичные операции в идентичных условиях. Нельзя воспроизвести еще раз тот же самый эксперимент, как бы тщательно ни были подготовлены условия и насколько бы точно ни измерялись результаты, потому что существуют ошибки, пусть даже минимальные. Усугубляет ситуацию то, что часто мы даже не можем создать абсолютно точные условия проведения эксперимента. Примером служит попытка определить, эффективно ли данное лекарство против определенной болезни. Тот факт, что кто-то выздоровел, принимая это лекарство, еще не доказывает его эффективности, поскольку выздоровление могло произойти и без лекарства. Но поскольку человек все-таки употреблял лекарство, то невозможно сравнить эту ситуацию с той, которая сложилась бы, если бы лекарство не употреблялось. Если два человека страдают одной и той же болезнью, которая протекает при абсолютно идентичных условиях, и один из них принял лекарство и выздоровел, а другой не принял и не поправился, тогда можно оценить эффективность лекарства. Но в действи-

тельности подобного рода ситуации не могут возникнуть. В таком случае мы попытаемся решить проблему с помощью статистических методов. Это предполагает и попытку сделать условия как можно более одинаковыми. Если же нельзя достичь однородности в некоторых условиях, то они рандомизируются, и эксперименты проводятся на многих выборках. Затем полученные результаты оцениваются с единой точки зрения и выявляются общие тенденции. Важно рассматривать явления со статистических позиций. Вот максимы статистического образа мышления:

1. Больше доверяйте конкретным фактам, а не абстрактным идеям.

2. Выражайте факты в количественной форме, непосредственно связанной с применением конкретных процедур измерения, а не с помощью слов или эмоций.

3. Осознавайте, что наблюдения всегда ведутся над частью целого и их результаты содержат ошибки и отклонения.

4. Принимайте устойчивую тенденцию, выявленную в результате многочисленных наблюдений, в качестве надежной информации или знания.

Поскольку эксперименты, проверяющие гипотезы, как правило, нельзя поставить в одинаковых условиях, то естественные законы, которые мы можем познать, в широком смысле могут рассматриваться как законы, основанные на статистике. Естественные науки – это механизм познания природы с точки зрения ее законов. Упорядочение большого числа отдельных фрагментарных явлений, абстрактное рассмотрение их наиболее существенных черт, понимание этих явлений как законов – процессы такого познания. В этих процессах осознанно или бессознательно применяется статистическая обработка: сам

факт установления естественных законов имеет статистическую природу. Проблема познания, заключающаяся в рассмотрении группы отдельных явлений в качестве единого целого, тоже относится к разряду статистических. Конечно, нельзя ожидать, что даже интенсивное применение статистических методов обеспечит "совершенное" познание, поскольку, как было сказано ранее, естественные законы применимы к бесконечному числу ситуаций, а факты, которыми мы располагаем, ограничены. Однако, вне всякого сомнения, статистические методы служат мощным средством получения точных знаний и выявления реальных естественных законов, и мы должны стремиться использовать статистические методы в этих целях.

Если объекты исследования представляют собой не естественные явления, а процессы производства, вступает в действие статистический контроль качества. Принципиальной разницы между естественными науками и статистическим контролем качества нет, поскольку в обоих случаях объект рассматривается с точки зрения естественных законов. Однако если естественные науки ограничиваются пониманием законов, то с помощью статистического контроля качества делается попытка применить эти законы для создания новых материальных ценностей. Под ними понимается производство продукции, соответствующей требованиям потребителя, наиболее экономичным путем. С этой целью применяются разнообразные естественные законы. В управлении качеством контроль должен дополняться применением знаний не только для понимания объектов исследования, но и для выработки мероприятий по повышению качества.

Эффективность промышленного производства зависит от того, применяются ли должным образом естественные научные законы.

Поскольку действие самих законов не зависит от обычаев и традиций человеческих обществ, эффективное промышленное производство достижимо в любой стране вне зависимости от системы общественного производства. В книге описывается, как с помощью науки можно улучшать качество производственных процессов. Авторы полагают, что в любой стране она будет такой же полезной, какой она стала в Японии.

Я рад, что книга переводится на русский язык. Моя радость станет еще больше, если русское издание книги поможет повысить качество продукции и эффективность промышленного производства в вашей стране.

Главы написаны следующими авторами, но ответственность за опечатки и ошибки лежит на редакторе.

Глава 1. Введение	Хитоси Кумэ
Глава 2. Как получать информацию	Йосинори Иизука
Глава 3. Анализ Парето	Такенори Такахаси
Глава 4. Диаграммы причин и результатов	Такенори Такахаси
Глава 5. Гистограммы	Такенори Такахаси
Глава 6. Диаграммы рассеивания	Масахико Мунетика
Глава 7. Контрольные карты	Сейдзиро Осимура
Глава 8. Аддитивность дисперсий	Хитоси Кумэ
Глава 9. Введение в теорию статистического вывода	Йосинори Иизука
Глава 10. Замкнутый цикл управления качеством	Такенори Такахаси, Хитоси Кумэ
Эпилог	Хитоси Кумэ

Я хотел бы особо поблагодарить Ивао Огава из AOTS, Нобутада Такебаяси и Хидео Йосихара из AOTS Chosakai Ltd. за проявленный энтузиазм и большую работу. Без их помощи книга и по сей день оставалась бы моей мечтой.

Хитоси Кумэ, редактор
16 ноября 1988 года
Токийский университет

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Каору Исикава

*Президент промышленного института Мусаси,
заслуженный профессор Токийского университета*

Я испытываю большое удовольствие от того, что AOTS¹ собирает весьма своевременно опубликовать книгу "Статистические методы повышения качества" под редакцией профессора Хитоси Кумэ.

Со всех концов света люди приезжают сегодня в Японию изучать систему всеобщего управления качеством и систему управления качеством, охватывающую всю деятельность фирмы. Опыт Японии изучается и внедряется во всем мире.

¹ Ассоциация по техническому обучению зарубежных специалистов (AOTS) была основана в 1959 г. Это – бесприбыльная организация, учрежденная с целью содействия техническому сотрудничеству и налаживанию дружественных отношений между Японией и развивающимися странами, оказания помощи последним в развитии промышленности и экономики. К 1985 г. в AOTS прошли подготовку свыше 30 тыс. специалистов из более чем 140 стран и регионов. Деятельность AOTS финансируется посредством субсидий японского правительства, взносов частных фирм и из других источников.

AOTS организует следующие курсы, цель которых – знакомство с теорией и практикой управления фирмой, контроля производства и т.д.: Семинар по общим вопросам управления бизнесом, рассчитанный на одну неделю; программа обучения по вопросам управления

Методы статистики – именно то средство, которое необходимо изучить, чтобы внедрить управление качеством. Они – наиболее важная составная часть комплексной системы всеобщего управления качеством на фирме. В японских корпорациях все, начиная от председателя Совета Директоров и до рядового рабочего в цехе, обязаны знать хотя бы основы статистических методов. Даже начинающий найдет, что книга "Статистические методы повышения качества" легка для понимания и использования.

Большинство книг по статистическим методам контроля качества, изданных как в Японии, так и за рубежом, написаны специалистами по статистике и предназначены для опытных статистиков, начинающий студент не в состоянии уловить суть приводимых объяснений. Материал, изложенный в этой книге, написан не статистиками, а людьми, непосредственно занятыми обучением методам всеобщего управления качеством и их внедрением. Опыт авторов позволяет им наиболее просто передать свои знания новичкам. Добиваясь наилучшего усвоения, они приводят много простых примеров решения практических проблем.

Каждый служащий японской корпорации, используя статистические методы для анализа и контроля процессов,

корпорацией, рассчитанная на две недели; программа обучения управлению с учетом различий в культуре разных стран, рассчитанная на три недели; трехнедельная программа обучения по вопросам управления качеством; шестинедельный курс подготовки в области контроля качества; шестинедельный курс подготовки в области управления производством; специальный курс подготовки управляющих (программа составляется в зависимости от запросов обучающихся или же в соответствии со специальными проблемами, выдвигаемыми компанией, организующей подготовку).

тем самым способствует повышению качества, эффективности производства и снижению затрат. Полагаю, что эта книга будет полезна не только людям, связанным с деятельностью Ассоциации по техническому обучению иностранных специалистов, но и любому человеку в каждой стране с целью повышения качества и выпуска продукции, обладающей высокой конкурентоспособностью на мировых рынках.

Глава 1

ВВЕДЕНИЕ

1.1. РОЛЬ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

1.1.1. Каковы причины выпуска дефектных изделий?

Одна за другой заготовки поступают на конвейер. В конце конвейера упаковочная машина непрерывно пакует изделия и отправляет их на склад готовой продукции. Внимательный взгляд обнаруживает человека, стоящего между конвейером и упаковочной машиной. Он строго следит за потоком изделий и время от времени берет некоторые изделия и бросает их в корзину, стоящую у него за спиной. Это – дефектные изделия.

Подобную картину можно наблюдать на многих предприятиях. Поначалу эти отброшенные изделия рассматривали как потери продукции, но вскоре к ним стали относиться как к обычному явлению. Такое отношение к появляющимся дефектам не может быть решением проблемы, скорее, наоборот, – это шаг назад, отход от ее решения.

Как появляются дефектные изделия и что надо сделать, чтобы уменьшить их число?

Для сокращения числа дефектных изделий надо решительно поверить, что это возможно. Понятно, что одной веры здесь мало. Мы имеем в виду, что каждое конкретное дефектное изделие появилось в результате особых причин и только их выявление и устранение может помочь от них избавиться.

Многие думают, что дефектные изделия неизбежны, поскольку продукция должна удовлетворять жестким требованиям стандартов на качество, а факторы, ведущие к появлению дефектов, многочисленны. Однако, несмотря на различия в видах продукции и типах технологических процессов, причины появления дефектных изделий универсальны.

Изменчивость – вот в чем причина. Что будет, если изготавливать изделия из материалов одинакового качества на одинаковых станках, с помощью одних и тех же методов и проверять эти изделия совершенно одинаковым образом? Вне зависимости от того, сколько изделий будет изготовлено, все они должны быть идентичными, пока идентичны упомянутые четыре условия, т.е. либо все изделия будут соответствовать требованиям, либо не будут им соответствовать. Все изделия окажутся дефектными, если материалы, станки, методы изготовления или контроля будут ненадлежащими. В этом случае неизбежно появление одинаковых дефектных изделий. Если же никаких отклонений в перечисленных четырех условиях производства не будет, то все изделия должны быть "идентичными" – бездефектными.

Практически невозможно, чтобы все изделия оказались дефектными. Из всего объема выпуска только некоторые будут таковыми, в то время как остальные – доброкачественные. Иначе говоря, и те и другие перемешиваются.

Почему же наряду с бездефектными изделиями изготавливаются дефектные? Причины этого заключаются в изменениях *материалов, наладки станков, приемов работы и методов проверки*. Если бы не было перечисленных изменений, все изделия были бы идентичными, а их качество оставалось бы неизменным.

Давайте рассмотрим процесс гибки стальных листов.

На первый взгляд кажется, что все листы имеют одинаковую толщину, но если точно измерить, их толщина будет различной, причем даже в разных частях одного и того же листа. Если исследовать кристаллическую структуру разных частей листа, то окажется, что в форме кристаллов, состоящих из атомов железа, углерода и других, есть незначительные вариации. Эти различия, естественно, влияют на показатели качества. Даже если используется один и тот же метод гибки, листы не будут изгибаться одинаковым образом, а в некоторых даже могут появиться трещины.

Теперь давайте взглянем на механическую обработку металла. По мере роста числа обработанных деталей резец тупится. Консистенция смазочно-охлаждающей жидкости при изменении температуры тоже меняется. В итоге размеры изделий зависят от того, заточен ли резец и правильно ли он установлен. Хотя может показаться, что обе операции выполняются в одних и тех же условиях, на самом деле происходит множество изменений или вариаций, остающихся незамеченными, но именно они сказываются на качестве продукции.

Рассмотрим еще один пример – термообработку. Температура в печи постоянно меняется с изменением напряжения (если процесс идет в электропечи) или давления газа (если используется газовая печь). В самой печи области, расположенные у заслонки, вблизи пода, свода, у боковых стенок, в центральной части, находятся в разных условиях. Когда изделия помещаются в печь для термообработки, количество тепла, которое они получают, варьируется в зависимости от их расположения, что влияет на такой показатель качества, как твердость изделия.

Физические способности и мастерство рабочих также оказывают воздействие на изменение качества изделий.

Есть высокие и низкие, худые и толстые, слабые и сильные люди, левши и люди, у которых лучше развита правая рука. Рабочие могут думать, что они работают одинаково, но есть индивидуальные отличия. Даже один и тот же человек работает по-разному в зависимости от своего самочувствия в каждый конкретный день, состояния и степени усталости. Иногда он допускает ошибки из-за невнимательности.

В процессе контроля тоже могут возникнуть изменения в качестве. Вариации в данных замеров могут явиться следствием неисправности мерительного инструмента или несовершенства метода измерения. В случае органолептического (сенсорного) контроля, например при визуальном осмотре, изменения в качестве могут объясняться изменениями в критериях, которыми руководствуется контролер. Изменения в контроле не имеют прямого отношения к изменениям в качестве самого продукта, но они влияют на решения относительно годности продукта: признается он доброкачественным или дефектным.

Рассматривая проблему подобным образом, видим, что в процессе изготовления изделия существует множество факторов, оказывающих влияние на его показатели качества. Оценивая производственный процесс с точки зрения изменения качества, мы можем рассматривать его как некую совокупность причин изменчивости. Эти причины и объясняют изменения в показателях качества изделий, разделяя их на дефектные и бездефектные. Изделие считается бездефектным, если его показатели качества соответствуют определенному стандарту, в противном случае изделие классифицируется как дефектное. Более того, даже дефектные изделия отличаются друг от друга в сопоставлении со стандартом. Это означает, что нет "абсолютно одинаковых" изделий.

Изменчивость – причина выпуска дефектных изделий. Если попытаться ее уменьшить, их число, несомненно, сократится. Это – простой и здравый принцип, одинаково правильный вне зависимости от видов изделий или типов технологических процессов.

1.1.2. Диагноз процессов

Причины изменений качества бесчисленны и их воздействие различно. Некоторые из них сильно влияют на изменение качества, в то время как другие, теоретически считающиеся важными, на самом деле не оказывают существенного воздействия, если должным образом контролируются.

Все бесчисленные возможные причины делятся на две группы. К первой относится небольшое число причин, которые оказывают существенное воздействие (их именуют "*немногочисленные существенно важные*"). Вторую группу составляет большое число причин, оказывающих тем не менее незначительное воздействие (их называют "*многочисленные несущественные*"). Обычно факторов, вызывающих дефекты, не так уж много. Этот принцип, именуемый *принципом Парето*, применим во многих случаях.

Используя указанный принцип изменчивости вместе с принципом Парето, можно значительно проще решить проблему сокращения числа дефектных изделий. В первую очередь следует найти существенно важные причины, вызывающие появление дефектных изделий, и, после того как они будут четко выявлены, устранить их. "В нашем процессе столь много причин дефектности, что на них практически невозможно воздействовать". Такого рода заявление можно часто услышать от людей, связанных с процессами, ведущими к появлению дефектных изделий. В

любом процессе есть много причин, воздействующих на изменение качества, и вовсе не в одном конкретном процессе сосредоточено чрезвычайно большое число таких причин. Существует большая разница между "мнимыми" причинами, якобы вызывающими дефекты, и реальными "виновниками" – причинами, действительно ведущими к выпуску дефектной продукции.

Процедура поиска причин появления дефектных изделий среди многочисленных факторов называется *диагнозом процесса*. Чтобы сократить число недоброкачественных изделий, нужно в первую очередь поставить правильный "диагноз" – найти истинные причины дефектов. Если диагностика неверна, нельзя уменьшить число дефектных изделий. Это все равно, что дать лекарство больному, у которого приступ аппендицита. Лекарство не вылечит больного, оно лишь на время притупит боль, но затем болезнь проявится в еще худшей форме.

Как же поставить правильный диагноз? Существует много методов. Некоторые полагаются на интуицию, другие опираются на прошлый опыт, третьи прибегают к статистическому анализу данных. Можно также проводить экспериментальные исследования. Метод интуиции используется весьма часто, потому что в этом случае решение можно принять довольно быстро. Действительно, к интуиции эксперта надо относиться с уважением, поскольку в ней проявляется нечто, выходящее за рамки способностей обыкновенного человека. Ход, который интуитивно делает гроссмейстер, оказывается лучше хода, который сделают сотни любителей. Совет и интуиция специалистов и экспертов заслуживают большого уважения. Однако сложность проблемы сокращения числа дефектов в том, что не всегда ясно, кто же – истинный эксперт. В случае с шахматами на совет экспертов можно пол-

ностью положиться, поскольку сильный или слабый игрок выявляется в реальных матчах, и чемпионами становятся те, кто регулярно выигрывают в напряженных состязаниях. В случае же с диагностикой процессов даже лучший "врач" не всегда оказывается таковым, и может статься, что именно он "обрек многих пациентов на смерть". Более того, в период бурного прогресса трудно оставаться экспертом в решении всех проблем, сам характер которых постоянно меняется. Проблемы, ведущие к появлению дефектных изделий, часто возникают там, где отсутствует предыдущий опыт. Однако для устранения дефектных изделий важен не столько годами накопленный опыт, сколько сильная воля к их снижению и желание объективно анализировать реальную ситуацию. Взгляд на вещи сквозь призму статистики и статистические методы – наиболее эффективные средства объективного наблюдения.

Применение статистических методов – весьма действенный путь разработки новой технологии и контроля качества производственных процессов. Многие ведущие фирмы стремятся к их активному использованию, и некоторые из них тратят более ста часов ежегодно на обучение этим методам, осуществляемое в рамках самой фирмы. Хотя знание статистических методов – часть нормального образования инженера, само знание еще не означает умения применить его. Способность рассматривать события с точки зрения статистики важнее, чем знание самих методов. Кроме того, надо уметь честно признавать недостатки и возникшие изменения и собирать соответствующую информацию. В заключение мы хотим подчеркнуть, что важно не столько знание самих статистических методов, сколько сознательное желание использовать их.

Глава 2

КАК ПОЛУЧАТЬ ИНФОРМАЦИЮ

2.1. КАК СОБИРАТЬ ДАННЫЕ

2.1.1. Имейте четко определенные цели

Руководством к нашим действиям служат данные, из которых мы узнаем о фактах и принимаем соответствующие меры. Прежде чем начать собирать данные, надо решить, что вы будете с ними делать.

На машиностроительном заводе был осуществлен выборочный входной контроль одной покупной детали. Партия, которую следовало забраковать, в порядке исключения была принята, чтобы не срывать план производства. Однако ничего особенного с самой партией сделано не было. Это означает, что партии, соответствующие требованиям технических условий, и партии, не соответствующие этим требованиям, были пропущены к следующей операции. Данные, полученные в ходе входного контроля, предназначались для определения приемлемости партий, но они совершенно не использовались.

Цели сбора данных в процессе контроля качества состоят в следующем:

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

Любые собираемые данные имеют свое назначение, и после того, как информация собрана, нужно начать с нею работать.

2.1.2. Какова ваша цель?

Когда цель сбора данных установлена, она становится основой для определения характера сравнений, которые надлежит произвести, и типа данных, которые нужно собрать. Пусть, например, возник вопрос о вариации в показателе качества изделия. Если производить только один замер в день, то нельзя судить о вариациях в течение дня. Или, если вы хотите понять, каким образом два разных работника допускают дефекты, то надо брать отдельные выборки, чтобы можно было сравнить работу каждого из них. Если сравнение выявляет явные различия, то меры по их устранению также будут способствовать уменьшению изменчивости процесса.

Подобное разделение группы данных на несколько подгрупп по определенному признаку называется *расслоением*, или *стратификацией*. Она чрезвычайно важна. Надо, чтобы стало привычкой во всех случаях применять стратификацию.

Затем, положим, вы хотите узнать зависимость между количеством определенного ингредиента и твердостью продукта. В этом случае, т.е. если нужно узнать, есть ли зависимость между значениями двух показателей, данные следует собирать парами. Когда есть парные данные, их можно проанализировать с помощью *диаграмм рассеивания* (см. гл. 6).

2.1.3. Надежны ли измерения?

Даже если выборки взяты правильно, можно прийти к неверному суждению при ненадежных результатах измерения. Например, данные одного из контролеров показали, что доля дефектов у него значительно превышает резуль-

таты других контролеров, а последующая тщательная проверка выявила, что этот контролер пользовался неисправным мерительным инструментом.

В случае органолептического контроля, например при осмотре, подобные расхождения в результатах отдельных контролеров – весьма обычное дело. Этот факт следует учитывать при сборе и анализе данных.

2.1.4. Подыщите правильные способы регистрации данных

Когда данные собраны, для их анализа используются различные статистические методы, предназначенные для превращения данных в источник информации. Важно в процессе сбора тщательно упорядочить данные, чтобы облегчить их последующую обработку. Во-первых, надо четко зарегистрировать источник данных (без такой регистрации данные окажутся мертвыми). Весьма часто, несмотря на то что была потрачена целая неделя на сбор данных о показателях качества, из них можно извлечь мало полезной информации, поскольку не зафиксированы день недели, когда собирались данные, станок, на котором производилась обработка, рабочий, делавший операцию, партия используемых материалов и т. д.

Во-вторых, данные надо регистрировать таким образом, чтобы их было легко использовать. Поскольку данные часто применяются для вычисления статистических характеристик (средние значения и размах), то лучше их записывать так, чтобы облегчить эти вычисления. Например, данные измерений ста образцов, проводимые четыре раза в день (в 9.00; 11.00; 14.00; 16.00) в течение 25 дней, удобно регистрировать в форме, показанной в табл. 2.1,

где по горизонтали фиксируется время измерения, а по вертикали – дата. В этом случае ежедневные подсчеты можно производить по строкам, а подсчеты для соответствующих часов – по столбцам. Если данные требуется собирать постоянно, то надо заранее разработать стандартные формы регистрации данных.

Таблица 2.1
Пример формы регистрации данных

Дата	Время измерения, ч			
	9.00	11.00	14.00	16.00
1 февраля	12,3	11,5	13,2	14,2
2 февраля	13,2	12,5	14,0	14,0
3 февраля	:	:	:	:
	:	:	:	:

2.2. Контрольные листки

Как уже было сказано, прежде чем начать собирать данные, надо определить четкую цель, и, кроме того, нужно собирать те данные, которые отражают факты. В реальных ситуациях важно, чтобы данные регистрировались в простой и доступной для использования форме. *Контрольный листок* – бумажный бланк, на котором заранее напечатаны контролируемые параметры, с тем чтобы можно было легко и точно записать данные измерений. Его главное назначение двояко:

- 1) облегчить процесс сбора данных;

2) автоматически упорядочить данные для облегчения их дальнейшего использования.

Сбор и регистрация данных на первый взгляд кажутся легким делом, на самом же деле это довольно сложно. Обычно чем больше людей обрабатывают данные, тем больше вероятность появления ошибок в процессе записи. Поэтому контрольный листок, на который можно заносить данные с помощью пометок или простых символов и который позволяет автоматически упорядочить данные без их последующего переписывания от руки, – хорошее средство регистрации данных. Ниже приводятся примеры некоторых типов контрольных листков.

Пример 2.1. Контрольный листок для регистрации распределения измеряемого параметра в ходе производственного процесса. Предположим, что мы хотим выявить изменения в размерах некоторой детали, подвергающейся механической обработке, причем размер, указанный в чертеже, – $8,300 \pm 0,008$. Для получения распределения значений этого показателя в ходе процесса обычно используются гистограммы. На основе гистограммы вычисляются среднее значение и дисперсия, исследуется также и форма кривой распределения. Чтобы построить гистограмму, надо затратить немало труда на сбор большого числа данных и на представление частотного распределения в графической форме. Проще классифицировать данные в момент сбора. На рис. 2.1 показан бланк, который можно заранее заготовить для этой цели. Каждый раз, когда производится замер, в соответствующую клеточку ставится крест, так что к концу измерений гистограмма готова. Если нужно произвести расслоение с использованием одного контрольного листка, лучше для пометок брать карандаши разного цвета, чтобы разница проявлялась наглядно.

	Отклонение	Замеры				Частота
		5	10	15	20	
	-10					
	-9					
*	-8					
	-7					
	-6					
	-5	X				1
	-4	X	X			2
	-3	X	X	X		4
	-2	X	X	X	X	6
	-1	X	X	X	X	9
8.300	0	X	X	X	X	11
	1	X	X	X	X	8
	2	X	X	X	X	7
	3	X	X	X	X	3
	4	X	X	X	X	2
	5	X	X	X	X	1
	6	X	X	X	X	1
	7					
*	8					
	9					
	10					
						Итого
						55

- * Граница поля допуска (по чертежу).

Рис. 2.1. Контрольный листок для регистрации распределения измеряемого параметра в ходе производственного процесса

Пример 2.2. Контрольный листок для регистрации видов дефектов. На рис. 2.2 показан контрольный листок, используемый в процессе приемочного контроля одной штампованной пластиковой детали. Всякий раз, когда контролер обнаруживает дефект, он делает в нем пометку. В конце рабочего дня он может быстро подсчитать число и разновидности встретившихся дефектов.

Просто знание числа дефектов не позволяет принять решение о корректирующих мерах, но если используется листок, подобный этому, он может дать важную информацию для совершенствования процесса, поскольку показывает, какие виды дефектов встречаются часто, а какие – нет.

Используя подобный контрольный листок, нельзя потом произвести расслоение данных, разбив их, например, на утреннюю и вечернюю смены, как это было возможно в случае с листком, представленным на рис. 2.1. Поэтому если расслоение необходимо, то при разработке бланка это нужно предусмотреть заранее.

Надо также продумать, как регистрировать данные в том случае, если в изделии содержатся два дефекта, и нужно дать инструкции людям, которые маркируют изделия. В случае, представленном на рис. 2.2, забракованными оказались 42 изделия из 1525, но общее число обнаруженных дефектов – 62, поскольку в некоторых изделиях содержалось по два или более дефектов.

Пример 2.3. Контрольный листок локализации дефектов. Во всех видах продукции обнаруживаются внешние дефекты, такие, как царапины или грязь, и на многих предприятиях предпринимаются разные меры для их сокращения. Большую роль в решении этой проблемы играют контрольные листки локализации дефектов. В листках такого рода есть эскизы или схемы, на которых делаются пометки, так что можно пронаблюдать расположение дефектов.

Контрольный листок

Наименование изделия: _____ Дата: _____

Производственная операция: приемочный контроль _____ Участок: _____

Тип дефекта: царапина, пропуск операции, трещина, неправильная обработка _____ Фамилия контролера: _____

Общее число проконтролированных изделий: 1526 _____ Номер партии: _____

Примечания: по всем проконтролированным изделиям _____ Номер заказа: _____

Тип дефекта	Результат контроля	Итоги по типам дефектов
Поверхностные царапины	/// //	17
Трещины	/// /	11
Пропуск операции	/// // // // // /	26
Неправильное исполнение операции	///	3
Другие	///	5
	Итого	62
Общее число забракованных деталей	/// // // // // // // // // // //	42

Рис. 2.2. Контрольный листок видов дефектов

Контрольный листок локализации раковин

Наименование и номер изделия:

Материал:

Изготовитель:

1. Эскиз



2. Матрица расположения дефектов

Вдоль оси По окружности	1	2	3	4	5	6	7	10
A			/					1
B								
C								
D								
E	///		### /					9
F	/	//						3
G								
H								
10	4	2	7					13

Рис. 2.3. Контрольный листок локализации дефектов

На рис. 2.3 показан такой листок, используемый на машиностроительном заводе для входного контроля отливок. Дефект – раковины в отливках, и раньше поставщика информировали только о приемке или браковке партий и числе дефектов в партии, но качество не улучшалось. После того как были введены листки локализации дефектов, на которых фиксировалось возможное месторасположение раковин, качество отливок резко улучшилось, поскольку облегчился поиск причин дефектов. Такого типа контрольные листки необходимы для диагноза процесса, поскольку причины дефектов часто можно найти, исследуя места их возникновения и наблюдая процесс в поисках объяснений, почему дефекты концентрируются именно в этих местах.

Пример 2.4. Контрольный листок причин дефектов. Листок локализации дефектов, описанный в предыдущем примере, используется для привлечения внимания к местам возникновения дефектов. Кроме того, контрольные листки применяются иногда для дальнейшей стратификации с целью определения причин дефектов. Вообще говоря, большинство исследований, нацеленных на поиск причин дефектов, предполагают сравнение данных о причинах с соответствующими данными о последствиях дефектов, сопоставляя их в строго установленном порядке для последующего анализа путем стратификации или с использованием диаграмм рассеивания. Но если случай достаточно простой, то можно фиксировать необходимые данные прямо в контрольном листке.

Например, на рис. 2.4 представлен контрольный листок для регистрации дефектов в ручках, изготовленных из бакелита, с учетом станков, рабочих, дней изготовления и типов дефектов. С первого взгляда видно, что рабочий В допускает много дефектов. Все рабочие допустили много

Оборудование	Рабочий	Пон.		Вт.		Ср.		Чт.		Пят.		Суб.	
		до обеда	после обеда										
Станок 1	A	oo x	o x	ooo	o xx	ooo	oooo xxx	ooo	o xx	oooo	oo	o	oo
	B	o xx	ooo oo	oooooo	ooo	oooooo	oooooo	oooo	oo	oooooo	oo	oooo	oo
Станок 2	C	oo x	o x	oo		oooooo	oooooo	oo	oo	oo	oo	o	o
	D	oo x	o x	oo	ooo	ooo	oooooo	oo	oo	oo	o	oo	o

o : поверхностные царапины x : раковины Δ : дефекты конечной обработки
 ● : неправильная форма □ : другие

Рис. 2.4. Контрольный листок причин дефектов

дефектов в среду. Исследование причин дефектов показало, что рабочий В недостаточно часто менял штампы, а причиной дефектов, допущенных в среду, послужило плохое качество исходного сырья.

С той же целью можно использовать контрольные листки в виде диаграмм причин и результатов, которые понятны каждому рабочему. Такие диаграммы вычерчиваются заранее, и когда становится ясна причина или условия допущения дефекта, то у соответствующей стрелочки делается пометка. По этой диаграмме можно определить, устранению каких причин важно отдавать предпочтение.

Помимо описанных примеров, существует большое число других контрольных листов и форм, используемых на производстве. Они разрабатываются прежде всего с учетом цели сбора данных, а потом создаются модификации, подходящие для поставленных целей и облегчающие сбор и регистрацию данных.

Упражнение 2.1. В процессе полировки линз участвуют двое рабочих, каждый из них обслуживает по два станка. В последнее время возросла доля дефектов на этой операции. Рабочие попросили заменить станки, так как они изношены. Начальство заявило, что рабочие должны тщательнее относиться к работе, поскольку они допускают много дефектов по невнимательности. Что бы вы сделали в этой ситуации?

Глава 3

АНАЛИЗ ПАРЕТО

3.1. ЧТО ТАКОЕ ДИАГРАММЫ ПАРЕТО?

Проблемы качества оборачиваются потерями (дефектные изделия и затраты, связанные с их производством). Чрезвычайно важно прояснить картину распределения потерь. Большинство из них будет обусловлено незначительным числом видов дефектов, вызванных небольшим количеством причин. Таким образом, выяснив причины появления *немногочисленных существенно важных* дефектов, можно устранить почти все потери, сосредоточив усилия на ликвидации именно этих причин и отложив пока рассмотрение причин, приводящих к остальным *многочисленным несущественным* дефектам. Такого рода проблема успешно решается с помощью диаграммы Парето.

В 1897 г. итальянский экономист В.Парето изобрел формулу, показывающую, что блага распределяются неравномерно. Эта же теория была проиллюстрирована на диаграмме американским экономистом М.С.Лоренцем в 1907 г. Оба ученых показали, что в большинстве случаев наибольшая доля доходов или благ принадлежит небольшому числу людей. Доктор Д.М.Джуран применил диаграмму и формулу М.Лоренца в сфере контроля качества для классификации проблем качества на *немногочисленные существенно важные* и *многочисленные несущественные* и назвал этот метод *анализом Парето*. Он указал,

что в большинстве случаев подавляющее число дефектов и связанных с ними потерь возникает из-за относительно небольшого числа причин.

3.2 КАК ПОСТРОИТЬ ДИАГРАММЫ ПАРЕТО?

Этап 1

Решите, какие проблемы надлежит исследовать и как собирать данные.

1) Какого типа проблемы вы хотите исследовать?

Пример: дефектные изделия, потери в деньгах, несчастные случаи.

2) Какие данные надо собрать и как их классифицировать?

Пример: по видам дефектов, по месту их появления, по процессам, по станкам, по рабочим, по технологическим причинам.

Примечание. Суммируйте остальные нечасто встречающиеся признаки под общим заголовком "прочие".

3) Установите метод и период сбора данных.

Примечание. Если это рекомендуется, используйте специальный бланк.

Этап 2

Разработайте контрольный листок для регистрации данных с перечнем видов собираемой информации. В нем надо предусмотреть место для графической регистрации данных проверок (табл. 3.1).

Этап 3

Заполните листок регистрации данных и подсчитайте итоги.

Этап 4

Для построения диаграммы Парето разработайте бланк таблицы для проверок данных, предусмотрев в нем графы

Таблица 3.1

Контрольный листок регистрации данных

Типы дефектов	Группы данных	Итого
Трещины	/// //	10
Царапины	/// // // //...// //	42
Пятна	/// /	6
Деформация	/// // // //...// ////	104
Разрыв	////	4
Раковины	/// // // //	20
Прочие	/// // ////	14
Итого		200

для итогов по каждому проверяемому признаку в отдельности, накопленной суммы числа дефектов, процентов к общему итогу и накопленных процентов (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Таблица данных для построения диаграммы Парето

Типы дефектов	Число дефектов	Накопленная сумма числа дефектов	Процент числа дефектов по каждому признаку в общей сумме	Накопленный процент
Деформация	104	104	52	52
Царапины	42	146	21	73
Раковины	20	166	10	83
Трещины	10	176	5	88
Пятна	6	182	3	91
Разрыв	4	186	2	93
Прочие	14	200	7	100
Итого	200	-	100	-

Этап 5

Расположите данные, полученные по каждому проверяемому признаку, в порядке значимости и заполните таблицу.

Примечание. Группу "прочие" надо поместить в последнюю строку вне зависимости от того, насколько большим получилось число, так как ее составляет совокупность признаков, числовой результат по каждому из которых меньше, чем самое маленькое значение, полученное для признака, выделенного в отдельную строку.

Этап 6

Начертите одну горизонтальную и две вертикальные оси.

1) Вертикальные оси:

(а) левая ось. Нанесите на эту ось шкалу с интервалами от 0 до числа, соответствующего общему итогу;

(б) правая ось. Нанесите на эту ось шкалу с интервалами от 0 до 100 %.

2) Горизонтальная ось. Разделите эту ось на интервалы в соответствии с числом контролируемых признаков.

Этап 7

Постройте столбиковую диаграмму.

Этап 8

Начертите кумулятивную кривую (кривую Парето).

На вертикалях, соответствующих правым концам каждого интервала на горизонтальной оси, нанесите точки накопленных сумм (результатов или процентов) и соедините их между собой отрезками прямых.

Этап 9

Нанесите на диаграмму все обозначения и надписи:

1) надписи, касающиеся диаграммы (название, разметка числовых значений на осях, наименование контролируемого изделия, имя составителя диаграммы);

2) надписи, касающиеся данных (период сбора информации, объект исследования и место его проведения, общее число объектов контроля (рис. 3.1)).

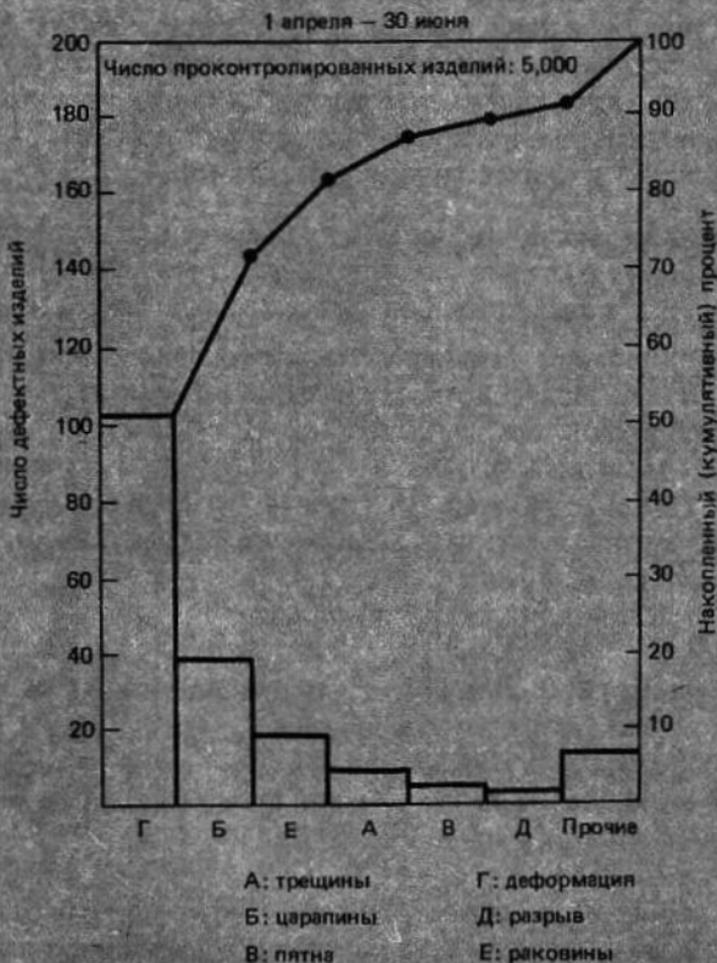


Рис. 3.1. Диаграмма Парето по типам дефектов

3.3. ДИАГРАММЫ ПАРЕТО ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ПО ПРИЧИНАМ

Как уже было сказано, построение диаграмм Парето – метод определения *немногочисленных существенно важных* факторов. Различают два вида таких диаграмм.

1. Диаграмма Парето по результатам деятельности

Эта диаграмма предназначена для выявления главной проблемы и отражает следующие нежелательные результаты деятельности:

качество: дефекты, поломки, ошибки, отказы, рекламации, ремонты, возвраты продукции;

себестоимость: объем потерь, затраты;

сроки поставок: нехватка запасов, ошибки в составлении счетов, срыв сроков поставок;

безопасность: несчастные случаи, трагические ошибки, аварии.

2. Диаграмма Парето по причинам

Эта диаграмма отражает причины проблем, возникающих в ходе производства, и используется для выявления главной из них:

рабочий: смена, бригада, возраст, опыт работы, квалификация, индивидуальные характеристики;

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

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

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

3.4. НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ О ДИАГРАММАХ ПАРЕТО

3.4.1. Советы по построению диаграмм Парето

1. Воспользуйтесь разными классификациями и составьте много диаграмм Парето. Суть проблемы можно уловить, наблюдая явление с разных точек зрения, поэтому важно опробовать различные пути классификации данных, пока не выявятся немногочисленные существенно важные факторы, что и служит целью анализа Парето.

2. Нежелательно, чтобы группа "прочие" факторы составляла большой процент. Если такое происходит, значит объекты наблюдения расклассифицированы неправильно и слишком много объектов попало в одну группу. В этом случае надо использовать другой принцип классификации.

3. Если данные можно представить в денежном выражении, лучше всего показать это на вертикальных осях диаграммы Парето. Если нельзя оценить существующую проблему в денежном выражении, само исследование может оказаться неэффективным. Затраты – важный критерий измерений в управлении.

3.4.2. Советы по использованию диаграмм Парето

1. Если нежелательный фактор можно устранить с помощью простого решения, это надо сделать незамедлительно, независимо от того, каким бы незначительным он ни был. Поскольку диаграмма Парето расценивается как эффективное средство решения проблем, значит, следует рассматривать только немногочисленные существенно

важные причины. Однако, если относительно неважная причина устраняется простым путем, это послужит примером эффективного решения проблемы, а приобретенный опыт, информация и моральное удовлетворение окажут большое воздействие на дальнейшую процедуру решения проблем.

2. Не упускайте возможности составить диаграмму Парето по причинам.

После выявления проблемы путем составления диаграммы Парето по результатам, важно определить причины возникновения проблемы, чтобы решить ее. Поэтому если мы хотим улучшений, важно составить диаграмму Парето по причинам.

Упражнение 3.1. Проанализируйте данные табл. 3.3, составляя различные диаграммы Парето.

Таблица 3.3

Рабочий	Станок	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница
А	1	•••• •• •• •• •	••••• • ••• •	••••• ••••• ••••• ••• •	•••• • ••• ••• •••	••••• • ••••• •••• •••
	2	•• • •	••• •• • •• •	••• ••••• •• •• •	•• • • •	•• •• • • •
В	3	•• •• • •	•••• • •	••• ••••• • •	••• • • • •	••••• • •• • •
	4	•• • •• •	••• • • •	••• ••••• •• •	••• • •• •	•• • •• •

• Деформация • Царапины • Раковины • Трещины • Прочие

Глава 4

ДИАГРАММЫ ПРИЧИН И РЕЗУЛЬТАТОВ

4.1. ЧТО ТАКОЕ ДИАГРАММЫ ПРИЧИН И РЕЗУЛЬТАТОВ?

Результат процесса зависит от многочисленных факторов, между которыми существуют отношения типа причина – результат. Мы можем определить структуру или характер этих многофакторных отношений благодаря систематическим наблюдениям. Трудно решить сложные проблемы, не зная этой структуры, которая представляет собой цепь причин и результатов. Диаграмма причин и результатов – средство, позволяющее выразить эти отношения в простой и доступной форме.

В 1953 г. профессор Токийского университета Каору Исикава, обсуждая проблему качества на одном заводе, суммировал мнение инженеров в форме диаграммы причин и результатов. Считается, что тогда этот подход был применен впервые, но еще раньше сотрудники профессора Исикавы пользовались этим методом для упорядочения факторов в своей научно-исследовательской работе. Когда же диаграмму начали использовать на практике, она оказалась весьма полезной и скоро получила широкое распространение во многих компаниях Японии. Она была включена в японский промышленный стандарт (JIS) на терминологию в области контроля качества и определяется в нем следующим образом: диаграмма причин и результатов – диаграмма, которая показывает отношение между показателем качества и воздействующими на него факторами.

В настоящее время эта диаграмма используется во всем мире не только применительно к показателям качества продукции, но и в других областях.

4.2. КАК ПОСТРОИТЬ ДИАГРАММУ ПРИЧИН И РЕЗУЛЬТАТОВ?

Построить диаграмму причин и результатов – непростое дело. С полным правом можно заявить, что те, кто преуспели в решении проблем контроля качества, – это как раз те, кто освоил построение настоящих диаграмм. Существует много способов их построения, но здесь будут рассмотрены два наиболее типичных. Прежде чем приступить к описанию процедуры их построения на примере, разьясим их структуру.

4.2.1. Структура диаграммы причин и результатов и конкретный пример

Диаграмму причин и результатов иначе называют диаграммой "рыбий скелет", поскольку она напоминает скелет рыбы, что видно на рис. 4.1. Иногда ее также называют "деревом" или диаграммой "речных притоков". Мы же воспользуемся названием "рыбий скелет". Конкретный пример приведен на рис. 4.2.



Рис. 4.1. Структура диаграммы причин и результатов

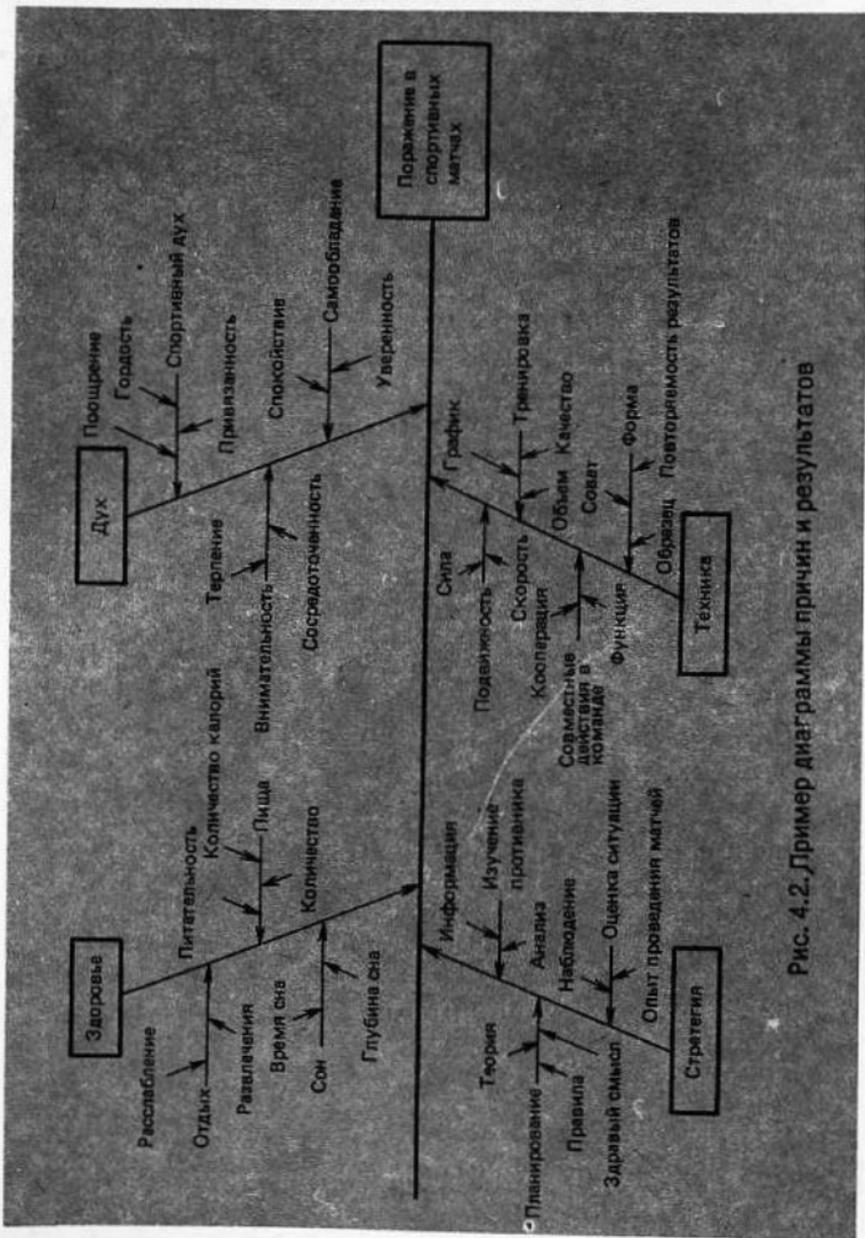


Рис. 4.2. Пример диаграммы причин и результатов

4.2.2. Метод построения диаграмм причин и результатов для определения причин

1. Процедура

Этап 1

Определите показатель качества.

Этап 2

Выберите один показатель качества и напишите его в середине правого края чистого листа бумаги. Слева направо проведите прямую линию ("хребет"), а записанный показатель заключите в прямоугольник. Далее напишите главные причины, которые влияют на показатель качества, заключите их в прямоугольники и соедините с "хребтом" стрелками (в виде) "больших костей хребта".

Этап 3

Напишите причины (вторичные), влияющие на главные причины ("большие кости"), и расположите их в виде "средних костей", примыкающих к "большим". Напишите причины третичного порядка, которые влияют на вторичные причины, и расположите их в виде "мелких костей", примыкающих к "средним".

Этап 4

Проранжируйте факторы по их значимости и выделите особо важные, которые предположительно оказывают наибольшее влияние на показатель качества.

Этап 5

Запишите всю необходимую информацию.

2. Объяснение процедуры

Применяя эту процедуру на практике, вы зачастую можете сталкиваться с трудностями. Наилучший способ в этом случае – рассмотреть проблему с точки зрения "из-

менчивости". Например, когда вы думаете о "больших костях", порассуждайте об изменениях в показателе качества. Если данные показывают, что изменения существуют, подумайте, почему так происходит. Изменение результата может обуславливаться изменениями в факторах. Такой поворот мысли весьма эффективен.

Когда вы строите диаграмму причин и результатов применительно к конкретному дефекту, вы, например, можете обнаружить, что число дефектов, допускаемых в разные дни недели, различно. Если обнаружится, что дефекты более часто встречаются в понедельник, чем в другие дни недели, вы можете задаться вопросом: "А почему дефекты в понедельник допускаются чаще, чем в другие дни недели?", "Почему они возникают?". Это заставит вас обратиться к рассмотрению факторов, которые отличают понедельник от других дней недели, что в результате приведет к обнаружению причины дефекта.

Прибегнув к такому способу рассуждения на каждой стадии исследования отношений между показателем качества и "большими костями", между "большими" и "средними", а также между последними и "мелкими костями", возможно логическим путем построить полезную диаграмму причин и результатов.

После того как вы завершили построение диаграммы, следующий шаг – распределение факторов по степени их важности. Не обязательно все факторы, включенные в диаграмму, будут оказывать сильное влияние на показатель качества. Обозначьте те, которые, на ваш взгляд, оказывают наибольшее воздействие.

И наконец, нанесите на диаграмму всю необходимую информацию: ее название, наименование изделия, процесса или группы процессов, имена участников процесса, дату и т. д.

4.2.3. Процедура построения диаграммы причин и результатов для систематизации списка причин

1. Процедура

Этап 1

Решите, какой показатель качества вы будете исследовать.

Этап 2

Отыщите как можно большее число причин, которые, возможно, влияют на этот показатель.

Этап 3

Рассмотрите отношения между причинами и постройте диаграмму, сочленяя ее элементы на основе отношений причина – результат с показателем качества.

Этап 4

Установите важность каждого фактора и отметьте основные факторы, которые, на ваш взгляд, оказывают наибольшее воздействие на показатель качества.

Этап 5

Запишите всю необходимую информацию.

2. Объяснение процедуры

Такой подход характеризуется сочетанием двух различных видов деятельности: поиск наибольшего возможного числа причин и их систематизация.

Для поиска причин проведите, в случае необходимости, активное обсуждение. Эффективным методом, применяемым в таком случае, будет "мозговой штурм", придуманный в США А.Ф.Осборном.

При построении диаграммы причин и результатов причины лучше систематизировать, рассматривая их в последовательности: от "мелких костей" к "средним" и от "средних" к "большим".

4.3. НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ О ДИАГРАММАХ ПРИЧИН И РЕЗУЛЬТАТОВ

4.3.1. Советы по построению диаграмм

1) Определите все факторы, имеющие отношение к рассматриваемой проблеме, путем наблюдения и опроса многих людей.

Из всех факторов, указанных на диаграмме, надо выделить те, которые оказывают наибольшее воздействие на показатель качества. Если на первоначальной стадии еще до построения диаграммы из вашего поля зрения выпал какой-то фактор, он не появится на более поздней стадии. Поэтому чрезвычайно важно на стадии подготовки диаграммы привлечь к обсуждению как можно больше людей, чтобы диаграмма была полной и в ней ничего не было упущено.

2) Сформулируйте показатель как можно точнее.

Если показатель сформулирован абстрактно, то будет построена диаграмма, основанная на общих соображениях. И хотя она будет правильной с точки зрения отношений причина – результат, в ней будет мало проку при решении конкретных проблем.

3) Постройте столько диаграмм причин и результатов, сколько показателей вы хотите исследовать.

Ошибки в весе и в размерах одного и того же изделия нужно анализировать с помощью разных диаграмм, так как их структуры в этом случае будут различными. Попытка все включить в одну диаграмму приведет к тому, что она окажется большой и сложной, практически бесполезной, что только затруднит процесс принятия решений.

4) Выберите такие показатели качества и такие факторы, которые можно измерить.

После составления диаграммы причин и результатов надо с помощью объективных данных оценить силу отношений причина – результат. Чтобы это стало возможным, и показатель качества, и факторы, на него влияющие, должны быть измеримыми. Если их невозможно измерить, надо все-таки попытаться это сделать или найти показатели – заменители.

5) Отыщите факторы, по которым надлежит принять меры.

Если по обнаруженной причине нельзя предпринять никаких действий, проблема неразрешима. Чтобы процесс совершенствования стал эффективным, надо разбивать причины на подпричины до тех пор, пока по каждой из них можно предпринять действия, иначе сам процесс их выявления превратится в бессмысленное упражнение.

4.3.2. Советы по использованию диаграмм

1) Установите важность каждой причины на основе объективных значений или данных.

Анализ факторов с помощью собственного опыта или знаний важен, но устанавливать их важность только на основе субъективных представлений или впечатлений, опасно. Большинство проблем, которые разрешимы таким путем, вероятно, уже решены, а оставшиеся нерешенные проблемы решить так уже нельзя. Объективное установление важности факторов с помощью данных – более научный и логический подход.

2) Пытайтесь постоянно совершенствовать диаграмму причин и результатов, пока вы ею пользуетесь.

Использование диаграммы поможет вам обнаружить элементы, которые нужно проверить, устранить или модифицировать, а также те элементы, которые надо добавить. Следует предпринимать постоянные усилия по совершенствованию диаграммы, только тогда можно получить действительно ценную диаграмму, которая поможет в решении проблем и в то же время повысит вашу собственную квалификацию и знание технологии.

4.4. ДИАГРАММЫ ПАРЕТО И ДИАГРАММЫ ПРИЧИН И РЕЗУЛЬТАТОВ

Для решения проблем рекомендуется применять разные методы, и использование диаграммы Парето в сочетании с диаграммой причин и результатов особенно полезно. Ниже приводится типичный пример.

4.4.1. Выбор проблем

Приведем пример, иллюстрирующий применение диаграммы Парето для исследования отклонений в технологическом процессе. Когда данные, собиравшиеся в течение двух месяцев, были расклассифицированы по группам дефектов (рис. 4.3), оказалось, что наибольшую группу составляют дефекты отклонения от установленных размеров – 48 % общего числа дефектов. Мы попытались уменьшить число дефектов, сконцентрировав внимание на устранении отклонений в размерах.



Рис. 4.3. Диаграмма Парето по причинам дефектов

4.4.2. Анализ и принятые меры

В цехе была обсуждена проблема отклонений в размерах и построена диаграмма причин и результатов (рис. 4.4). Затем, исследовав все детали с отклонениями в размерах, построили диаграмму Парето (рис. 4.5), чтобы выяснить, какие из факторов оказывают наибольшее воздействие на появление отклонений. По некоторым дета-

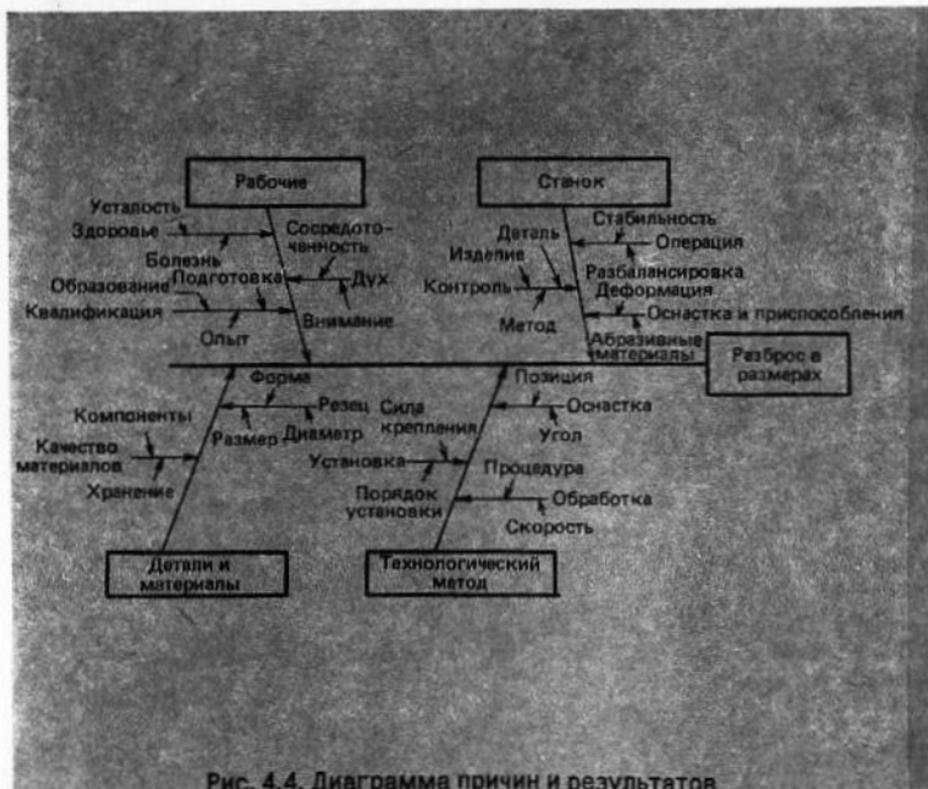


Рис. 4.4. Диаграмма причин и результатов

лям не удалось выявить причины дефектов в размерах и все они были объединены в одну группу с названием "неясно". Из диаграммы Парето мы обнаружили, что появление дефектов в значительной степени зависит от способа установки детали на станке. Хотя установка производилась в соответствии со стандартной процедурой, сам способ не был в ней показан, что и привело к различиям в установке, а это в свою очередь послужило причиной дефектов в размерах. Сотрудники цеха разработали способ установки, который был стандартизован и включен в стандартную процедуру.

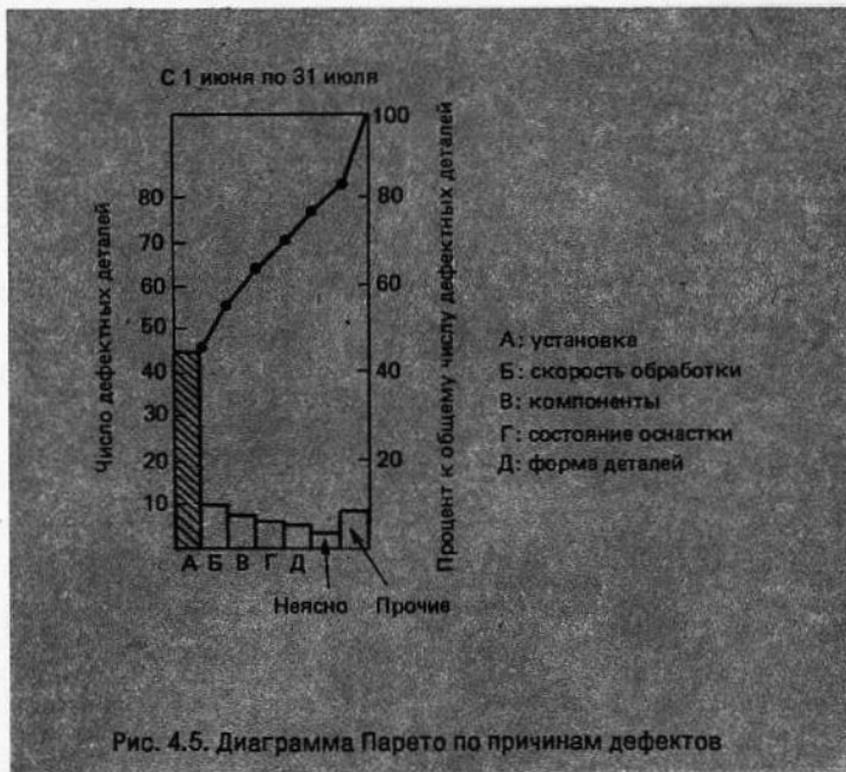


Рис. 4.5. Диаграмма Парето по причинам дефектов

4.4.3. Результаты улучшения

После внедрения усовершенствованной процедуры установки детали собрали данные и построили диаграмму Парето, чтобы сравнить результаты. Две диаграммы на рис. 4.6 явно показывают уменьшение числа дефектов в размерах.

Упражнение 4.1. Постройте диаграмму причин и результатов для следующих показателей качества:

- 1) ошибки в машинописи;
- 2) набор неверного телефонного номера;
- 3) опоздание к назначенному сроку.

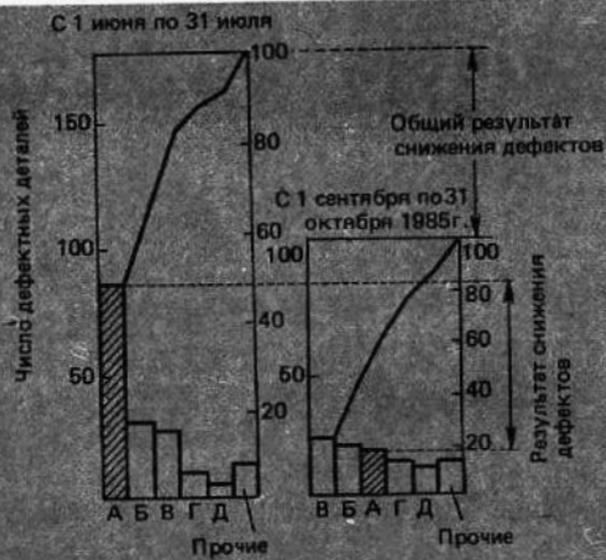


Рис. 4.6. Сравнение диаграмм Парето, построенных до и после улучшения процедуры

Глава 5

ГИСТОГРАММЫ

5.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ГИСТОГРАММЫ

5.1.1. Рассеяние и распределение

Если бы мы смогли собрать данные о процессе, в котором все факторы (человек, машина, материал, метод и т.п.) были строго постоянны, то они оказались бы одинаковыми. Однако в действительности невозможно все время сохранять постоянство всех факторов. Строго говоря, даже те несколько факторов, относительно которых мы предполагаем, что они постоянны, на самом деле не будут совершенно неизменными. Так что в любом заданном множестве данных неизбежно будет рассеяние. Да, результаты не будут все время одинаковыми, но это не значит, что они определяются как попало. Хотя сами значения все время меняются, они подчиняются некоторому правилу, а в таком случае говорят, что данные следуют определенному распределению.

5.1.2. Генеральные совокупности и выборки

В контроле качества мы стремимся на основе собранных данных выявить факты, а затем, опираясь на эти факты, предпринять необходимые действия. Сбор данных – не самоцель, но средство отыскания тех фактов, которые стоят за данными.

Возьмем, например, выборочное обследование. Мы берем некоторую выборку из партии продукции, проводим на ней измерения, а затем решаем, стоит ли нам принимать всю партию или нет. Здесь наше внимание сосредотачивается не на самой выборке, а на качестве всей партии. Другой пример – управление промышленным процессом с помощью контрольной карты средних-размахов, $\bar{X} - R$. Наша цель заключается не в определении характеристики выборки, взятой для нанесения на карту, а в том, чтобы выяснить, в каком состоянии находится сам процесс.

Вся совокупность рассматриваемых объектов называется *генеральной совокупностью (популяцией)*. В первом из приведенных выше примеров генеральной совокупностью служит партия продукции, а во втором – сам процесс.

Некоторым может показаться трудным рассматривать "процесс" как "генеральную совокупность", поскольку, если "партия продукции" действительно представляет собой некоторую группу из конечного числа объектов, то "процесс" – это вовсе не продукт, а нечто, состоящее из пяти элементов* (человек, машина, материал, метод и измерение). Если же вы обратите внимание на функцию производства продукции, то сможете понять, что с помощью "процесса", несомненно, производится группа изделий. Более того, число изделий бесконечно, если только "процесс" производства не остановится. Поэтому процесс надо рассматривать как бесконечную генеральную совокупность.

* В оригинале "5М" (man, machine, material, method and measurement). – *Примеч. пер.*

Один или несколько элементов, взятых из генеральной совокупности для получения информации о ней, называется *выборкой*. Так как выборка используется для оценивания характеристик всей генеральной совокупности, ее стоит выбирать таким образом, чтобы она отражала именно эти характеристики. Распространенный выборочный метод заключается в выборе любого члена генеральной совокупности с одинаковой вероятностью. Этот метод называют *случайным выбором*, а выборку, полученную случайным выбором, – *случайной выборкой*.

Мы получаем данные, измеряя характеристики выборки. Пользуясь этими данными, мы делаем выводы относительно генеральной совокупности, а затем производим некоторые корректирующие действия. Правда, измеренные выборочные значения будут варьировать от выборки к выборке, затрудняя решение о необходимом действии. Статистический анализ должен подсказать нам, как интерпретировать такие данные. Подробно это будет исследовано в гл. 9. На рис. 5.1 показаны отношения между генеральной совокупностью, выборкой и данными.

5.1.3. Гистограммы

Данные, полученные из выборки, служат основой для решений о генеральной совокупности. Чем больше объем выборки, тем больше информации об этой совокупности мы получим. Но рост объема выборки одновременно означает и рост количества данных, что затрудняет понимание совокупности по этим данным, даже если они табулированы. В таком случае нам нужен метод, благодаря которому мы могли бы понимать генеральную совокупность с первого взгляда. Нашим требованиям отвечает гистограмма. Организуя множество данных в гистограмму, мы

можем получить о совокупности объективное представление.

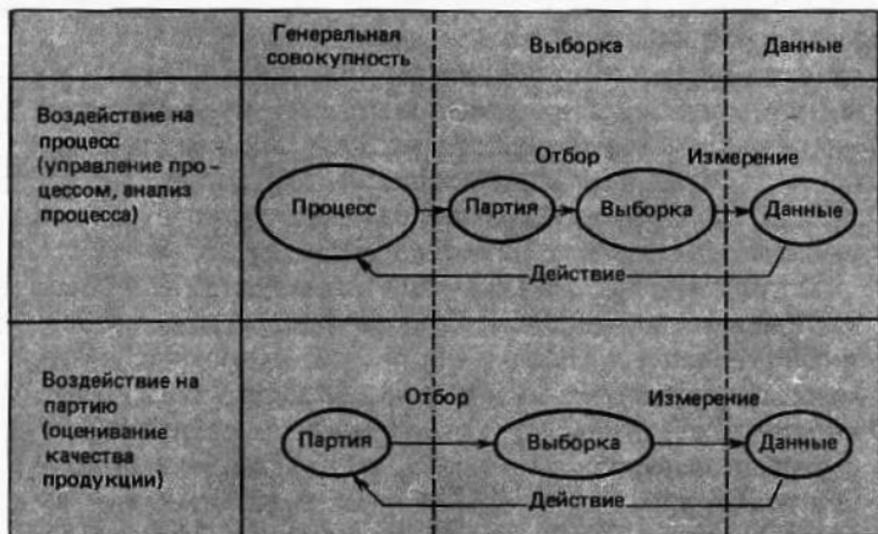


Рис. 5.1. Генеральная совокупность, выборка и данные

5.2. КАК СТРОИТЬ ГИСТОГРАММЫ?

5.2.1. Как строить таблицы частот?

Пример 5.1. Для исследования распределения диаметров стальных осей, полученных на токарном станке, были измерены диаметры 90 осей (табл. 5.1). Давайте построим гистограмму по этим данным.

Таблица 5.1

Исходные данные

Номер выборки	Результаты измерений									
1-10	2,510	2,517	2,522	2,510	2,511	2,519	2,532	2,543	2,525	2,522
11-20	2,527	2,536	2,506	2,541	2,512	2,515	2,521	2,536	2,529	2,524
21-30	2,529	2,523	2,523	2,523	2,519	2,528	2,543	2,538	2,518	2,534
31-40	2,520	2,514	2,512	2,534	2,526	2,530	2,532	2,526	2,523	2,520
41-50	2,535	2,523	2,526	2,525	2,532	2,522	2,502	2,530	2,522	2,514
51-60	2,533	2,510	2,542	2,524	2,530	2,521	2,522	2,535	2,540	2,528
61-70	2,525	2,515	2,520	2,519	2,526	2,527	2,522	2,542	2,540	2,528
71-80	2,531	2,545	2,524	2,522	2,520	2,519	2,519	2,529	2,522	2,513
81-90	2,518	2,527	2,511	2,519	2,531	2,527	2,529	2,528	2,519	2,521

Метод*Этап 1. Вычисление выборочного размаха (R)*

Получите наибольшее и наименьшее выборочные значения и вычислите R

$$R = (\text{наибольшее наблюдаемое значение}) - (\text{наименьшее наблюдаемое значение})$$

Эти наибольшие и наименьшие значения могут быть легко получены следующим образом: сначала надо вычислить наибольшее и наименьшее значения в каждой строке таблицы исходных данных, а затем взять самое большое из максимумов и самое маленькое из минимумов. Это и будет максимум и минимум всех наблюдаемых значений.

Этап 2. Определение размеров классов

Размеры классов определяются так, чтобы размах, включающий максимальное и минимальное значения, делился на интервалы равной ширины. Для получения ширины интервалов R делят на 1, 2 или 5 (либо 10, 20, 50; 0,1, 0,2,

*в выражении 5,1 42-й интервал 2,5
гипотеза наблюдений 40-80-160 и т.д.*

Таблица 5.2

Таблица для вычисления размаха

Номер образца	Результаты измерений															Максимум в строке	Минимум в строке
	2,510	2,517	2,522	2,510	2,511	2,519	2,532	2,543	2,525	2,543	2,525	2,543	2,525	2,543	2,510		
1—10	2,510	2,517	2,522	2,510	2,511	2,519	2,532	2,543	2,525	2,543	2,525	2,543	2,525	2,543	2,510	2,543	
11—20	2,527	2,536	2,541	2,512	2,515	2,521	2,536	2,541	2,524	2,529	2,524	2,541	2,524	2,541	2,506	2,541	
21—30	2,529	2,523	2,523	2,519	2,528	2,543	2,538	2,543	2,534	2,518	2,534	2,543	2,534	2,543	2,518	2,543	
31—40	2,520	2,514	2,534	2,526	2,530	2,532	2,526	2,523	2,520	2,523	2,520	2,534	2,520	2,534	2,512	2,534	
41—50	2,535	2,523	2,525	2,532	2,522	2,502	2,530	2,522	2,514	2,522	2,514	2,535	2,522	2,535	2,502	2,535	
51—60	2,533	2,510	2,524	2,530	2,521	2,522	2,535	2,540	2,528	2,540	2,528	2,542	2,528	2,542	2,510	2,542	
61—70	2,525	2,515	2,519	2,526	2,527	2,522	2,542	2,540	2,528	2,540	2,528	2,542	2,528	2,542	2,515	2,542	
71—80	2,531	2,545	2,524	2,520	2,519	2,519	2,529	2,522	2,513	2,522	2,513	2,545	2,513	2,545	2,513	2,545	
81—90	2,518	2,527	2,519	2,531	2,527	2,529	2,528	2,519	2,521	2,528	2,521	2,531	2,521	2,531	2,511	2,531	
																Наибольшее значение	Наименьшее значение
																2,545	2,502

0,5 и т.д.), чтобы получилось от 5 до 20 интервалов равной ширины. Если возникают две возможности, используют более узкий интервал при числе наблюдений 100 и больше, и более широкий при 99 наблюдениях и меньше.

Этап 3. Подготовка бланка таблицы частот

Готовится бланк (см. табл. 5.3), куда можно занести класс, среднюю точку, отметки частот, частоты и т.д.

Этап 4. Определение границ класса

Определите границы интервалов так, чтобы они включали наименьшее и наибольшее значения и положите их в основу таблицы частот.

Сначала определите нижнюю границу первого класса и прибавьте к ней ширину этого класса, чтобы получить границу между первым и вторым классами. Как только вы это сделаете, можно будет удостовериться, что первый класс включает наименьшее значение, и что его граничное значение приходится на середину принятой единицы измерения (т.е. на число 5 в следующем десятичном разряде). Далее, продолжая прибавлять найденный интервал к предыдущему значению для получения второй границы, затем третьей и т.д., можно удостовериться, что последний класс включает максимальное значение.

Этап 5. Вычисление середины класса

Вычислите, воспользовавшись приведенным ниже уравнением, середины классов и запишите их в таблицу частот:

средняя точка первого класса = сумма верхней и нижней границ первого класса/2;

средняя точка второго класса = сумма верхней и нижней границ второго класса/2

и т.д.

Средины второго, третьего и последующих классов можно еще получить и так:

середина второго класса = середина первого класса + интервал класса;

середина третьего класса = середина второго класса + интервал класса

и т. д.

Таблица 5.3

Таблица частот

№ п/п	Класс	Сере- дина клас- са, x	Подсчет частот	Часто- та, f
1	2,5005–2,5055	2,503	/	1
2	2,5055–2,5105	2,508	////	4
3	2,5105–2,5155	2,513	///	9
4	2,5155–2,5205	2,518	///	14
5	2,5205–2,5255	2,523	///	22
6	2,5255–2,5305	2,528	///	19
7	2,5305–2,5355	2,533	///	10
8	2,5355–2,5405	2,538	///	5
9	2,5405–2,5455	2,543	/// /	6
	Итого		-	90

Примечания: 1. Если бы сумма частот $f(\Sigma f)$ оказалась неравной общему числу наблюдаемых значений (n), это означало бы, что в подсчет частот вкралась ошибка.

2. Если понадобятся относительные частоты, то их можно получить, деля абсолютные частоты f на общее число наблюдений n .

Этап 6. Получение частот

Прочтите наблюдаемые значения одно за другим и запишите частоты, приходящиеся на каждый интервал, используя наклонные черточки, сгруппированные по пять, как показано ниже:

Частота	1	2	3
Подсчет частоты /		//	///
Частота	4	5	6
Подсчет частоты ////		///	/// /
Частота	7	...	
Подсчет частоты /// /		...	

Пример**Этап 1. Вычисление R**

R получается из наибольшего и наименьшего выборочных значений (см. табл. 5.2).

Наибольшее значение = 2,545.

Наименьшее значение = 2,502.

Следовательно,

$$R = 2,545 - 2,502 = 0,043.$$

Этап 2. Определение размеров классов

$0,043:0,002 = 21,6$ и мы примем это равным 22, округляя до ближайшего целого числа.

$0,043:0,005 = 8,6$ и мы примем это равным 9, округляя до ближайшего целого числа.

$0,043:0,010 = 4,3$ и мы примем это равным 4, округляя до ближайшего целого числа. Таким образом, интервал класса оказался равным 0,005, поскольку при этом получается число интервалов между 5 и 20.

Этап 3. Подготовка таблицы частот

Подготовка таблицы показана в табл. 5.3.

Этап 4. Определение границ класса

Границы первого класса следует положить равными 2,5005 и 2,5055 так, чтобы этот класс включал наименьшее значение 2,502. Тогда границы второго класса придется положить равными 2,5055 – 2,5105 и т.д. Все это представлено в таблице частот (см. табл. 5.3).

5.3. КАК ЧИТАТЬ ГИСТОГРАММЫ?

5.3.1. Типы гистограмм

Полезную информацию о характере популяции можно получить, взглянув на форму гистограммы. Формы, представленные на рис. 5.3, типичны, и вы можете воспользоваться ими как образцами при анализе процессов.

а) **Обычный тип** (симметричный или колоколообразный). Среднее значение гистограммы приходится на середину размаха данных. Наивысшая частота оказывается в середине и постепенно снижается к обоим концам. Форма симметрична.

Примечание. Это именно та форма, которая встречается чаще всего.

б) **Гребенка** (мультимодальный тип). Классы через один имеют более низкие частоты.

Примечание. Такая форма встречается, когда число единичных наблюдений, попадающих в класс, колеблется от класса к классу или когда действует определенное правило округления данных.

в) **Положительно скошенное распределение** (отрицательно скошенное распределение). Среднее значение гистограммы локализуется слева (справа) от центра размаха. Частоты довольно резко спадают при движении влево (вправо) и, наоборот, медленно вправо (влево). Форма асимметрична.

Примечание. Такая форма встречается, когда нижняя (верхняя) граница регулируется либо теоретически, либо по значению допуска или когда левое (правое) значение недостижимо.

г) **Распределение с обрывом слева** (распределение с обрывом справа). Среднее арифметическое гистограммы

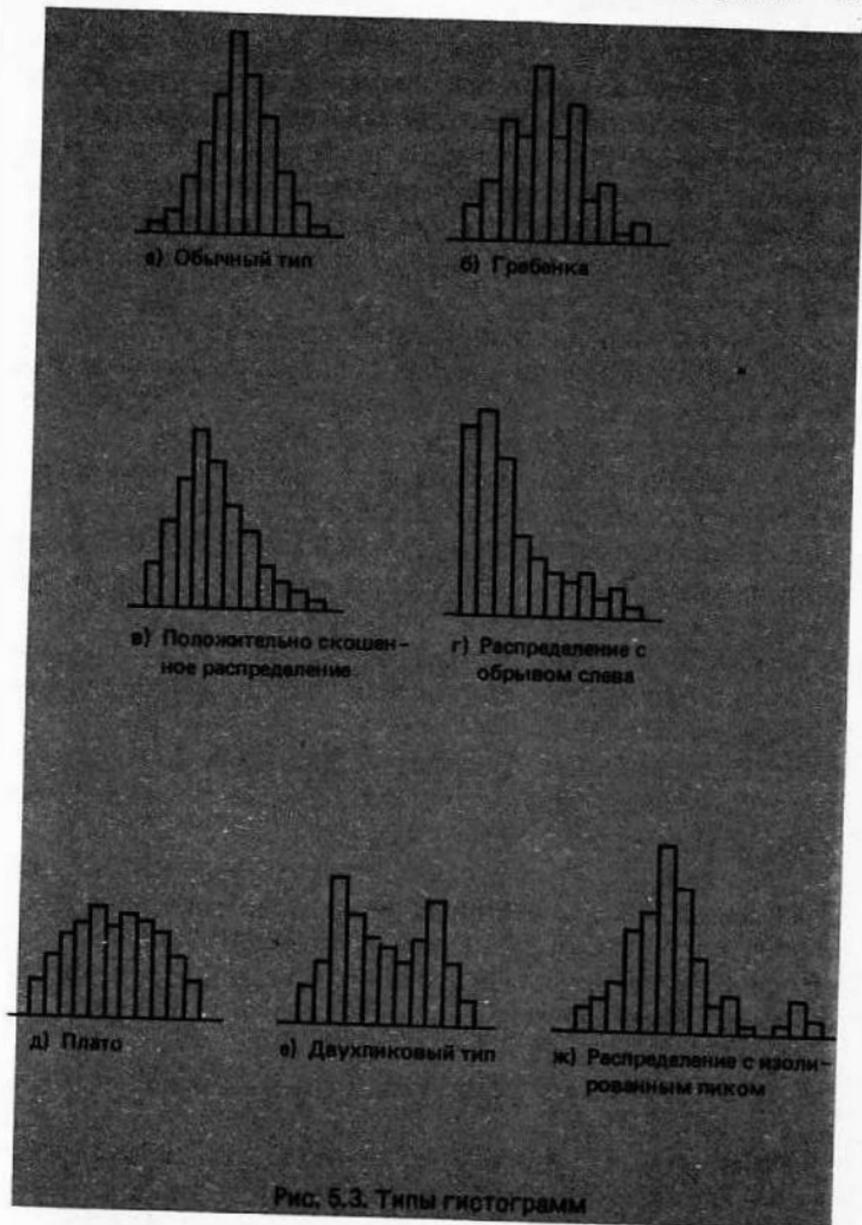


Рис. 5.3. Типы гистограмм

локализуется далеко слева (справа) от центра размаха. Частоты резко спадают при движении влево (вправо) и, наоборот, медленно вправо (влево). Форма асимметрична.

Примечание. Это одна из тех форм, которые часто встречаются при 100 %-ном просеивании изделий из-за плохой воспроизводимости процесса, а также когда проявляется резко выраженная положительная (отрицательная) асимметрия.

д) **Плато** (равномерное и прямоугольное распределение). Частоты в разных классах образуют плато, поскольку все классы имеют более или менее одинаковые ожидаемые частоты с конечными классами.

Примечание. Такая форма встречается в смеси нескольких распределений, имеющих различные средние.

е) **Двухпиковый тип** (бимодальный тип). В окрестностях центра диапазона данных частота низкая, зато есть по пику с каждой стороны.

Примечание. Такая форма встречается, когда смешиваются два распределения с далеко отстоящими средними значениями.

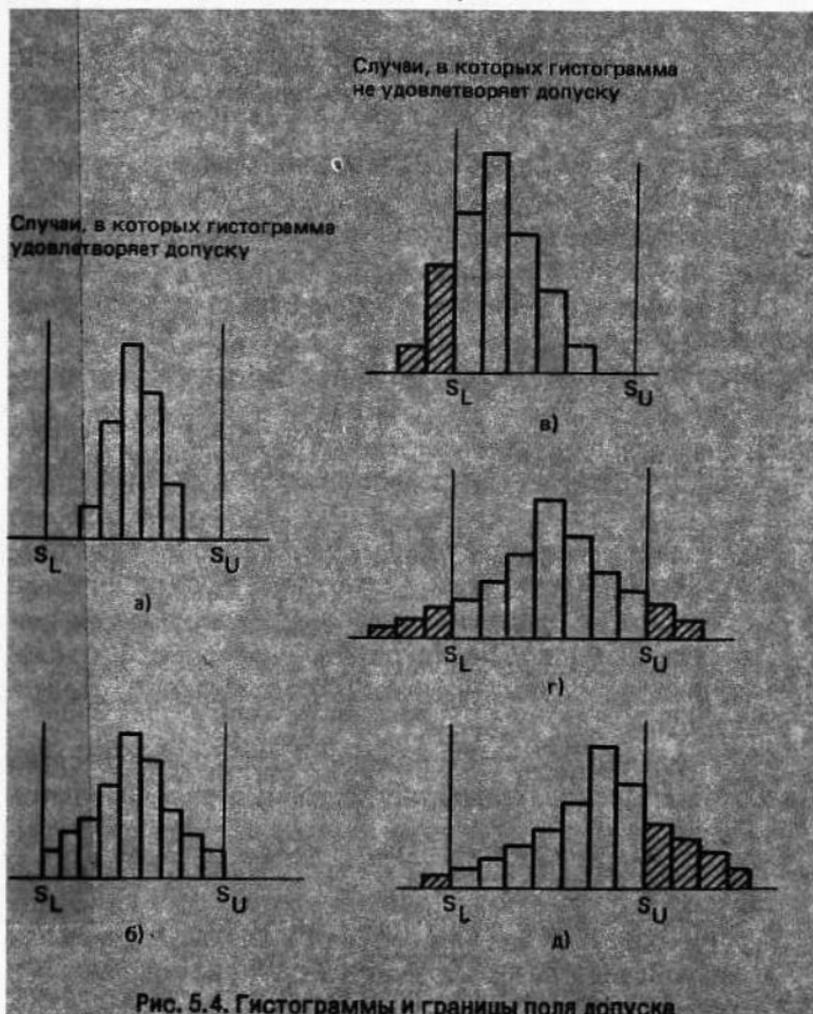
ж) **Распределение с изолированным пиком.** Наряду с распределением обычного типа появляется маленький изолированный пик.

Примечание. Это форма, которая появляется при наличии малых включений данных из другого распределения, как, скажем, в случае нарушения нормальности процесса, появления ошибки измерения или просто включения данных из другого процесса.

5.3.2. Сравнение гистограмм с границами допуска

Если имеется допуск, то нанесите на гистограмму линии его границ, дабы сравнить распределение с этими

границами. Тогда вы увидите, хорошо ли располагается гистограмма внутри границ. Пять типичных случаев, показанных на рис. 5.4, описываются ниже. Используйте их для справок при оценивании популяций.



Когда гистограмма удовлетворяет допуску, возможно, что:

а) поддержание существующего состояния — это все, что требуется, поскольку гистограмма вполне соответствует допускам;

б) допуски удовлетворяются, но нет никакого запаса. Поэтому было бы лучше сократить разброс до меньшего значения.

Когда гистограмма не удовлетворяет допуску, возможно, что:

в) необходимо добиться смещения среднего ближе к центру поля допуска;

г) потребуются действия, направленные на снижение вариации;

д) одновременно потребуются меры, описанные в пунктах в) и г).

5.3.3. Расслоение (стратификация) гистограмм

Наблюдаемые значения делятся на две или более подсовокупности в соответствии с теми условиями, которые существовали во время сбора данных. Такие подсовокупности называются *слоями (стратами)*, а процесс разделения данных по слоям называется *расслоением (стратификацией)*.

Наблюдаемые значения всегда отягощены некоторым разбросом. Следовательно, когда данные расслаиваются в соответствии с известными факторами, которые считаются причиной вариации, то сами причины вариации гораздо легче определить. Таким методом можно эффективно пользоваться для повышения качества продукции за счет уменьшения разброса и улучшения оценки среднего значения процесса.

Расслоение обычно проводят по материалам, машинам, условиям производства и рабочим.

5.4. МЕРЫ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

5.4.1. Средние и стандартные отклонения

Значение измеряемой характеристики выборки, взятой из генеральной совокупности, будет варьироваться и его нельзя предсказать заранее. Такую переменную называют *случайной величиной*. Характеристики качества промышленной продукции имеют как раз такую природу.

При сборе подобных данных часто более удобно рассматривать каждый результат как часть целого множества (популяции), а не обрабатывать его отдельно. Чтобы осознать данные как группу, мы сначала определим центр этих данных, а затем выясним, как каждый результат группируется вокруг этого центра.

Типичной мерой для представления центра данных служит *среднее арифметическое*, или *математическое ожидание* (ожидаемое значение). Когда у нас есть n отдельных значений x_1, \dots, x_n , среднее таких данных дается выражением

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j, \quad (5.1)$$

но для множества как целого среднее определяется выражением

$$\mu = \sum xP(x) \quad (5.2)$$

или

$$\mu = \int x f(x) dx, \quad (5.3)$$

где $P(x)$ – вероятность, а $f(x)$ – плотность распределения случайной величины x .

Величина \bar{x} – среднее арифметическое полученных данных, она называется *выборочным средним*. Величина μ – среднее арифметическое всего множества, которое мы рассматриваем, она называется *генеральным средним*.

Дисперсия и стандартное отклонение принадлежат к мерам, используемым для выражения степени концентрации данных относительно их центра. Когда у нас есть n отдельных значений x_1, \dots, x_n , их дисперсия дается выражением

$$V = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (5.4)$$

а стандартное отклонение –

$$s = \sqrt{V}. \quad (5.5)$$

Дисперсия генеральной совокупности получается из формулы

$$\sigma^2 = \sum (x - \mu)^2 P(x) \quad (5.6)$$

или

$$\sigma^2 = \int (x - \mu)^2 f(x) dx, \quad (5.7)$$

а стандартное отклонение, которое представляет собой корень квадратный из дисперсии, обозначается через σ .

Дисперсия есть средний квадрат разности между индивидуальными данными и их средним. Большая дисперсия означает большое рассеяние в данных.

Величины V и s – значения, получаемые из имеющихся данных, они называются *выборочной дисперсией* и *выборочным стандартным отклонением* соответственно. Величины σ^2 и σ – значения, относящиеся к генеральной совокупности, их называют *генеральной дисперсией* и *генеральным стандартным отклонением* соответственно.

5.4.2. Вычисление средних и стандартных отклонений

Пример 5.2. Ниже приведены результаты измерения размеров некоторой детали станка. Вычислите среднее и стандартное отклонение:

13,42 13,62 13,56 13,66 13,48 13,52 13,57

Иногда данные преобразуются по формуле

$$X_i = (x_i - a)h, \quad (5.8)$$

что может облегчить вычисления. Тогда

$$\bar{x} = a + \frac{1}{h} \bar{X}; \quad (5.9)$$

$$\begin{aligned} S &= \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{h^2} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = \\ &= \frac{1}{h^2} \left\{ \sum X_i^2 - \frac{1}{n} (\sum X_i)^2 \right\}; \end{aligned} \quad (5.10)$$

$$V = S/(n - 1); \quad (5.11)$$

$$s = \sqrt{V}. \quad (5.12)$$

Предположим, что в нашем примере a и h равны 13,40 и 100 соответственно. Тогда мы получим следующую таблицу:

Таблица 5.4

x	X	X ²
13,42	2	4
13,62	22	484
13,56	16	256
13,66	26	676
13,48	8	64
13,52	12	144
13,57	17	289
Итого	103	1917

$$\bar{X} = \frac{103}{7} = 14,7.$$

Из (5.9) имеем:

$$\bar{x} = 13,40 + \frac{1}{100} \times 14,7 = 13,547.$$

Из (5.10) получаем:

$$S = \frac{1}{100^2} \left\{ 1817 - \frac{1}{7} \times 103^2 \right\} = 4,01 \times 10^{-2};$$

$$V = 4,01 \times 10^{-2} / (7 - 1) = 0,669 \times 10^{-2};$$

$$s = \sqrt{0,669 \times 10^{-2}} = 0,082.$$

5.4.3. Вычисление средних и стандартных отклонений из таблиц частот

Давайте вычислим среднее и стандартное отклонение для диаметров 90 осей (см. табл. 5.1). Когда данных много

и они обобщены в таблице частот, среднее и стандартное отклонение вычисляется следующим образом:

Метод

Этап 1. Подготовьте бланк для вычислений как показано в табл. 5.5.

Этап 2. Запишите в бланк границы классов, их середины и частоты f .

Таблица 5.5

Расчетная таблица

№ п/п	Класс	Середина класса, x	Частота, f	u	uf	u^2f
1	2,5005–2,5055	2,503	1	-4	-4	16
2	2,5055–2,5105	2,508	4	-3	-12	36
3	2,5105–2,5155	2,513	9	-2	-18	36
4	2,5155–2,5205	2,518	14	-1	-14	14
5	2,5205–2,5255	2,523	22	0	0	0
6	2,5255–2,5305	2,528	19	1	19	19
7	2,5305–2,5355	2,533	10	2	20	40
8	2,5355–2,5405	2,538	5	3	15	45
9	2,5405–2,5455	2,543	6	4	24	96
	Итого		90	-	30	302

Этап 3. Обозначьте нулем ($u = 0$) тот класс, которому соответствует максимальная частота f и запишите 0 в столбце u .

Выпишите $-1, -2, \dots$ для классов, следующих к наименьшему наблюдаемому значению, и $1, 2, \dots$ для классов, следующих к наибольшему значению.

Взаимоотношения между x и u выражаются следующим уравнением:

$$u = (x - a)/h, \quad (5.13)$$

где a – середина класса, для которого $u = 0$, а h – интервал класса.

Этап 4. Запишите произведения u и f в столбец uf , а произведения u и uf – в столбец u^2f ; найдите суммы каждого из них и запишите в соответствующих местах:

$$\Sigma uf = u_1 f_1 + u_2 f_2 + \dots$$

$$\Sigma u^2 f = u_1^2 f_1 + u_2^2 f_2 + \dots$$

Этап 5. Вычислите \bar{x} , пользуясь следующим уравнением:

$$\bar{x} = a + h(\Sigma uf/n). \quad (5.14)$$

Этап 6. Вычислите s , пользуясь следующим уравнением:

$$s = h \sqrt{(\Sigma u^2 f - \frac{(\Sigma uf)^2}{n}) / (n - 1)}. \quad (5.15)$$

Пример (пример 5.1)

Этап 3. Обозначьте нулем среднюю точку u в классе 5.

$$a = 2,523$$

$$h = 0,005.$$

Этап 4.

$$\text{№ 1} \quad uf = (-4) \times 1 = -4$$

$$\text{№ 2} \quad uf = (-3) \times 4 = -12$$

⋮

$$\text{№ 1 } u^2 f = uf \times u = (-4) \times (-4) = 16$$

$$\text{№ 2 } u^2 f = uf \times u = (-12) \times (-3) = 36$$

$$\vdots$$

$$\Sigma uf = (-4) + (-12) + \dots + 24 = 30$$

$$\Sigma u^2 f = 16 + 36 + \dots + 96 = 302$$

Этап 5.

$$\bar{x} = 5,523 + 0,005 \times \frac{30}{90} = 2,523 + 0,00167 = 2,52467 \text{ (мм)}$$

Этап 6.

$$s = 0,005 \times \sqrt{(302 - \frac{30^2}{90}) / (90 - 1)} =$$

$$= 0,005 \times \sqrt{3,2809} = 0,00906 \text{ (мм)}$$

5.5. НОРМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

5.5.1. Нормальное распределение

Всякая гистограмма строится на основе некоторого числа данных. Но что произойдет с гистограммой, если мы станем наращивать число данных? Если интервал класса по мере роста числа данных будет все меньше и меньше, то сглаженная кривая распределения частот получится как предел распределения относительных частот. Она как раз и станет представлением для самой генеральной совокупности, поскольку получается из бесконечного числа данных.

Есть множество видов распределений, но самое типичное из них – *нормальное распределение*. Когда разброс

характеристики качества обусловлен суммой большого числа независимых неограниченных ошибок, вызванных различными факторами, то распределение этой характеристики качества во многих случаях получается приблизительно нормальным. Нормальное распределение можно легко узнать по колоколообразной или вершиноподобной форме либо при более подробном описании: а) его наибольшая частота приходится на середину интервала и плавно спадает к его концам (хвостам) и б) оно симметрично.

Математически эту кривую можно представить следующим образом:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5.16)$$

На рис. 5.5 показана форма этого распределения.

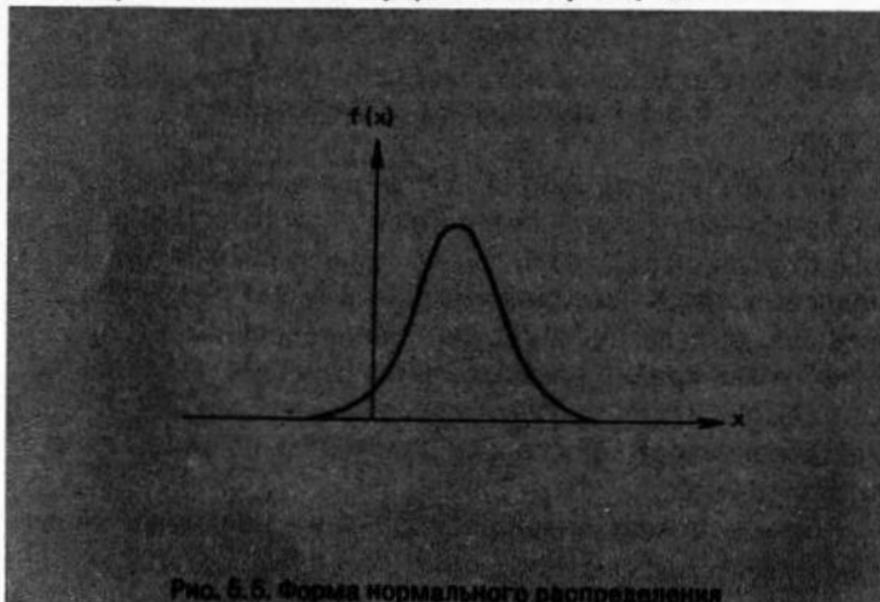


Рис. 5.5. Форма нормального распределения

5.5.2. Характеристики нормального распределения

Как можно заметить из уравнения (5.16), нормальное распределение имеет два параметра μ и σ^2 .

Эти параметры однозначно определяют нормальное распределение, которое поэтому обозначается просто как $N(\mu, \sigma^2)$. Сами параметры имеют следующий смысл: μ – центр распределения (среднее арифметическое); σ – разброс распределения (стандартное отклонение). Их можно представить графически (рис. 5.6):

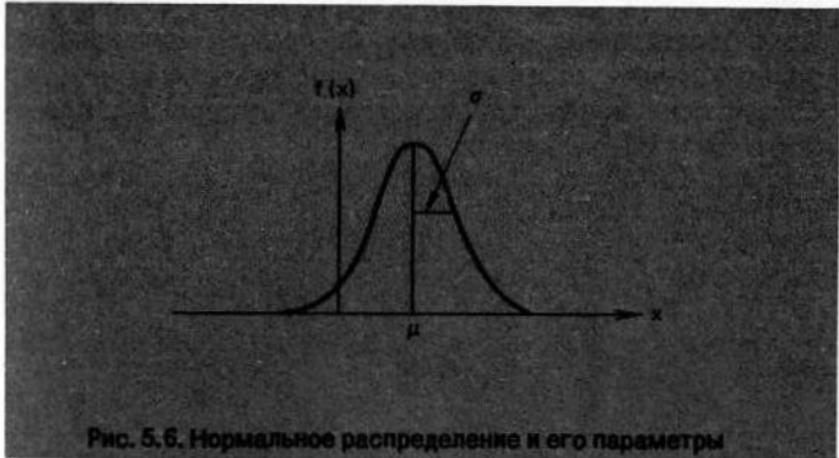


Рис. 5.6. Нормальное распределение и его параметры

Для подсчета вероятностей в нормальном распределении мы его стандартизуем и пользуемся таблицами нормального распределения. *Стандартизация* – это преобразование случайной величины x к

$$u = \frac{x - \mu}{\sigma}. \quad (5.17)$$

Тогда мы получаем стандартную меру u , распределенную как *стандартное (нормированное) нормальное распределение*.

ние $N(0, 1^2)$. Таблица нормального распределения содержит вероятности нормированного нормального распределения (см. табл. А.1 в приложении).

Давайте попробуем найти вероятность того, что случайная величина x из распределения $N(\mu, \sigma^2)$ окажется в пределах $\mu \pm u\sigma$. На рис. 5.7 показаны вероятности для различных значений u . Теоретически нормальная переменная может принимать любое значение от $-\infty$ до $+\infty$. Но из рисунка видно, что уже для $u = 3$ вероятность составит 99,7%. Это означает, что на практике мы можем пренебречь шансами, что x окажется за пределами $\mu \pm 3\sigma$. Этот факт представляет собой важное правило нормального распределения, называемое *правилом трех сигм*. Оно служит основанием для определения контрольных пределов в контрольных картах.

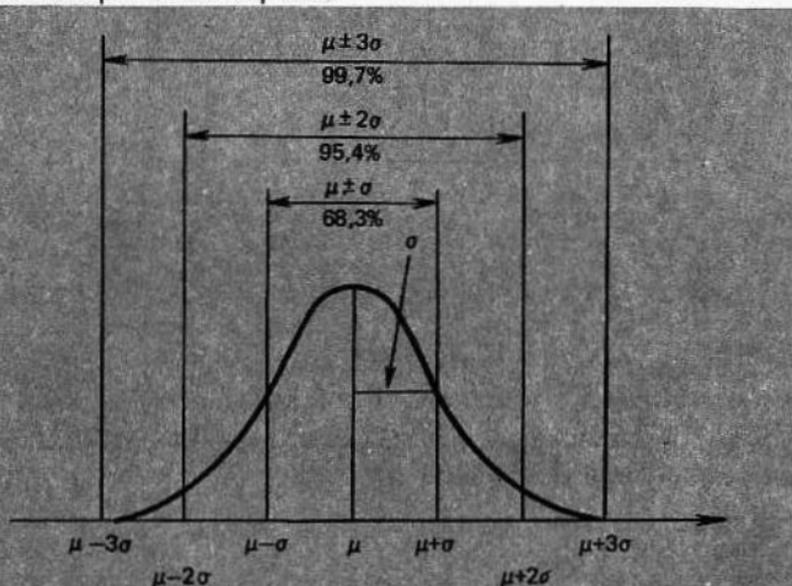


Рис. 5.7. Параметры μ , σ и вероятности для нормального распределения

5.5.3. Индекс воспроизводимости процесса

Когда выясняется, что гистограмма следует нормальному распределению, часто предпринимается исследование воспроизводимости процесса. Оно важно при оценке того, сможет ли процесс пересечь границы поля допуска или нет. Если допустить, что процесс имеет нормальное распределение, то можно сразу же определить процент дефектов, оказавшихся за данными границами допуска при данных параметрах (μ , σ). Но более полезно оценить процесс с помощью C_p (индекса воспроизводимости процесса). Приведем определение C_p .

При двусторонних границах допуска (S_U и S_L):

$$C_p = \frac{S_U - S_L}{6s} . \quad (5.18)$$

При односторонних границах допуска (S_U или S_L):

$$C_p = \frac{S_U - \bar{x}}{3s} \quad (5.19)$$

или

$$C_p = \frac{\bar{x} - S_L}{3s} . \quad (5.20)$$

А вот как оценивается процесс с помощью C_p :

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| 1) $1,33 \leq C_p$ | вполне удовлетворительно; |
| 2) $1,00 \leq C_p < 1,33$ | адекватно; |
| 3) $C_p < 1,00$ | неадекватно. |

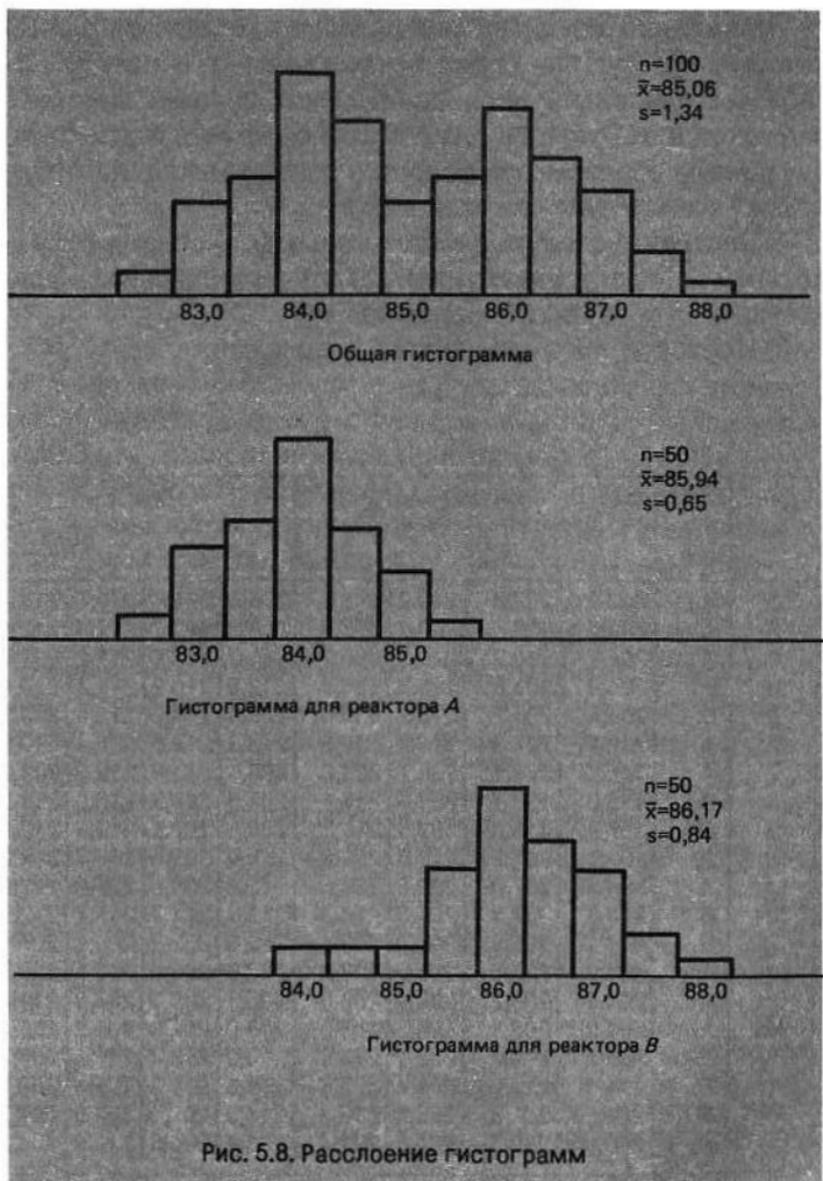
Пример 5.3. В табл. 5.6 приведены выходы некоторого химического процесса, идущего в реакторе. Поскольку

для проведения процесса использовались два реактора А и В, было бы интересно выяснить, нет ли между ними различия. Было проведено расслоение в зависимости от того, в каком реакторе шел процесс; результаты представлены на рис. 5.8. Так были обнаружены различия между двумя реакторами.

Таблица 5.6

Расслоение данных

№ п/п	Реак- тор	х									
1	А	84,9	26	В	86,2	51	В	86,6	76	В	85,4
2	А	83,8	27	В	87,2	52	В	87,0	77	В	84,6
3	В	86,2	28	А	83,0	53	В	86,7	78	А	83,9
4	В	85,7	29	В	86,3	54	А	84,9	79	А	83,2
5	А	83,9	30	А	83,9	55	А	83,7	80	В	85,7
6	В	86,4	31	А	83,5	56	В	84,7	81	В	86,9
7	В	86,8	32	В	84,1	57	А	85,1	82	А	84,0
8	В	87,0	33	В	84,7	58	В	85,4	83	В	85,7
9	А	83,8	34	А	85,3	59	А	84,4	84	А	84,3
10	В	86,0	35	А	84,5	60	А	84,2	85	В	86,0
11	В	86,3	36	А	84,5	61	В	85,8	86	А	83,6
12	А	83,0	37	В	86,2	62	А	85,1	87	В	86,0
13	А	83,5	38	А	84,1	63	А	84,4	88	А	83,6
14	А	82,7	39	А	83,2	64	А	83,8	89	В	86,5
15	В	85,2	40	В	86,2	65	В	87,0	90	В	87,6
16	В	86,7	41	А	82,9	66	В	86,9	91	А	84,7
17	А	83,1	42	А	83,8	67	В	85,5	92	А	85,1
18	В	85,9	43	А	83,7	68	А	83,7	93	А	83,8
19	В	87,5	44	В	86,6	69	В	86,0	94	В	86,6
20	А	83,8	45	В	85,7	70	А	84,5	95	В	86,7
21	В	87,5	46	А	82,9	71	В	87,9	96	А	84,3
22	А	84,4	47	В	86,9	72	А	82,7	97	А	83,7
23	А	83,4	48	В	86,1	73	А	84,2	98	В	84,9
24	А	84,3	49	В	86,0	74	А	83,9	99	В	85,8
25	В	86,1	50	А	83,8	75	В	85,5	100	В	84,1



Упражнение 5.1. В пекарне работают два пекаря А и В, которые пользуются двумя печами (печь 1 и печь 2). В табл. 5.7 приведены веса французских булочек, изготовившихся в течение 20 дней. Ежедневно из каждой печи случайным образом отбиралось и взвешивалось по 4 булочки. Границы допуска равны 200 – 225 г.

1) Постройте следующие гистограммы: а) общую; б) для пекарей А и В; в) для печей 1 и 2; г) 4 гистограммы для возможных сочетаний пекарей и печей.

2) Исследуйте их, сравнивая с допусками.

Таблица 5.7

День	Бу- лоч- ник	Печь 1				Печь 2			
1	А	209,2	209,5	210,2	212,0	214,3	221,8	214,6	214,4
2	А	208,5	208,7	206,2	207,8	215,3	216,7	212,3	212,0
3	А	204,2	210,2	210,5	205,9	215,7	213,8	215,2	202,7
4	В	204,0	203,3	198,2	199,9	212,5	210,2	211,3	210,4
5	В	209,6	203,7	213,2	209,6	208,4	214,9	212,8	214,8
6	А	208,1	207,9	211,0	206,2	212,3	216,2	208,4	210,8
7	А	205,2	204,8	198,7	205,8	208,1	211,9	212,9	209,0
8	В	199,0	197,7	202,0	213,1	207,5	209,9	210,6	212,3
9	В	197,2	210,6	199,5	215,3	206,9	207,1	213,6	212,2
10	В	199,1	207,2	200,8	201,2	209,6	209,5	206,8	214,2
11	А	204,6	207,0	200,8	204,6	212,2	209,8	207,6	212,6
12	В	214,7	207,5	205,8	200,9	211,4	211,2	214,4	212,6
13	В	204,1	196,6	204,6	199,4	209,6	209,2	206,1	207,1
14	А	200,2	205,5	208,0	202,7	203,5	206,9	210,6	212,3
15	А	201,1	209,2	205,5	200,0	209,1	206,3	209,8	211,4
16	А	201,3	203,1	196,3	205,5	208,0	207,9	205,3	203,6
17	В	202,2	204,4	202,1	206,6	210,0	209,4	209,1	207,0
18	В	194,1	211,0	208,4	202,6	215,6	211,8	205,4	209,0
19	В	204,8	201,3	208,4	212,3	214,5	207,5	212,9	204,3
20	А	200,6	202,3	204,3	201,4	209,1	205,8	212,0	204,2



Глава 6

ДИАГРАММЫ РАССЕЙВАНИЯ

6.1. ЧТО ТАКОЕ ДИАГРАММЫ РАССЕЙВАНИЯ?

На практике часто важно изучить зависимости между парами соответствующих переменных. Как, например, установить, зависит ли вариация размеров детали от изменений скорости шпинделя токарного станка? Или, допустим, мы хотим управлять концентрацией материала, но предпочитаем заменить измерение концентрации измерением удельного веса, поскольку на практике его гораздо легче мерить. Для изучения зависимостей между двумя переменными, такими, как скорость токарного станка и размер детали или концентрация и удельный вес, мы можем воспользоваться так называемой *диаграммой рассеивания*.

Эти две переменные могут относиться к:

- а) характеристике качества и влияющему на нее фактору;
- б) двум различным характеристикам качества;
- в) двум факторам, влияющим на одну характеристику качества.

Для нащупывания связи между ними важно прежде всего построить диаграмму рассеивания и понять ситуацию в целом.

6.2. КАК ПОСТРОИТЬ ДИАГРАММУ РАССЕЙВАНИЯ?

Такие диаграммы строятся в следующей последовательности.

Этап 1. Соберите парные данные (x, y) , между которыми вы хотите исследовать зависимость, и расположите их в таблицу. Было бы хорошо иметь по меньшей мере 30 пар данных.

Этап 2. Найдите максимальные и минимальные значения и для x , и для y . Выберите шкалы на горизонтальной и вертикальной осях так, чтобы обе длины рабочих частей получились приблизительно одинаковыми, тогда диаграмму будет легче читать. Возьмите на каждой оси от 3 до 10 градаций и используйте для облегчения чтения круглые числа. Если одна переменная – фактор, а вторая – характеристика качества, то выберите для фактора горизонтальную ось x , а для характеристики качества – вертикальную ось y .

Этап 3. На отдельном листе бумаги начертите график и нанесите на него данные. Если в разных наблюдениях получаются одинаковые значения, покажите эти точки, либо рисуя концентрические кружки (⊙), либо нанося вторую точку рядом с первой.

Этап 4. Сделайте все необходимые обозначения. Убедитесь, что нижеперечисленные данные, отраженные на диаграмме, понятны любому человеку, а не только тому, кто делал диаграмму:

- а) название диаграммы;
- б) интервал времени;
- в) число пар данных;
- г) названия и единицы измерения для каждой оси;
- д) имя (и прочее) человека, который делал эту диаграмму.

Пример 6.1. Фирма-производитель пластиковых емкостей, изготовляемых методом литья под давлением, сталкивается с трудностями из-за дефектных емкостей, имеющих слишком тонкие стенки. Было высказано подозрение, что причина неподходящей толщины стенок заключается в вариации давления сжатого воздуха, которое каждый день меняется. В табл. 6.1 приведены данные о давлении воздуха и проценте дефектов. Давайте по этим данным построим диаграмму рассеивания, пользуясь приведенным выше алгоритмом.

Таблица 6.1

**Данные о давлении и проценте дефектов
пластиковых емкостей**

Дата	Давление, кгс/см ²	Процент дефектов	Дата	Давление, кгс/см ²	Процент дефектов
Октябрь 1	8,6	0,889	Октябрь 22	8,7	0,892
2	8,9	0,884	23	8,5	0,877
3	8,8	0,874	24	9,2	0,885
4	8,8	0,891	25	8,5	0,866
5	8,4	0,874	26	8,3	0,896
6	8,7	0,886	29	8,7	0,896
9	9,2	0,911	30	9,3	0,928
10	8,6	0,912	31	8,9	0,886
11	9,2	0,895	Ноябрь 1	8,9	0,908
12	8,7	0,896	2	8,3	0,881
15	8,4	0,894	5	8,7	0,882
16	8,2	0,864	6	8,9	0,904
17	9,2	0,922	7	8,7	0,912
18	8,7	0,909	8	9,1	0,925
19	9,4	0,905	9	8,7	0,872

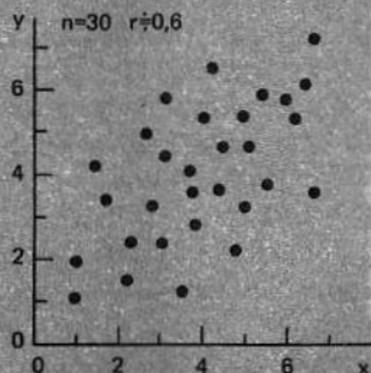
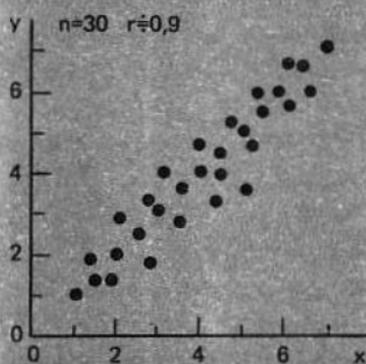
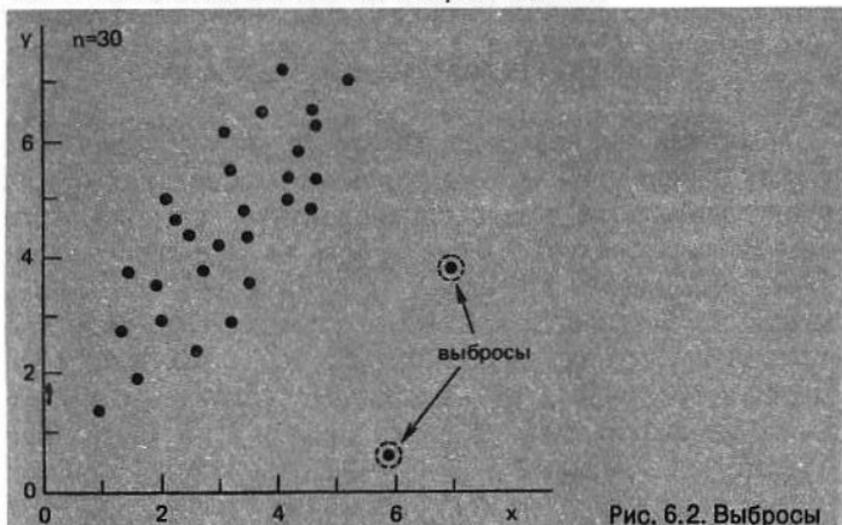
Этап 4. Обозначьте интервал времени, в течение которого собирались данные, образующие выборку (с 1 октября – 9 ноября), объем выборки ($n = 30$), горизонтальную ось (давление сжатого воздуха, кгс/см²), вертикальную ось (процент дефектов) и название диаграммы (“Диаграмма рассеивания для давления и процента дефектов”).

6.3. КАК ЧИТАТЬ ДИАГРАММЫ РАССЕИВАНИЯ?

Точно так же, как по гистограмме можно распознать форму распределения, по диаграмме рассеивания можно представить себе общее распределение пар. Для этого вам сначала следует выяснить, есть ли на диаграмме какие-нибудь далеко отстоящие точки (выбросы). В общем, можно предположить, что любые такие точки, удаленные от основной группы (рис. 6.2), либо результат ошибок измерения или записи данных, либо обусловлены некоторыми изменениями в условиях работы. Эти точки надо обязательно исключить из корреляционного анализа. Однако вместо того, чтобы совершенно пренебречь этими точками, мы лучше обратим внимание на причины таких нерегулярностей, поскольку, отыскивая их причины, мы часто оказываемся вознагражденными неожиданной, но весьма полезной информацией.

Возможны многочисленные варианты скоплений точек и некоторые типичные из них приведены на рис. 6.3.1 – 6.3.6. На рис. 6.3.1 и 6.3.2 величина y растет с ростом x ; это *положительная корреляция*. Причем на рис. 6.3.1 эта тенденция выражена очень ярко, и следует говорить о сильной положительной корреляции. На рис. 6.3.4 и 6.3.5 показана ситуация, обратная положительной корреляции, поскольку с ростом x величина y уменьшается; это *отрицательная корреляция*. На рис. 6.3.4 показана сильная

отрицательная корреляция. А на рис. 6.3.3 приведен случай, когда между x и y нет никакой определенной связи, так что здесь можно говорить об *отсутствии корреляции*. На рис. 6.3.6 с ростом x величина y меняется криволинейно. Об этом мы поговорим позже.



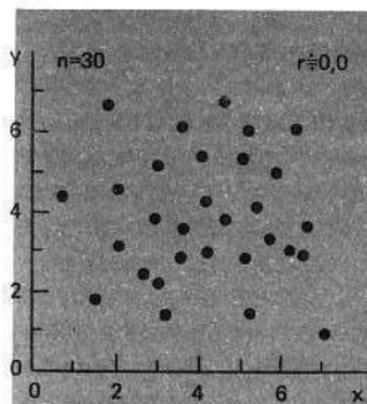


Рис. 6.3.3. Нет корреляции:

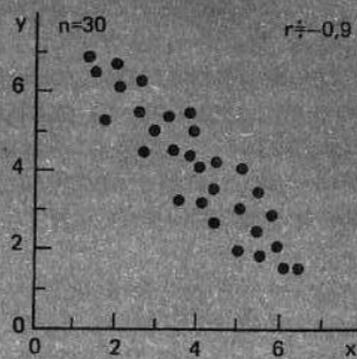


Рис. 6.3.4. Отрицательная корреляция

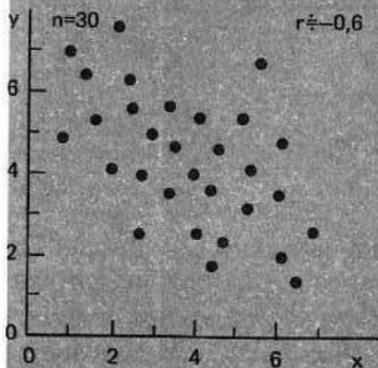


Рис. 6.3.5. Может быть отрицательная корреляция

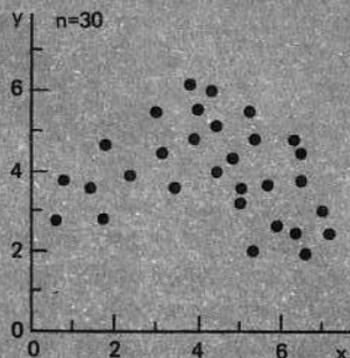


Рис. 6.3.6

6.4. ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕЛЯЦИИ

Для изучения связи между x и y прежде всего важно нарисовать диаграмму рассеивания, но для установления силы связи в количественных терминах полезно вычислить коэффициент корреляции в соответствии со следующим определением:

$$r = \frac{S(xy)}{\sqrt{S(xx)S(yy)}}, \quad (6.1)$$

где

$$S(xx) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}; \quad (6.2)$$

$$S(yy) = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}; \quad (6.3)$$

$$S(xy) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n}. \quad (6.4)$$

Число "n" – это число пар данных, а $S(xy)$ называется ковариацией. Коэффициент корреляции (r) принимает значения из диапазона $-1 \leq r \leq 1$. Если абсолютное значение r окажется больше 1, то совершенно ясно, что произошла ошибка, и вы должны пересчитать результат. В случае сильной положительной корреляции (см. рис. 6.3.1) достигается значение, близкое к +1, а при сильной отрицательной корреляции (см. рис. 6.3.4) достигается значение,

близкое к -1 . Таким образом, когда $|r|$ близок к 1 , это указывает на сильную корреляцию между x и y , а когда $|r|$ близок к 0 – на слабую корреляцию. Более того, при $|r| = 1$ все данные будут лежать на прямой. Если вы будете помнить об этом и приучитесь оценивать значение r по диаграмме рассеивания, то сможете обнаруживать ошибки в вычислениях.

Давайте найдем коэффициент корреляции для предыдущего примера о пластиковых емкостях. Дополнительная расчетная таблица приведена в табл. 6.2. Из нее имеем:

$$S(xx) = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} = 2312,02 - \frac{263,2^2}{30} = 2,88; \quad (6.5)$$

$$S(yy) = \sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n} = 23,97833 - \frac{26,816^2}{30} = 0,00840; \quad (6.6)$$

$$S(xy) = \sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n} = 235,3570 - \frac{263,2 \times 26,816}{30} = 0,0913; \quad (6.7)$$

$$r = \frac{0,0913}{\sqrt{2,88 \times 0,00840}} = 0,59. \quad (6.8)$$

Значение r оказалось равным $0,59$, следовательно, существует некоторая положительная корреляция между давлением сжатого воздуха и процентом дефектов пластиковых емкостей.

Таблица 6.2

Дата	x	y	x ²	y ²	xy	
Октябрь	1	8,6	0,889	73,96	0,79032	7,6454
	2	8,9	0,884	79,21	0,78146	7,8676
	3	8,8	0,874	77,44	0,76388	7,6912
	4	8,8	0,891	77,44	0,79388	7,8408
	5	8,4	0,874	70,56	0,76388	7,3416
	8	8,7	0,886	75,69	0,78500	7,7082
	9	9,2	0,911	84,64	0,82992	8,3812
	10	8,6	0,912	73,96	0,83174	7,8432
	11	9,2	0,895	84,64	0,80102	8,2340
	12	8,7	0,896	75,69	0,80282	7,7952
	15	8,4	0,894	70,56	0,79924	7,5096
	16	8,2	0,864	67,24	0,74650	7,0848
	17	9,2	0,922	84,64	0,85008	8,4824
	18	8,7	0,909	75,69	0,82628	7,9083
	19	9,4	0,905	88,36	0,81902	8,5070
	22	8,7	0,892	75,69	0,79566	7,7604
	23	8,5	0,877	72,25	0,76913	7,4545
	24	9,2	0,885	84,64	0,78322	8,1420
	25	8,5	0,866	72,25	0,74996	7,3610
	26	8,3	0,896	68,89	0,80282	7,4368
	29	8,7	0,896	75,69	0,80282	7,7952
30	9,3	0,928	86,49	0,86118	8,6304	
31	8,9	0,886	79,21	0,78500	7,8854	
Ноябрь	1	8,9	0,908	79,21	0,82446	8,0812
	2	8,3	0,881	68,89	0,77616	7,3123
	5	8,7	0,882	75,69	0,77792	7,6734
	6	8,9	0,904	79,21	0,81722	8,0456
	7	8,7	0,912	75,69	0,83174	7,9344
	8	9,1	0,925	82,81	0,85562	8,4175
	9	8,7	0,872	75,69	0,76038	7,5864
	Итого	263,2	26,816	2312,02	23,97833	235,3570

6.5. НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ О КОРРЕЛЯЦИОННОМ АНАЛИЗЕ

Метод суждения о существовании корреляции с помощью построения диаграмм рассеивания и вычисления коэффициента корреляции, описанный выше, называется *корреляционным анализом*. Рассмотрим некоторые соображения о корреляционном анализе.

6.5.1. Координатные оси

При описании этапа 2 построения диаграммы рассеивания давалось объяснение относительно выбора координатных осей. На рис. 6.4 представлены одни и те же данные. Только на рис. 6.4.1 вдвое сжата горизонтальная ось по отношению к рис. 6.3.5, а на рис. 6.4.2 вдвое сжата вертикальная ось. Распределение, показанное на рис. 6.3.5, вполне можно интерпретировать как отрицательную корреляцию, что отнюдь не так ясно выражено на рис. 6.4.1 и 6.4.2. Здесь даже может показаться, что корреляции вообще нет. Таким образом, если шкалы выбраны плохо, это может привести к ошибочной интерпретации информации. Значит, надо выбирать координатные оси именно так, как предписано в этапе 2.

6.5.2. Расслоение

На рис. 6.5.1 и 6.5.2 представлена диаграмма рассеивания для зависимости вязкости производимой жидкости от количества примесей в ней. На рис. 6.5.1 слева, где данные двух компаний А и В объединены и обезличены, кажется, что корреляции не должно быть, но стоит только выделить компании и корреляция сразу проявляется

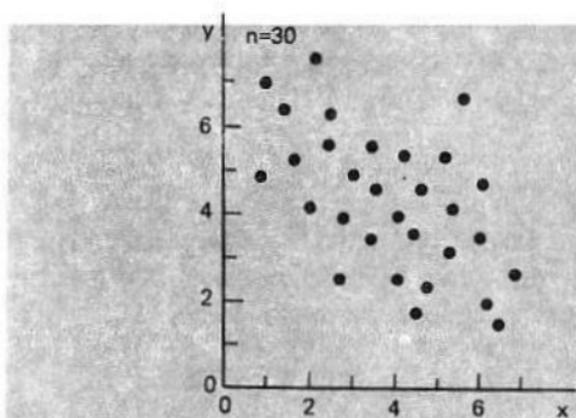


Рис. 6.3.5

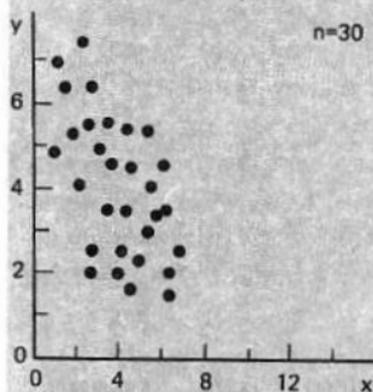


Рис. 6.4.1

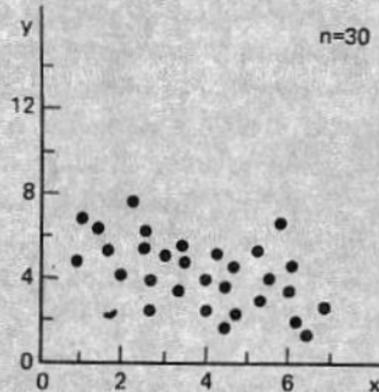


Рис. 6.4.2

Рис. 6.4. Визуальный эффект изменения масштабов на осях

(см. рис. 6.5.1 справа). Наоборот, на рис. 6.5.2 кажется, что имеет место общая корреляция, но как только данные разделяются между компаниями А и В, так сразу выясня-

ется (см. рис. 6.5.2 справа), что никакой корреляции вовсе нет. Если есть какой-нибудь стратифицирующий фактор, то после разделения данных на отдельные слои и обозначе-

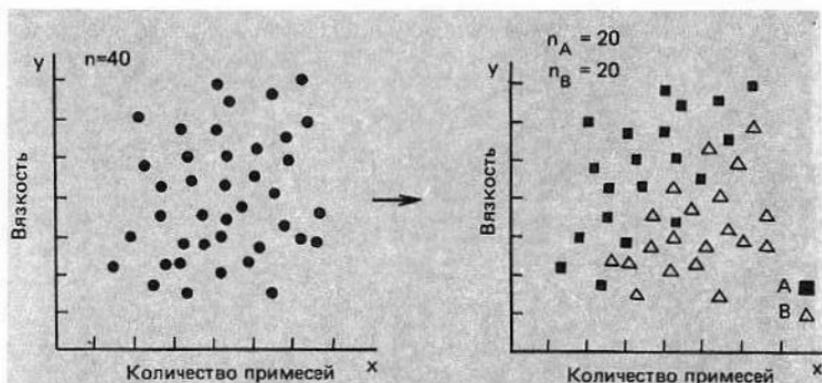


Рис. 6.5.1. Расслоение на диаграмме рассеивания

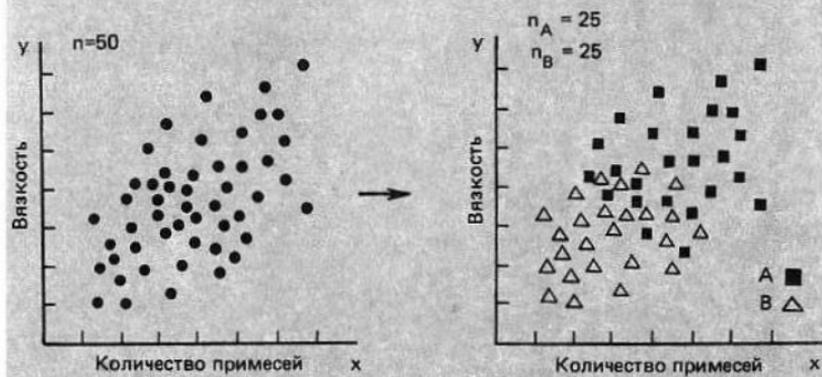


Рис. 6.5.2. Расслоение на диаграмме рассеивания

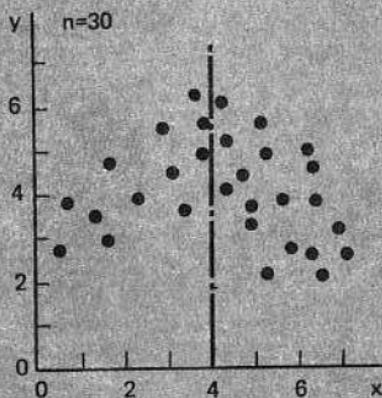


Рис. 6.3.6

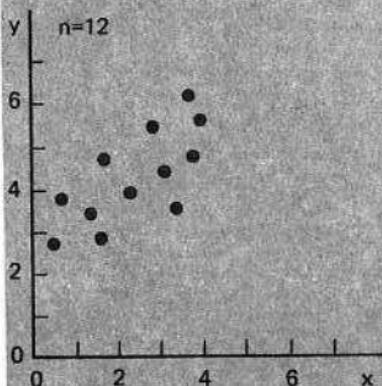


Рис. 6.6.1

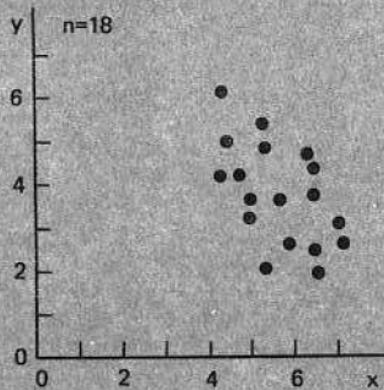


Рис. 6.6.2

Рис. 6.6. Эффект размаха переменной (1)

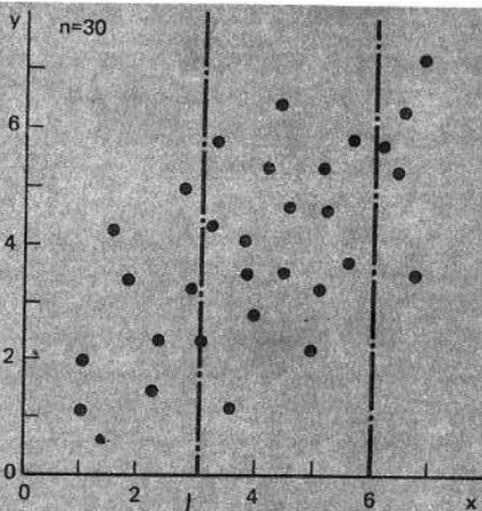


Рис. 6.3.2

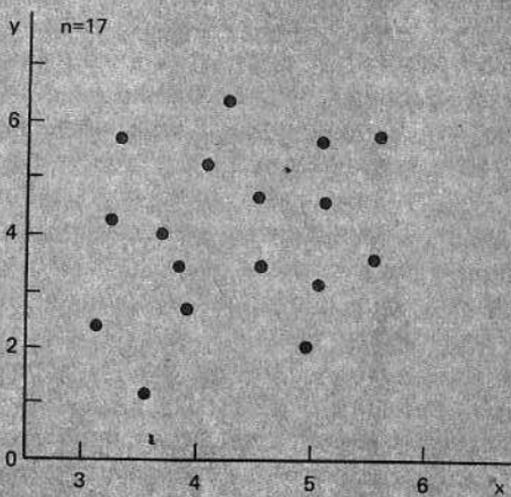


Рис. 6.7.1

Рис. 6.7. Эффект размаха переменной (2)

ния их разными цветами или символами мы можем получить жизненно важную информацию. Для этого надо всегда сохранять запись исходных данных и основания для получения информации, что может оказаться полезным в последующем анализе.

6.5.3. Размахи переменных

На рис. 6.6.1 и 6.6.2 показаны две половинки рис. 6.3.6, который разделен так, что $0 \leq x \leq 4$ относится к рис. 6.6.1, а $4 < x \leq 8$ – к рис. 6.6.2. В параграфе 6.3 отмечалось, что с ростом x y меняется по кривой. Если вы исследуете ситуацию при $0 \leq x \leq 4$, то вы, вероятно, скажете, что имеет место положительная корреляция (см. рис. 6.6.1). Напротив, на рис. 6.6.2 вы, вероятно, обнаружите отрицательную корреляцию.

Рис. 6.7.1 представляет собой часть рис. 6.3.2 при $3 \leq x \leq 6$. Но если на рис. 6.3.2 была явно выражена положительная корреляция, то на рис. 6.7.1 никакой явной корреляции нет. Как видно из этих примеров, выявление того, есть корреляция или нет, в значительной степени зависит от размахов переменных, и совершенно не обязательно, что корреляция будет одинаковой при любых размахах. То же самое остается справедливым и в случае с различными слоями. Так, на рис. 6.5.2 приводится зависимость вязкости жидкостей, выпускаемых компаниями А и В, от количества примесей в них. Когда данные двух компаний смешаны, наблюдается некоторая корреляция, но когда они рассматриваются отдельно, никакой корреляции не обнаруживается. Поэтому крайне опасно экстраполировать выводы за пределы полученных данных, а если это делается, то требует либо проверки экспериментом, либо проведения подходящего технического исследования.

6.5.4. Ложные корреляции

В одном обследовании было установлено, что существует сильная положительная корреляция между индексом потребительских цен и числом пожаров. Если бы это было действительно так, то с уменьшением индекса мы бы наблюдали и снижение числа случайных возгораний. Но скорее всего это будет не так. Для сокращения числа случаев возгорания нам следовало бы сосредоточиться на своевременной очистке пепельниц и на том, чтобы не разбрасывать мусор, который может стать источником возгорания. Таким образом, когда между двумя переменными вычисляется коэффициент корреляции, иногда случайно проявляется сильная корреляция, которая или не подкрепляется вовсе, или подкрепляется слишком слабой причинно-следственной зависимостью между ними. Корреляция такого рода называется *ложной корреляцией*. Даже если коэффициент корреляции высок, это совсем не обязательно указывает на причинно-следственную связь. Данный факт надо хорошо запомнить и думать о нем при научных и технологических исследованиях.

6.6. ЧТО ТАКОЕ РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ?

В предыдущем примере с пластиковыми емкостями, которые получались дефектными из-за тонких стенок, мы обнаружили, что существует положительная корреляция между давлением воздуха и процентом дефектов. Чтобы предотвратить возможность получения тонких стенок, мы должны продолжить анализ еще на один этап. Если давление сжатого воздуха принимает определенное значение, то какая толщина стенок должна получиться? Какое давление надо поддерживать, чтобы стенки емкости не получи-

лись слишком тонкими? Для выполнения такого анализа и ответа на эти вопросы надо определить количественную зависимость между давлением и толщиной стенок.

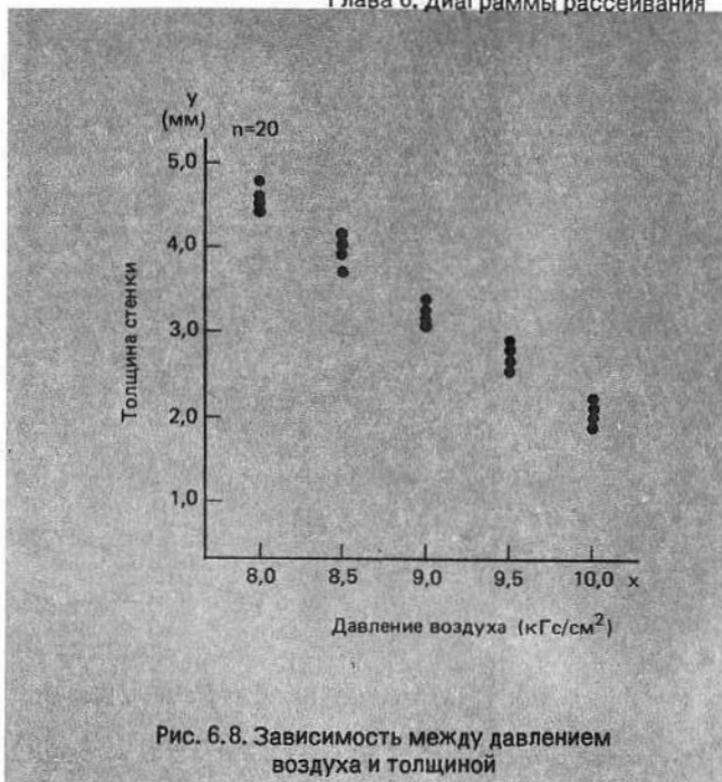
В табл. 6.3 приведены результаты эксперимента, в котором давление сознательно изменялось, а толщина стенок всякий раз измерялась. На рис. 6.8 приведена диаграмма рассеивания для этих данных. Глядя на эту диаграмму, можно заметить, что между давлением и толщиной стенки есть линейная зависимость. Теперь давайте обозначим давление через x , а толщину стенки – через y и предположим, что есть линейная зависимость:

$$y = \alpha + \beta x.$$

Такая прямая обычно называется *линией регрессии*, где y – отклик (зависимая переменная), а x – объясняющая (независимая) переменная, фактор. Кроме того, α называется *константой* (свободным членом) и β – *коэффициентом регрессии* (угловым коэффициентом). Количественный подход к представлению связи между x и y , отыскиваемой в виде линии регрессии, называется *регрессионным анализом*.

Таблица 6.3

Давление воздуха, кгс/см ²	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
Толщина стенки, мм	4,62	4,12	3,21	2,86	1,83
	4,50	3,88	3,05	2,53	2,02
	4,43	4,01	3,16	2,71	2,24
	4,81	3,67	3,30	2,62	1,95



6.7. ОЦЕНИВАНИЕ ЛИНИИ РЕГРЕССИИ

Пусть $(x_i, y_i) (1 \leq i \leq n)$ будет множеством из n пар результатов наблюдений, $\hat{\alpha}$ и $\hat{\beta}$ – оценками значений α и β , а e_i – остатком от y_i без $\hat{\alpha} + \hat{\beta}x_i$, т.е.

$$e_i = y_i - (\hat{\alpha} + \hat{\beta}x_i) \quad (1 \leq i \leq n). \quad (6.9)$$

С помощью метода наименьших квадратов значения $\hat{\alpha}$ и $\hat{\beta}$ получаются как значения, которые минимизируют $\sum_{i=1}^n e_i^2$,

остаточную сумму квадратов. Этот метод реализуется следующими этапами.

Этап 1. Найдите по имеющимся данным \bar{y} и \bar{x} .

Этап 2. Подсчитайте $S(xx)$ и $S(xy)$.

Этап 3. Найдите значение $\hat{\beta}$ по формуле

$$\hat{\beta} = \frac{S(xy)}{S(xx)}, \quad (6.10)$$

а $\hat{\alpha}$ – по формуле

$$\hat{\alpha} = \bar{y} - \hat{\beta}\bar{x}. \quad (6.11)$$

Те значения $\hat{\alpha}$ и $\hat{\beta}$, которые получаются на этом этапе, доставляют минимум остаточной сумме квадратов.

Давайте теперь, используя данные из табл. 6.3, вычислим линию регрессии

Этап 1.

$$\bar{x} = (8,0 + 8,5 + 9,0 + 9,5 + 10,0) \times 4/20 = 9,00; \quad (6.12)$$

$$\bar{y} = (4,62 + 4,50 + \dots + 1,95)/20 = 3,276. \quad (6.13)$$

Этап 2.

$$S(xx) = \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2/n = 1630 - 180^2/20 = 10,0; \quad (6.14)$$

$$S(xy) = \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)/n = 576,88 - 180 \times \\ \times 65,52/20 = 12,8. \quad (6.15)$$

Этап 3.

$$\hat{\beta} = -12,8/10,0 = -1,28; \quad (6.16)$$

$$\hat{\alpha} = 3,276 - (-1,28) \times 9,00 = 14,80. \quad (6.17)$$

Таким образом, линия регрессии имеет вид: $y = 14,80 - 1,28x$. Другими словами, на каждое увеличение давления на 1 кгс/см^2 толщина стенки уменьшается на $1,28 \text{ мм}$.

На рис. 6.9 показана вычисленная выше линия регрессии. Точки на этой диаграмме рассеивания должны в основном равномерно распределяться вокруг данной линии регрессии. А если это не так, то возможно, что в вычислениях вкралась ошибка, поэтому выполненные этапы надо проверить.

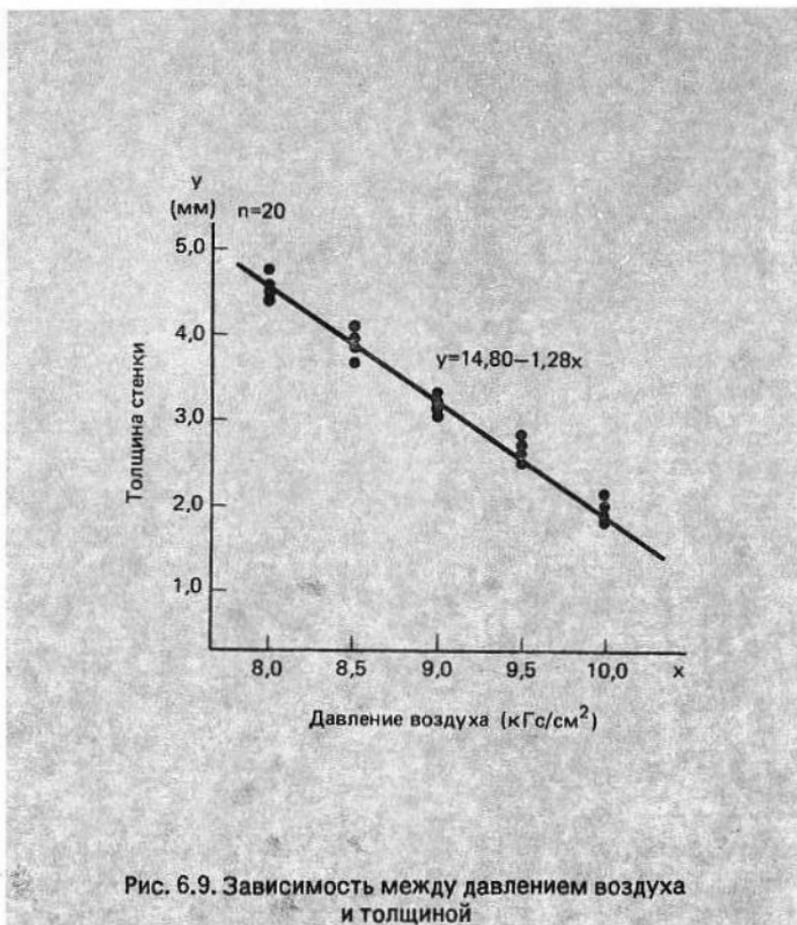


Рис. 6.9. Зависимость между давлением воздуха и толщиной

6.8. НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ О РЕГРЕССИОННОМ АНАЛИЗЕ

Некоторые комментарии, сделанные относительно диаграмм рассеивания и корреляционного анализа, применимы и к регрессионному анализу. В частности, важно то, что прежде, чем проводить регрессионный анализ, необходимо сначала построить диаграмму рассеивания.

Взгляните на диаграммы рассеивания, приведенные на рис. 6.10.1 – 6.10.4. На них изображены 4 множества исходных данных. Эти 4 графика, заимствованные из работы Ф. Дж. Энскамби "Графики в статистическом анализе" [F. J. Anscombe. Graphs in Statistical Analysis], дают практически одинаковые результаты, если их подвергнуть регрессионному анализу (табл. 6.4). Однако вы можете заметить, что на всех графиках точки расположены совершенно по-разному. Например, глядя на диаграмму рис. 6.10.1, можно подумать, что должна использоваться та самая линия регрессии, какая и изображена на нем, а на рис. 6.10.2 надо было бы подогнать не прямую, а кривую линию, так как пользоваться здесь прямой неестественно. Далее, на рис. 6.10.3 есть одна выпавшая точка, которую, видимо, следует проигнорировать либо вам придется повторить измерение. Среди 11 наборов данных на рис. 6.10.4 точка $x = 19$ имеет огромное влияние на определение линии, но поскольку есть данные только для $x = 8$ или $x = 19$, было бы лучше получить еще дополнительные данные. Все это можно выявить, только построив диаграмму рассеивания. Хотя линию регрессии можно вычислить, используя данные любого сорта, на практике было бы опрометчиво вычислять ее без построения диаграммы рассеивания.

Диаграмма рассеивания – исходный пункт и для корреляционного, и для регрессионного анализа. Вам не следует забывать, что первый этап – тщательное исследование данных.

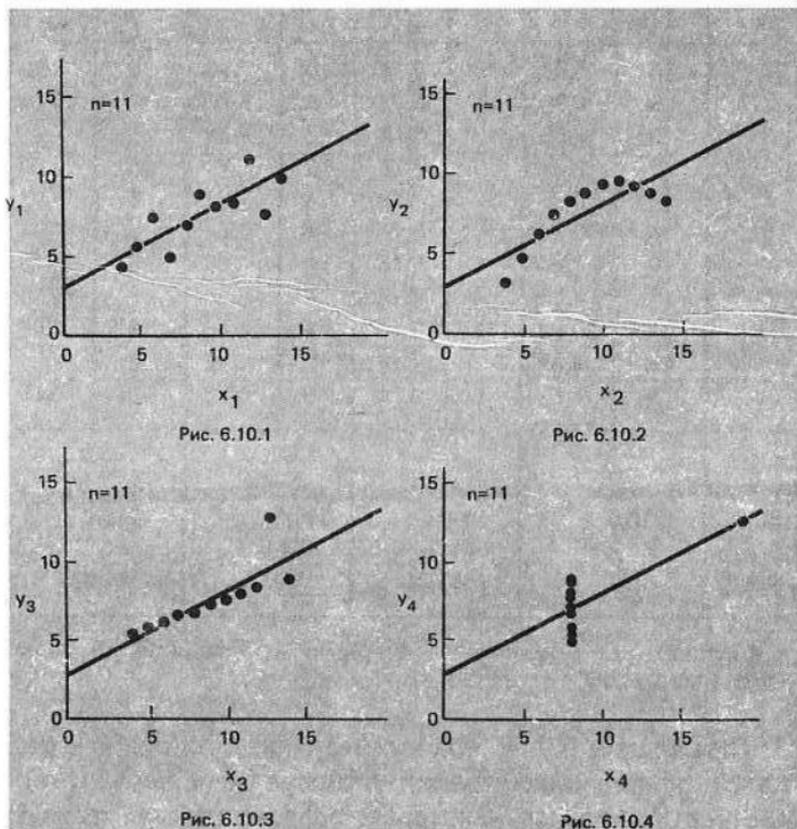


Рис. 6.10. Разные диаграммы рассеивания, имеющие одинаковые линии регрессии

Таблица 6.4

Пример*

№ п/п	x_1	y_1	x_2	y_2	x_3	y_3	x_4	y_4
1	10	8,04	10	9,14	10	7,46	8	6,58
2	8	6,95	8	8,14	8	6,77	8	5,76
3	13	7,58	13	8,74	13	12,74	8	7,71
4	9	8,81	9	8,77	9	7,11	8	8,84
5	11	8,33	11	9,26	11	7,81	8	8,47
6	14	9,96	14	8,10	14	8,84	8	7,04
7	6	7,24	6	6,13	6	6,08	8	5,25
8	4	4,26	4	3,10	4	5,39	19	12,50
9	12	10,84	12	9,13	12	8,15	8	5,56
10	7	4,82	7	7,26	7	6,42	8	7,91
11	5	5,68	5	4,74	5	5,73	8	6,89
\bar{x}	9,0		9,0		9,0		9,0	
\bar{y}	7,50		7,50		7,50		7,50	
$S(xx)$	110,0		110,0		110,0		110,0	
$S(yy)$	41,27		41,27		41,23		41,23	
$S(xy)$	55,01		55,00		54,97		54,99	

* Источник. Anscombe F.J. Graphs in Statistical Analysis, American Statistician, 27, 17 – 21 (1973).

Упражнение 6.1. В приведенной ниже таблице содержатся данные концентрации углерода, x (в процентах) и прочности на разрыв некоторого сорта стали, y (в кг/мм²).

- 1) Постройте диаграмму рассеивания и исследуйте ее.
- 2) Найдите коэффициент корреляции.
- 3) Найдите линию регрессии, которая оценивает прочность на разрыв y по содержанию углерода x .

№ п/п	x, %	y, кг/мм ²	№ п/п	x, %	y, кг/мм ²
1	2,0	43	16	2,7	47
2	2,4	46	17	2,1	42
3	2,2	45	18	2,6	48
4	2,3	44	19	2,4	45
5	2,5	45	20	2,1	43
6	2,8	48	21	2,3	45
7	2,2	43	22	2,2	43
8	2,7	47	23	2,3	46
9	2,4	44	24	2,4	47
10	2,3	45	25	2,3	44
11	2,0	42	26	2,4	45
12	2,2	44	27	2,6	46
13	2,6	47	28	2,5	42
14	2,1	44	29	2,6	46
15	2,5	46	30	2,4	46

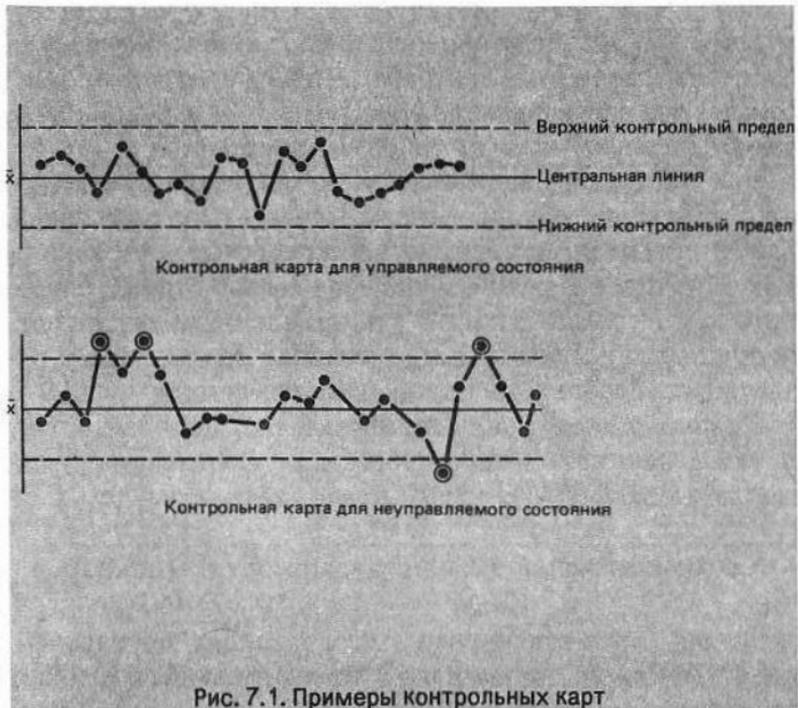


Глава 7 КОНТРОЛЬНЫЕ КАРТЫ

7.1. ЧТО ТАКОЕ КОНТРОЛЬНЫЕ КАРТЫ?

Впервые контрольные карты были предложены в 1924 г. У.Шухартом, работавшим в Bell Telephone Laboratories, с намерением исключить необычную вариацию, отделяя вариации, которые обусловлены *определенными причинами*, от тех, что обусловлены *случайными причинами*. Всякая контрольная карта состоит из центральной линии, пары контрольных пределов, по одному над и под центральной линией, и значений характеристики (показателя качества), нанесенных на карту для представления состояния процесса. Если все эти значения оказываются внутри контрольных пределов, не проявляя каких бы то ни было тенденций, то процесс рассматривается как находящийся в контролируемом состоянии. Если же, напротив, они попадут за контрольные пределы или примут какую-нибудь необычную форму, то процесс считается вышедшим из-под контроля. Примеры приведены на рис. 7.1. Качество промышленной продукции в процессе производства неизбежно подвержено вариации. Для такой вариации есть различные причины, которые можно разделить на следующие два вида.

Случайная причина. Вариация, обусловленная случайными причинами, необходима; она неизбежно встречается в любом процессе, даже если технологическая операция



проводится с использованием стандартных сырья и методов. В настоящее время исключение случайных причин непрактично технически и экономически.

Определенная причина. Вариация, обусловленная определенной причиной, означает, что существуют факторы, допускающие изучение. Этих воздействий можно избежать и нельзя упускать такую возможность: бывают случаи, когда изменения вызваны несоблюдением стандартов или применением не тех стандартов.

Когда точки попадают за контрольные пределы или проявляют определенную тенденцию, мы говорим, что процесс вышел из-под контроля. Другими словами, можно

сказать: "Существуют определенные причины вариации, и процесс вышел из-под контроля". Чтобы управлять процессом, к этим причинам надо вернуться, хотя вариации, связанные со случайными причинами, допускаются.

Для построения контрольной карты необходимо оценить вариацию, обусловленную случайными причинами. Для этого мы делим данные на *подгруппы*, внутри которых остаются неизменными партия сырья, станок, оператор и другие общие факторы, так что вариации внутри подгрупп можно рассматривать примерно так же, как и вариации, обусловленные случайными причинами.

В зависимости от вида показателя и от цели существуют различные типы контрольных карт. В одном из типов контрольный предел вычисляется по такой формуле:

$$(\text{среднее значение}) \pm 3 \times (\text{стандартное отклонение}),$$

где стандартное отклонение и есть вариация, обусловленная случайными причинами. Этот тип контрольных карт называется контрольной картой с 3-сигмовыми пределами.

7.2. ТИПЫ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ

Существуют два типа контрольных карт: один для непрерывных значений, а второй – для дискретных. Типы контрольных карт регламентируются Японским Промышленным Стандартом (JIS), как показано в табл. 7.1, а формулы для вычисления контрольных линий приведены в табл. 7.2 (см. с. 116).

Таблица 7.1

Типы контрольных карт

Значения характеристики (показателя качества)	Название
Непрерывные значения	$(\bar{x} - R)$ -карта (среднее значение и размах)
Дискретные значения	\bar{x} -карта (измеряемое значение) pn -карта (число дефектных изделий) p -карта (доля дефектов) c -карта (число дефектов) u -карта (число дефектов на единицу)

7.2.1. $(\bar{x} - R)$ -карта

Эта карта используется для анализа и управления процессами, показатели качества которых представляют собой непрерывные величины (длина, вес или концентрация) и несут наибольшее количество информации о процессе. Величина \bar{x} есть среднее значение для подгруппы, а R – выборочный размах для той же подгруппы. Обычно R -карту используют вместе с \bar{x} -картой для управления разбросом внутри подгрупп.

7.2.2. \bar{x} -карта

Если данные о процессе поступают через большие интервалы времени или если группирование данных не эффективно, они наносятся на график отдельными точками по мере поступления, и их тоже можно использовать для

Таблица 7.2

Перечень формул для контрольных линий

Вид контрольной карты	Верхний контрольный предел (UCL), центральная линия (CL), нижний контрольный предел (LCL)
\bar{x}	$UCL = \bar{x} + A_2 \bar{R}$ $CL = \bar{x}$ $LCL = \bar{x} - A_2 \bar{R}$
R	$UCL = D_4 \bar{R}$ $CL = \bar{R}$ $LCL = D_3 \bar{R}$
\bar{x}	$UCL = \bar{x} + 2,66 \bar{R}_s$ $CL = \bar{x}$ $LCL = \bar{x} - 2,66 \bar{R}_s$
pn	$UCL = \bar{p}n + 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}$ $CL = \bar{p}n$ $LCL = \bar{p}n - 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}$
p	$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$ $CL = \bar{p}$ $LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$
c	$UCL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$ $CL = \bar{c}$ $LCL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$
u	$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n}$ $CL = \bar{u}$ $LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/n}$

построения контрольной карты. Поскольку подгрупп нет, то нельзя вычислить значение R , и для определения контрольных пределов x приходится использовать текущие значения размаха R_s по последовательно поступающим данным.

7.2.3. *pn*-карта, *p*-карта

Эти карты применяются в тех случаях, когда показатель качества представлен числом дефектных изделий или их долей. Для выборок постоянного фиксированного объема используется *pn*-карта числа дефектных изделий, тогда как *p*-карта долей дефектов необходима при выборках меняющегося объема.

7.2.4. *c*-карта, *u*-карта

Бывает, что анализ и управление процессом ведутся по дефектам в продукции, таким, как число царапин на листе металла, число дефектов пайки в телевизоре или число неровнот в тканой материи. Карты типа *c* применяются для числа дефектов в изделиях одинакового размера, а *u*-карты предназначены для изделий разного размера.

7.3. КАК СТРОИТЬ КОНТРОЛЬНЫЕ КАРТЫ?

7.3.1. $(\bar{x} - R)$ -карта

Метод

Этап 1. Сбор данных

Соберите приблизительно 100 данных. Разделите их на 20 или 25 однородных подгрупп объемом 4 или 5 в каждой. Заполните данными приготовленную таблицу

(см. табл. 7.3). Когда практически нет повода для разделения данных на подгруппы, делите их в порядке поступления. В большинстве случаев объем группы берется в интервале от 2 до 10.

Этап 2. Вычисление средних \bar{x}

Вычислите средние значения \bar{x} для каждой подгруппы:

$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_n)/n,$$

где n – объем подгруппы.

Этот результат обычно подсчитывается с одним лишним десятичным знаком по сравнению с исходными данными.

Этап 3. Вычисление $\bar{\bar{x}}$

Вычислите общее среднее значение $\bar{\bar{x}}$, деля итог столбца \bar{x} для каждой из подгрупп на их число k :

$$\bar{\bar{x}} = (\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k)/k,$$

причем $\bar{\bar{x}}$ надо вычислять с двумя лишними знаками по сравнению с измеренными значениями.

Этап 4. Вычисление R

Вычислите размах R в каждой подгруппе, вычитая минимальное значение в подгруппе из максимального:

$$R = (\text{максимальное значение в подгруппе}) - \\ - (\text{минимальное значение в подгруппе}).$$

Этап 5. Вычисление \bar{R}

Вычислите среднее \bar{R} для размаха R , деля итог столбца размахов для всех подгрупп на их число k :

$$\bar{R} = (R_1 + R_2 + \dots + R_k)/k.$$

Значение \bar{R} надо вычислять с двумя лишними знаками по сравнению с измеренными значениями, т.е. с тем же числом знаков, что и \bar{x} .

Таблица 7.3

Таблица данных для $(\bar{x} - R)$ -карты

Номер под-группы	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	Σx	\bar{x}	R
1	47	32	44	35	20	178	35,6	27
2	19	37	31	25	34	146	29,2	18
3	19	11	16	11	44	101	20,2	33
4	29	29	42	59	38	197	39,4	30
5	28	12	45	36	25	146	29,2	33
6	40	35	11	38	33	157	31,4	29
7	15	30	12	33	26	116	23,2	21
8	35	44	32	11	38	160	32,0	33
9	27	37	26	20	35	145	29,0	17
10	23	45	26	37	32	163	32,6	22
11	28	44	40	31	18	161	32,2	26
12	31	25	24	32	22	134	26,8	10
13	22	37	19	47	14	139	27,8	33
14	37	32	12	38	30	149	29,8	26
15	25	40	24	50	19	158	31,6	31
16	7	31	23	18	32	111	22,2	25
17	38	0	41	40	37	156	31,2	41
18	35	12	29	48	20	144	28,8	36
19	31	20	35	24	47	157	31,4	27
20	12	27	38	40	31	148	29,6	28
21	52	42	52	24	25	195	39,0	28
22	20	31	15	3	28	97	19,4	28
23	29	47	41	32	22	171	34,2	25
24	28	27	22	32	54	163	32,6	32
25	42	34	15	29	21	141	28,2	27
Итого							746,6	686
Среднее $\bar{\bar{x}} = 29,86$							$\bar{R} = 27,44$	

Этап 6. Вычисление контрольных линий

Вычислите каждую контрольную линию для \bar{x} -карты и для R -карты по следующим формулам.

\bar{x} -карта. Центральная линия:

$$CL = \bar{\bar{x}}$$

Верхний контрольный предел:

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

Нижний контрольный предел:

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

R -карта. Центральная линия:

$$CL = \bar{R}$$

Верхний контрольный предел:

$$UCL = D_4 \bar{R}$$

Нижний контрольный предел:

$$LCL = D_3 \bar{R}$$

Нижний предел не рассматривается, когда n меньше 6.

Константы A_2 , D_4 и D_3 – коэффициенты, определяемые объемом подгрупп (n). Они приведены в табл. 7.4, а также в табл. А.2 Приложения.

Этап 7. Нанесение контрольных линий

Приготовьте лист бумаги в клеточку, затем нанесите слева вертикальную ось со значениями \bar{x} и R и горизонтальные оси с номерами подгрупп. Разметьте верхний и нижний пределы так, чтобы между ними оказалось 20 – 30 мм. Центральную линию сделайте сплошной, а контрольные пределы – пунктирными линиями.

Таблица 7.4

Перечень коэффициентов для $(\bar{x} - R)$ -карты

Объем подгруппы, n	\bar{x} -карта	R -карта		
	A_2	D_3	D_4	d_2
2	1,880	—	3,267	1,128
3	1,023	—	2,575	1,693
4	0,729	—	2,282	2,059
5	0,577	—	2,115	2,326
6	0,483	—	2,004	2,534

Этап 8. Нанесение точек

Разметьте \bar{x} и R для каждой подгруппы на одной и той же вертикальной оси напротив соответствующего номера подгруппы. Нанесите номера подгрупп на горизонтальную ось с интервалом в 2 – 5 мм. Чтобы легче было различать \bar{x} и R , возьмем для \bar{x} знак \cdot (точка), для R – \times (крестик), а для тех значений, которые выходят за пределы – кружочки.

Этап 9. Запишите необходимую информацию

Выпишите объем подгруппы (n) в верхнем левом углу \bar{x} -карты. Запишите также и другие необходимые сведения, имеющие отношение к изучаемому процессу, такие как название процесса и продукта, период времени, метод измерения, условия работы, смена и т. д.

Пример**Этап 2**

Так для первой группы:

$$\bar{x} = (47 + 32 + 44 + 35 + 20)/5 = 35,6$$

Этап 3

$$\bar{x} = (35,6 + 29,2 + \dots + 28,2)/25 = 29,86.$$

Этап 4

Для первой группы:

$$R = 47 - 20 = 27$$

Этап 5

$$\bar{R} = 27 + 18 + \dots + 27/25 = 27,44$$

Этап 6 (см. рис. 7.2)

\bar{x} -карта

$$CL = \bar{x} = 29,86$$

$$UCL = \bar{x} + A_2 \bar{R} = 29,86 + 0,577 \times 27,44 = 45,69$$

$$LCL = \bar{x} - A_2 \bar{R} = 29,86 - 0,577 \times 27,44 = 14,03$$

R-карта

$$CL = \bar{R} = 27,44$$

$$UCL = D_4 R = 2,115 \times 27,44 = 58,04$$

$$LCL = - \text{ (не рассматривается)}$$

7.3.2. *pn*-карта

Метод

Этап 1. Сбор данных

Возьмите выборку и классифицируйте продукцию по качеству на годную и бракованную в соответствии со стандартом. Теперь возьмите выборку такого объема, чтобы в среднем в каждую подгруппу попадало от 1 до 5 негодных изделий и соберите 20 – 25 таких подгрупп (см. табл. 7.5).

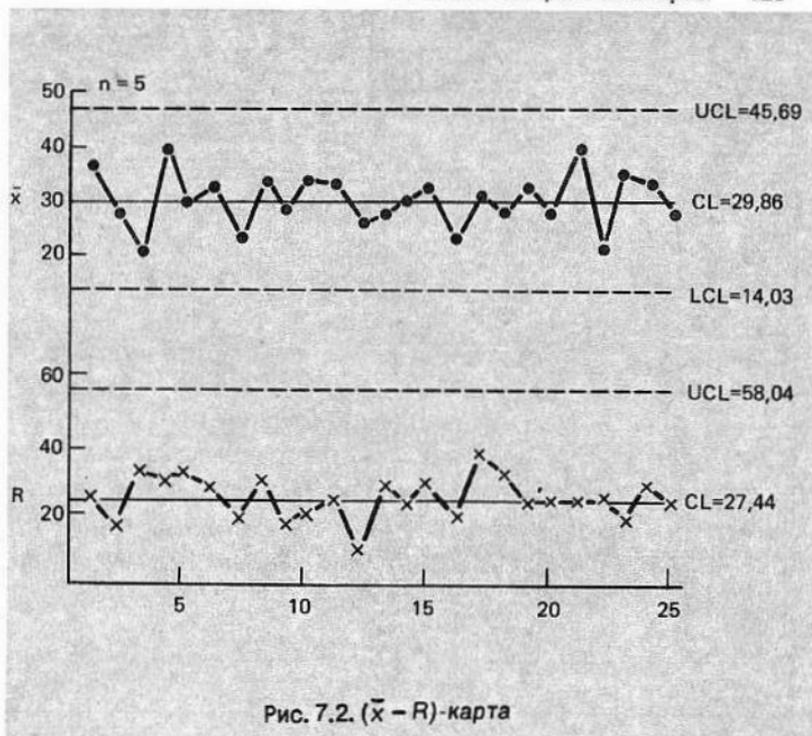


Таблица 7.5

Таблица данных для pn -карты

Номер подгруппы	Объем подгруппы, n	pn (число дефектных изделий)
1	100	4
2	100	2
3	100	0
4	100	5
5	100	3
6	100	2
7	100	4
8	100	3

Продолжение

Номер подгруппы	Объем подгруппы, n	pn (число дефектных изделий)
9	100	2
10	100	6
11	100	1
12	100	4
13	100	1
14	100	0
15	100	2
16	100	3
17	100	1
18	100	6
19	100	1
20	100	3
21	100	3
22	100	2
23	100	0
24	100	7
25	100	3
Итого	$\Sigma n = 2500$	$\Sigma pn = 68$

Этап 2. Вычисление \bar{p}

Вычислите среднюю долю дефектов \bar{p} , деля общее число дефектов в каждой подгруппе на общее число подгрупп:

$$\bar{p} = \frac{\Sigma pn}{kn}$$

Этап 3. Вычисление контрольных линий

Центральная линия:

$$CL = \bar{p}n$$

Верхний контрольный предел:

$$UCL = \bar{p}n + 3\sqrt{\bar{p}n(1-p)}$$

Нижний контрольный предел:

$$LCL = \bar{p}n - 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}$$

Нижний предел не рассматривается, если его значение – отрицательное число.

Этап 4. Построение контрольной карты

Проведите горизонтальную ось с номерами подгрупп и вертикальную ось с числами дефектов. Сплошной линией сделайте центральное значение $\bar{p}n$ и пунктирными линиями – верхний и нижний пределы. Затем нанесите на график числа дефектов для каждой подгруппы.

Пример

Этап 2

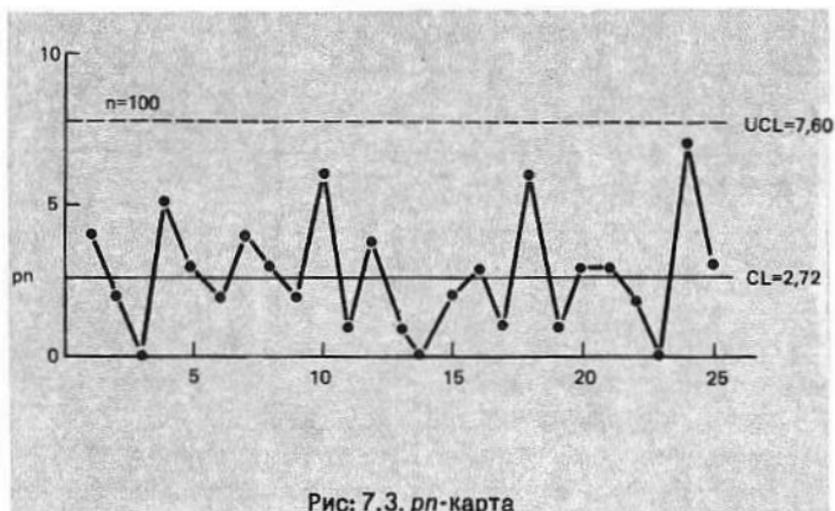
$$\bar{p} = \frac{\sum pn}{kn} = \frac{68}{25 \times 100} = 0,0272$$

Этап 3

$$CL = \bar{p}n = 0,0272 \times 100 = 2,72$$

$$UCL = \bar{p}n + 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})} = 2,72 + \\ + 3\sqrt{2,72 \times (1 - 0,0272)} = 7,60$$

$$LCL = \bar{p}n - 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})} = 2,72 - \\ - 3\sqrt{2,72 \times (1 - 0,0272)} = - \text{(не рассматривается)}.$$

Рис: 7.3. pn -карта

7.4. Как читать контрольные карты?

Что важнее всего в процессе управления, так это точное понимание положения объекта управления с помощью чтения контрольной карты и быстрое осуществление подходящих действий, как только в объекте обнаружится что-нибудь необычное. Контролируемое состояние объекта – это такое состояние, когда процесс стабилен, а его среднее и разброс не меняются. Находится ли процесс в данном состоянии или нет, определяется по контрольной карте на основании следующих критериев.

1) **Выход за контрольные пределы.** Точки, которые лежат вне контрольных пределов.

2) **Серия** – это проявление такого состояния, когда точки неизменно оказываются по одну сторону от средней линии; число таких точек называется длиной *серии*.

Серия длиной в 7 точек рассматривается как ненормальная.

Даже если длина серии оказывается менее 6, в ряде случаев ситуацию следует рассматривать как ненормальную, например, когда:

- а) не менее 10 из 11 точек оказываются по одну сторону от центральной линии;
- б) не менее 12 из 14 точек оказываются по одну сторону от центральной линии;
- в) не менее 16 из 20 точек оказываются по одну сторону от центральной линии.



Рис. 7.4.1. Серия

3) **Тренд (дрейф)**. Если точки образуют непрерывно повышающуюся или понижающуюся кривую, говорят, что имеет место тренд.

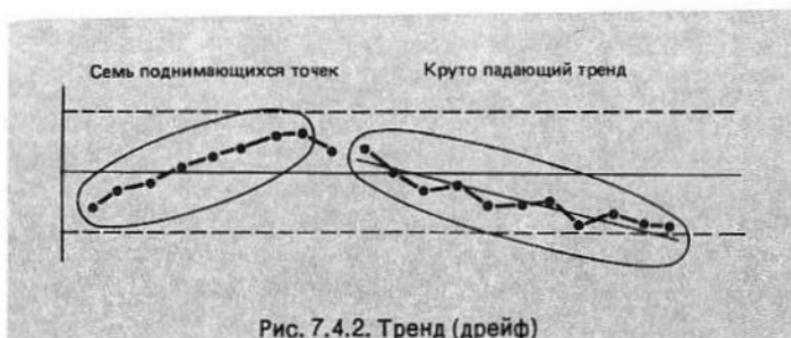


Рис. 7.4.2. Тренд (дрейф)

4) **Приближение к контрольным пределам.** Рассматриваются точки, которые приближаются к 3-сигмовым контрольным пределам, причем если 2 или 3 точки оказываются за 2-сигмовыми линиями, то такой случай надо рассматривать как ненормальный.



5) **Приближение к центральной линии.** Когда большинство точек концентрируется внутри центральных полуторасигмовых линий, делящих пополам расстояние между центральной линией и каждой из контрольных линий, это обусловлено неподходящим способом разбиения на подгруппы. Приближение к центральной линии вовсе не означает, что достигнуто контролируемое состояние, напротив, это значит, что в подгруппах смешиваются данные из различных распределений, что делает размах контрольных пределов слишком широким. В таком случае надо изменить способ разбиения на подгруппы.



6) **Периодичность.** Когда кривая повторяет структуру "то подъем, то спад" с примерно одинаковыми интервалами времени, это тоже ненормально.



Рис. 7.4.5. Периодичность

7.5. АНАЛИЗ ПРОЦЕССА С ПОМОЩЬЮ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ

Цель *анализа процесса* можно определить так: выявление характерных случаев вариации показателей качества процесса. После выявления таких случаев в ходе анализа процесса надо провести серию действенных мер против них.

7.5.1. Разбиение на подгруппы

Разбиение на подгруппы – наиболее важная часть подготовки контрольной карты, определяющая ее работоспособность. Неподходящий способ разбиения дает бесполезную карту.

После того как принято решение анализировать показатель качества процесса или управлять им, необходимо собрать данные. Вариация показателя качества процесса возникает по разным причинам. Соответственно до разбиения надо рассмотреть ту вариацию, которая требует

исключения, а затем попытаться сгруппировать данные таким образом, чтобы вариация, обусловленная разрешенными факторами, образовала внутригрупповую вариацию. Для этой цели:

а) технологическую операцию следовало бы проводить при примерно одинаковых условиях (с технической точки зрения);

б) следует объединить в группы данные, собранные за относительно короткий период времени.

При группировании следует учитывать такие моменты:

а) существуют различные способы группирования. Вы должны выбрать объем подгруппы и испробовать различные способы комбинирования данных;

б) изменение способа группирования будет приводить к изменению тех факторов, которые образуют внутригрупповые вариации.

Нельзя эффективно применять контрольную карту, не зная компонентов внутригрупповой вариации. Следующий пример показывает, как меняется эта вариация в зависимости от способа группирования.

Пример 7.1. Размер детали используется как показатель качества процесса обработки. Главные факторы, влияющие на изучаемый размер, – это качество заготовок, форма резца и заточка резца после затупления. Вот условия, в которых осуществляется данный процесс:

а) одной партии заготовок хватает на неделю работы;

б) резцы проверяются и затачиваются ежедневно;

в) резцы можно затачивать в начале утренней и вечерней смен.

В этом случае вариации качества между заточками рассматриваются как допустимые и критерий управления сводится к следующему: выполнена ли заточка достаточно правильно и обеспечивает ли резец нормальную работу.

Тогда данные следует сгруппировать таким образом, чтобы вариация при одной заточке приводила к внутригрупповому разбросу, а вариация при разных заточках проявлялась в межгрупповом разбросе.

В табл. 7.6 приведены исходные данные, в табл. 7.7 и 7.8 показаны варианты группирования и, наконец, в табл. 7.9 представлены компоненты внутригрупповой и межгрупповой вариации соответственно.

Таблица 7.6

Таблица данных

Дата		Данные, n		Примечания		
Дек. 1	Утро	39	39	Заточка	Резец 1	Заготовки Партия № 1
	Вечер	40	42	Заточка		
Дек. 2	Утро	42	41	Заточка	Резец 2	
	Вечер	43	42	Заточка		
Дек. 3	Утро	38	37	Заточка	Резец 3	
	Вечер	38	38	Заточка		

Таблица 7.7

Группирование с $n=2$

Дата		Данные
Дек. 1	Утро	39 39
	Вечер	40 42
Дек. 2	Утро	42 41
	Вечер	43 42
Дек. 3	Утро	38 37
	Вечер	38 38

Таблица 7.8

Группирование с $n=4$

Дата		Данные
Дек. 1	Утро	39 39
	Вечер	40 42
Дек. 2	Утро	42 41
	Вечер	43 42
Дек. 3	Утро	38 37
	Вечер	38 38

Таблица 7.9

**Компоненты внутригрупповых и межгрупповых вариаций
для группирований, взятых из табл. 7.7 и 7.8**

	Табл. 7.7 ($n = 2$)	Табл. 7.8 ($n = 4$)
Внутригрупповая вариация	Ошибка измерения Ошибка выборки Вариация процесса внутри заточки	Ошибка измерения Ошибка выборки Вариация процесса внутри и между заточками
Межгрупповая вариация	Между заточками Между днями Между резцами Между заготовками	Между днями Между резцами Между заготовками

7.5.2. Внутригрупповая вариация и межгрупповая вариация

Вариация данных делится на внутригрупповую и межгрупповую. Межгрупповая вариация – это та вариация, которая проявляется в каждой подгруппе и обнаруживается в значении \bar{R} на R -карте. С другой стороны, межгрупповая вариация – это как раз то, что проявляется между подгруппами и выявляется в распределении точек \bar{x} на \bar{x} -карте.

Обозначим дисперсию внутри подгруппы через σ_w^2 , а дисперсию между подгруппами через σ_b^2 , тогда

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \sigma_b^2 + \frac{\sigma_w^2}{n}, \quad (7.1)$$

где $\sigma_{\bar{x}}^2$ – дисперсия \bar{x} . Величина σ_w оценивается из \bar{R} по формуле

$$\hat{\sigma}_w = \bar{R}/d_2, \quad (7.2)$$

где d_2 – коэффициент, зависящий от объема подгруппы n (см. табл. 7.4). Здесь знак "крышечка" ($\hat{}$) над символом σ_w означает, что это оценка σ_w .

Соответственно распределение точек \bar{x} зависит не только от межгрупповой вариации, но еще и от внутригрупповой вариации. Эта вариация однозначно определяет положение процесса когда:

- а) среднее значение процесса постоянно и межгрупповая вариация $\sigma_b^2 = 0$;
- б) вариация процесса постоянна, т.е. внутригрупповая вариация σ_w^2 – константа.

Межгрупповую вариацию нельзя получить непосредственно, зато ее можно вычислить из выражения

$$\hat{\sigma}_b = \sqrt{\hat{\sigma}_{\bar{x}}^2 - \hat{\sigma}_w^2/n}, \quad (7.3)$$

где $\hat{\sigma}_{\bar{x}}^2$ вычисляется по гистограмме для \bar{x} , или из выражения

$$\hat{\sigma}_b = \sqrt{\hat{\sigma}_x^2 - \hat{\sigma}_w^2}, \quad (7.4)$$

где $\hat{\sigma}_x^2$ вычисляется из гистограммы для x .

7.5.3. Расслоение

Когда одна и та же продукция производится на нескольких станках или несколькими рабочими, собираемые данные лучше классифицировать в соответствии с этими станками или рабочими, т.е. чтобы можно было анализировать различия между станками или рабочими. Процесс управления при этом упрощается.

Расслоение – это метод определения источников вариации в собираемых данных, классифицирующий данные в соответствии с различными факторами.

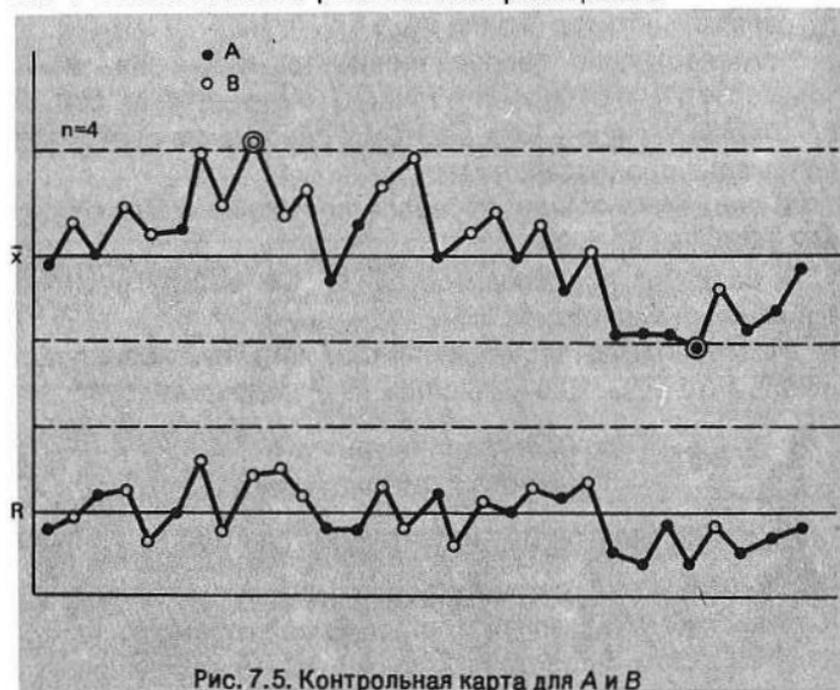


Рис. 7.5. Контрольная карта для А и В

Рис. 7.5 – пример контрольной карты, которую можно расслоить. На этой карте представлен показатель качества детали, производимой на двух станках (А и В). На рис. 7.6 построены карты отдельно для А и для В. В результате расслоения обнаружилось, что в вариациях между А и В практически нет различия, но у В среднее значение процесса выше, чем у А. Кроме того, на обоих станках процесс находится в контролируемом состоянии, а значит, можно сказать, что возможные различия между А и В обусловлены определенными причинами.

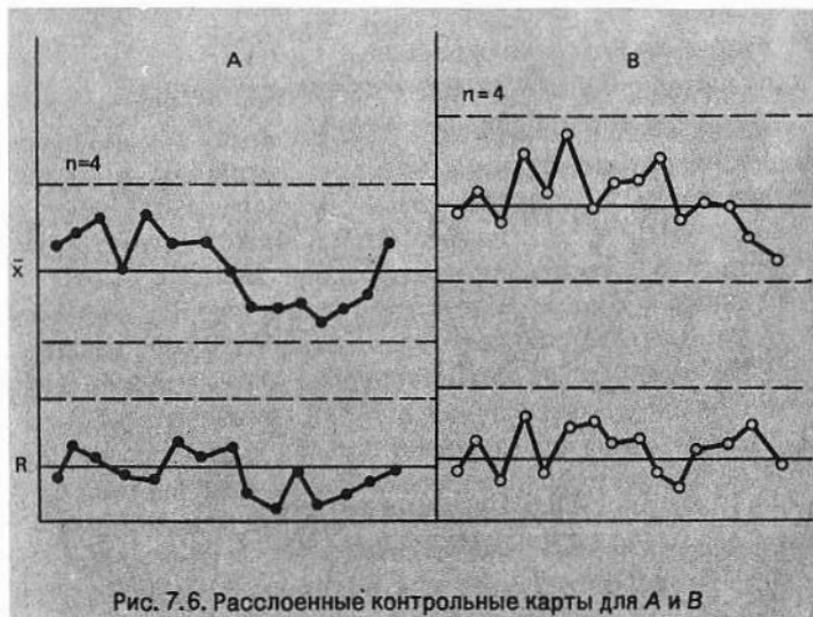


Рис. 7.6. Расслоенные контрольные карты для А и В

Вообще говоря, цель расслоения заключается в выявлении различий в средних значениях и вариациях между разными классами и в измерении этих различий, если они проявятся. Если же не удастся измерить их непосредственно, то надо провести наблюдение над процессом с помощью расслоенных контрольных карт.

7.5.4. Проверка различий между расслоенными контрольными картами

Можно проверить различие в средних значениях, если для двух ($\bar{X} - R$)-карт выполняются следующие четыре условия:

а) обе карты показывают, что процессы находятся в контролируемом состоянии;

- б) объемы подгрупп одинаковы;
 в) значения \bar{R}_A и \bar{R}_B практически одинаковы;
 г) число подгрупп довольно велико: $k_A > 10, k_B > 10$.
 Тогда

$$|\bar{x}_A - \bar{x}_B| \geq A_2 \bar{R} \sqrt{1/k_A + 1/k_B}, \quad (7.5)$$

где

$$\bar{R} = (k_A \bar{R}_A + k_B \bar{R}_B) / (k_A + k_B). \quad (7.6)$$

7.5.5. Проверка различий в вариациях между слоями

Чтобы определить, существуют ли различия в вариациях между слоями после расслоения, используются формулы (7.7) и (7.8). Если эти формулы удовлетворяются, то можно сказать, что существует различие в вариациях между А и В.

В случае $\bar{R}_A > \bar{R}_B$:

$$\bar{R}_A / \bar{R} \geq 1,2; \quad \bar{R} / \bar{R}_B \geq 1,2. \quad (7.7)$$

В случае $\bar{R}_A < \bar{R}_B$:

$$\bar{R}_B / \bar{R} \geq 1,2; \quad \bar{R} / \bar{R}_A \geq 1,2. \quad (7.8)$$

Проверки, упомянутые в (7.5) и (7.7) или (7.8), вовсе не обязательны, когда различия на контрольной карте бросаются в глаза.

7.6. ПРИМЕР АНАЛИЗА ПРОЦЕССА

Если для анализа какого-либо вопроса используются контрольные карты, то они, как правило, применяются не отдельно, а вместе с гистограммами. Здесь мы приводим пример, показывающий, каким образом осуществляется такой анализ (см. табл. 7.10).

Пример 7.2. На предприятии, производящем листовые рессоры для тракторов, в некоторых рессорах были обнаружены трещины. Надо как можно быстрее выявить причину этого дефекта и предотвратить его дальнейшее возможное появление. Давайте воспользуемся приведенными ниже данными для построения гистограмм и контрольных карт в попытке разрешения описанной проблемы.

Информация, имеющаяся в момент начала анализа.

1) Для выявления причины возникновения трещин была построена диаграмма причин и результатов (рис. 7.7).

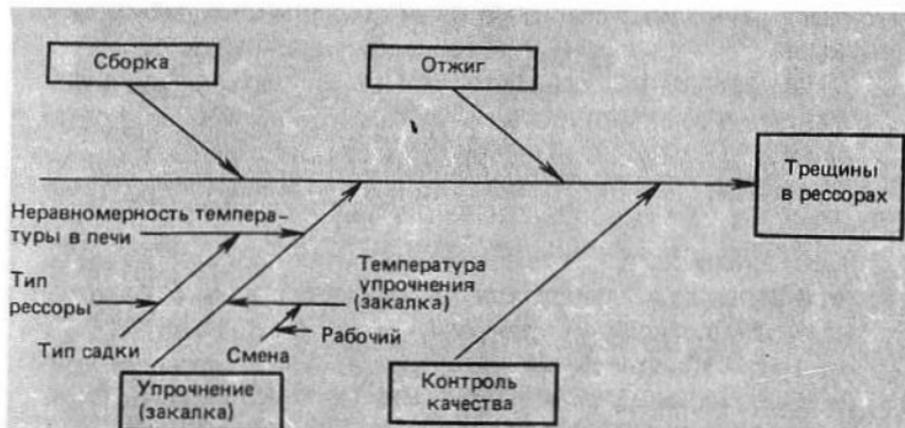


Рис. 7.7. Диаграмма причин и результатов для трещин в рессорах

2) Рессоры для малых тракторов (A_1) и тракторов среднего размера (A_2) проходят термообработку в одной и той же печи. Эти два вида изделий отличаются только формой, так как материал, из которого они сделаны, одинаков. Однако способ садки в печь для термообработки разный.

3) Недавно возрос спрос на малые тракторы, и объем их производства начал постепенно увеличиваться. Пропорционально возросло и число рессор, подвергаемых термообработке за один раз.

4) Печь работает в две смены (B_1 и B_2). За смену завершаются два цикла термообработки, т.е. в каждую смену проходят термообработку две загрузки (садки) рессор.

5) Твердость рессор может рассматриваться как косвенная характеристика для появления трещин.

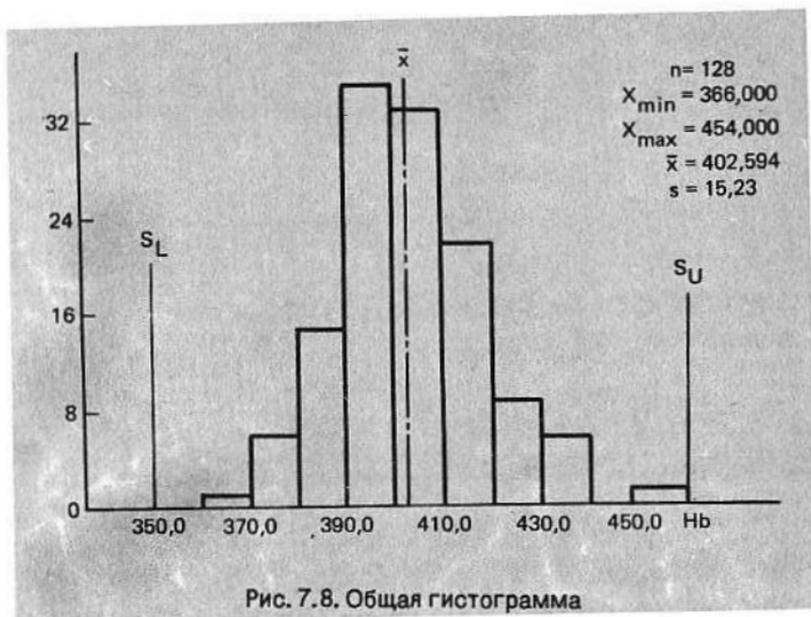
6) За последние 16 дней были собраны следующие данные:

а) предполагалось, что может оказаться значимой вариация температуры в печи от центра к стенкам. Поэтому после каждой термообработки брали по одному образцу из центра печи (P_1) и от стенки (P_2) и мерили их твердость;

б) кроме того, после термообработки просматривались все рессоры и измерялась твердость тех из них, на которых обнаруживались трещины;

в) для твердости рессор установлены следующие пределы: максимум твердости – 460 НВ*, минимум твердости – 350 НВ.

* НВ – стандартное обозначение твердости по Бринелю. – Примеч. пер.



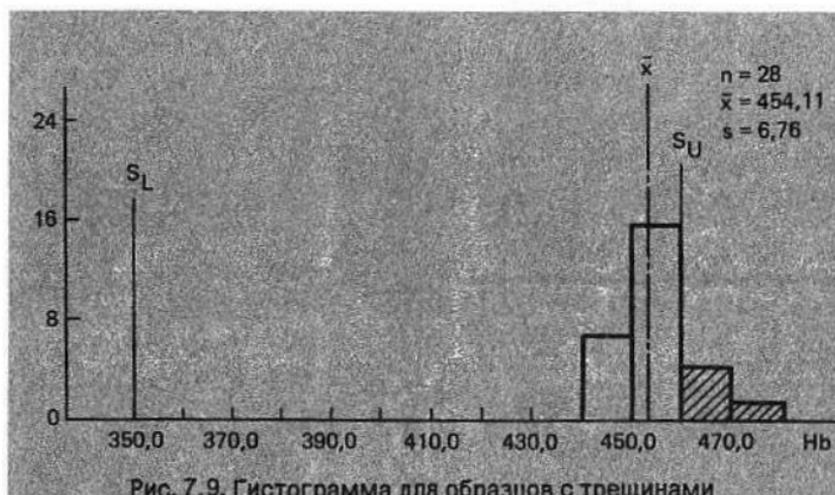
Информация, полученная из гистограмм.

1) **Общая гистограмма** (рис. 7.8). Она демонстрирует приблизительно нормальное распределение, причем все образцы лежат внутри границ поля допуска твердости. Однако трещины обнаруживаются все-таки у образцов, имеющих высокую твердость, хотя они и попадают в пределы допуска.

2) **Гистограмма для образцов с трещинами** (рис. 7.9).

а) Все образцы с трещинами принадлежат типу A_1 . Стало быть, проблема относится к термообработке рессор типа A_1 для малых тракторов.

б) Твердости рессор с трещинами распределены вокруг значений, превышающих 440 НВ.



3) Гистограммы для различных типов рессор A_1 и A_2 (рис. 7.10).

а) Средняя твердость рессор для малых тракторов (A_1) несколько больше, а отдельные значения распределены в более широком интервале, чем для A_2 .

б) Поскольку все треснувшие рессоры принадлежат типу A_1 , сам метод производства этих рессор для малых тракторов представляется неподходящим.

в) Распределение значений твердости для рессор типа A_2 средних тракторов не сильно разбросано и среди них нет образцов с трещинами.

4) Гистограммы для различных смен B_1 и B_2 (рис. 7.11).

а) Среднее для B_1 больше, чем для B_2 , а вариация – меньше.

б) Рессоры с трещинами попадаются среди образцов B_2 .

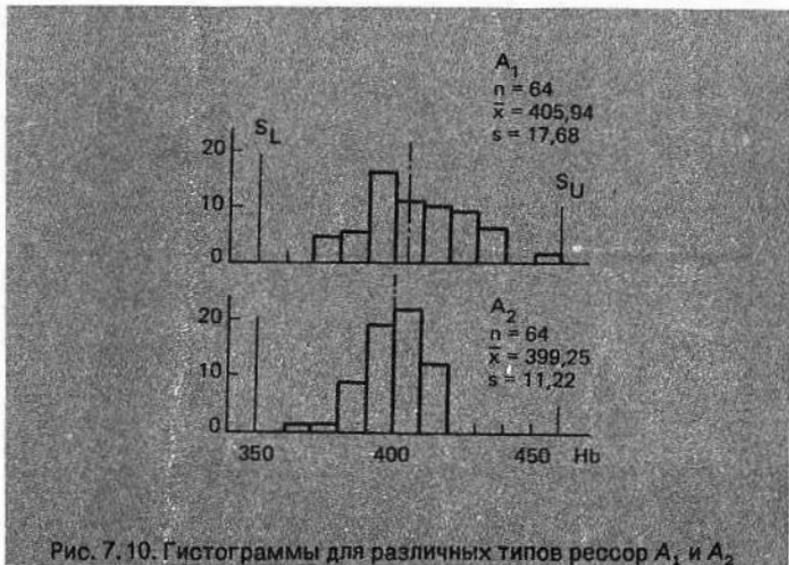


Рис. 7.10. Гистограммы для различных типов рессор A_1 и A_2

5) Гистограммы для различных положений в печи для термообработки P_1 и P_2 (рис. 7.12).

а) Средняя твердость образцов, взятых из середины печи (P_1), меньше и вариация тоже меньше. Ни на одном из этих образцов нет трещин.

б) Средняя твердость образцов, взятых около стенки печи (P_2), выше и вариация тоже несколько больше. Некоторые из этих образцов потрескались.

в) Похоже, что те рессоры, которые оказались у стенки печи для термообработки, приобретают большую твердость, чем требуется; этим и вызывается образование трещин.

6) Гистограммы для различных комбинаций факторов A и B (рис. 7.13).

а) Вариация для комбинаций A_1B_1 и A_1B_2 больше, чем для A_2B_1 и A_2B_2 .

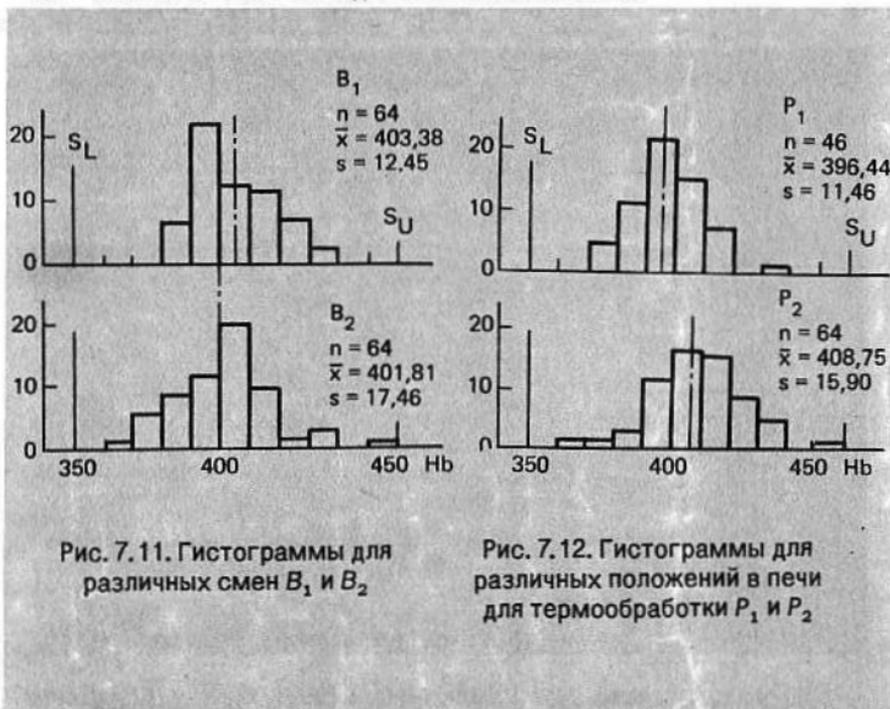


Рис. 7.11. Гистограммы для различных смен B_1 и B_2

Рис. 7.12. Гистограммы для различных положений в печи для термообработки P_1 и P_2

б) Между средними нет значимой разницы, но для A_1B_1 и A_1B_2 оно несколько выше.

в) Для комбинации A_2B_1 результаты концентрируются в окрестностях середины поля допуска твердости, а их вариация мала. Индекс воспроизводимости C_p , основанный на заданных максимуме и минимуме твердости, получается в этом случае просто превосходным, равным 2,04, что следует из вычислений по формуле

$$C_p = \frac{S_U - S_L}{6s} = \frac{460 - 350}{6 \times 8,97} = 2,04.$$

Выходит, что комбинация A_2B_1 – самая отличная комбинация.

7. Гистограммы для различных комбинаций факторов A , B и P (рис. 7.14).

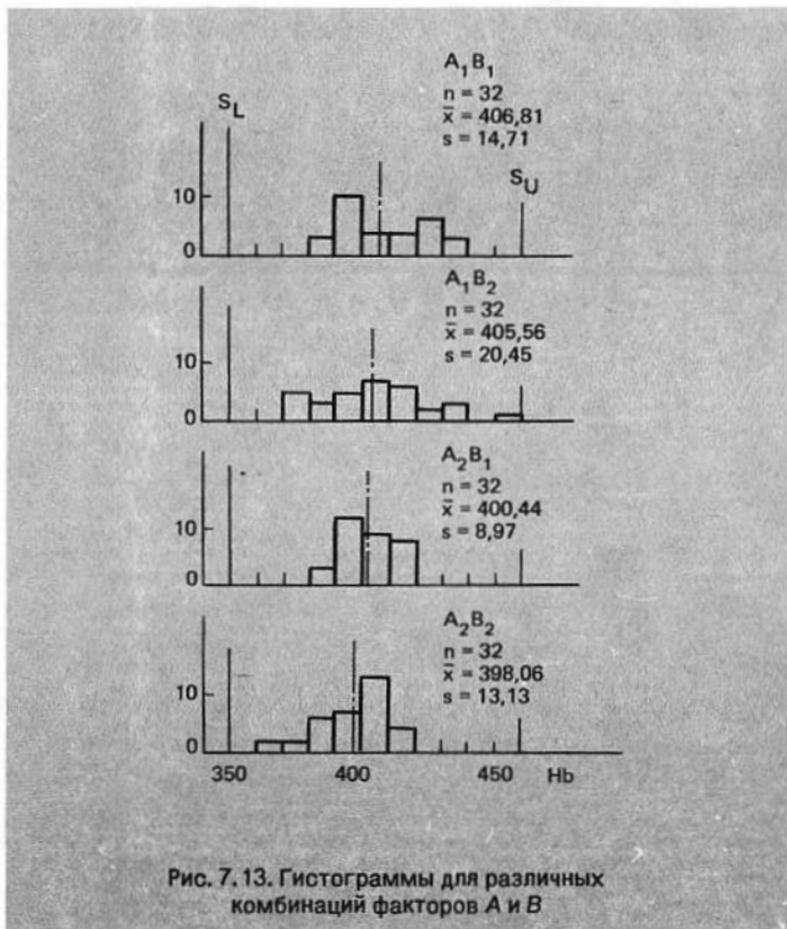


Рис. 7.13. Гистограммы для различных комбинаций факторов A и B

а) Средняя твердость для образцов типа A_1 (для малых тракторов) явно выше для положения P_2 (возле стенки печи), чем для положения P_1 (в центре печи).

б) Средняя твердость образцов типа A_2 (для средних тракторов), видимо, не зависит от положения в печи, из которого взят образец.

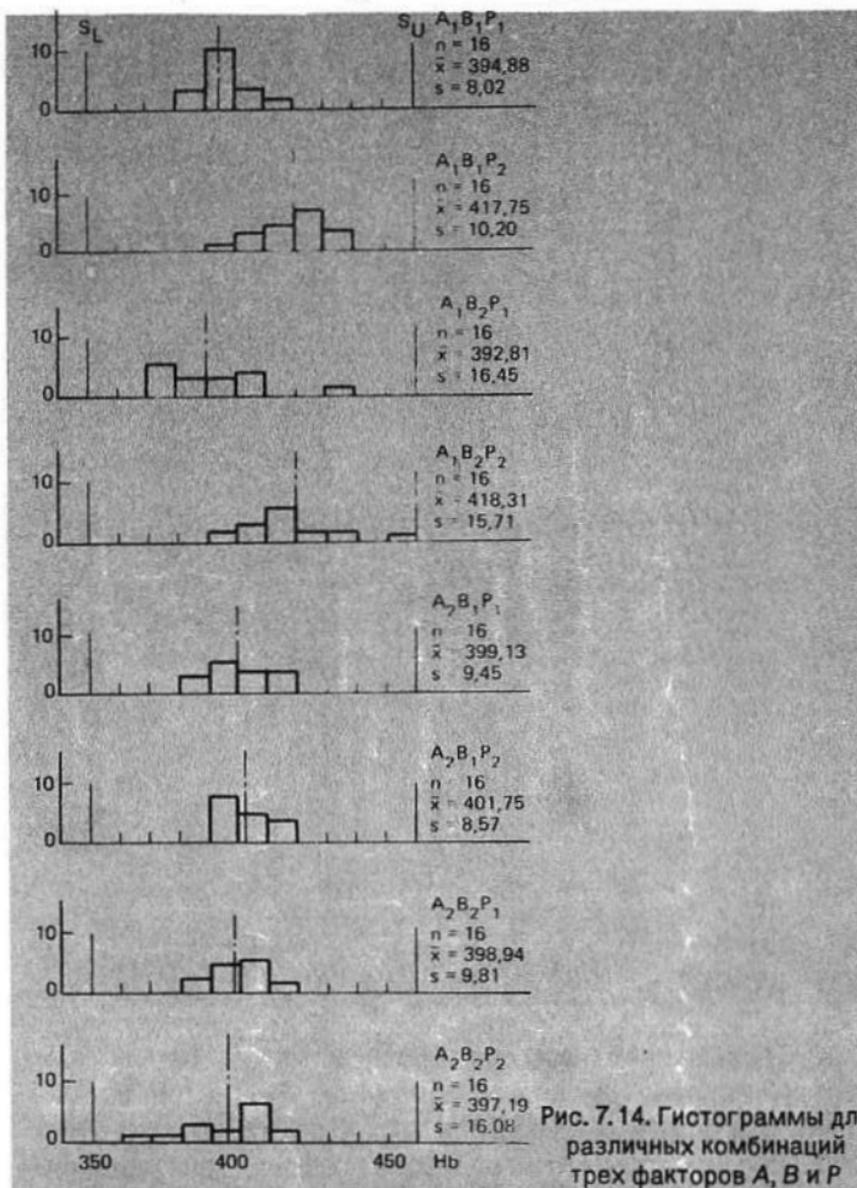


Рис. 7.14. Гистограммы для различных комбинаций трех факторов А, В и Р

в) Для комбинаций $A_1B_1P_1$, $A_1B_2P_2$, $A_2B_1P_1$, $A_2B_1P_2$ и $A_2B_2P_1$ стандартные отклонения одинаковы и составляют около 10 НВ. Для остальных трех комбинаций – $A_2B_2P_2$, $A_1B_2P_1$, $A_1B_2P_2$ – они больше и равны примерно 15 НВ. Различие, видимо, обусловлено фактором B , у которого значение B_2 имеет бóльшую вариацию.

г) Комбинации $A_2B_1P_1$, $A_2B_1P_2$ и $A_2B_2P_1$ концентрируются вокруг середины поля допуска твердости и имеют малую вариацию.

Информация, полученная из контрольных ($\bar{x} - R$)-карт (рис. 7.15).

1) **Общая контрольная карта.** Поскольку данные объединяются в подгруппы по партиям, вариация внутри партии и служит вариацией в подгруппе, т.е. это вариация между P_1 и P_2 , ошибка выборки и ошибка измерения. А вариация между разными подгруппами включает в себя вариацию между партиями, а также между сменами, различными типами рессор и разными днями (см. табл. 7.11).

R-карта.

а) Нет значений, лежащих за контрольными пределами, зато ненормальны относительно мало меняющиеся длинные серии значений для партий 7 – 14, 26 – 33 и 51 – 64, что указывает на выход процесса из контролируемого состояния.

б) Величина R относительно велика для рессор типа A_1 (для малых тракторов) и относительно мала для рессор типа A_2 (для средних тракторов). Значит, эти два типа стоит рассматривать отдельно.

\bar{x} -карта

Отсутствуют точки, лежащие за контрольными пределами, зато ненормальны длинные серии значений для партий 15 – 26, 31 – 39 и 43 – 53, что указывает на выход из контролируемого состояния.

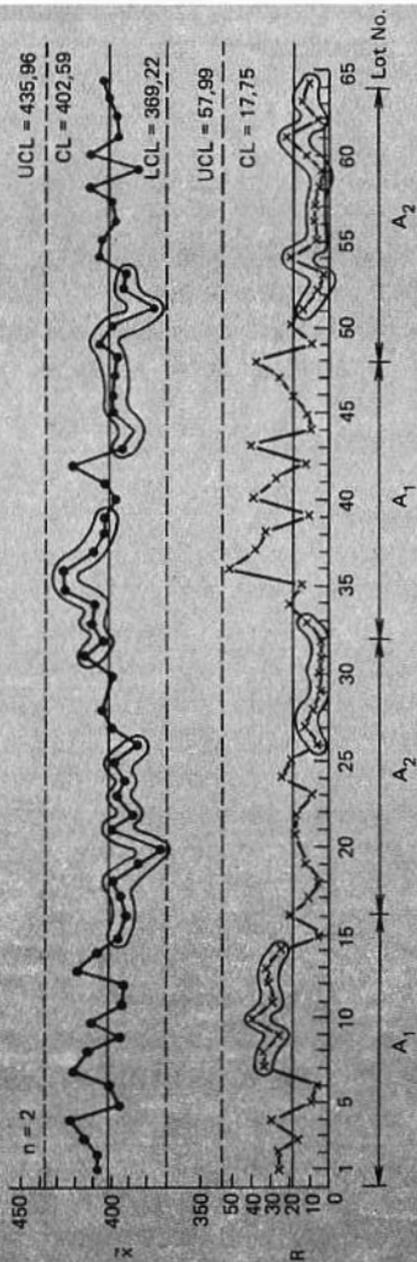


Рис. 7.15. Общая ($\bar{x} - R$)-карта.

Таблица 7.10

Измерения твердости

День	Тип рессоры, A	Смена, B	Номер партии	Положение		Твердость рессор с трещинами
				P_1	P_2	
1	A_1	B_1	1	396	420	
			2	396	421	
		B_2	3	408	423	460
			4	408	438	
2	A_1	B_1	5	393	400	
			6	401	399	
		B_2	7	404	438	
			8	396	429	450
3	A_1	B_1	9	385	410	451
			10	391	432	456 453
		B_2	11	377	407	
			12	378	410	
4	A_1	B_1	13	387	421	456 443
			14	397	422	
		B_2	15	397	397	462 446 455
			16	384	404	
5	A_2	B_1	17	402	391	
			18	398	401	
		B_2	19	393	382	
			20	381	366	

Продолжение

День	Тип рессоры, А	Смена, В	Номер партии	Положение		Твердость рессор с трещинами
				P_1	P_2	
6	A_2	B_1	21	392	411	
			22	382	399	
		B_2	23	395	402	
			24	407	381	
7	A_2	B_1	25	413	392	
			26	387	392	
		B_2	27	394	409	
			28	401	409	
8	A_2	B_1	29	401	404	
			30	400	404	
		B_2	31	414	418	
			32	406	407	
9	A_1	B_1	33	406	418	453 457
			34	397	421	
		B_2	35	436	419	
			36	400	454	454 449
10	A_1	B_1	37	390	432	
			38	387	422	450
		B_2	39	398	409	
			40	378	419	

Продолжение

День	Тип рессоры, А	Смена, В	Номер партии	Положение		Твердость рессор с трещинами
				P_1	P_2	
11	A_1	B_1	41	390	420	
			42	417	430	445 458 473 446
		B_2	43	373	419	457 455 465
			44	385	395	458
12	A_1	B_1	45	394	406	460 455
				391	410	
		B_2	47	385	413	
			48	378	419	447 444 457
13	A_2	B_1	49	411	403	
			50	410	392	
		B_2	51	385	370	
			52	398	393	
14	A_2	B_1	53	394	395	
			54	397	419	
		B_2	55	409	406	
			56	397	404	
15	A_2	B_1	57	406	399	
			58	411	415	
		B_2	59	385	386	
			60	408	418	

Продолжение

День	Тип рессоры, А	Смена, В	Номер партии	Положение		Твердость рессор с трещинами
				P_1	P_2	
16	A_2	B_1	61	387	410	
			62	395	401	
		B_2	43	410	395	
			64	400	409	

* Звездочкой обозначена одна и та же рессора, поскольку трещина обнаружилась в образце из P_2 .

Таблица 7.11

Подгруппы общей контрольной карты

День	Тип рессоры, А	Смена, В	Номер партии	Положение в печи	
				P_1	P_2
1	A_1	B_1	1	396	420
			2	396	421
		B_2	3	408	423
			4	408	438
2	A_1	B_1	5	393	400
			6	401	399
		B_2	7	404	438
			8	396	429

Продолжение

День	Тип рессоры, А	Смена, В	Номер партии	Положение в печи	
				P_1	P_2
3	A_1	B_1	9	385	410
			10	391	432
		B_2	11	377	407
			12	378	410

2) Контрольные карты, расслоенные в соответствии с факторами А и В (рис. 7.16). Поскольку данные группируются по партиям, вариация внутри всякой подгруппы та же, что и внутри соответствующей партии. Вариация между подгруппами включает вариацию между партиями и вариацию между днями (см. табл. 7.12).

а) (A_1B_1): и R-, и \bar{X} -карта демонстрируют стремление к центральной линии. Каждая подгруппа формируется из данных о рессорах, взятых как из центра печи, так и с края. Значит, такая тенденция – результат различия в средних этих двух распределений. Надо разделить данные в соответствии с положением (P).

б) (A_1B_2): можно сказать все то же самое, что и о картах для A_1B_1 .

в) (A_2B_1): обе карты показывают, что процессы находятся в контролируемом состоянии. Иначе говоря, нет вариации между подгруппами, т.е. между разными партиями и между разными днями. Процесс работает стабильно. Давайте оценим стандартное отклонение в партии σ_w .

В этом случае $n = 2$, $d_2 = 1,128$, так что мы имеем $\hat{\sigma}_w = \bar{R}/d_2 = 10,75/1,128 = 9,53$.

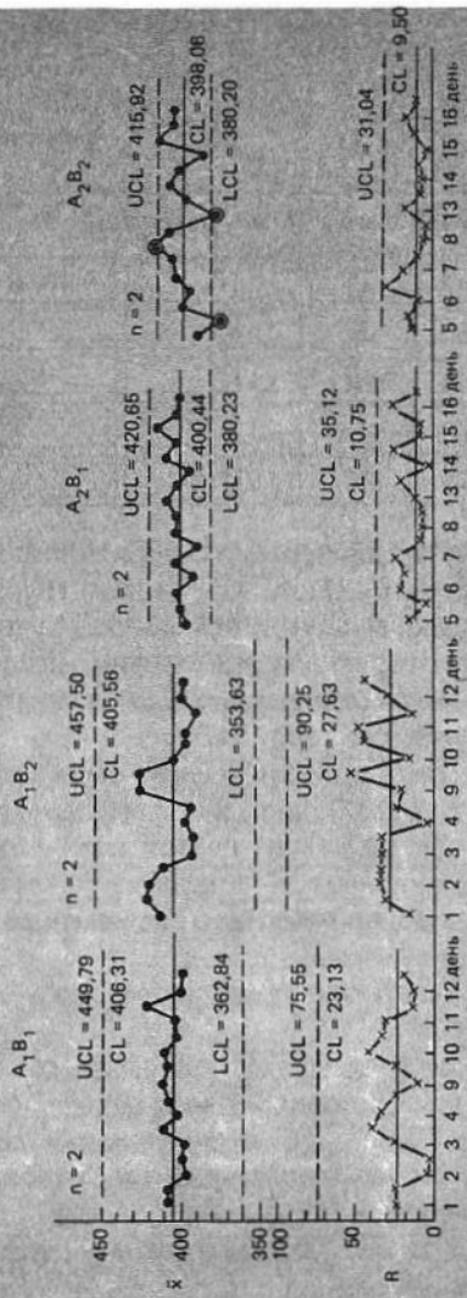


Рис. 7.16. Контрольные карты, расслоенные по двум факторам А и В

Таблица 7.12

Подгруппы контрольных карт, расслоенных
в соответствии с двумя факторами А и В

День	Тип рессоры, А	Смена, В	Номер партии	Положение в печи	
				P_1	P_2
1	A_1	B_1	1	396	420
			2	396	421
		B_2	3	408	423
			4	408	438
2	A_1	B_1	5	393	400
			6	401	399
		B_2	7	404	438
			8	396	429
3	A_1	B_1	9	385	410
			10	391	432
		B_2	11	377	407
			12	378	410

Это примерно то же самое значение, что и $y \hat{\sigma}_x$, где $\hat{\sigma}_x = s = 8,97$, как было оценено из гистограммы на рис. 7.13 (A_2B_1).

г) (A_2B_2): R-карта говорит, что процесс находится в контролируемом состоянии. Однако на \bar{x} -карте обнаружилось три точки, лежащие за контрольными пределами, а

это указывает на неконтролируемое состояние. Существует некоторая вариация между подгруппами, т.е. между разными партиями и разными днями. Надо проверить, какой метод используется для производства продукции во второй смене B_2 . Вот оценка вариации внутри партии σ_w :

$$\hat{\sigma}_w = \bar{R}/d_2 = 8,42.$$

А стандартное отклонение, получаемое из рис. 7.13 (A_2B_2), равно 13,13. Следовательно, σ_x^2 вычисляется по формуле

$$\sigma_x^2 = \sigma_w^2 + \sigma_b^2,$$

а вариация между партиями получается из

$$\hat{\sigma}_b = \sqrt{\hat{\sigma}_x^2 - \hat{\sigma}_w^2} = \sqrt{13,13^2 - 8,42^2} = 10,07.$$

Иными словами, вариация между подгруппами имеет тот же порядок, что и вариация внутри подгрупп.

3) **Контрольные карты для рессор типа A_1 , расслоенные в соответствии с B и P** (рис. 7.17). Поскольку различия в средних зависят от положения изделия в печи, контрольные карты в сочетании с объединением данных для двух партий ежедневно были расслоены в зависимости от этого положения (P) в одну подгруппу. Тогда оказывается, что вариация внутри подгруппы включает вариацию в течение отдельного дня, в которую включается вариация между партиями. Вариация между подгруппами включает вариацию между разными днями (табл. 7.13).

а) Различие в средних для ($A_1B_1P_1$) и ($A_1B_1P_2$) очевидно. Одна точка попала за контрольные пределы, тем не менее и \bar{x} -, и R -карты демонстрируют относительно стабильное контролируемое состояние.

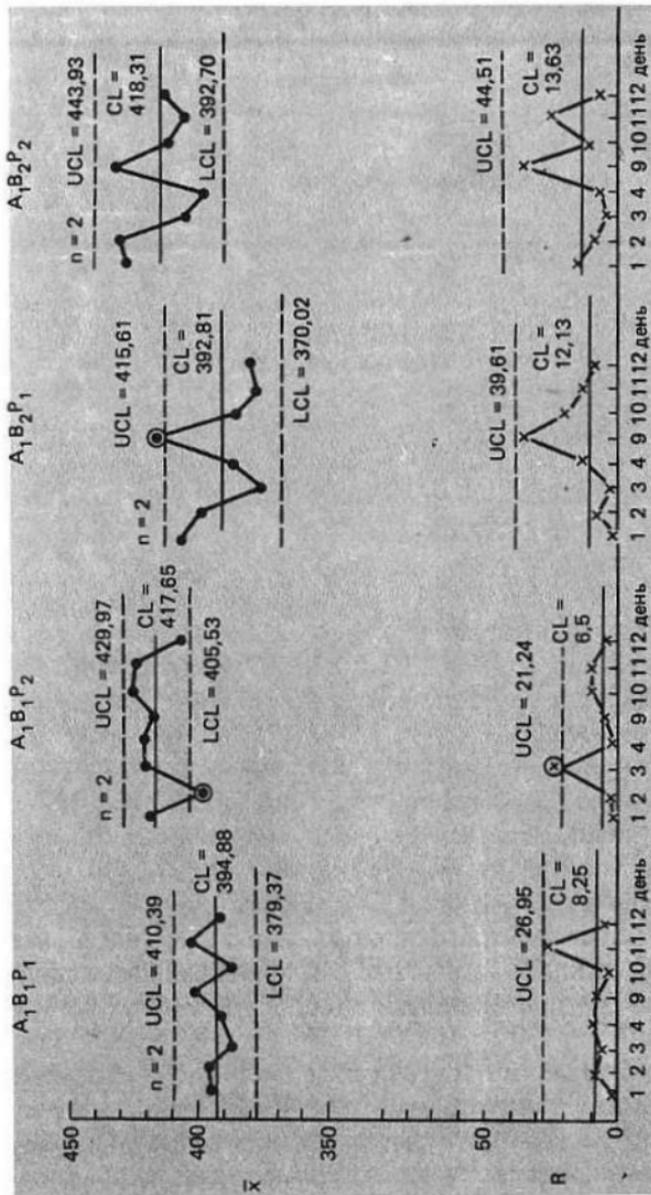


Рис. 7.17. Контрольные карты для рессор типа A_1 , расслоенные в соответствии с B и P

б) Сравнение P_1 и P_2 для комбинации A_1B_1 . Поскольку значения \bar{R} для $(A_1B_1P_1)$ и $(A_1B_1P_2)$ примерно одинаковы, эти данные можно объединить для оценки $\hat{\sigma}_w$, тогда

$$\hat{\sigma}_w = \bar{R}/d_2 = \frac{8,25 + 6,50}{2 \times 1,128} = 6,54.$$

Что касается $\hat{\sigma}_b$, определяемой вычитанием $\hat{\sigma}_w^2$ из ошибки положения, то она находится из выражения

$$\hat{\sigma}_b = \sqrt{\hat{\sigma}_x^2 - \hat{\sigma}_w^2} = \sqrt{14,71^2 - 6,54^2} = 13,18.$$

Вклад межгрупповой вариации в общую вариацию $\hat{\sigma}_x^2$ можно выразить как процент $\hat{\rho}_b$:

$$\hat{\rho}_b = \hat{\sigma}_b^2 / \hat{\sigma}_x^2 \times 100 = (13,18^2 / 14,71^2) \times 100 = 80 \%$$

В данном случае $\hat{\sigma}_b^2$ зависит от положения изделия в печи, также указывая на смещение значений твердости рессор в зависимости от их положения в печи, и на то, что ситуацию можно улучшить.

в) Если мы сравним рис. 7.16 (A_1B_1) с рис. 7.17 ($A_1B_1P_1$), то увидим, что последняя карта, расслаиваемая прежде по P , дает в результате стабильно-контролируемое состояние. Это происходит потому, что изменилась композиция подгрупп. Надо группировать данные таким образом, чтобы сделать внутригрупповую вариацию настолько случайной, насколько это возможно, превращая вариацию, обусловленную проявлениями процесса в межгрупповую вариацию.

4) Контрольные карты для рессор типа A_2 , расслоенные в соответствии с фактором B (рис. 7.18). Твердость рессор типа A_2 не зависит от их положения в печи, поэтому данные группировались в две партии ежедневно объемом

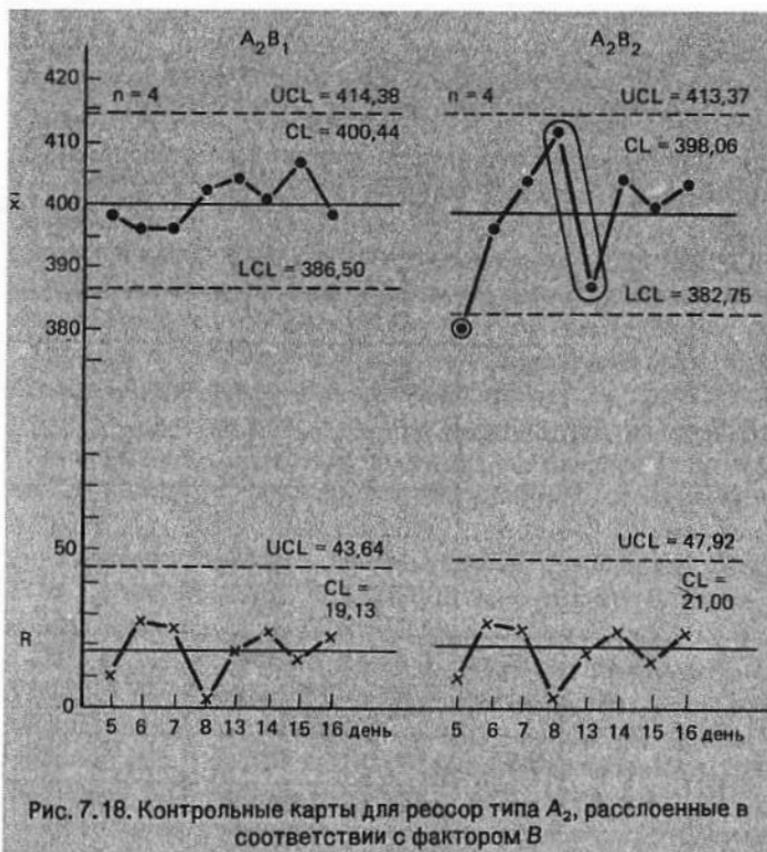


Рис. 7.18. Контрольные карты для рессор типа A_2 , расслоенные в соответствии с фактором B

$n = 4$. Следовательно, внутригрупповая вариация стала состоять из ежедневной вариации, включающей как вариацию внутри партий, так и между ними. Вариация между подгруппами стала вариацией между днями.

а) (A_2B_1): обе карты (и \bar{x} , и R) находятся в контролируемом состоянии. Величина σ_w оценивается из выражения

$$\hat{\sigma}_w = \bar{R}/d_2 = 19,13/2,059 = 9,29.$$

Таблица 7.13

Подгруппы для контрольных карт, расслоенных
в соответствии с факторами В и Р, рессор типа А₁

День	Тип рессоры, А	Смена, В	Номер партии	Положение в печи	
				Р ₁	Р ₂
1	А ₁	В ₁	1	396	420
			2	396	421
		В ₂	3	408	423
			4	408	438
2	А ₁	В ₁	5	393	400
			6	401	399
		В ₂	7	404	438
			8	396	429
3	А ₁	В ₁	9	385	410
			10	391	432
		В ₂	11	377	407
			12	378	410

б) (А₂В₂): \bar{R} -карта показывает, что процесс находится в контролируемом состоянии, а \bar{x} -карта – нет. Одна точка попала за контрольные пределы, да еще наблюдается тенденция приближения наблюдений к контрольным пределам.

Выводы и рекомендации.

1) Трещины наблюдаются в рессорах для малых тракторов. Представляется, что они обусловлены методом

формирования садки рессор для малых тракторов в печь термообработки. При термообработке малых рессор возникает градиент температуры между центром печи и ее стенками. Это, как нам кажется, ведет к увеличению твердости рессор, что, в свою очередь, приводит к росту образования трещин. Значит, надо так изменить метод формирования садок, чтобы обеспечить температурный градиент, который бы не превышал градиента, возникающего в печи при термообработке рессор для средних тракторов.

2) Есть проблема и с допусками технологических стандартов. Надо установить зависимость между твердостью рессор и их склонностью к образованию трещин и ввести новые стандарты. Если исходить из сегодняшней оценки, опирающейся на приведенные здесь данные, то максимум твердости следует установить на уровне 440 НВ, поскольку при более высоких значениях обнаруживается брак. Если же твердость будет задаваться не выше 440 НВ, трещины, видимо, исчезнут.

3) Сравнение разных смен показывает, что смена B_2 работает не стабильно. Следует пересмотреть технологические стандарты и методы работы. Надо исследовать причины того, почему нет вариации между партиями в течение дня, но есть вариация между разными днями.

4) Если реализовать намеченные выше действия, то можно ожидать, что удастся достигнуть для рессор и к малым, и к средним тракторам воспроизводимости процесса, полученной для комбинации A_2B_1 . Тогда дефекты будут устранены, а индекс воспроизводимости процесса станет равным:

$$C_p = \frac{S_U - S_L}{6s} = \frac{440 - 350}{6 \times 8,97} = 1,67.$$

Таблица 7.14

Подгруппы для контрольных карт, расслоенных
в соответствии с фактором В, рессор типа A_2

День	Тип рессоры, A	Смена, B	Номер партии	Положение в печи	
				P_1	P_2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
4	A_2	B_1	13	387	421
			14	397	422
		B_2	15	397	397
			16	384	404
5	A_2	B_1	17	402	391
			18	398	401
		B_2	19	393	382
			20	381	366
6	A_2	B_1	21	392	411
			22	382	399
		B_2	23	395	402
			24	407	381

7.7. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ С ПОМОЩЬЮ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ

Когда зависимость между показателем качества и влияющими на процесс факторами найдена, следующий этап заключается в установлении этих факторов на опре-

деленные уровни таким образом, чтобы целевое значение показателя качества попало в желаемый диапазон. Этот этап называется управлением процессом. Контрольная карта служит полезным инструментом выявления ненормальных условий функционирования процесса и поддержания стабильности работы процессов.

7.7.1. Показатели качества

Переменная, которая используется для управления процессом, называется его показателем качества. При выборе показателей качества необходимо придерживаться следующих условий:

а) значения показателя должны правильно отражать состояния процесса;

б) следует минимизировать побочные эффекты;

в) результаты должны получаться сразу, без задержек;

г) отбор и измерения должны быть экономичными.

Косвенные показатели можно применять в том случае, если они жестко связаны с исходными прямыми показателями качества. В случае определения свойств материалов, когда измерения требуют разрушения, можно пользоваться неразрушающими методами.

7.7.2. Определение контрольных пределов

Для управления процессом с помощью контрольных карт надо проверить, приемлема ли его воспроизводимость, т.е. определить, стабилен ли процесс, и указывает ли диапазон варьирования показателя качества на карте на удовлетворительное согласование со стандартами, требующимися для производства некоторого продукта. Если оказывается, что процесс неадекватен и показатель

качества находится в неконтролируемом состоянии, надо приступить к экспериментированию с управлением в надежде преодолеть ненормальность в рамках действующих контрольных линий, одновременно улучшая процесс.

Контрольная карта, которая сделана для анализа процесса, проверяет стандартные значения. Если контрольная карта показывает, что процесс находится в желаемом состоянии, то принятые контрольные линии и вводятся для управления процессом. Этот подход описан на рис. 7.19.

7.7.3. Пересмотр контрольных линий

Когда в состоянии процесса обнаруживаются технические изменения, контрольные линии надо пересматривать. Такой пересмотр необходимо осуществлять как можно быстрее. Даже если и не обнаруживаются заметные изменения, все равно надо делать регулярные перепроверки контрольных линий. Их пересмотр должен основываться на размахе флуктуаций, которые могут встретиться при хорошо управляемом процессе.

7.7.4. Технологические стандарты

Для введения процесса в целом в контролируемое состояние прежде всего следует представить себе вклад факторов в флуктуацию процесса и избегать ненормальных изменений этих факторов. А чтобы этого достигнуть, нужна стандартизация технологических приемов и методов. При разработке набора технологических стандартов надо удовлетворять следующим условиям:

а) стандартизация должна соответствовать вышеупомянутым целям;

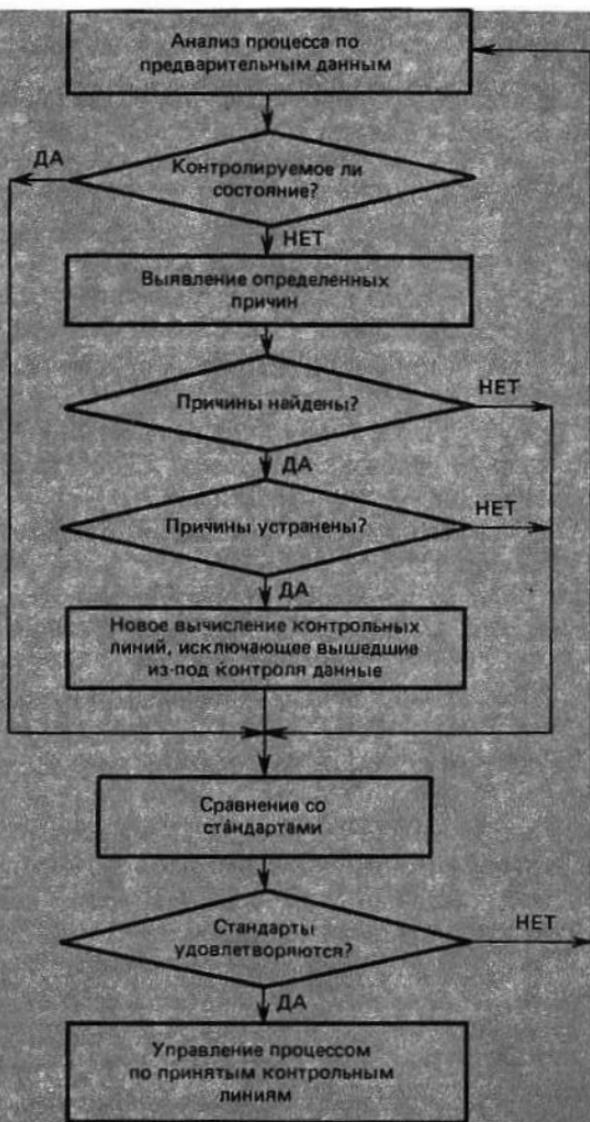


Рис. 7.19. Блок-схема процесса принятия решений о контрольных линиях

б) стандарты надо устанавливать для управления флуктуациями значимых факторов;

в) стандарты должны быть практичными и служить критериями для действий;

г) стандарты нужны для принятия текущих решений, а вовсе не для обеспечения идеальных целей;

д) стандарты должны точно устанавливать все важные технологические приемы;

е) пересмотр стандартов должен направляться на их улучшение;

ж) в основе разработки стандартов должно лежать ясное понимание объекта, да и сам процесс разработки стандарта тоже должен быть понятным;

з) стандарты должны точно устанавливать ответственность и полномочия;

и) при документировании стандартов прежде всего надо принимать во внимание пригодность таких руководств;

к) временные меры в непредвиденных случаях надо оговаривать;

л) следует уделить внимание технике безопасности и защите;

м) быть целенаправленным, но не формальным;

н) необходимо проводить инструктаж и обучение.

Способность управлять главными факторами процесса обязательна при планировании стандарта. Успех стандартизации зависит еще и от преданности стандартам рабочих. Стандарты надо непрерывно пересматривать для улучшения ведения процесса с использованием контрольных карт. Кроме того, при разработке стандартов необходимо предусмотреть все связанные с этим процедуры, их документальное оформление, пересмотр, подготовку кадров и внедрение.

7.7.5. Сравнение разброса с границами допуска

Когда надо сравнить данные о процессе с границами поля допуска, то это следует делать с той единицей, для которой определены данные границы. Так, если границы относятся к каждому произведенному изделию, то с ними нужно сравнивать именно данные для отдельных изделий, а не для \bar{x} или для контрольных пределов.

Если гистограмма оказывается лежащей между верхним и нижним пределами допуска вместе с крайними значениями, это должно привести к суждению, что процесс удовлетворяет требованиям стандартов. Этим процессом можно управлять по контрольным линиям, вычисленным на основании данных о процессе. С другой стороны, если гистограмма простирается за верхнюю и нижнюю границы допуска, то это означает, что процесс неудовлетворителен. Необходимы методы исправления.

Даже если процесс и находится в контролируемом состоянии, все равно может производиться некондиционная продукция и наоборот. Контрольные пределы делаются для того, чтобы можно было определить, находится ли процесс в контролируемом состоянии или нет, а границы (пределы) поля допуска необходимы для того, чтобы можно было узнать, дефектно ли каждое отдельное изделие или нет. Контролируемое состояние – это такое состояние, когда выявленные причины вариации устранены и вся вариация обуславливается только случайными причинами. Это обеспечивается работой в соответствии с рабочими инструкциями. Расстояние между контрольными пределами определяется вариацией, обусловленной случайными причинами. Границы поля допуска, напротив, выбираются в зависимости от требований потребителя или пользователя.

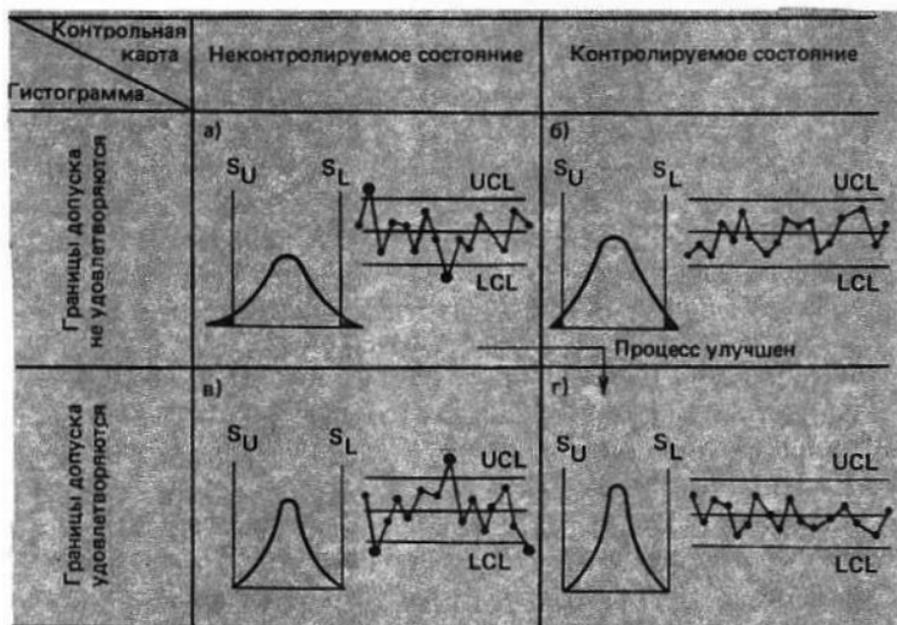


Рис. 7.20. Сравнение контрольных карт с границами допуска

Таким образом, как показано на рис. 7.20, вы, вероятно, встретитесь с одним из следующих случаев:

а) процесс в неконтролируемом состоянии, а значит, производится брак;

б) процесс в контролируемом состоянии, но тем не менее брак есть;

в) процесс в неконтролируемом состоянии, но брака нет;

г) процесс в контролируемом состоянии, а значит, брака нет.

Со случаем г) нет никаких проблем, но в случаях б) и в) возникает недоумение. Причина заключается в дисгармонии воспроизводимости процесса и границ поля допуска. В случае б) воспроизводимость процесса не существенна для границ поля допуска. Для предупреждения возможных случаев появления брака стоит приложить усилия, направленные на улучшение воспроизводимости процесса. Случай в) появляется, когда воспроизводимость процесса достаточна с точки зрения границ поля допуска. В этом случае надо рассмотреть возможность улучшения эффективности производства.

Упражнение 7.1. Выберите подходящие типы контрольных карт для управления следующими показателями качества.

- 1) Вес пакетов с пищевыми продуктами.
- 2) Число дефектов в 1000 деталях.
- 3) Число дефектов пайки в радиоприемнике.
- 4) Выход химического продукта в партии.
- 5) Процент дефектов в партии, объем которой может меняться.
- 6) Прочность пяти образцов, отбираемых ежедневно.
- 7) Число царапин на 1 м^2 стального листа.

Упражнение 7.2. Для исследования характера вариации процесса обработки некоторой детали ее размер определяется 4 раза в день: в 9, 11, 14 и 16 часов (см. табл. на с. 168). Постройте $(\bar{x} - R)$ -карту для анализа этого процесса.

Упражнение 7.3. Исправьте (если есть) ошибки в следующих высказываниях:

1) В некоторой $(\bar{x} - R)$ -карте \bar{x} -карта указывает на изменения в групповых средних, а R -карта – на изменения во внутригрупповой вариации.

2) В $(\bar{x} - R)$ -карте мы проверяем, составляет ли внутригрупповая вариация основу для межгрупповой вариации.

№ п/п	Дата	Время, ч			
		9	11	14	16
1	Ноябрь 2	52,5	52,9	52,9	53,5
2	3	53,0	52,8	53,5	52,4
3	4	52,8	52,9	52,7	52,8
4	5	52,9	52,9	52,9	52,9
5	6	52,8	52,9	52,7	53,1
6	9	52,6	53,4	53,1	53,3
7	10	53,5	53,6	52,8	52,7
8	11	53,1	53,3	53,5	53,0
9	12	53,4	53,1	53,1	53,1
10	13	53,2	53,4	53,1	52,9
11	16	53,4	53,0	53,9	53,1
12	17	52,8	52,9	53,2	53,2
13	18	53,2	53,3	52,9	53,1
14	19	53,5	52,9	54,0	53,9
15	20	54,3	53,6	53,6	53,8
16	23	53,2	53,3	54,0	53,7
17	24	53,8	54,0	53,8	53,8
18	25	53,1	53,6	53,7	53,8
19	26	53,7	53,8	53,0	53,5
20	27	53,3	53,1	53,6	53,0
21	30	53,3	53,7	53,3	53,8
22	Декабрь 1	53,1	53,1	53,2	53,1
23	2	53,6	53,4	53,2	53,0
24	3	53,4	53,7	53,0	53,2
25	4	53,3	53,2	53,5	53,4

3) Когда все точки, нанесенные на контрольную карту, оказываются между контрольными пределами, мы считаем, что процесс находится в контролируемом состоянии.

4) В некоторой $(\bar{x} - R)$ -карте одна точка может попасть за границы пределов, даже если никаких изменений в процессе не было.

5) В контрольной карте, где желательно малое значение показателя качества, нижний контрольный предел на практике не используется.

6) Если контрольная карта показывает, что процесс находится в контролируемом состоянии, то этот процесс будет давать продукцию, удовлетворяющую требованиям.

7) Допустим, что одна точка выпала за контрольные пределы. Если пределы допуска широкие, нам остается лишь продолжать процесс. Но если пределы узкие, надо немедленно отыскать причину и предпринять соответствующие действия.

8) Когда $(\bar{x} - R)$ -карта указывает на статистически контролируемое состояние, мы можем приблизительно определить воспроизводимость процесса по гистограмме для x (исходных данных).

9) В x -карте последовательные 15 точек оказались между \pm односигмовыми контрольными пределами, значит, процесс находится в прекрасном стабильном состоянии. Нам стоит попробовать сохранить это состояние.

Глава 8 АДДИТИВНОСТЬ ДИСПЕРСИЙ

8.1. СРЕДНИЕ И ДИСПЕРСИИ СУММ

Пока не подброшена игральная кость, мы не знаем, какой гранью она выпадет, но если кость не жульническая, то вероятность выпадать для каждой грани равна $1/6$. Ожидаемое значение числа очков равно:

$$\mu = 1 \times (1/6) + 2 \times (1/6) + \dots + 6 \times (1/6) = 3,5.$$

Дисперсия числа очков равна:

$$\sigma^2 = \sum_{x=1}^6 (x - 3,5)^2 \times (1/6) = (35/12), \quad (8.1)$$

а ее стандартная ошибка есть

$$\sigma = \sqrt{(35/12)} = 1,71. \quad (8.2)$$

Если кость подбрасывается дважды и рассматривается получаемая сумма очков, то ею может оказаться некоторое число от 2 до 12, а их относительные частоты можно найти в табл. 8.1. Теперь уже возможные значения будут появляться с разными частотами, причем число 7 имеет наибольшую частоту, а числа 2 и 12 – наименьшую. Что же можно сказать о среднем и дисперсии суммы чисел очков в этом случае?

Среднее равно:

$$\begin{aligned} \mu = \sum xP(x) &= 2 \times (1/36) + 3 \times (2/36) + \dots + 6 \times (5/36) + \\ &+ 7 \times (6/36) + 8 \times (5/36) + \dots + 12 \times (1/36) = 7. \end{aligned} \quad (8.3)$$

Дисперсия равна:

$$\begin{aligned} \sigma^2 = \sum (x - \mu)^2 P(x) &= (2-7)^2 \times (1/36) + (3-7)^2 \times \\ &\times (2/36) + \dots + (7-7)^2 \times (6/36) + \dots + (12-7)^2 \times \\ &\times (1/36) = 35/6. \end{aligned} \quad (8.4)$$

Для ответа на вопрос выясним, чему равны среднее и дисперсия суммы чисел очков, получаемых из двух бросаний одной кости и из одновременного подбрасывания двух костей.

Таблица 8.1

Сумма числа очков, полученных
из двух бросаний кости:

Сумма числа очков		Второе бросание					
		1	2	3	4	5	6
Первое бросание	1	2	3	4	5	6	7
	2	3	4	5	6	7	8
	3	4	5	6	7	8	9
	4	5	6	7	8	9	10
	5	6	7	8	9	10	11
	6	7	8	9	10	11	12

Давайте теперь сделаем то же самое для разности чисел очков, т.е. мы хотим знать, что получится, если результат второго бросания вычесть из результата первого. Как можно увидеть из табл. 8.2, получаются значения от -5 до $+5$, кроме того, наибольшую относительную частоту имеет число 0, а относительные частоты всех значений, показанные на рис. 8.2, те же, что и на рис. 8.1, только

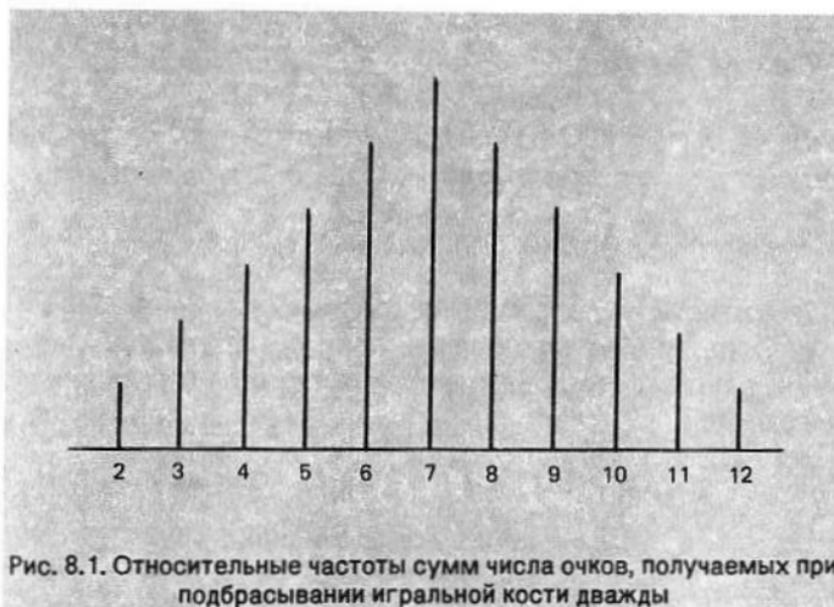


Рис. 8.1. Относительные частоты сумм числа очков, получаемых при подбрасывании игральной кости дважды

сдвинутые на семь единиц влево. Отсюда мы определим, что среднее и дисперсия разности равны:

$$\mu = 0 \quad (8.5)$$

и

$$\sigma^2 = (35/6). \quad (8.6)$$

Заметим, что дисперсии суммы и разности одинаковы.

8.2. ТОЧНОСТЬ СБОРКИ ДЕТАЛЕЙ

Предположим, что у нас есть изделие, которое, как показано на рис. 8.3, а, представляет собой сборку из двух деталей А и В. Если размер x детали А имеет распределение со средним μ_x и стандартным отклонением σ_x , а размер y детали В — со средним μ_y и стандартным отклоне-



Таблица 8.2

Разности между первым и вторым бросаниями

Разность между 1 и 2 бросаниями		Второе бросание					
		1	2	3	4	5	6
Первое бросание	1	0	-1	-2	-3	-4	-5
	2	1	0	-1	-2	-3	-4
	3	2	1	0	-1	-2	-3
	4	3	2	1	0	-1	-2
	5	4	3	2	1	0	-1
	6	5	4	3	2	1	0

нием σ_y , то среднее и дисперсия размера z , когда две детали отбираются случайно и объединяются, равны:

$$\mu_z = \mu_x + \mu_y, \quad (8.7)$$

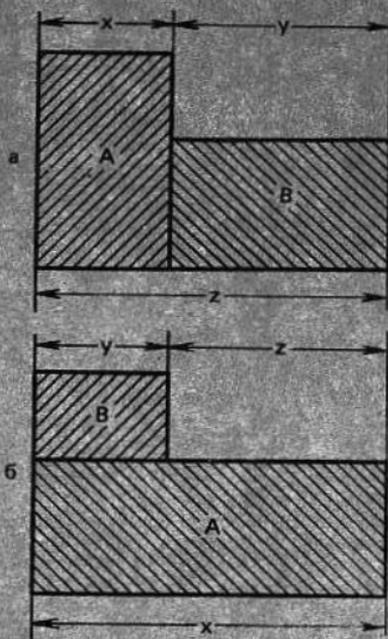


Рис. 8.3. Соединение деталей

$$\sigma_z^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2. \quad (8.8)$$

Если же две детали отбираются случайно и объединяются, как показано на рис. 8.3, б, то мы получим:

$$\mu_z = \mu_x - \mu_y, \quad (8.9)$$

$$\sigma_z^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 \quad (8.10)$$

для размера z . Среднее z вычисляется как разность между A и B . Но дисперсия z по-прежнему остается равной сумме дисперсий деталей.

8.3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ

Когда z определено как

$$z = ax + by, \quad (8.11)$$

где a и b – постоянные коэффициенты, среднее z равно:

$$\mu_z = a\mu_x + b\mu_y, \quad (8.12)$$

где μ_x и μ_y – средние для x и y . Если x и y независимы, дисперсия z равна:

$$\sigma_z^2 = a^2\sigma_x^2 + b^2\sigma_y^2, \quad (8.13)$$

где σ_x^2 и σ_y^2 – дисперсии x и y .

Для объединяемых деталей, описанных в предыдущем параграфе, $a = 1$, $b = \pm 1$. Поскольку складываются квадраты коэффициентов, дисперсия получается суммой, даже если в выражение входят разности случайных величин. Это свойство называется *аддитивностью дисперсий*.

В общем, если x_1, x_2, \dots, x_n – независимые случайные величины и их средние и дисперсии соответственно равны $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ и $\sigma_1^2, \dots, \sigma_n^2$, то математическое ожидание и дисперсия их алгебраической суммы

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad (8.14)$$

составят

$$\mu_y = a_1\mu_1 + \dots + a_n\mu_n \quad (8.15)$$

и

$$\sigma_y^2 = a_1^2\sigma_1^2 + \dots + a_n^2\sigma_n^2. \quad (8.16)$$

8.4. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОЖИДАНИЕ И ДИСПЕРСИЯ ВЫБОРОЧНЫХ СРЕДНИХ

Если измерения берутся из распределения с генеральным средним μ и генеральной дисперсией σ^2 , причем если получающиеся результаты измерений суть x_1, x_2, \dots, x_n , а их среднее равно y , то

$$y = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j = \frac{1}{n} x_1 + \frac{1}{n} x_2 + \dots + \frac{1}{n} x_n. \quad (8.17)$$

Положив в предыдущей формуле $a_1 = a_2 = \dots = a_n = 1/n$, для математического ожидания и дисперсии y получим:

$$\mu_y = \mu \quad (8.18)$$

и

$$\sigma_y^2 = \left(\frac{1}{n}\right)^2 n \sigma^2 = \frac{\sigma^2}{n}. \quad (8.19)$$

Это и есть хорошо известные формулы для распределения выборочного среднего.

8.5. ОШИБКА ВЫБОРКИ И ОШИБКА ИЗМЕРЕНИЯ

Когда оцениваются ингредиенты таких материалов, как уголь или железная руда, обычно работа проходит в две стадии: сначала из партии материала отбирается выборка, а затем проводится ее химический анализ. Поэтому в процедурах такого рода в оценке ингредиентов присутствуют ошибки двух видов. Один из них называется ошибкой выборки и встречается, когда из партии берется выборка, а другой называется ошибкой измерений и возникает в процессе анализа. Если обозначить ошибку выборки через

x_S , а ошибку измерения через x_M , то результат измерения y можно представить так:

$$y = \mu + x_S + x_M, \quad (8.20)$$

где μ – истинное среднее значение y в данной партии. Если для среднего значения x_S положить μ_S , а для x_M – μ_M , то среднее y будет:

$$\mu_y = \mu + \mu_S + \mu_M, \quad (8.21)$$

где μ_S и μ_M – смещения в выборке и в измерении соответственно. Дисперсия y равна:

$$\sigma_y^2 = \sigma_S^2 + \sigma_M^2, \quad (8.22)$$

где σ_S^2 – точность отбора, а σ_M^2 – точность измерений.

Если один образец измерить дважды и взять среднее, то дисперсия этого среднего составит

$$\sigma_y^2 = \sigma_S^2 + \frac{\sigma_M^2}{2}. \quad (8.23)$$

Дисперсия ошибки измерения уменьшается вдвое. Если же мы возьмем два образца, измерим каждый из них один раз и усредним, то дисперсия станет равной:

$$\sigma_y^2 = \frac{\sigma_S^2}{2} + \frac{\sigma_M^2}{2}, \quad (8.24)$$

так что в этом случае и ошибка выборки тоже делится пополам.

Как объяснялось в предыдущем параграфе, дисперсия среднего значения умножается на $1/n$, если измерения повторялись n раз. Однако если ошибки возникают на отдельных стадиях, как в данном примере, то компоненты

дисперсии уменьшаются по-разному в зависимости от того, на какой стадии сделаны повторения.

Ошибки можно разделить на две категории: смещения и вариации. Тогда как вариация уменьшается при повторении измерений, смещения остаются неизменными, сколько ни повторяй наблюдения, и усреднение не ведет к их уменьшению.

8.6. ДИСПЕРСИЯ ФУНКЦИЙ

Если y выражается как функция f от независимых случайных величин x_1, x_2, \dots, x_n вида

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (8.25)$$

и f непрерывна в окрестностях μ_1, \dots, μ_n , которые представляют собой средние значения для x_1, \dots, x_n , функцию f можно разложить в ряд Тейлора:

$$\begin{aligned} y = f(x_1, \dots, x_n) = & f(\mu_1, \dots, \mu_n) + \\ & + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) (x_i - \mu_i) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} (x_i - \mu_i) \times \\ & \times (x_j - \mu_j) + \dots \end{aligned} \quad (8.26)$$

Если можно пренебречь членами второго и более высоких порядков, то получим:

$$Y \doteq f(\mu_1, \dots, \mu_n) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} (x_i - \mu_i), \quad (8.27)$$

а, следовательно, среднее и дисперсия y примерно равны:

$$\mu_y \doteq f(\mu_1, \dots, \mu_n) \quad (8.28)$$

и

$$\sigma_y^2 \doteq \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_i^2 \quad (8.29)$$

где σ_i^2 – дисперсия x_i .

Пример 8.1. Вес сухого угля.

Было добыто около 1000 т угля. Его средняя влажность составила приблизительно 8 %. Если точность взвешивания угля, σ_1 , равна 5 т, а точности выборки и измерений равны 0,5 %, то какова будет точность σ_y величины y , оценивающей вес угля после сушки?

Обозначим результат взвешивания угля через x_1 т, а измерения концентрации влаги – через x_2 %, тогда вес сухого угля оценивается из выражений

$$y = x_1 \left(1 - \frac{x_2}{100} \right). \quad (8.30)$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} \sigma_y^2 &\doteq \left(1 - \frac{x_2}{100} \right)^2 \sigma_1^2 + x_1^2 \left(\frac{\sigma_2}{100} \right)^2 = \\ &= \left(\frac{92}{100} \right)^2 \times 5^2 + 1000^2 \left(\frac{0,5}{100} \right)^2 = 46,16. \end{aligned} \quad (8.31)$$

$$\text{Отсюда } \sigma_y = 6,8 \text{ т.} \quad (8.32)$$

8.7. КОГДА СЛУЧАЙНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ НЕ НЕЗАВИСИМЫ

Аддитивность дисперсий хорошо служит, пока случайные величины взаимно независимы. Две случайные величины называются независимыми, когда значение одной из них меняется без всякой зависимости от второй.

Возьмем, например, n супружеских пар и обозначим возраст мужа и возраст его жены через x и y соответственно, тогда разность между их возрастaми выразится так:

$$z = x - y. \quad (8.33)$$

Если бы x и y были независимыми, дисперсия их разности оказалась бы

$$\sigma_z^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2. \quad (8.34)$$

Положим $\sigma_x = \sigma_y = 5$, тогда $\sigma_z \doteq 7$. Но это не тот случай, поскольку возрастa мужа и жены не независимы. В одной супружеской паре и мужчина, и его жена стары, а в другой семье — оба молоды. Это не означает, что нельзя сказать, будто нет стариков, женатых на девушках, или старух с юными мужьями, но таких случаев гораздо меньше.

Когда x и y не независимы, среднее и дисперсия

$$z = ax + by \quad (8.35)$$

даются выражениями

$$\mu_z = a\mu_x + b\mu_y \quad (8.36)$$

и

$$\sigma_z^2 = a^2 \sigma_x^2 + b^2 \sigma_y^2 + 2ab\rho\sigma_x\sigma_y. \quad (8.37)$$

Среднее z остается тем же самым, что и в случае независимости x и y , но дисперсия отличается на $2ab\rho\sigma_x\sigma_y$, где ρ — коэффициент корреляции, показывающий степень зависимости между двумя случайными величинами. Значения ρ лежат между -1 и $+1$, т.е.

$$-1 \leq \rho \leq +1. \quad (8.38)$$

Чем жестче зависимость между двумя случайными величинами, тем ближе к 1 абсолютное значение ρ .

Когда $\rho = \pm 1$, все значения x , y лежат на одной прямой. При $\rho > 0$ рост одной переменной влечет за собой рост другой и это называется положительной корреляцией, а при $\rho < 0$, напротив, рост одной переменной приводит к уменьшению другой и тогда говорят об отрицательной корреляции. В случае возрастов мужчин и их жен ясно, что $\rho > 0$. Пусть, например, $\rho = 0,7$, тогда дисперсия разности возрастов была бы

$$\sigma_z^2 = 5^2 + 5^2 - 2 \times 0,7 \times 5 \times 5 = 15, \quad (8.39)$$

$$\sigma_z \doteq 3,87. \quad (8.40)$$

8.8. ИЗБРАННЫЕ КОМБИНАЦИИ

Если детали выбираются случайно и соединяются, дисперсия сумм и разностей их размеров всегда будет равна сумме дисперсий всех деталей, поскольку, как описано в параграфе 8.2, имеет место аддитивность дисперсий, и эта общая дисперсия должна быть всегда больше, чем дисперсии отдельных размеров. Традиционный путь снижения общей дисперсии изделий заключается в снижении дисперсий отдельных деталей. Если, однако, для данной продукции по технологическим причинам это слишком трудно сделать, то приходится вместо случайного выбора деталей прибегать к подбору наиболее подходящих "партнеров".

Например, зазор между поршнем и цилиндром двигателя играет важную роль в его работе. Если диаметр цилиндра x , а диаметр поршня — y , то надо подобрать значения $z = x - y$ настолько одинаковыми, насколько возможно. Из формулы, приведенной в параграфе 8.7, мы получим:

$$\sigma_z^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 - 2\rho\sigma_x\sigma_y. \quad (8.41)$$

Значит, если сделать ρ близким к 1, то σ_z^2 будет стремиться к $(\sigma_x - \sigma_y)^2$.

Объектив фотокамеры сделан из набора линз с различными коэффициентами преломления для снижения хроматической аберрации. Если толщина одной линзы x , а другой — y , то желательно получить общую толщину двух линз $z = x + y$ как можно более одинаковой.

Поскольку $\sigma_z^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 + 2\rho\sigma_x\sigma_y$, величина σ_z^2 будет стремиться к $(\sigma_x + \sigma_y)^2$, если, как и в предыдущем примере, приблизить ρ к -1 .

Хотя избранные комбинации — хороший метод снижения вариации, его использование ведет к снижению эффективности производства, поскольку надо перебрать больше деталей да еще каждую из них снова измерить.

8.9. СТАТИСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

В промышленности часто имеет место массовое производство одного и того же вида продукции. Надо стремиться обеспечивать минимум вариации показателей качества такой продукции, и достижение этого — одна из главных задач контроля качества. Вариации показателей качества обусловлены изменениями большого числа факторов, влияющих на эти показатели. Могут встретиться многообразные сочетания следующих четырех элементов:

- 1) вариации в материалах;
- 2) вариации в станках и оборудовании;
- 3) вариации в людях и методах (рабочие и методы работы);
- 4) вариации в измерениях.

Это основные 4 источника вариации, и вариации показателей качества проявляются как сумма вариаций этих четырех типов в соответствии с принципом аддитивности дисперсий. Мы должны выяснить, сколь велик вклад этих элементов в вариацию качества, какие вариации должны быть взяты под контроль, да еще придумать средства для обеспечения нужного контроля. Основа контроля качества на производстве – периодический анализ и улучшения, направленные на снижение вариации качества. За исходную точку возьмем величину существующих флуктуаций качества, а затем проведем анализ тех факторов, которые обуславливают их.

Из теоремы об аддитивности дисперсий мы можем вывести следующий важный закон: "Для уменьшения общей дисперсии снижайте наибольшую дисперсию".

Таблица 8.3

**Уменьшение наибольшей дисперсии
для снижения общей дисперсии**

Номер варианта	σ_x	σ_y	$\sigma_z^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2$	σ_z
1	10	10	200	14,1
2	10	5	125	11,2
3	10	3	109	10,4
4	10	1	101	10,05
5	5	5	50	7,07
6	5	3	34	5,83
7	5	1	26	5,10

В табл. 8.3 приведены некоторые варианты значений σ_x и σ_y , а также их суммы ($\sigma_x^2 + \sigma_y^2$). Как можно увидеть, вклад в σ_z величины σ_x гораздо больше, чем величины σ_y , за исключением случая, когда $\sigma_x = \sigma_y$. Это означает, что если мы хотим уменьшить общую дисперсию σ_z^2 , то прежде всего надо снижать наибольшую дисперсию σ_x^2 .

Упражнение 8.1. Два типа деталей A и B отбираются случайно и соединяются. Нижеприведенные данные представляют собой измеренные значения для каждой детали перед сборкой.

- 1) Найдите дисперсии A и B.
- 2) Найдите значение $(A + B)$ для каждой сборки и подсчитайте дисперсию.
- 3) Сделайте то же самое для $(A - B)$.

№ п/п	A	B	№ п/п	A	B
1	6,95	5,40	6	7,70	3,90
2	6,75	4,45	7	6,85	4,25
3	7,25	4,65	8	7,50	3,95
4	6,50	4,55	9	7,05	4,80
5	7,95	4,95	10	7,90	4,90

Упражнение 8.2. Есть автопогрузчик, который автоматически останавливается, как только вес контейнеров (тары) и их содержимого достигнет заданного значения. Какова вариация получающегося веса содержимого, если точность работы погрузчика в терминах стандартного отклонения составляет σ_1 , а вариация веса тары — σ_2 ?

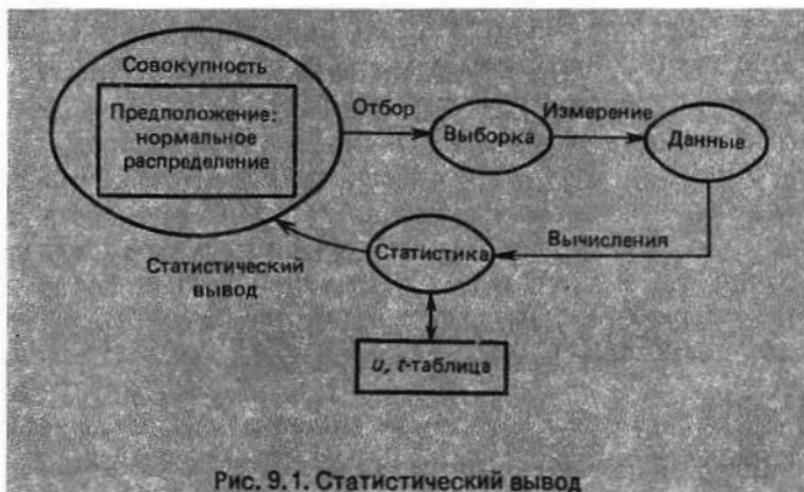
Глава 9

ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ СТАТИСТИЧЕСКОГО ВЫВОДА

9.1. СТАТИСТИКА КАК ФУНКЦИЯ ОТ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Когда мы хотим оценить среднее генеральной совокупности, мы берем множество наблюдений из этой совокупности и вычисляем их среднее. Вычисленное по выборке значение, такое, как выборочное среднее, называется *статистикой*. Иначе говоря, статистика – это функция от результатов наблюдений.

Надо отличать статистику от параметра генеральной совокупности. Для этого мы вместо термина "среднее" часто используем термины *выборочное среднее* и *генеральное среднее*. Параметр совокупности – это некоторое постоянное значение, которое, однако, фактически неизвестно. С другой стороны, мы всегда можем вычислить статистику по выборке, но эта статистика будет варьировать от выборки к выборке. Хотя мы хотим знать параметр совокупности, нам доступна только выборка, получаемая из этой совокупности. Следовательно, мы вынуждены оценивать параметр совокупности, основываясь на статистике. А чтобы сделать это, надо знать распределение этой статистики, такое, как распределение t и u . Методы теории статистического вывода показаны на рис. 9.1.



9.2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИСТИКИ

Для статистического вывода надо знать распределения различных статистик. Можно провести следующий выборочный эксперимент. Воспользовавшись компьютером, генерируем множество из 5 случайных величин, подчиняющихся распределению $N(50, 2^2)$, и вычисляем \bar{x} , R , V , s , u и t , где

$$u = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} = \frac{\bar{x} - 50}{2/\sqrt{5}} \quad (9.1)$$

и

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}} = \frac{\bar{x} - 50}{s/\sqrt{5}}. \quad (9.2)$$

Повторим указанные выше вычисления 10000 раз. Тогда у нас получится 10000 значений статистик \bar{x} , R и т.д. Первые 20 прогонов показаны в табл. 9.1. Незаполнен-

ные места в строках с 11 по 20 оставлены для упражнения читателям. Гистограммы для 10 000 наблюдений наших статистик построены на рис. 9.2 – 9.6, где можно увидеть контуры распределений.

Таблица 9.1

Часть результатов выборочного эксперимента

№ п/п	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	\bar{x}	R	V	s	u	t
1	51	55	50	47	50	50,6	8	8,30	2,88	0,67	0,47
2	52	50	49	49	51	50,2	3	1,70	1,30	0,22	0,34
3	47	51	49	52	46	49,0	6	6,50	2,55	21,12	-0,88
4	51	50	50	47	51	49,8	4	2,70	1,64	-0,22	-0,27
5	50	51	47	51	47	49,2	4	4,20	2,05	-0,89	-0,87
6	50	53	49	51	54	51,4	5	4,30	2,07	1,57	1,51
7	49	50	50	51	51	50,2	2	0,70	0,84	0,22	0,53
8	46	47	47	49	50	47,8	4	2,70	1,64	-2,46	-2,99
9	48	49	50	50	50	49,4	2	0,80	0,89	-0,67	-1,50
10	52	50	49	53	51	51,0	4	2,50	1,58	1,12	1,41
11	49	51	51	48	53						
12	52	51	54	50	52						
13	50	49	48	52	51						
14	51	49	52	50	48						
15	51	51	49	53	48						
16	51	55	47	50	51						
17	53	48	49	53	50						
18	53	50	49	50	51						
19	46	50	50	52	50						
20	53	52	50	50	48						

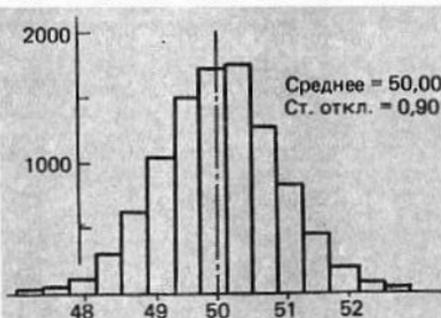


Рис. 9.2. Распределение \bar{x}

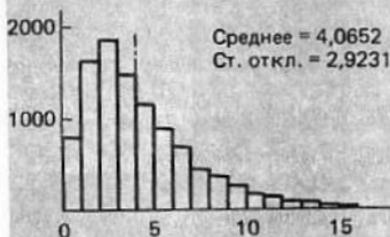


Рис. 9.4. Распределение V

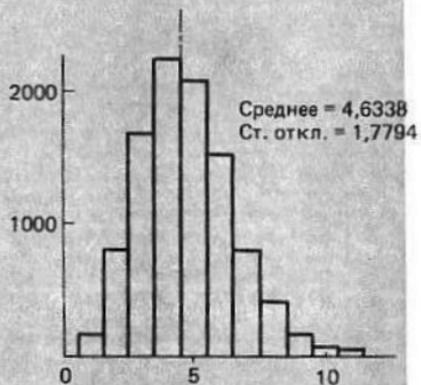


Рис. 9.3. Распределение R

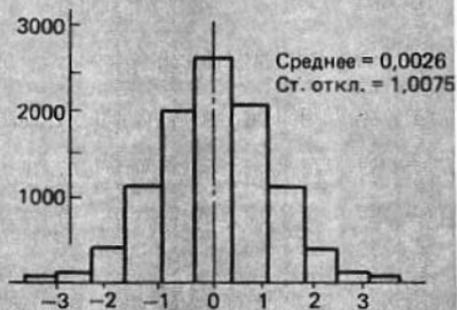


Рис. 9.5. u -распределение

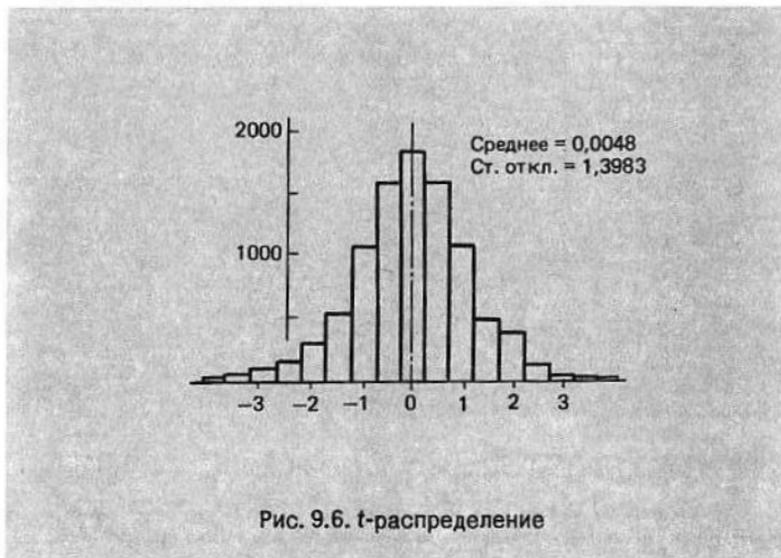


Рис. 9.6. t-распределение

9.2.1. Распределение \bar{x}

Из рис. 9.2 можно увидеть, что:

- а) распределение \bar{x} симметрично относительно среднего и имеет приблизительно нормальную форму;
- б) среднее значение $\bar{x} = 50,0023$ очень близко к генеральному среднему, равному 50,0;
- в) стандартное отклонение \bar{x} , равное 0,9011, близко к $1/\sqrt{n}$ раз взятому генеральному стандартному отклонению, равному $2,0/\sqrt{5} = 0,8944$.

В общем, справедливы следующие теоремы

Теорема 9.1

Пусть x_1, \dots, x_n — это n наблюдений из генеральной совокупности со средним μ и дисперсией σ^2 , а \bar{x} — выборочное

среднее. Тогда математическое ожидание, дисперсия и стандартное отклонение \bar{x} равны:

$$E(\bar{x}) = \mu, \quad (9.3)$$

$$V(\bar{x}) = \frac{\sigma^2}{n} \quad (9.4)$$

и

$$D(\bar{x}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (9.5)$$

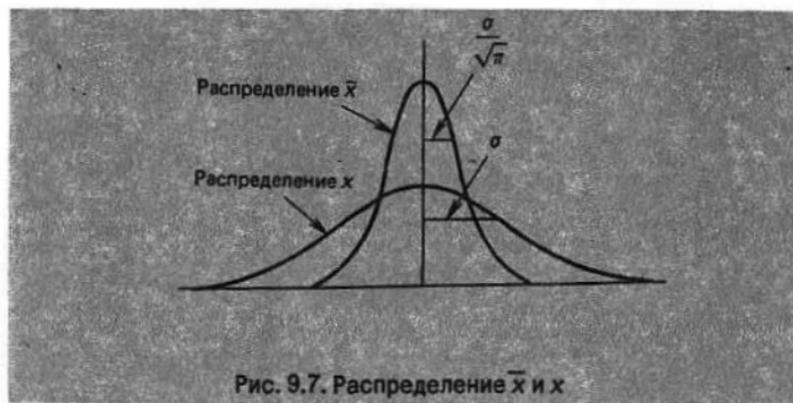
соответственно.

Теорема 9.2

Пусть x_1, \dots, x_n – выборка из распределения $N(\mu, \sigma^2)$, а \bar{x} – выборочное среднее. Тогда \bar{x} распределено как $N(\mu, \sigma^2/n)$.

Теорема 9.1 непосредственно вытекает из параграфа 8.4. Важным представляется тот факт, что стандартное отклонение выборочного среднего в $1/\sqrt{n}$ раз меньше, чем для совокупности (рис. 9.7). Точность выборочного среднего как оценки генерального среднего пропорциональна корню квадратному из объема выборки \sqrt{n} .

Другой важной теоремой о выборочном среднем является *Центральная Предельная Теорема*, которая устанавливает следующее.

Рис. 9.7. Распределение \bar{x} и x **Теорема 9.3. (Центральная Предельная Теорема)**

Распределение выборочного среднего из любой совокупности с конечной дисперсией стремится к нормальному распределению по мере роста объема выборки до бесконечности.

В соответствии с теоремой 9.2 выборочное среднее из совокупности с нормальным распределением имеет в точности нормальное распределение. А теорема 9.3 доказывает, что даже если распределение некоторой совокупности и ненормально, выборочное среднее все равно распределено приблизительно нормально. Приближение становится все лучше по мере роста числа n , но приемлемым оно становится уже при столь малом значении, как 5. На рис. 9.8, например, показаны распределения выборочного среднего из n наблюдений, взятых из равномерного распределения. Именно благодаря Центральной Предельной Теореме мы можем делать различные

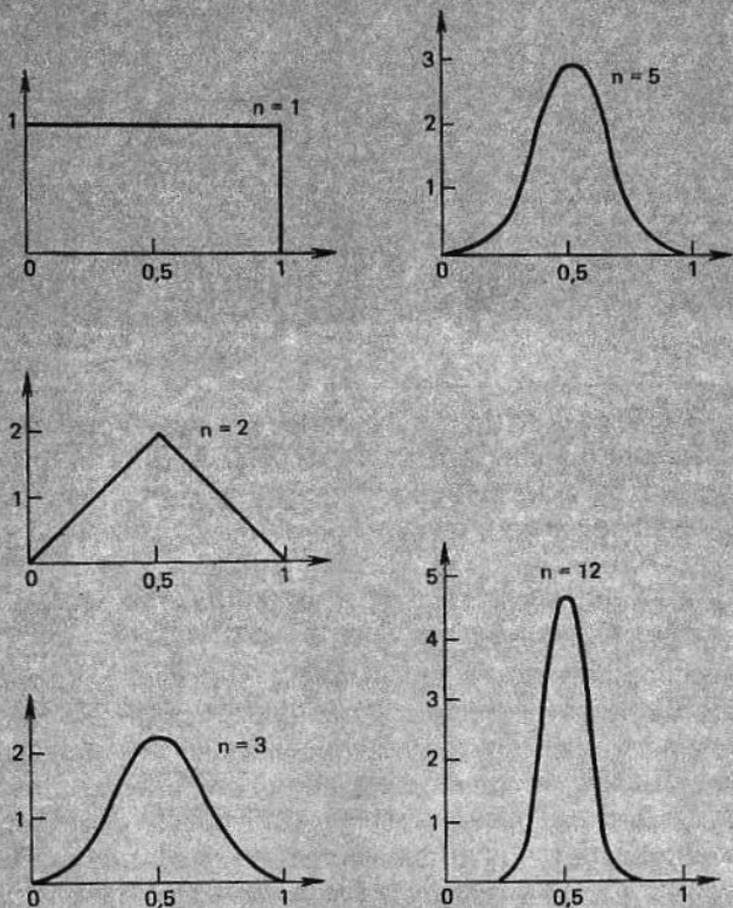


Рис. 9.8. Примеры действия Центральной Предельной Теоремы

статистические выводы, используя выборочное среднее в предположении, что совокупность распределена нормально.

9.2.2. Распределение R

Из рис. 9.3 можно увидеть, что:

- а) распределение имеет положительную асимметрию;
- б) среднее, равное 4,6338, примерно в 2,3 раза превосходит генеральное стандартное отклонение;
- в) стандартное отклонение, равное 1,7794, составляет около 0,9 от генерального стандартного отклонения.

В общем, справедлива следующая теорема.

Теорема 9.4

Пусть R будет размахом выборки (x_1, \dots, x_n) из распределения $N(\mu, \sigma^2)$. Тогда математическое ожидание и стандартное отклонение R есть:

$$E(R) = d_2 \sigma \quad (9.6)$$

и

$$D(R) = d_3 \sigma \quad (9.7)$$

соответственно, где d_2 и d_3 некоторые константы, зависящие от n .

Значения d_2 и d_3 приведены в табл. А.2 приложения. Из этой таблицы для случая $n = 5$ имеем $d_2 = 2,326$ и $d_3 = 0,864$. По этой теореме мы можем оценить σ из выражения

$$\hat{\sigma} = \frac{R}{d_2}. \quad (9.8)$$

9.2.3. Распределение V

Из рис. 9.4 видно, что:

- а) распределение положительно асимметрично;
- б) среднее, равное 4,0652, почти равно генеральной дисперсии $2,0^2 = 4,0$;
- в) стандартное отклонение, равное 2,9231, составляет около 0,7 от генеральной дисперсии.

В общем, справедлива следующая теорема:

Теорема 9.5

Пусть V будет дисперсией выборки x_1, \dots, x_n из распределения $N(\mu, \sigma^2)$. Математическое ожидание и стандартное отклонение V есть:

$$E(V) = \sigma^2 \quad (9.9)$$

и

$$D(V) = \sqrt{\frac{2}{n-1}} \sigma^2. \quad (9.10)$$

Статистика V используется для оценки генеральной дисперсии σ^2 . Из выражения (9.9) следует, что ожидание как раз и равно σ^2 . Формула для оценки, в которой ожидание оказывается равным оцениваемому параметру генеральной совокупности, называется *несмещенным оценителем*. Значит, V – это несмещенный оценитель для σ^2 . Конечно, \bar{x} тоже несмещенный оценитель для μ .

Между прочим, V получается в результате деления суммы квадратов отклонений S на $(n-1)$, что следует из определения (5.4). Может показаться странным, что S делится именно на $(n-1)$, а не на n , и одна из причин этого заклю-

чается в свойстве (9.9). Другая причина состоит в том, что число независимых переменных, используемых при вычислении S , равно $(n - 1)$. Когда, например, $n = 1$, при любом значении x_1 мы имеем $S = 0$. Значит, в выборке с $n = 1$ нет информации о дисперсии. Мы можем получить информацию о вариации только при $n \geq 2$, а n наблюдений содержат информацию о $(n - 1)$ переменной. Это число называется *степенями свободы*. Обозначив их через ϕ , в данном случае будем иметь:

$$\phi = n - 1. \quad (9.11)$$

9.2.4. u -распределение

Теорема 9.6

Пусть \bar{x} будет средним выборки x_1, \dots, x_n из $N(\mu, \sigma^2)$. Тогда статистика

$$u = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \quad (9.12)$$

распределена как нормированное нормальное распределение.

Эта теорема легко вытекает из теоремы 9.2 и нормирования нормальной переменной.

Обозначим двустороннюю α -процентную точку нормированного нормального распределения через $u(\alpha)$. А именно

$$\Pr\{|u| \geq u(\alpha)\} = \alpha, \quad (9.13)$$

где u распределено как $N(0, 1^2)$.

Это распределение используется при проверках гипотез и оценивании генеральных средних, когда σ известна.

9.2.5. t -распределение

Из рис. 9.5 и 9.6 мы видим, что распределение t похоже на распределение u , только с несколько большей вариацией.

Математически устанавливается следующее.

Теорема 9.7

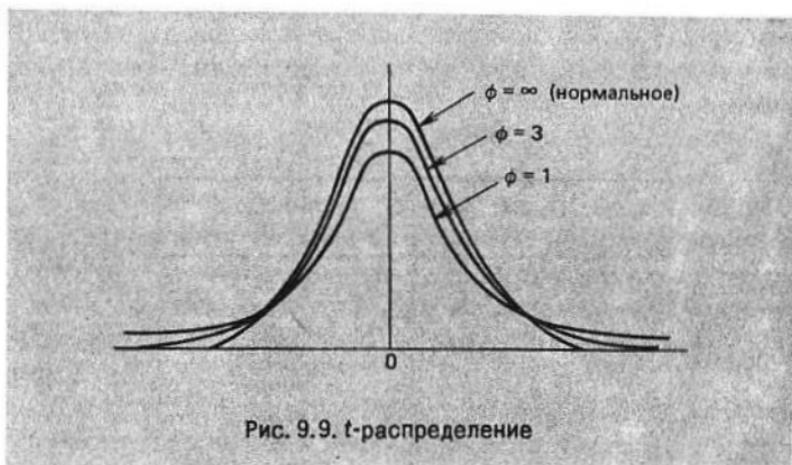
Подставив в выражении 9.12 вместо σ выборочное стандартное отклонение s , мы получим

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}. \quad (9.14)$$

Величина t распределена как t -распределение со степенями свободы $\phi = n - 1$.

Поскольку вместо σ подставлена ее оценка, вполне естественно, что t -распределение имеет большую вариацию, чем нормированное нормальное распределение. Когда степеней свободы, $\phi = n - 1$, немного, у этого распределения получаются длинные "хвосты". Когда же n очень велико, s будет очень близко к σ . Таким образом, мы можем надеяться, что для больших n распределение t будет мало отличаться от нормированного нормального распределения. Действительно, ведь при степенях свободы, равных бесконечности, t -распределение совпадает с нормированным нормальным распределением.

Распределение t однозначно определяется степенями



свободы ϕ , что видно из рис. 9.9. Обозначим двустороннюю α -процентную точку t -распределения со степенями свободы ϕ через $t(\phi, \alpha)$, т. е.

$$\Pr\{|t| \geq t(\phi, \alpha)\} = \alpha, \quad (9.15)$$

где t распределено как t -распределение с ϕ степенями свободы. В табл. А.3 приложения приведены эти процентные точки.

Распределение t используется для проверки гипотез и оценивания генеральных средних, когда σ не известна, или для проверки и оценивания разности двух генеральных средних.

9.3. ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗ

Пример 9.1. Прочность на разрыв (предел прочности) нержавеющей стали, производимой на одном из заводов, сначала была стабильной со средним 72 кг/мм^2 и стандартным отклонением $2,0 \text{ кг/мм}^2$. Недавно разладился

один агрегат. Он был снова налажен, и для определения эффекта наладки были взяты 10 образцов, показанных ниже.

Номер образца, i	Прочность x_i , кг/мм ²
1	76,2
2	78,3
3	76,4
4	74,7
5	72,6
6	78,4
7	75,7
8	70,2
9	73,3
10	74,2

Предположим, что стандартное отклонение осталось тем же, что и до наладки. Можем ли мы заключить, что наладка привела к изменению прочности на разрыв стали?

Давайте сначала уясним следующие вопросы.

1) До наладки прочность на разрыв стали была распределена как $N(\mu_0, \sigma_0^2)$. Здесь μ_0 и σ_0 известны и равны $\mu_0 = 72,0$ и $\sigma_0 = 2,0$ соответственно.

2) После наладки прочность осталась распределенной как $N(\mu, \sigma^2)$, где σ предполагается такой же, что и $\sigma_0 = 2,0$, а μ не известно.

3) Вопрос в том, равны ли μ и μ_0 или нет? А именно проблема сводится к сравнению двух генеральных средних μ_0 и μ .

4) Десять образцов отбирались случайно из $N(\mu, \sigma^2)$. Они несут некоторую информацию о μ .

Возьмем среднее \bar{x} по 10 образцам:

$$\bar{x} = \frac{76,2 + \dots + 74,2}{10} = 75,0. \quad (9.16)$$

Это значение отличается от того, что было до наладки, $\mu_0 = 72,0$ кг/мм². Однако из этого мы еще не можем заключить, что после наладки действительно изменилась прочность стали, поскольку выборочное среднее \bar{x} имеет вариацию и вовсе не всегда равно генеральному среднему.

Давайте рассмотрим гипотезу о том, что после наладки прочность стали не изменилась. Если бы эта гипотеза была верна, то \bar{x} имело бы нормальное распределение со средним $\mu_0 = 72,0$ и стандартным отклонением

$$\sigma/\sqrt{n} = 2,0/\sqrt{10} = 0,632.$$

Следовательно, нормализация случайной величины u_0 получается из

$$u_0 = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} = \frac{\bar{x} - 72,0}{0,632} \quad (9.17)$$

и эта величина распределена как $N(0, 1^2)$. Поскольку из 9.16 мы имеем $\bar{x} = 75,0$, то значение u_0 равно:

$$u_0 = \frac{75,0 - 72,0}{0,632} = 4,74. \quad (9.18)$$

Вероятность, что $|u_0|$ будет столь велико, как 4,74, крайне мала ($\doteq 0,000002$). Это означает либо что произошло совершенно необычное событие, либо что наша гипотеза не верна. Таким образом, мы должны подозревать, что гипотеза $\mu = \mu_0 = 72,0$ не верна. Решения на основе выбо-

рочных наблюдений о том, таков ли параметр генеральной совокупности или нет (например, решение о равенстве $\mu = \mu_0 = 72,0$) называются *проверками гипотез*.

Предположив, что гипотеза не верна, мы говорим, что мы ее *отбросили*. В нашем примере, когда гипотеза $H_0: \mu = 72,0$ будет верна, значение u_0 , вероятно, окажется близким к нулю. Значит, когда $|u_0|$ превышает некоторый предел, мы отбрасываем H_0 . Можно, например, следовать такому предписанию: "Когда $|u_0| \geq 1,96$, отбросить H_0 , а когда $|u_0| < 1,96$, принять H_0 ". Придерживаясь этого, получим, что вероятность отбросить H_0 , когда она на самом деле верна, равна:

$$Pr(|u_0| \geq 1,96) = 0,05. \quad (9.19)$$

Такая вероятность называется *уровнем значимости* и ее обычно обозначают α . Этот тип ошибки, при которой гипотеза неверно отбрасывается, называется *ошибкой первого рода*. Величина α обычно выбирается равной 0,05 (5 %) или 0,01 (1 %). Область значений u_0 , в которой гипотеза H_0 отбрасывается, называется *областью отбрасывания*, а область, где H_0 принимается, называется *областью принятия*.

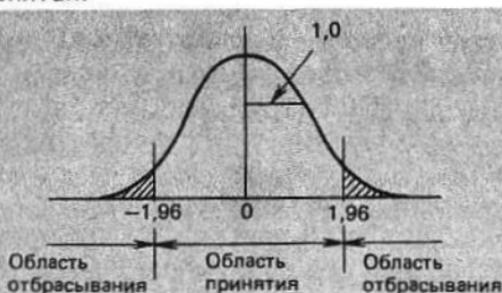


Рис. 9.10. Области отбрасывания и принятия (двусторонний критерий)

Когда гипотеза отбрасывается, можно твердо настаивать, что "то значение параметра, которое фигурирует в гипотезе, неверно". С другой стороны, даже если мы примем гипотезу, все-таки нельзя безоговорочно утверждать, что эта гипотеза действительно верна, поскольку можно было бы принять многие другие гипотезы на основе имеющейся выборки данных, но лишь одна из них окажется действительно верной. Принимая гипотезу, которая на самом деле не верна, мы совершаем ошибку, называемую *ошибкой второго рода*; ее вероятность обозначается β . Для $\mu \neq \mu_0$ имеем:

$$u_1 = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}, \quad (9.20)$$

и вероятность ошибки второго рода иллюстрируется на рис. 9.11. Когда гипотеза не верна, мы хотим отбросить ее с высокой вероятностью. Вероятность отбрасывания неверной гипотезы называется *мощностью критерия* и обозначается P , где $P = 1 - \beta$. Значение P , как видно из рис. 9.12, меняется в зависимости от разности между μ и μ_0 .



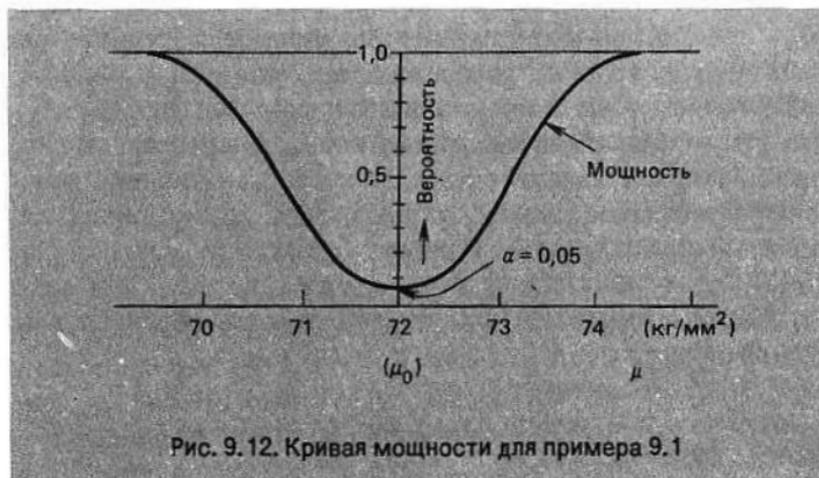


Рис. 9.12. Кривая мощности для примера 9.1

Метод проверки гипотезы показан в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Проверка гипотезы и оценивание
генерального среднего, когда σ известна

Метод	Пример (пример 9.1)
1. Гипотезы, уровень значимости $H_0: \mu = \mu_0$ $H_1: \mu \neq \mu_0$ ($\alpha = 0,05$ или $0,01$)	i. Гипотезы, уровень значимости $H_0: \mu = \mu_0 = 72,0$ $H_1: \mu \neq \mu_0 = 72,0$ ($\alpha = 0,05$)
2. Статистика $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$ $u_0 = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$	2. Статистика $\bar{x} = \frac{1}{10} (76,2 + \dots + 74,2) = 75,0$ $u_0 = \frac{75,0 - 72,0}{2 / \sqrt{10}} = 4,74$
3. Критерий Получите $u(\alpha)$ из таблицы нормального распределения	3. Критерий $u(0,05) = 1,96$ $ u_0 = 4,74 > 1,96 = u(0,05)$

Продолжение

Метод	Пример (пример 9.1)
Если $ u_0 \geq u(\alpha) \rightarrow$ отбросить H_0 Если $ u_0 < u(\alpha) \rightarrow$ принять H_0	\rightarrow отбросить H_0
4. Оценивание $\hat{\mu} = \bar{x}$ $\mu = \bar{x} \pm u(\alpha) \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	4. Оценивание $\hat{\mu} = \bar{x} = 75,0 \text{ кг/мм}^2$ $\mu = 75,0 \pm 1,96 \times \frac{2,0}{\sqrt{10}} =$ $= 75,0 \pm 1,24 \text{ кг/мм}^2$
5. Заключение	5. Заключение Следует признать на 5 %-ном уровне значимости, что после наладки изменилась прочность на разрыв стали. 95 %-ные доверительные пределы для среднего равны $75,0 \pm 1,24 \text{ кг/мм}^2$

Пример 9.2. Можно ли в примере 9.1 считать, что после наладки оборудования увеличилась прочность стали? Допустим, что все остальные условия сохранились прежними.

В примере 9.1 нас интересовало, привела ли настройка оборудования к изменению прочности или нет. Когда гипотеза $H_0: \mu = 72,0$ была отброшена, мы пришли к решению, что $\mu \neq 72,0$. В этом примере нам необходимо выяснить, увеличилась ли после настройки прочность или нет. Если эта гипотеза будет отброшена, то мы заключим, что $\mu > 72,0$.

Когда гипотеза H_0 отбрасывается, та гипотеза, которую мы принимаем, называется *альтернативной гипотезой* (или альтернативой) и обозначается H_1 . В примере 9.1 она была равна:

$$H_1: \mu \neq \mu_0 = 72,0, \quad (9.21)$$

тогда как в примере 9.2 –

$$H_1 : \mu > \mu_0 = 72,0. \quad (9.22)$$

В противоположность альтернативной гипотезе гипотеза H_0 называется *нулевой гипотезой* (или *нуль-гипотезой*).

При проверке альтернативной гипотезы (9.21) область отбрасывания приходилась на оба хвоста распределения, как показано на рис. 9.10. Для (9.22), напротив, область отбрасывания приходится только на правый хвост, как показано на рис. 9.13. Первый из этих критериев называется *двусторонним критерием*, а второй – *односторонним критерием*.

Метод проверки гипотезы для примера 9.2 демонстрируется в табл. 9.3.

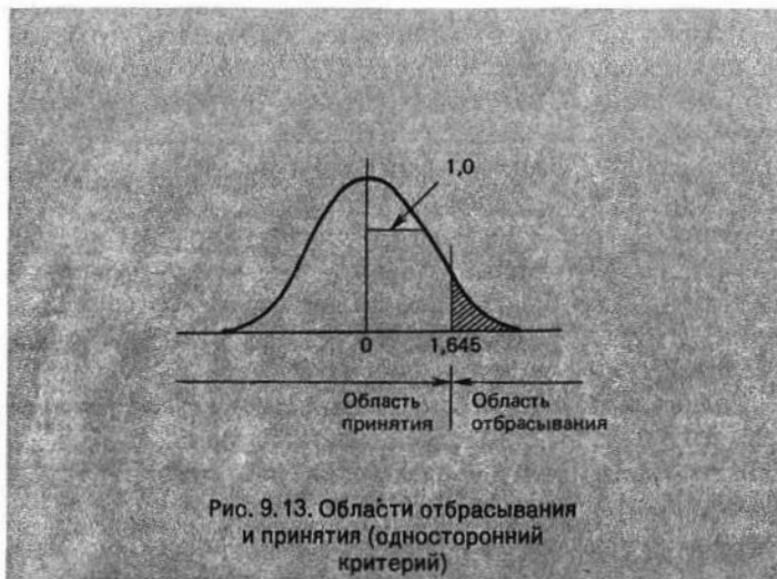


Рис. 9.13. Области отбрасывания и принятия (односторонний критерий)

Таблица 9.3

**Проверка гипотезы и оценивание генерального среднего
(односторонний критерий)**

Метод	Пример (пример 9.2)
<p>1. Гипотезы, уровень значимости</p> $H_0: \mu = \mu_0$ $H_1: \mu > \mu_0 \quad (\alpha = 0,05 \text{ или } 0,01)$ <p>2. Статистика</p> <p>Как и в примере 9.1</p> <p>3. Критерий</p> <p>Получите $u(2\alpha)$ из таблицы нормального распределения</p> <p>Когда $H_1: \mu > \mu_0$</p> <p>если $u_0 \geq u(2\alpha) \rightarrow$ отбросить H_0</p> <p>если $u_0 < u(2\alpha) \rightarrow$ принять H_0</p> <p>Когда $H_1: \mu < \mu_0$</p> <p>если $u_0 \leq -u(2\alpha) \rightarrow$ отбросить H_0</p> <p>если $u_0 > -u(2\alpha) \rightarrow$ принять H_0</p> <p>4. Оценивание</p> <p>Как в примере 9.1</p> <p>5. Заключение</p>	<p>1. Гипотезы, уровень значимости</p> $H_0: \mu = \mu_0 = 72,0$ $H_1: \mu > \mu_0 = 72,0 \quad (\alpha = 0,05)$ <p>2. Статистика</p> <p>Как и в примере 9.1</p> <p>3. Критерий</p> $u(0,10) = 1,645$ $u_0 = 4,74 > 1,645 = u(0,10)$ <p>\rightarrow отбросить H_0</p> <p>4. Оценивание</p> <p>Как в примере 9.1</p> <p>5. Заключение</p> <p>Следует заключить на 5 %-ном уровне значимости, что после наладки повысилась прочность стали. 95 %-ные доверительные пределы для среднего равны $75,0 \pm 1,24 \text{ кг/мм}^2$</p>

9.4. ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ

Пример 9.3. В примере 9.1 мы заключили, что средняя прочность изменилась. Пусть так, но каково же теперь новое генеральное среднее?

Оценивание – это процесс анализа выборки, направленный на предсказание соответствующего значения параметра генеральной совокупности. *Точечная оценка* – это оценка параметра совокупности, представленная одним числом. Точечная оценка параметра θ обозначается $\hat{\theta}$. Например, генеральное среднее μ в примере 9.1 оценивается с помощью \bar{x} :

$$\hat{\mu} = \bar{x} = 75,0 \text{ кг/мм}^2. \quad (9.23)$$

Интервальная оценка – это оценка параметра совокупности, даваемая двумя числами, между которыми, как считается, лежит значение параметра.

Положим, что x_1, \dots, x_n извлечены из $N(\mu, \sigma^2)$, тогда выборочное среднее \bar{x} распределено как $N(\mu, \sigma^2/n)$. Запишем

$$u = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}, \quad (9.24)$$

тогда u будет распределено как $N(0, 1^2)$. Следовательно, вероятность, что значение u окажется между $\pm u(\alpha)$ равна $(1 - \alpha)$, где $u(\alpha)$ – двусторонняя α -процентная точка нормированного нормального распределения. Или

$$\text{Pr} \left\{ -u(\alpha) < \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} < u(\alpha) \right\} = 1 - \alpha. \quad (9.25)$$

Преобразуя выражение 9.25, получим:

$$\text{Pr} \left\{ \bar{x} - u(\alpha) \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + u(\alpha) \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right\} = 1 - \alpha. \quad (9.26)$$

Этот интервал называется $100(1 - \alpha)\%$ -ным *доверительным интервалом* для μ , а верхняя и нижняя границы этого интервала называются *доверительными пределами*. Со-

гласно выражению (9.26) вероятность того, что интервал накроет μ равна $(1 - \alpha)$. Эта вероятность, например $(1 - \alpha)$, называется *доверительным уровнем*. Обычно доверительный уровень выбирается равным 0,95 или 0,99. Выбрав 0,95 из 9,26 получим 95 %-ные доверительные пределы:

$$\bar{x} \pm 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (9.27)$$

Ответ на вопрос примера 9.3 приведен в этапе 4 табл. 9.2.

9.5. ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗ И ОЦЕНИВАНИЕ ГЕНЕРАЛЬНЫХ СРЕДНИХ, КОГДА σ НЕИЗВЕСТНА

В разных задачах приходится рассматривать те или иные виды критериев и методов оценивания. Основные принципы и подходы остаются при этом точно такими же, что описаны в предыдущих параграфах, меняются лишь используемые статистики. Некоторые из наиболее распространенных критериев и оценок будут рассмотрены ниже. Для начала мы обсудим критерий и оценку генерального среднего, когда σ неизвестна.

Пусть из совокупности со средним μ и стандартным отклонением σ извлечены n образцов. Тогда выборочное распределение

$$u = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \quad (9.28)$$

можно представить как нормированное нормальное распределение. Мы пользовались этим для проверки гипотезы и оценивания генерального среднего, когда σ была известна. Однако иногда σ неизвестна. В таком случае ка-

жется естественным заменить σ на s и применить выражение

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}} \quad (9.29)$$

вместо выражения для u , где s – выборочное стандартное отклонение:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (9.30)$$

Чтобы воспользоваться этой статистикой, нам надо знать выборочное распределение t . Оно известно как t -распределение с $(n-1)$ степенями свободы.

Для проверки гипотез

$$H_0 : \mu = \mu_0, \quad (9.31)$$

$$H_1 : \mu \neq \mu_0$$

вычислим t_0 из

$$t_0 = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s/\sqrt{n}} \quad (9.32)$$

и сравним полученный результат с $t(n-1, \alpha)$, где $t(n-1, \alpha)$ – двусторонняя α -процентная точка t -распределения с $(n-1)$ степенями свободы. Если $|t_0| \geq t(n-1, \alpha)$, гипотеза H_0 отбрасывается, а если $|t_0| < t(n-1, \alpha)$, H_0 принимается. В случае одностороннего критерия, т.е. когда $H_1 : \mu > \mu_0$ или $H_1 : \mu < \mu_0$, значение t_0 сравнивается с $t(n-1, 2\alpha)$ или $-t(n-1, 2\alpha)$ соответственно.

Поскольку значение t , определяемое из (9.29), распределено как t -распределение с $\phi = n-1$, то получим:

$$\Pr\{-t(n-1, \alpha) < t < t(n-1, \alpha)\} = 1 - \alpha. \quad (9.33)$$

Подставив вместо t в (9.33) выражение $(\bar{x} - \mu)/s/\sqrt{n}$ и выполнив преобразования, находим:

$$\Pr\left\{\bar{x} - t(n-1, \alpha) \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t(n-1, \alpha) \frac{s}{\sqrt{n}}\right\} = 1 - \alpha. \quad (9.34)$$

В результате получатся следующие 95 %-ные доверительные пределы для μ :

$$\bar{x} \pm t(n-1, 0,05) \frac{s}{\sqrt{n}}. \quad (9.35)$$

Пример и метод анализа показаны в табл. 9.4.

Таблица 9.4

**Проверка и оценивание генерального среднего,
когда σ неизвестна**

Пример 9.4. Допустим, что в примере 9.1 нельзя было предположить, что стандартное отклонение после наладки осталось таким же, что и раньше. Можем ли мы в этом случае верить, что после наладки действительно изменилась прочность стали?

Метод	Пример
1. Гипотезы, уровень значимости $H_0: \mu = \mu_0$ $H_1: \mu \neq \mu_0$ ($\alpha = 0,05$ или $0,01$) 2. Статистика $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$ $S = \frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n}$	1. Гипотезы, уровень значимости $H_0: \mu = \mu_0 = 72,0$ $H_1: \mu \neq \mu_0$ ($\alpha = 0,05$) 2. Статистика $\sum x_i = 750,0; \sum x_i^2 = 56308,76$ $\bar{x} = 75,0$ $S = 56308,76 - \frac{750,0^2}{10} = 58,76$

Продолжение

Метод	Пример
$s = \sqrt{\frac{S}{1-n}}$	$s = \sqrt{\frac{58,76}{9}} = \sqrt{6,53} = 2,56$
$t_0 = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}$	$t_0 = \frac{75,0 - 72,0}{2,56/\sqrt{10}} = 3,71$
<p>3. Критерий Получите значение $t(n-1, \alpha)$ из таблицы t – распределения Если $t_0 \geq t(n-1, \alpha) \rightarrow$ отбросить H_0 Если $t_0 < t(n-1, \alpha) \rightarrow$ принять H_0</p>	<p>3. Критерий $t(9, 0,05) = 2,262$ $t_0 = 3,71 > 2,262 = t(9, 0,05)$ \rightarrow отбросить H_0</p>
<p>4. Оценивание $\hat{\mu} = \bar{x}$ $\mu = \bar{x} \pm t(n-1, \alpha) \frac{s}{\sqrt{n}}$</p>	<p>4. Оценивание $\hat{\mu} = 75,0$ $\mu = 75,0 \pm 2,262 \times \frac{2,56}{\sqrt{10}} =$ $= 75,0 \pm 1,83 \text{ кг/мм}^2$</p>
<p>5. Заключение</p>	<p>5. Заключение Следует признать на 5 %-ном уровне значимости, что после наладки оборудования изменилась прочность стали. 95 %-ные доверительные пределы для среднего равны $75,0 \pm 1,83 \text{ кг/мм}^2$</p>

9.6. ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗ И ОЦЕНИВАНИЕ РАЗЛИЧИЙ МЕЖДУ ДВУМЯ ГЕНЕРАЛЬНЫМИ СРЕДНИМИ

Пусть у нас есть два набора образцов изделий, и мы хотим знать, равны средние двух популяций или нет.

Предположим, что $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n_1}$ – это n_1 образцов из

первой совокупности, а $x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n_2}$ — n_2 образцов из второй совокупности, причем среднее и дисперсия первой совокупности равны μ_1 и σ^2 , а для второй — μ_2 и σ^2 . Для проверки гипотезы о разности между двумя генеральными средними мы испытаем разность $(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)$. Поскольку распределения выборочных средних \bar{X}_1 и \bar{X}_2 можно рассматривать как $N(\mu_1, \frac{\sigma^2}{n_1})$ и $N(\mu_2, \frac{\sigma^2}{n_2})$ соответственно, то и разность $(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)$ тоже будет иметь нормальное распределение $N(\mu_1 - \mu_2, (\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2})\sigma^2)$. Следовательно, после нормирования

$$u = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (9.36)$$

получится распределение $N(0, 1^2)$. Давайте теперь предположим, что σ неизвестна. Подставив s вместо σ , получим:

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, \quad (9.37)$$

где

$$s = \sqrt{\frac{S_1 + S_2}{n_1 + n_2 - 2}}, \quad (9.38)$$

а S_1 и S_2 — суммы квадратов для каждой выборки. Величина t в (9.37) имеет t -распределение с $\phi = n_1 + n_2 - 2$. Если между этими двумя средними нет разницы, то, положив $\mu_1 = \mu_2$ в (9.37), мы получим:

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}. \quad (9.39)$$

Пример и метод анализа показаны в табл. 9.5.

Проверка гипотезы и оценивание разности двух генеральных средних

Пример 9.5. Исследовалось влияние тока сварки на сопротивление разрыву сварного шва:

x_1 (600 А): 37 29 35 28 24 36 40 37 33 28 39

x_2 (800 А): 22 32 27 30 24 34 32 20 24 25 28 26 26

Есть ли какое-нибудь различие в сопротивлении разрыву сварного шва, полученного при двух различных силах тока?

Метод	Пример
<p>1. Гипотезы, уровень значимости $H_0: \mu_1 = \mu_2$ $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ ($\alpha = 0,05$ или $0,01$)</p> <p>2. Статистики</p> $\bar{x}_1 = \frac{1}{n} \sum x_{1j}$ $\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum x_{2j}$ $S_1 = \sum x_{1j}^2 - \frac{(\sum x_{1j})^2}{n_1}$ $S_2 = \sum x_{2j}^2 - \frac{(\sum x_{2j})^2}{n_2}$ $s = \sqrt{\frac{S_1 + S_2}{n_1 + n_2 - 2}}$ $t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$	<p>1. Гипотезы, уровень значимости $H_0: \mu_1 = \mu_2$ $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ ($\alpha = 0,05$)</p> <p>2. Статистики</p> $\sum \bar{x}_{1j} = 366$ $\sum x_{1j}^2 = 12454$ $\sum x_{2j}^2 = 350; \sum x_{2j}^2 = 9630$ $\bar{x}_1 = 366/11 = 33,27$ $\bar{x}_2 = 350/13 = 26,92$ $S_1 = 12454 - (366^2/11) = 276,18$ $S_2 = 9630 - (350^2/13) = 206,92$ $s = \sqrt{\frac{276,18 + 206,92}{11 + 13 - 2}} = 21,96 = 4,69$ $t_0 = \frac{33,27 - 26,92}{4,69 \sqrt{\frac{1}{11} + \frac{1}{13}}} = 3,30$

Продолжение

Метод	Пример
<p>3. Критерий</p> <p>Получите значение $t(n_1 + n_2 - 2, \alpha)$ из таблицы t-распределения</p> <p>Если $t \geq t(n_1 + n_2 - 2, \alpha) \rightarrow$ отбросить H_0</p> <p>Если $t < t(n_1 + n_2 - 2, \alpha) \rightarrow$ принять H_0</p> <p>4. Оценивание</p> $\mu_1 - \mu_2 = \bar{x}_1 - \bar{x}_2$ $\mu_1 - \mu_2 = \frac{(x_1 - x_2) \pm t(n_1 + n_2 - 2, \alpha) s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$ <p>5. Заключение</p>	<p>3. Критерий</p> $t(22, 0,05) = 2,074$ $ t_0 = 3,30 > 2,074 = t(22, 0,05) \rightarrow$ <p style="text-align: right;">\rightarrow отбросить H_0</p> <p>4. Оценивание</p> $\mu_1 - \mu_2 = 33,27 - 26,92 = 6,35$ $\mu_1 - \mu_2 = 6,35 \pm 2,074 \times 4,69 \times$ $\times \sqrt{\frac{1}{11} + \frac{1}{13}} = 6,35 \pm 3,98 \text{ кг/см}$ <p>5. Заключение</p> <p>Следует признать на 5 %-ном уровне значимости, что существует различие в сопротивлении разрыву сварного шва при двух различных силах тока. 95 %-ные доверительные пределы для разности средних равны $6,35 \pm \pm 3,98 \text{ кг/см}$</p>

9.7. ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗ И ОЦЕНИВАНИЕ ДЛЯ ПАРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

При отборе из двух совокупностей иногда значимое различие в средних оказывается обусловленным дополнительными факторами, тогда как на самом деле разли-

чия отсутствуют, а мы пытаемся измерить этот эффект. Например, в эксперименте по проверке, какой из двух типов удобрений (A или B) лучше, на каждой из 10 сортоиспытательных станций выделено по две делянки с пшеницей. На одной из делянок вносится удобрение A , а на другой – B . Если сравнить среднее из 10 наблюдений за делянками с удобрением типа A со средним из 10 наблюдений за делянками с удобрением типа B , то наблюдаемое различие (если оно обнаружится) может быть обусловлено разными типами почв или неодинаковыми метеоусловиями, а вовсе не какими-то различиями между самими удобрениями. Может быть и так, что различия между удобрениями в действительности есть, но они затушевываются другими непонятными факторами. Для преодоления этих трудностей прибегают к такому типу эксперимента, в котором проводятся парные наблюдения. Мы должны гарантировать, что два члена любой пары будут идентичны во всех отношениях, кроме одного, которое мы и пытаемся измерить. Значит, каждая пара делянок должна закладываться на практически одинаковой почве, в одних и тех же метеоусловиях и т.п.

Пусть x_{1i} будет первым членом i -й пары, а x_{2i} – вторым членом. У нас есть, скажем, n пар наблюдений

$$(x_{11}, x_{21}), (x_{12}, x_{22}), \dots, (x_{1j}, x_{2j}), \dots, (x_{1n}, x_{2n}). \quad (9.40)$$

Если взять разности $d_i = x_{1i} - x_{2i}$, то получатся n наблюдений d_i . Нас интересует гипотеза о том, что $\mu_1 = \mu_2$. Эта гипотеза утверждает, что между способами обработки делянок нет различия, т.е. нет разницы в парах. Здесь возможны различия между парами, но они могут быть элиминированы при переходе к разностям d_i . Если эта гипотеза верна, то значение d_i должно следовать распределению со

средним, равным нулю. Проверка осуществляется точно так же, как и в параграфе 9.5 (t -критерий с $\phi = n - 1$).

Пример и метод анализа показаны в табл. 9.6.

Таблица 9.6

Проверка гипотезы и оценивание для парных наблюдений

Пример 9.6. Были измерены длины 10 образцов изделий до и после их обжига в высокочастотной печи. Привела ли термообработка к изменению их размеров?

Образец	До обжига, мм	После обжига, мм	Образец	До обжига, мм	После обжига, мм
1	11,94	12,00	6	11,96	11,98
2	11,99	11,99	7	11,95	12,03
3	11,98	11,95	8	11,96	12,02
4	12,03	12,07	9	11,92	12,01
5	12,03	12,03	10	12,00	11,99

Метод	Пример																												
<p>1. Гипотезы, уровень значимости</p> $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0 (\alpha = 0,05 \text{ или } 0,01)$ <p>2. Статистики</p> $d_i = x_{1i} - x_{2i}$ $\bar{d} = \frac{1}{n} \sum d_i$ $s = \sqrt{\frac{\sum d_i^2 - \frac{(\sum d_i)^2}{n}}{n - 1}}$ $t_0 = \frac{\bar{d}}{s/\sqrt{n}}$	<p>1. Гипотезы, уровень значимости</p> $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0 (\alpha = 0,05)$ <p>2. Статистики</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>x_{1i}</th> <th>x_{2i}</th> <th>d_i</th> <th>d_i^2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11,94</td> <td>12,00</td> <td>-0,06</td> <td>0,0036</td> </tr> <tr> <td>11,99</td> <td>11,99</td> <td>0,00</td> <td>0,0000</td> </tr> <tr> <td>11,98</td> <td>11,95</td> <td>0,03</td> <td>0,0009</td> </tr> <tr> <td>12,03</td> <td>12,07</td> <td>-0,04</td> <td>0,0016</td> </tr> <tr> <td>12,03</td> <td>12,03</td> <td>0,00</td> <td>0,0000</td> </tr> <tr> <td>11,96</td> <td>11,98</td> <td>-0,02</td> <td>0,0004</td> </tr> </tbody> </table>	x_{1i}	x_{2i}	d_i	d_i^2	11,94	12,00	-0,06	0,0036	11,99	11,99	0,00	0,0000	11,98	11,95	0,03	0,0009	12,03	12,07	-0,04	0,0016	12,03	12,03	0,00	0,0000	11,96	11,98	-0,02	0,0004
x_{1i}	x_{2i}	d_i	d_i^2																										
11,94	12,00	-0,06	0,0036																										
11,99	11,99	0,00	0,0000																										
11,98	11,95	0,03	0,0009																										
12,03	12,07	-0,04	0,0016																										
12,03	12,03	0,00	0,0000																										
11,96	11,98	-0,02	0,0004																										

Продолжение

Метод	Пример																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>x_{1j}</th> <th>x_{2j}</th> <th>d_j</th> <th>d_j^2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11,95</td> <td>12,03</td> <td>-0,08</td> <td>0,0064</td> </tr> <tr> <td>11,96</td> <td>12,02</td> <td>-0,06</td> <td>0,0036</td> </tr> <tr> <td>11,92</td> <td>12,01</td> <td>-0,09</td> <td>0,0081</td> </tr> <tr> <td>12,00</td> <td>11,99</td> <td>0,01</td> <td>0,0001</td> </tr> </tbody> </table>	x_{1j}	x_{2j}	d_j	d_j^2	11,95	12,03	-0,08	0,0064	11,96	12,02	-0,06	0,0036	11,92	12,01	-0,09	0,0081	12,00	11,99	0,01	0,0001
x_{1j}	x_{2j}	d_j	d_j^2																		
11,95	12,03	-0,08	0,0064																		
11,96	12,02	-0,06	0,0036																		
11,92	12,01	-0,09	0,0081																		
12,00	11,99	0,01	0,0001																		
	Итого -0,31 0,0247																				
	$\bar{d} = (-0,31)/10 = -0,031$ $s = \sqrt{\frac{0,0247 - \frac{(-0,31)^2}{10}}{9}} =$ $= \sqrt{0,0016766} = 0,0409$ $t_0 = \frac{-0,31}{0,0409/\sqrt{10}} = -2,40$																				
<p>3. Критерий</p> <p>Получите $t(n-1, \alpha)$ из t-таблицы</p> <p>Если $t_0 \geq t(n-1, \alpha) \rightarrow$ \rightarrow отбросить H_0</p> <p>Если $t_0 < t(n-1, \alpha) \rightarrow$ \rightarrow принять H_0</p>	<p>3. Критерий</p> <p>$t(9, 0,05) = 2,262$</p> <p>$t_0 = 2,40 > 2,262 = t(9, 0,05) \rightarrow$ \rightarrow отбросить H_0</p>																				
<p>4. Оценивание</p> $\mu_1 - \mu_2 = \bar{d}$ $\mu_1 - \mu_2 = \bar{d} \pm t(n-1, \alpha) \frac{s}{\sqrt{n}}$	<p>4. Оценивание</p> $\mu_1 - \mu_2 = -0,031$ $\mu_1 - \mu_2 = -0,031 \pm 2,262 \times$ $\times (0,0409/\sqrt{10}) = -0,031 \pm$ $\pm 0,029 \text{ мм}$																				

Продолжение

Метод	Пример
5. Заключение	5. Заключение Следует признать на 5 %-ном уровне значимости, что термообработка действительно изменяет длину образцов. 95 %-ные доверительные границы для различия в средних равны $-0,031 \pm \pm 0,029$ мм

9.8. КРИТЕРИИ ЗНАЧИМОСТИ ДЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕЛЯЦИИ

Как уже говорилось в гл. 6, если мы хотим узнать силу связи между двумя переменными x и y , надо вычислить выборочный коэффициент корреляции r . Теперь давайте предположим, что x и y имеют двумерное нормальное распределение с генеральным коэффициентом корреляции ρ . Даже если $\rho = 0$, выборочный коэффициент корреляции r не всегда будет равен нулю. Проверить, равен ли нулю генеральный коэффициент корреляции ρ или нет, можно с помощью следующей теоремы.

Теорема 9.8

Пусть (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$, будут n образцами из двумерного нормального распределения с коэффициентом корреляции, равным нулю. Обозначив выборочный коэффициент корреляции через r , получим, что

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (9.41)$$

имеет t -распределение с $(n - 2)$ степенями свободы.

Пример и метод проверки гипотезы, что генеральный коэффициент корреляции равен нулю, приведены в табл. 9.7.

Таблица 9.7

Критерий для выборочного коэффициента корреляции

Пример 9.7. В табл. 6.1 (см. гл. 6, с. 89) приводилось 30 пар данных о давлении воздуха и проценте дефектов в пластиковых емкостях. Можем ли мы утверждать, что между этими двумя характеристиками есть корреляция?

Метод	Пример
<p>1. Гипотезы, уровень значимости</p> $H_0 : \rho = 0$ $H_1 : \rho \neq 0 (\alpha = 0,05 \text{ или } 0,01)$ <p>2. Статистика</p> $S(xx) = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}$ $S(yy) = \sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n}$ $S(xy) = \sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}$ $r = \frac{S(xy)}{\sqrt{S(xx)S(yy)}}$ $t_0 = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$	<p>1. Гипотезы, уровень значимости</p> $H_0 : \rho = 0$ $H_1 : \rho \neq 0 (\alpha = 0,05)$ <p>2. Статистика</p> $S(xx) = 2,8787$ $S(yy) = 0,0084015$ $S(xy) = 0,091293$ $r = \frac{0,091293}{\sqrt{2,8787 \times 0,0084015}} =$ $= 0,587$ $t_0 = \frac{0,587 \times \sqrt{30-2}}{\sqrt{1-0,587^2}} =$ $= 3,837$

Продолжение

Метод	Пример
3. Критерий Получите значение $t(n - 2, \alpha)$ из t -таблицы Если $ t_0 \geq t(n - 2, \alpha) \rightarrow$ \rightarrow отбросить H_0 Если $ t_0 < t(n - 2, \alpha) \rightarrow$ \rightarrow принять H_0	3. Критерий $t(28, 0,05) = 2,048$ $ t_0 = 3,837 > 2,048 =$ $= t(28, 0,05) \rightarrow$ \rightarrow отбросить H_0
4. Оценивание $\hat{\rho} = r$	4. Оценивание $\hat{\rho} = r = 0,587$
5. Заключение	5. Заключение Приходится констатировать, что на 5 %-ном уровне значи- мости есть корреляция между давлением воздуха и процентом дефектов пластиковых емкост- ей. Точечная оценка коэффи- циента корреляции равна 0,587

В этой главе вы познакомились с фундаментальными основами и элементарными методами статистического вывода. Конечно, они не обременительны. Кроме этих методов, есть еще много более сложных, изучить которые мы рекомендуем читателю в будущем. Существуют: 1) критерии и оценки для генеральной дисперсии; 2) дисперсионный анализ; 3) планирование и анализ экспериментов; 4) многофакторный регрессионный анализ и т. д.

Упражнение 9.1. Объясните разницу в содержании следующих пар терминов:

- 1) генеральная совокупность и выборка;

- 2) параметр совокупности и статистика;
- 3) ошибки первого рода и второго рода;
- 4) уровень значимости и доверительный уровень.

Упражнение 9.2. Заполните пропуски в табл. 9.1.

Упражнение 9.3. В одном исследовании требовалось установить, влияет или нет определенная обработка поверхности некоторого материала на его сопротивление трению. Были изготовлены опытные образцы материала, затем 5 из них были обработаны, а остальные 5 остались необработанными. Было измерено сопротивление трению 10 образцов. Результаты приведены ниже:

Обработанные	Необработанные
18,2	12,9
16,0	11,3
12,2	13,2
16,7	16,5
14,4	14,2

Ответьте на следующие вопросы:

- 1) Можно ли утверждать, что обработка повышает сопротивление трению? Проверьте вашу гипотезу.
- 2) Найдите 95 %-ные доверительные пределы для разности средних сопротивлений трению между обработанными и необработанными образцами материала.
- 3) Улучшите план приведенного выше эксперимента, если это возможно.



Глава 10

ЗАМКНУТЫЙ ЦИКЛ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

Управление качеством – это процедура решения проблем. Она представляет собой замкнутый цикл. В этом контексте "проблема" определяется следующим образом: **"Проблема – нежелательный результат работы"**.

Решение проблемы состоит в улучшении плохого результата работы до приемлемого уровня. Причины возникновения проблемы исследуются с точки зрения данных, и тщательно анализируется взаимосвязь между результатами деятельности и причинами, их породившими. Несобоснованные решения, базирующиеся на догадках или "голой" теории, исключаются, поскольку попытки решить проблему таким путем приводят к неверным действиям, порождая отсрочки в процессе улучшения или даже неудачу. Чтобы предотвратить повторное появление причин, приводящих к плохим результатам, разрабатываются и осуществляются меры по решению проблемы. С точки зрения действий, реализуемых в управлении качеством, эта процедура подобна сюжету рассказа или даже драмы. Вот почему люди называют ее замкнутым циклом управления качеством*.

* В дословном переводе с английского эта глава называется "История управления качеством". Под "историей" авторы понимают некую литературную форму – рассказ, повесть или драму, которые имеют начало (завязку) и конец (развязку). Отсюда аналогия с замкнутой процедурой решения проблем, отражающей суть управления качеством. Следующая проблема решается таким же путем. Так возникает понятие цикла. – *Примеч. пер.*

Решение проблемы осуществляется в ходе следующих семи этапов:

- 1) **Поиск проблемы:** выявление конкретной проблемы.
- 2) **Наблюдения:** вникание в суть проблемы.
- 3) **Анализ:** отыскание главных причин.
- 4) **Проведение мероприятий:** осуществление действий по устранению причин.
- 5) **Проверка:** подтверждение эффективности действий.
- 6) **Стандартизация:** постоянное устранение причин.
- 7) **Окончание работы:** оценка действий и планирование дальнейшей работы.

Если эти этапы понятны и осуществляются в таком порядке, все действия по улучшению процессов будут логически обоснованными и постоянно накапливаться. Может показаться, что подобная процедура решения проблем – это хождение по кругу, но в конце концов это самый короткий и, более того, самый надежный путь.

Ниже описывается каждый этап, предусматривающий ряд действий, содержание которых описывается под заголовками "Советы".

10.1. ПОИСК ПРОБЛЕМЫ

Четко определите проблему.

Действия

- Покажите, что рассматриваемая проблема важнее всех других.
- Покажите, в чем истоки проблемы и в чем она к настоящему моменту проявилась.
- Сформируйте конкретно только нежелательные результаты плохой работы. Продемонстрируйте, каковы потери в настоящее время и насколько надо улучшить дело.
- Выберите тему и цель работы, а если необходимо разбейте тему на подтемы.

- Назначьте ответственного за решение задачи, а если она решается группой людей, определите состав группы и назначьте руководителя.
- Подсчитайте и представьте на обсуждение бюджет для реализации усовершенствования.
- Составьте план реализации усовершенствования.

Советы

1. Мы сталкиваемся с множеством проблем, больших и малых. А поскольку персонал, время и деньги ограничены, мы вынуждены при их выборе устанавливать приоритеты. Для определения наиболее важной проблемы старайтесь использовать как можно большее количество данных. Когда из всех возможных вы выбираете, какую-то одну проблему для исследования, не сомневайтесь в правильности выбора.

2. Некоторые проблемы выбираются в зависимости от того, какой характер они приобрели. В этом случае надо выяснить все обстоятельства. Здесь также необходимо собрать как можно больше данных. Обоснование выбора проблемы не имеет прямого отношения к самой процедуре ее решения, но в некотором смысле это существенно. Этап определения степени важности проблемы необходим. Если проблема чрезвычайно остра и это осознается большинством людей, к ее рассмотрению отнесутся серьезно, и вероятность ее успешного решения будет достаточно высокой. С другой стороны, если люди не до конца понимают, насколько важна проблема, даже не слишком сложная, они могут отнестись к ее решению не с полной отдачей и даже могут бросить дело на полпути. В этом случае вообще не будет достигнуто никакого усовершенствования. Чтобы избежать подобного отношения, используйте фотографии и графики, показывающие и объясняющие результаты плохой работы.

3. Было бы нелогично пытаться описывать факторы-причины и искать пути устранения их воздействия на стадии выявления проблемы (формулировки темы). Это происходит не на данном этапе, а после – в процессе *анализа*. Надо лишь представить доказательства наличия проблемы, но сделать это нужно очень корректно, чтобы прояснить ее суть. Затем описываются потери в существующей ситуации и выгоды от усовершенствования. Все это нужно для того, чтобы у как можно большего числа людей возникло ощущение осознания проблемы.

4. Важно показать, из каких соображений выбираются цели исследования. Абсурдные цели невыполнимы. Можно бы в качестве целевого показателя выбрать долю дефектов, равную 0, но в большинстве случаев это лишь идеальная цель. Подобных целей очень трудно достичь, а даже если это и удастся, по ходу дела могут возникать новые проблемы. Нужно устанавливать разумные целевые показатели исходя из соображений экономической эффективности и реальных технических возможностей.

Если тема включает несколько проблем, разделите ее на части (подтемы) для более эффективного решения общей проблемы. В некоторых случаях, когда целое состоит из многих аналогичных частей, было бы лучше для анализа выбрать одну типичную часть и использовать результаты ее исследования для обобщения. Тогда выбранная часть рассматривается как главный объект исследования, а остальные – как дополнительные разделы.

5. Установите крайний срок решения проблемы. Обычно, когда ясна необходимость решения, вопрос о сроках тоже ясен. Вне зависимости от того, насколько велика ожидаемая величина эффекта, проблема, для решения которой нет четко составленного плана, превратится в проблему низкого приоритета.

10.2. НАБЛЮДЕНИЯ

Исследуйте характерные признаки проблемы с самых разных точек зрения.

Действия

- Для определения характера проблемы исследуйте четыре обстоятельства (время, место, тип и признак).
- Проведите исследования с нескольких точек зрения, чтобы выявить расхождения в результатах.
- Пойдите непосредственно туда, где проводится работа, и соберите необходимую информацию, которую нельзя выразить в количественном виде.

Советы

Исследуйте проблему с разных точек зрения и добейтесь полного понимания всех ее особенностей. На данном этапе не касайтесь причин возникновения проблемы, просто рассматривайте ее как нечто существующее. На первый взгляд это напоминает предыдущий этап. Эти два этапа часто путают, но их цели совершенно различны. Цель первого этапа – осознать важность проблемы, цель второго – обнаружить факторы, порождающие проблему. Иногда одной и той же информацией можно воспользоваться для разных целей. Опытные криминалисты и частные детективы обычно используют одни и те же методы, прежде чем что либо предпринять, они тщательно обследуют место преступления, ищут улики, на основе которых организуют "охоту" за подозреваемым и постепенно "затягивают петлю" вокруг преступника. Если следователь, прежде чем начать расследование, не оценит самым тщательным образом ситуацию, в которой было совершено преступление, он не только не поймает преступника, но может арестовать абсолютно невинного. Это же относится и к процедуре решения проблем.

1. Ключи к разгадке любой проблемы – в ней самой. Если рассматривать проблему с нескольких точек зрения, то в результате можно обнаружить ее различные проявления. Это – специфические черты проблемы, которые и служат ключом к ее решению. Суть в том, что если есть расхождение в результатах, должно быть различие и в факторах, и можно выявить корреляцию между этими двумя переменными. Использование расхождений в результатах для обнаружения различий в факторах – эффективный путь выявления главных факторов.

Наилучшая точка зрения для рассмотрения проблемы будет разной в различных случаях, но вне зависимости от того, какова проблема, существует, по крайней мере, четыре точки зрения, с которых ее стоит анализировать: время, место, тип, признак.

Вот пример применения такого подхода в решении вопроса о снижении доли дефектов конкретного изделия.

а) Исследуйте:

есть ли разница в доле дефектов продукции, выпускаемой в утреннюю, дневную и ночную смены?

есть ли разница в доле дефектов продукции, выпускаемой в разные дни недели: с понедельника по субботу?

Мы можем также использовать многие другие шкалы времени: искать различия от недели к неделе, из месяца в месяц, в разные сезоны или другие периоды года.

б) Далее, проведите исследование с точки зрения месторасположения дефекта в изделии:

есть ли различия в доле дефектов в верхних, нижних и боковых панелях?

есть ли различия в доле дефектов в зависимости от расположения изделий в печи (ближе к заслонке, к стенкам, около задвижек, в середине)?

Мы могли бы также задать и другие вопросы, касаю-

щиеся ориентации в пространстве (запад, восток, север, юг) или высоты (верх, низ). Если изделия слишком длинные, то где возникает дефект: в начале, конце или в середине изделия? Если изделие сложной формы, то где возникает дефект: в прямой, или изогнутой части, или же в определенной области, например А или В и т.д.?

в) Затем проверьте все, что связано с типом изделия:

есть ли различия в доле дефектов разных видов изделий, произведенных одной компанией?

есть ли различия в доле дефектов изделий по сравнению с изделиями того же типа, изготовленными ранее?

Можно также подумать и о других аспектах, связанных с типами изделий, такими, как их класс, технические характеристики, назначение (для детей или взрослых, мужчин или женщин, на экспорт или для внутреннего рынка).

г) Наконец, исследуйте проблему с точки зрения признаков. В качестве примера подобного исследования рассмотрим такой дефект, как раковины.

Когда мы рассматриваем раковины, то задаемся вопросами:

есть ли различия в их формах (получаются ли они круглыми, эллипсообразными, с острыми углами или же какой-либо другой формы)?

есть ли различия в расположении множества раковин (расположены ли они по прямой или по кривой, покрывают все изделие или отдельные части и т.д.)?

Кроме того, как изменяются размеры раковин, в зависимости от каких условий? Появляются ли они на определенных поверхностях (расположены ли они все на внешней поверхности или сосредоточены в определенных областях)? Каковы характеристики прилегающих областей (изменение цвета, качества или появление посторонних включений)?

2. Вне зависимости от того, какова проблема, исследование надо производить, по крайней мере, с этих четырех точек зрения, хотя их явно недостаточно. Проблему надо исследовать с разных сторон в зависимости от ее характера. Чем больше разнообразия в результатах, тем лучше.

3. Вообще говоря, исследование проблем должно основываться на данных. Информация, основывающаяся не на данных, а на воображении или памяти, может использоваться только как справочная. Однако информация, получаемая с помощью неколичественных данных, иногда играет важную роль в решении проблем. По возможности, исследовать проблему надо на месте, а не сидя в кабинете. Здесь можно наблюдать и собирать информацию, которую нельзя представить в виде данных. Такого рода информация подобна катализатору в химической реакции: ее обдумывание приводит к новым идеям решения проблемы.

10.3. АНАЛИЗ

Определите главные причины

Действия

• Предложите гипотезы (выберите главные версии как возможные причины).

а) Чтобы собрать воедино все сведения о предполагаемых причинах, нарисуйте диаграмму причин и результатов (диаграмму, содержащую все элементы, возможно, связанные с проблемой).

б) Используйте информацию, собранную на этапе наблюдений и отбросьте все данные, явно не имеющие отношения к делу. Пересмотрите диаграмму причин и результатов с точки зрения оставшейся информации.

в) Выделите те элементы в полученной диаграмме, ко-

торые, как кажется, имеют высокую вероятность попасть в главные причины.

• Проверьте гипотезы (выделите главные причины из предложенных версий).

а) Составьте новые планы по сбору дополнительной информации или организации эксперимента с целью оценки влияния на проблему тех элементов, которые имеют наибольшую вероятность оказаться главными причинами.

б) Обобщите всю информацию, полученную в ходе исследования, и решите, каковы же главные возможные причины.

в) Если можно, сознательно симитируйте проблему.

Советы

Этот этап состоит из двух частей: первая – выдвижение гипотез и вторая – их оценка. С точки зрения цикла управления качеством настоящий этап необходим, поскольку причины надо устанавливать на научной основе. В большинстве случаев причины существования проблемы определяются либо в ходе дискуссий среди лиц, занимающихся ее решением, либо волевым решением одного лица. Решения такого типа часто неверны, и большинство ошибок возникает вследствие того, что пропущен этап оценки гипотез. Когда мы размышляем о причинах (гипотезах), мы их обсуждаем, а данные анализируем. В процессе обсуждения и анализа данных может возникнуть иллюзия, что эти данные и обсуждения служат оценкой правильности гипотез. Но выдвижение гипотез и их оценка – разные вещи, кроме того, одни и те же данные не могут служить этим двум целям. Оценка гипотез требует новых данных, отличных от тех, что использовались при их выдвижении. Нужен логичный план для сбора данных по оценке гипотез, и это следует делать с помощью статистических методов.

1. Диаграмма причин и результатов – хороший инструмент выдвижения гипотез. Все ее элементы – гипотетические причины существования проблемы. В диаграмме, безусловно, должны быть элементы, которые обязательно окажутся главными причинами.

а) Представление результата в диаграмме должно быть максимально конкретным, так как если его сделать абстрактным, число элементов диаграммы станет непомерно большим. Однако, если абстрактное определение – результат интеграции разных конкретных случаев, каждый из них содержит много ненужных деталей. Например, если мы формируем результат как вид дефекта, то причины на диаграмме есть совокупность факторов, вызывающих этот дефект. Но если результат – само дефектное изделие, имеющее различные дефекты, то придется собрать данные обо всех этих видах дефектов, и диаграмма получится сильно разветвленной. Таким образом, чем конкретнее выражены характеристики, тем эффективнее диаграмма.

Прежде всего нарисуйте диаграмму, в которой достаточно элементов, отражающих мнения тех, кто участвует в решении проблемы.

б) Исследование всех возможных причин – неэффективно, поэтому на стадии *анализа* нам нужно сократить их число, основываясь на данных. Информация, собранная на стадии *наблюдений*, может здесь очень пригодиться. Элементы, не имеющие отношения к изменению результатов, исключаются из дальнейшего рассмотрения.

К примеру, допустим, что доля дефектов продукции велика утром и низка после обеда. Если рабочие, изготовившие эту продукцию, одни и те же, то мы исключаем их как фактор из дальнейшего рассмотрения на диаграмме, поскольку они не влияют на результаты. Но если станки,

используемые в первой и второй половине дня различны, то их мы оставляем в диаграмме, так как они влияют на результаты.

Если на этапе *наблюдений* были получены разнообразные результаты, то из диаграммы можно извлечь много возможных причин. После того как элементы, которые не могут быть причинами, изъяты, с помощью оставшихся элементов строят вторую диаграмму. Чем меньше эта диаграмма (чем меньше осталось элементов), тем лучше.

в) Не все элементы в пересмотренной диаграмме имеют одинаковую вероятность стать причинами проблемы. На основе информации, полученной на этапе *наблюдений*, элементы надо проранжировать по вероятностям и проанализировать в этом порядке.

Таким образом, мы ограничили число версий причин, но следует помнить, что версии – всего лишь версии. И поскольку это так, мы пока еще не можем определить, действительно ли элементы, оцененные как наиболее вероятные, служат главными причинами проблемы, поскольку данные, которыми мы до сего времени пользовались, были предназначены для выдвижения гипотез, и нам теперь надлежит использовать данные, полученные в соответствии с новым планом, для определения корректности гипотез.

2. Проверки гипотез должны также основываться на данных, полученных из экспериментов и обследований. Данные следует собирать в соответствии с тщательно составленным планом.

а) Проверка гипотез – исследование того, существует ли в действительности связь между причинами и результатами, и если она существует, насколько она сильна, т.е. какие последствия вызывает возможная причина. Есть

несколько методов выражения силы такой связи: с помощью коэффициентов корреляции, дисперсионного анализа и диаграммы Парето, построенной по причинам. Наконец, можно просто делать пометки на диаграмме причин и результатов.

Нам надо избегать принятия решений о главных причинах "голосованием". Это, конечно, демократичный метод, но нет никакой гарантии его научной состоятельности. Есть много примеров, когда элемент выбирается большинством голосов, а после исследования оказывается, что он – вовсе не причина.

Иногда предпринимаются корректирующие меры вообще без всякого анализа данных. Все меры, которые кажутся эффективными, внедряются, и если результаты хорошие, считается, что проблема решена. Такой подход прямо противоположен тому, что мы здесь советуем, поскольку это – исследование причины путем принятия мер. Данный метод решения проблемы – путь многочисленных проб и ошибок. Даже если проблема все-таки решена (таким путем) и даже если принятые меры эффективны, в большинстве случаев мы не в состоянии обнаружить истинные главные причины, поскольку связь между причинами и последующими мерами не имеет взаимно-однозначной природы.

б) Основные причины – это один или несколько элементов, оказывающих наибольшее воздействие на результаты. Большинство элементов могут влиять на результат тем или иным образом, в большей или меньшей степени, но было бы неэффективно предпринимать действия в отношении всех элементов. Корректирующие действия надо предпринимать в отношении факторов, служащих главными причинами, а не тех, которые оказывают незначительное влияние. Вот почему нужно проводить исследо-

вания и обобщать все виды информации, чтобы выявить главные причины.

в) Подтверждение наличия данной причины можно получить, сознательно воспроизводя дефект, однако при этом надо соблюдать осторожность. Если мы возьмем нестандартную деталь, может получиться дефектное изделие, но это необязательно означает, что именно нестандартная деталь – причина дефекта. Причинами могут быть и другие факторы. Сознательно воспроизводимый дефект должен иметь те же черты, что и дефектное изделие (это выяснилось на этапе наблюдений). Хотя сознательное воспроизведение – эффективный метод оценки гипотез, бывают случаи, когда это невозможно по соображениям социального, гуманного или практического характера (время, экономические причины). В этих случаях надо еще внимательнее проводить этапы *наблюдения* и *анализа*.

10.4. ПРОВЕДЕНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ

Добивайтесь устранения главных причин **Действия**

- Важно четко различать мероприятия с целью устранения нежелательного явления (немедленное "лечение") и мероприятия, направленные на ликвидацию факторов, служащих причинами (предотвращение рецидивов "болезни").
- Убедитесь, что мероприятия не порождают других проблем (побочных эффектов). Если они их вызывают, проведите другие мероприятия или разработайте меры по предотвращению побочных эффектов.
- Разработайте ряд различных предложений для мероприятий, взвесьте преимущества и недостатки каждого и выберите те, с которыми согласны люди, принимающие участие в решении проблемы.

Советы

1. Есть два вида мероприятий. Один из них связан с ликвидацией явления (результатов), другой – с предупреждением повторения фактора, обуславливающего неблагоприятный результат. Выпустив дефектное изделие, мы его постараемся отремонтировать. Даже если нам удастся это сделать, ремонт не предотвратит повторное появление дефекта. Идеальный путь решения проблемы – не допустить ее возникновения в дальнейшем, предприняв действия по устранению причин появления проблемы. Эти два вида мероприятий не надо путать. Всегда разрабатывайте процедуры, которые устраняют причины.

2. Мероприятия часто вызывают появление других проблем. Они напоминают лекарство, которое лечит одну болезнь, но при этом вызывает побочное действие, против которого пациенту нужно новое лекарство. Чтобы предотвратить побочные эффекты, мероприятие следует тщательно оценить и рассмотреть с самых разных точек зрения. Надо также провести предварительные проверки (эксперименты). Если обнаружены побочные эффекты, подумайте о другом мероприятии или же разработайте меры по ликвидации побочных эффектов.

3. С практической точки зрения при выборе мероприятий важно знать, будет ли обеспечена кооперация всех лиц, принимающих участие в решении проблемы. Мероприятие по устранению причины может повлечь за собой различные изменения в практике работы. Оно должно быть таким, с которым все согласятся. Если есть возможность разработки многих контрмер, то надо оценить преимущества и недостатки каждой из них, учитывая мнения всех вовлеченных в процесс лиц. В конце концов, если существует несколько возможных решений, равноценных с точки зрения экономических и технических условий,

лучше остановиться на том, которое выбрано на демократической основе.

10.5. ПРОВЕРКА

Убедитесь, что проблема вновь не возникнет.

Действия

- Сравните данные, связанные с проблемой (нежелательные результаты), используя единообразную форму их представления (таблицы, графики, карты), до и после реализации мероприятий.
- Выразите результаты в денежном виде и сравните их с поставленными целями.
- Если есть еще какие-либо результаты (хорошие или плохие), перечислите их.

Советы

1. На этапе проверки мы задаемся вопросом: "Насколько успешно удалось предотвратить повторение проблемы?". Данные, которыми надо воспользоваться для оценки эффективности мероприятий, должны быть такими же, как и до их осуществления. На этапе оценки производится сравнение ситуаций до и после реализации мероприятий, чтобы установить, насколько уменьшились нежелательные результаты. В этом сравнении формы и масштабы представления данных (таблицы, графики, карты) должны быть одинаковыми до и после проведения мероприятий. Если, например, для характеристики ситуации до проведения мероприятий использовалась диаграмма Парето, ее же надо применять и для оценки эффективности этих мероприятий.

2. С точки зрения управления важно попытаться выразить результаты мероприятий в денежном виде. Если сравнить потери до и после проведения мероприятий, ру-

ководство сможет сделать для себя много важных выводов.

3. Если результат мероприятий не так удовлетворителен, как ожидалось, убедитесь в том, что все запланированные действия осуществлены точно в соответствии с принятым решением. Если и после этого будут возникать нежелательные результаты, значит, решение проблемы не удалось, поэтому надо вернуться к этапу *наблюдений* и начать все сначала.

10.6. СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Непрерывно устраняйте причину появления проблемы

Действия

- Чтобы улучшить работу, надо четко сформулировать следующие вопросы: кто, где, когда, что, почему и как, а также найти ответы, которые должны стать стандартами деятельности.
- Следует правильно организовать необходимую подготовку и обмен информацией при разработке стандартов.
- Надо организовать обучение и подготовку кадров.
- Необходимо установить систему ответственности для проверки соблюдения стандартов.

Советы

Мероприятия по исправлению дефектов должны быть стандартизованы для предотвращения повторного появления проблемы. Существуют две главные причины для стандартизации. Во-первых, без стандарта действия, принятые для решения проблемы, постепенно будут сведены на нет, и работа будет осуществляться прежним способом, что приведет к повторному появлению проблемы. Во-вторых, без четких стандартов проблема, вероятно, возникнет снова и в том случае, когда к процессу про-

изводства будут привлечены новые люди (новые служащие, временные рабочие или рабочие, переведенные с других участков). Стандартизацию нельзя внедрить только путем принятия соответствующих документов. Для рабочих стандарты должны превратиться в навыки работы и стать привычкой. Чтобы рабочие обладали нужными знаниями и методами для внедрения стандартов, необходимо наладить их обучение и подготовку.

1. Стандартизация – это другой способ ответа на поставленные шесть вопросов о ходе выполнения производственных операций. Ответ только на один вопрос "как" в некоторых случаях можно назвать стандартом. Стандарт можно считать удовлетворительным, если в нем содержатся ответы на все остальные вопросы, кроме вопроса "почему". Метод выполнения работы понятен и без ответа на вопрос "почему", но вопрос этот важен. Кроме стандартного, есть много других способов выполнения работы и получения результатов, поэтому существует вероятность, что рабочий будет применять нестандартный метод, если не знает, почему надо пользоваться именно стандартным. Значит, ответ на вопрос "почему" тоже надо включить в стандарт. Когда люди поймут "почему", они будут тщательнее соблюдать стандарты. Наилучший способ уяснения "почему" – управление качеством по замкнутому циклу. Стандартизация как часть этого цикла неотделима от него. В процессе обучения персонала использованию стандартов надо изучать и весь круг вопросов в рамках данного цикла.

2. Главные причины недоразумений при внедрении новых стандартов – недостаточная подготовка и отсутствие связи между людьми. Внедрение новых стандартов меняет существующую практику работы, что может привести к недоразумениям в результате самых обычных

ошибок. Иногда, особенно если используется система разделения труда, возникают трудности на рабочем месте, когда на одном участке уже применяются новые методы, а на других все еще придерживаются старых.

3. Для того чтобы к стандартам привыкли, часто нужна соответствующая подготовка и обучение персонала. Как бы ни были хороши сами стандарты, они не будут как следует соблюдаться, если компания не осуществляет должную подготовку персонала, в этом случае нельзя предотвратить повторного появления проблем.

4. Иногда проблемы решаются лишь на время и в дальнейшем появляются вновь. Главная причина этого в том, что сначала стандарты соблюдаются, а затем их начинают нарушать. С целью предотвращения возможности появления проблемы нужно установить систему ответственности за соблюдение стандартов и постоянно это проверять.

10.7. ОКОНЧАНИЕ РАБОТЫ

Оцените процедуру решения проблем и составьте план дальнейшей работы

Действия

- Обобщите оставшиеся проблемы.
- Составьте план работы для решения этих проблем.
- Подумайте над тем, что идет хорошо и что плохо в совершенствовании работы.

Советы

1. Проблема практически никогда не решается до конца, и идеальной ситуации не бывает. Одинаково плохо и стремление к совершенству, и слишком долгая работа над одной и той же темой. Когда исчерпан первоначально установленный лимит времени, важно сократить объем исследований. Даже если цель не достигнута, надо пере-

числить вопросы, которые уже успешно решены, и вопросы, которые придется еще решить.

2. Разработайте план работы по решению оставшихся проблем. Работу над важными проблемами из этого плана надо продолжить, и они должны стать темами исследований в следующем цикле деятельности по управлению качеством.

3. И последнее. Надо переосмыслить саму процедуру решения проблем. Это приведет к повышению качества последующих действий по усовершенствованию работы. Всегда есть разница между текущей деятельностью и тем, какой она должна быть в нашем понимании; именно эти разрывы и следует устранять шаг за шагом. Оценку процедуры надо провести даже в том случае, если проблема успешно решена. Однако если время упущено, а проблема так и не решена, то подобную "мыслительную" работу надо проделать с особой тщательностью. Тогда на следующем этапе цикла управления качеством можно будет заняться рассмотрением еще не решенных проблем.

ЭПИЛОГ

Факты

Главные причины трудностей, возникающих на производстве, – ложные представления и ошибочные действия.

Чтобы различить, что ложно, а что ошибочно, мы организуем процесс поиска фактов.

”Факты”.

Примелькавшееся выражение.

Каждый считает, что именно он знает, а на самом деле не знает никто.

Это напоминает историю о слепцах, которые ощупывали слона и каждый по разному описывал, что такое слон.

Один держал слона за хобот и говорил только о нем, а другой касался хвоста и описывал слона с этой точки зрения.

Причем каждый верил, что как раз его опыт должен быть верным.

Люди часто рассказывают друг другу истории так, как будто это было с ними.

Бесконечные обсуждения не устраняют трудностей.

Факты не всегда можно описать словами.

Белое может оказаться черным.

Обсуждениями нельзя решить, белое ли оно, или черное.

”Пусть факты говорят сами за себя”.

Нужна тщательная проверка всех обстоятельств (одного за другим).

Во всяком случае то, с чем мы имеем дело, – сложное явление.

У него бесконечное число признаков.

Нам надо понимать, что наши знания и опыт конечны и всегда не полны, не совершенны.

Осознание этого явит нам факты.

Человека, который долгое время занимается какой-нибудь одной работой, мы называем опытным.

Опытный человек накопил большие знания о своем деле.

Но знания бывают верными и неверными.

Проблема состоит в том, что он не знает, что верно, а что ошибочно.

Настоящий эксперт – это такой опытный человек, который постоянно соотносит свои знания с фактами, проверяет их и вносит поправки.

К сожалению, не все опытные люди обязательно настоящие эксперты.

Они могут столкнуться с препятствиями, которые порождают суеверия.

Мы работаем прилежно, чтобы обрести истинное знание.

Это похоже на подъем к вершине по горной дороге, когда можно продвигаться только шаг за шагом.

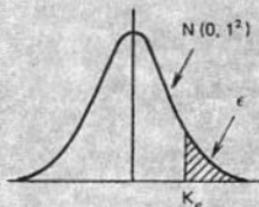
Лишь спустя некоторое время после того, как вы начнете карабкаться вверх, можно внезапно обнаружить, как далеки вы уже от начала пути.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица

Таблица для получения ϵ по K_ϵ

K_ϵ	*=0	1	2	3
0,0*	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880
0,1*	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483
0,2*	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090
0,3*	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707
0,4*	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336
0,5*	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981
0,6*	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643
0,7*	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327
0,8*	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033
0,9*	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762
1,0*	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515
1,1*	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292
1,2*	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093
1,3*	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918
1,4*	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764
1,5*	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630
1,6*	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516
1,7*	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418
1,8*	0,0359	0,0351	0,0344	0,0336
1,9*	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268
2,0*	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212
2,1*	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166
2,2*	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129
2,3*	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099
2,4*	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075
2,5*	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057
2,6*	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043
2,7*	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032
2,8*	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023
2,9*	0,0019	0,0018	0,0018	0,0017
3,0*	0,0013	0,0013	0,0013	0,0012



Пример. Значение ϵ для $K_\epsilon = 1,96$ получается. Сначала в левом столбце находим значение 1,9*, затем на пересечении найденной строки (для 1,9*) и столбца

Таблица А.1

нормального распределения

4	5	6	7	8	9
0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
0,2006	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
0,0749	0,0735	0,0721	0,0708	0,0694	0,0681
0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084
0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064
0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
0,0041	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
0,0023	0,0022	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019
0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014
0,0012	0,0011	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010

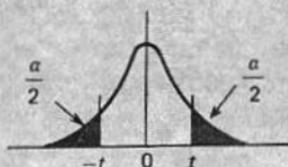
следующим образом.
отыскиваем число 6 в первой строке, наконец,
(для 6) находим результат 0,0250.

Таблица А.2

Коэффициенты для \bar{x} - R -карты

Объем выборки, n	\bar{x} -карта	R -карта					
	A_2	d_2	$1/d_2$	d_3	D_3	D_2	
2	1,880	1,128	0,8862	0,853	—	3,267	
3	1,023	1,693	0,5908	0,888	—	2,575	
4	0,729	2,059	0,4857	0,880	—	2,282	
5	0,577	2,326	0,4299	0,864	—	2,115	
6	0,483	2,534	0,3946	0,848	—	2,004	
7	0,419	2,704	0,3698	0,833	0,076	1,924	
8	0,373	2,847	0,3512	0,820	0,136	1,864	
9	0,337	2,970	0,3367	0,808	0,184	1,816	
10	0,308	3,078	0,3249	0,797	0,223	1,777	

Примечание. Символ "—" в столбце D_3 означает, что в данных случаях нижний контрольный предел не вычисляется.

Процентные точки для t -распределения

$\phi \backslash \alpha$	0,10	0,05	0,02	0,01
1	6,314	12,706	31,821	63,657
2	2,920	4,303	6,965	9,925
3	2,353	3,182	4,541	5,841
4	2,132	2,776	3,747	4,604
5	2,015	2,571	3,365	4,032
6	1,943	2,447	3,143	3,707
7	1,895	2,365	2,998	3,499
8	1,860	2,306	2,896	3,355
9	1,833	2,262	2,821	3,250
10	1,812	2,228	2,764	3,169
11	1,796	2,201	2,718	3,106
12	1,782	2,179	2,681	3,055
13	1,771	2,160	2,650	3,012
14	1,761	2,145	2,624	2,977
15	1,753	2,131	2,602	2,947
16	1,746	2,120	2,583	2,921
17	1,740	2,110	2,567	2,898
18	1,734	2,101	2,552	2,878
19	1,729	2,093	2,539	2,861
20	1,725	2,086	2,528	2,845
25	1,708	2,060	2,485	2,787
30	1,697	2,042	2,457	2,750
40	1,684	2,021	2,423	2,704
60	1,671	2,000	2,390	2,660
120	1,658	1,980	2,358	2,617
∞	1,645	1,960	2,326	2,576

- 1) Эта таблица применяется для получения значений t при заданных числе степеней свободы (ϕ) и двусторонней вероятности (α). Когда, например, известно, что $\phi = 10$, $\alpha = 0,05$, имеем $t = 2,228$.
- 2) В принятых нами обозначениях табличное значение есть $t(\alpha, \phi)$. Значит, $t(10, 0,05) = 2,228$.
- 3) Когда $\phi = \infty$, табличные значения совпадают со значениями процентилей нормированного нормального распределения, т.е. $t(\infty, \alpha) = u(\alpha)$.

Ответы к упражнениям

2.1. То, что говорят рабочие или мастера, может быть и правильно, но факты необходимо проверить с помощью данных. Данные нужно собрать таким образом, чтобы выявить, какие типы дефектов преобладают и что вызывает их появление. Помня об этом, проблему следует решать в следующей последовательности:

1. Распределите дефекты по видам и определите, какой из них представляет наибольшую трудность.

2. Составьте список возможных причин дефектов (например, сырье, заготовки, станки, инструмент, рабочие, метод измерения и т.д.).

3. Сгруппируйте данные таким образом, чтобы выделить по отдельности последствия каждого вида дефекта. Так как в этом примере два рабочих и два станка, данные должны быть сгруппированы, по крайней мере, по этим двум причинам.

4. Если данные нельзя четко группировать по причинам, необходимо сделать записи. Это надлежит сделать, например, в случае, если сырье или метод производства подверглись изменениям.

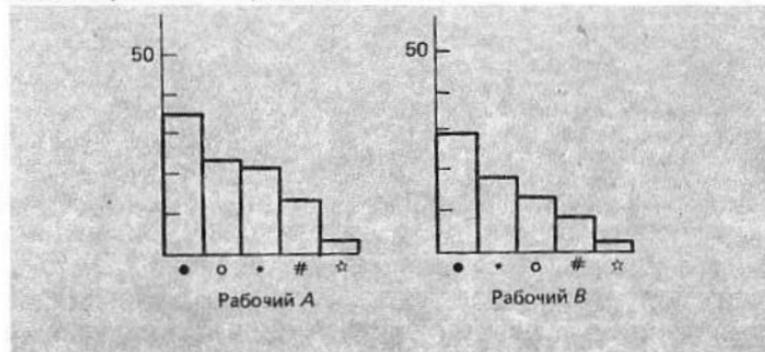
5. Данные необходимо проанализировать с помощью диаграммы Парето, контрольных листков, диаграмм рассеивания и т.д.

6. Когда причина возникновения дефекта очевидна, следует разработать меры по ее устранению и внимательно проследить за последующими результатами.

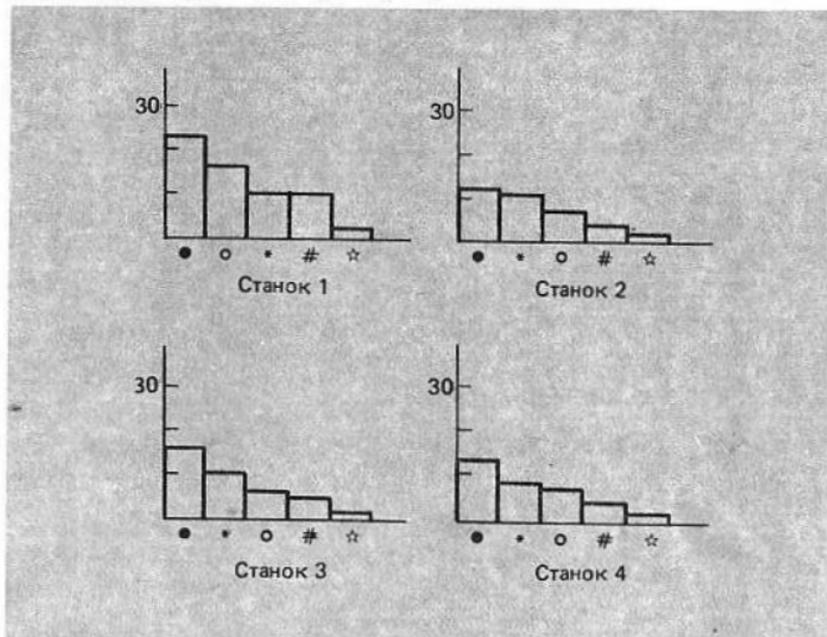
3.1. 1) Общая диаграмма Парето, показанная на рисунке, говорит о том, что причина большинства дефектов – деформация (ее условное обозначение – ●). Это же подтверждается и большинством графиков, составленных по каждой детали. Таким образом, в первую очередь надлежит заняться именно деформацией.



2) Если сравнить двух рабочих А и В, ясно, что рабочий А допускает больше дефектов, чем рабочий В. Наверное для этого должна быть какая-то причина, и нам следует анализировать ситуацию дальше.

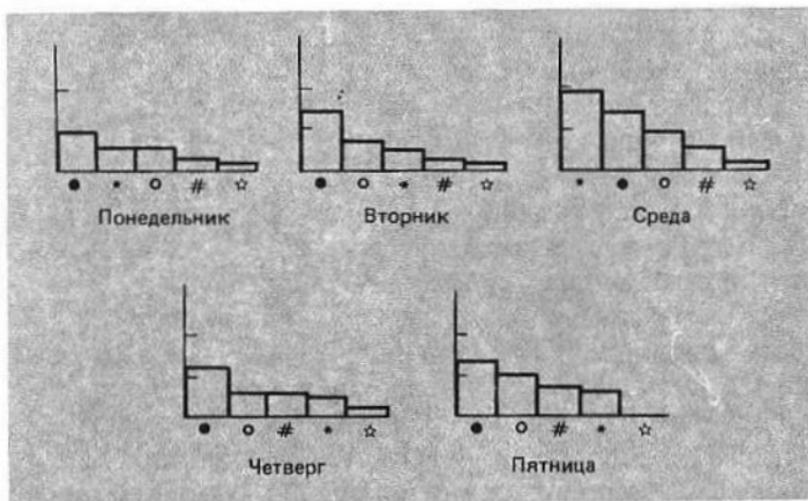


3) Если мы сравним 4 станка (1, 2, 3 и 4), то увидим, что на станке 1 допускается больше дефектов, чем на остальных. Но на этом станке работает рабочий А, а не В. Таким образом, есть некая взаимосвязь между тем, что на станке 1 допускается больше дефектов, и тем, что на долю рабочего А приходится больше дефектов, чем на долю рабочего В. Но рабочий А обслуживает также и станок 2, а число дефектов, допускаемых при работе на нем, не превышает число дефектов, допускаемых на станках 3 и 4. Очевидно, что-то не в порядке со станком 1, и нам следует далее исследовать эту ситуацию.



4. При сравнении числа дефектов по дням недели можно увидеть, что по сравнению с другими днями наибольшее число приходится на среду. Если мы теперь посмотрим на виды дефектов, допускаемых в этот день, то

увидим, что преобладают царапины (*), в то время как число остальных дефектов не больше, чем в другие дни. Посмотрев на необработанные данные табл. 3.3, мы заметим, что в среду появляется больше царапин в деталях, обрабатываемых обоими рабочими на всех четырех станках, чем в другие дни недели. Должна быть какая-то особая причина для этого, и нам необходимо исследовать далее эту ситуацию.



Выводы. Суммируем виды мероприятий, предложенных в ходе этого анализа:

а) если установить контроль за работой станка 1, то, вероятно, удастся снизить количество дефектов всех типов;

б) если выявить причину ненормально большого количества царапин, которые появляются в среду, станет возможным уменьшить число дефектов именно этого типа;

в) если исследовать, почему возникают деформации — наиболее часто встречающийся дефект, то, наверное, воз-

можно уменьшить число дефектов этой категории. Решая проблему таким путем, можно будет добиться существенного снижения общего объема дефектной продукции.

4.1. 1) Диаграмма причин и результатов для ошибок в машинописи (опечаток).

В поисках одного из решений этой проблемы, пожалуйста, обратите внимание на помещенный ниже рисунок. Однако помните, что это – лишь один из возможных ответов. Для каждой проблемы существует весьма большое число альтернативных решений, и может быть построено много вариантов диаграмм, причин и результатов, причем ни про одно из решений нельзя сказать, что оно единственно правильное.

2) А потому 3) Каждое нужно рассматривать в отдельности (см. рис. на с. 251).

5.1. 1) Различные варианты гистограмм и их характеристики приведены на рисунке и в таблице.

2) Примечания.

а) Все бракованные булочки получились в первой печи. Из гистограмм для этой печи видно, что они похожи по структуре – с двумя пиками. Стандартное отклонение s , большее у левого пика, вероятно, и обуславливает появление брака. Ситуация требует тщательного анализа, и если удастся разделить два пика, то должна появиться возможность уменьшения вариации в данных и снижения доли брака.

б) На гистограмме для пекаря А, который работал с печью 2 есть одно значение, стоящее особняком от всех остальных. Очень похоже, что это ошибочное значение и было бы хорошо его проверить.

в) На всех гистограммах средние значения ниже середины поля допуска, равной 212,5. Если прояснится причина этого явления и средние приблизятся к центру,

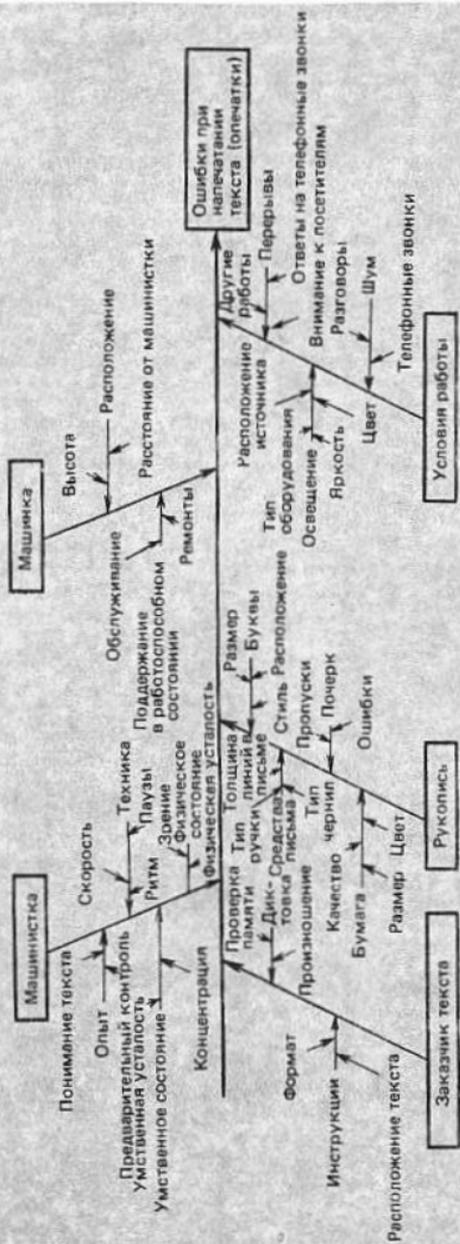


Диаграмма причин и результатов для опечаток

	Пекарь А	Пекарь В	Итого
Печь 1	0	1	1
	193,7	193,7	193,7
	196,2	196,2	196,2
	198,7	198,7	198,7
	201,2	201,2	201,2
	203,7	203,7	203,7
	206,2	206,2	206,2
	208,7	208,7	208,7
	211,2	211,2	211,2
	213,7	213,7	213,7
	216,2	216,2	216,2
218,7	218,7	218,7	
221,2	221,2	221,2	
Печь 2	0	0	0
	193,7	193,7	193,7
	196,2	196,2	196,2
	198,7	198,7	198,7
	201,2	201,2	201,2
	203,7	203,7	203,7
	206,2	206,2	206,2
	208,7	208,7	208,7
	211,2	211,2	211,2
	213,7	213,7	213,7
	216,2	216,2	216,2
218,7	218,7	218,7	
221,2	221,2	221,2	
Итого	0	1	1
	193,7	193,7	193,7
	196,2	196,2	196,2
	198,7	198,7	198,7
	201,2	201,2	201,2
	203,7	203,7	203,7
	206,2	206,2	206,2
	208,7	208,7	208,7
	211,2	211,2	211,2
	213,7	213,7	213,7
	216,2	216,2	216,2
218,7	218,7	218,7	
221,2	221,2	221,2	

Замечания: * — в пределах допуска; ♠ — брак.

Гистограммы

доля брака, по-видимому, станет ничтожной. Это не обязательно улучшит вариацию, которая останется слишком большой, но если соблазнительные действия в пунктах а) и б) принесут успех, то и вариация должна будет снизиться до приемлемого значения.

Если все перечисленные выше меры дадут эффект, процесс окажется в границах допуска (рис. на с. 252).

Значения n , \bar{x} и s для каждой гистограммы

	Пекарь А	Пекарь В	Итого
Печь 1	$n = 40$ $\bar{x} = 205,37$ $s = 3,75$	$n = 40$ $\bar{x} = 204,40$ $s = 5,38$	$n = 80$ $\bar{x} = 204,88$ $s = 4,63$
Печь	$n = 40$ $x = 210,66$ $s = 4,15$ $n = 80$	$n = 40$ $x = 210,34$ $s = 2,89$ $n = 80$	$n = 80$ $x = 210,50$ $s = 3,56$ $n = 160$
Итого	$\bar{x} = 208,01$ $s = 4,75$	$\bar{x} = 207,37$ $s = 5,23$	$\bar{x} = 207,69$ $s = 4,99$

6.1.

1). а) Между x и y есть положительная корреляция.

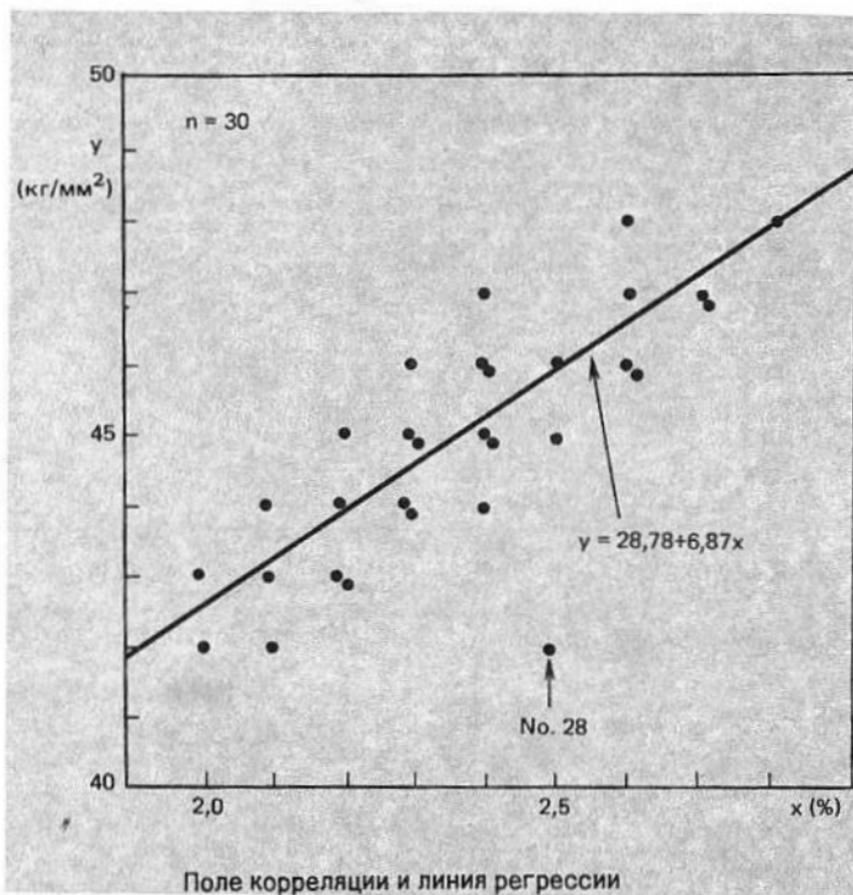
б) Есть точка ($28, x = 2,5 \%$, $y = 42 \text{ кг/мм}^2$), которая отличается от всех остальных точек. Надо исследовать, почему это значение оказалось выбросом.

2) $r = 0,789$;

$r = 0,877$, если исключить точку 28.

3) $y = 29,58 + 6,48x$.

$y = 28,78 + 6,87x$, если исключить точку 28.



7.1. 1) $\bar{x} - R$.

2) p_n .

3) c .

4) $x - R_s$.

5) p .

6) $\bar{x} - R$.

7) u .

7.2. $\bar{x} = 53,25$; $R = 0,576$.

Контрольные линии

$$\bar{x}\text{-карта } UCL = \bar{x} + A_2 \bar{R} = 53,25 + 0,729 \cdot 0,576 = 53,67;$$

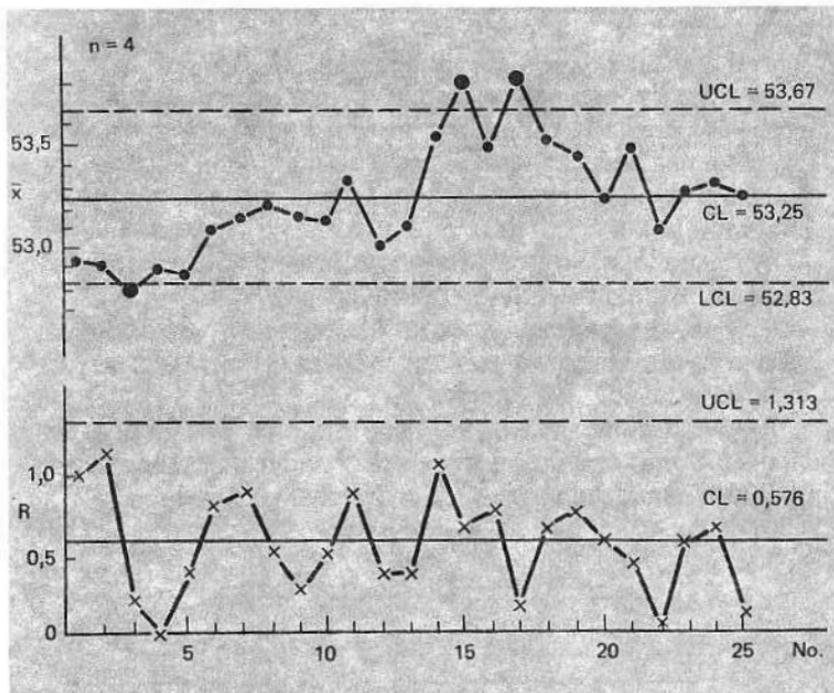
$$CL = \bar{x} = 53,25;$$

$$LCL = 52,83.$$

$$R\text{-карта } UCL = D_4 \bar{R} = 2,28 \cdot 0,576 = 1,313;$$

$$CL = \bar{R} = 0,576;$$

$$LCL = - \text{ (не рассматривается).}$$



На R -карте состояние подконтрольное. Однако \bar{x} -карта этого не показывает:

1) Есть три точки – 3, 15 и 17, лежащие за контрольными пределами.

2) Есть серия длиной в 10 точек (1 – 10).

Следовательно, этот процесс разлажен. До 13-й точки среднее процесса лежит ниже центра, затем повышается и далее снова идет вниз. Надо отыскать причину такого колебания среднего.

7.3. 1) Правильно.

2) Правильно.

3) Надо еще проверить, не образуют ли точки некоторую структуру.

4) Правильно.

5) Когда точка оказывается за нижней границей, мы должны считать, что процесс вышел из-под контроля. Мы сможем получить полезную информацию, если исследуем причину, по которой показатель качества оказался ниже LCL.

6) Процесс, находящийся в подконтрольном состоянии, тоже может производить дефектную продукцию.

7) Если контрольная карта показывает, что процесс вышел из-под контроля, надо попробовать найти причину.

8) Правильно.

9) Возможно, подгруппа состоит из неоднородных данных. Стоит проверить содержание внутригрупповой вариации и испытать другие способы группирования.

8.1.

Сумма и разность для А и В

№ п/п	$A + B$	$A - B$
1	12,35	1,55
2	11,20	2,30
3	11,90	2,60
4	11,05	1,95
5	12,90	3,00
6	11,60	3,80
7	11,10	2,60

Продолжение

№ п/п	A + B	A - B
8	11,45	3,55
9	11,85	2,25
10	12,80	3,00

Статистики для A, B, A + B и A - B

	A	B	A + B	A - B
Итого	72,40	45,80	118,20	26,6
Сумма квадратов	2,279	1,951	4,096	4,364
Дисперсия	0,253	0,217	0,455	0,485

8.2. Пусть заданное значение будет c , а веса содержимого и тары – x и y соответственно. Тогда

$$x + y = c + e,$$

где e – ошибка взвешивания погрузчика.

Вес содержимого получается из

$$x = c + e - y.$$

Величина c – это константа, а e и y – независимы, так что дисперсия x получается как сумма дисперсий y и c , т.е.

$$\sigma_x^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2.$$

9.1. 1) Генеральная совокупность – это что-то, над чем мы совершаем действия; выборка составляет от нее малую часть. Опираясь на эту выборку, мы можем оценить характеристики исходной совокупности.

2) Параметром совокупности называется константа,

характеризующая данную совокупность, а статистикой – функция от выборочных наблюдений, полученных из совокупности. Опираясь на значение статистики, мы можем делать выводы относительно соответствующего параметра совокупности.

3) При проверке гипотез можно сделать два вида ошибок. Ошибка первого рода – это ошибочное отбрасывание верной гипотезы, а ошибка второго рода – ошибочное принятие ложной гипотезы.

4) Уровень значимости есть вероятность некорректного отбрасывания гипотезы, а доверительный уровень – это вероятность того, что доверительные пределы накроют истинное значение оцениваемого параметра.

9.2.

№ n/n	\bar{x}	R	V	s	u	t
11	50,4	5	3,80	1,95	0,45	0,46
12	51,8	4	2,20	1,48	2,01	2,72
13	50,0	4	2,50	1,58	0,00	0,00
14	50,0	4	2,50	1,58	0,00	0,00
15	50,4	5	3,80	1,95	0,45	0,46
16	50,8	8	8,20	2,86	0,89	0,62
17	50,6	5	5,30	2,30	0,67	0,58
18	50,6	4	2,30	1,52	0,67	0,88
19	49,6	6	4,80	2,19	-0,45	-0,41
20	50,6	5	3,80	1,95	0,67	0,69

9.3. 1) 1. Гипотезы, уровень значимости:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2;$$

$$H_1 : \mu_1 > \mu_2 (\alpha = 0,05).$$

2. Статистика:

$$\Sigma x_{1i} = 77,5;$$

$$\Sigma x_{1i}^2 = 1222,33;$$

$$\Sigma x_{2i} = 68,1;$$

$$\Sigma x_{2i}^2 = 942,23;$$

$$\bar{x}_1 = 77,5/5 = 15,50;$$

$$\bar{x}_2 = 68,1/5 = 13,62;$$

$$S_1 = 1222,33 - (77,5^2)/5 = 21,08;$$

$$S_2 = 942,23 - (68,1^2)/5 = 14,71;$$

$$s = \sqrt{\frac{21,08 + 14,71}{5 + 5 - 2}} = \sqrt{\frac{35,79}{8}} = \sqrt{4,474} = 2,115;$$

$$t_0 = \frac{15,50 - 13,62}{2,115 \times \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}} = \frac{1,88}{1,3376} = 1,405.$$

3. Критерии

$$t(8, 0, 10) = 1,860;$$

$$t_0 = 1,405 < 1,860 = t(8, 0, 10)$$

→ принять H_0 .

4. Заключение. Мы не можем утверждать с 5 %-ным уровнем значимости, что обработка повышает сопротивление трению.

$$2) \widehat{\mu_1 - \mu_2} = \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 1,88;$$

$$\mu_1 - \mu_2 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm t(n_1 + n_2 - 2, 0, 0,5) \times s \times$$

$$\begin{aligned} \times \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} &= 1,88 \pm 2,306 \times 2,115 \times \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}} = \\ &= 1,88 \pm 3,08 = -1,20 \sim 4,96. \end{aligned}$$

3) Сравнение надо делать между максимально похожими друг на друга образцами. Для достижения этого было бы лучше всего разрезать каждый из специальных образцов пополам, затем одну половину обработать, а другую — нет. Тогда в ходе анализа можно было бы определить, существуют ли какие-нибудь различия между парными образцами.



Ю.П.Адлер, Л.А.Конарева

ДОПОЛНЕНИЕ К ПЕРЕВОДУ

КАЧЕСТВО, КАЧЕСТВО И ЕЩЕ РАЗ КАЧЕСТВО

... Но никаких японских чудес никогда не было и нет. Это мы задремали, мы были самонадеянны, мы были бесшабашны. Нас побили, победили, задавили, отколошматили, подорвали, потому что наши руководители не заботились о качестве, перестали вкладывать средства в технологию, стали высокомерно относиться к людям, которые работают на них и на потребителей, покупающих их продукцию.

*Р. Уотермен. Фактор обновления. – М.:
Прогресс, 1988. – С. 28.*

Настоящая книга – о статистических методах в контексте контроля качества. Но предназначена она отнюдь не для статистиков или любителей статистики. Эта книга – для практиков, для миллионов рабочих и инженеров, каждый день приходящих на производство и пытающихся как можно лучше решать постоянно возникающие нелегкие задачи обеспечения высокого качества продукции. Это не учебник, а скорее собеседник, предполагающий неторопливый доброжелательный заинтересованный разговор.

Сказав, что книга предназначена и для рабочих, мы не оговорились. В самом деле, многие ее главы вполне

доступны людям, которые после окончания школы не смогли учиться дальше. И такая установка авторов далеко не случайна. Годами упорного труда японские специалисты выделяли из мирового опыта по крупницам такие приемы и подходы, которые можно понять и эффективно использовать без специальной подготовки, причем делалось это так, чтобы обеспечить реальные достижения при решении подавляющего большинства тех проблем, которые возникают в реальном производстве (или обслуживании).

Установка на широкую, даже глобальную, вовлеченность персонала в процесс обеспечения качества, конечно, сужает набор потенциально возможных методов или приемов, зато требует тщательной отработки каждого из них. Плоды всех этих многотрудных усилий и собраны в данной книге. В Японии описанные здесь методы часто называют "семью простыми методами контроля качества".

Семь простых методов контроля качества. Заимствуя после окончания второй мировой войны передовой зарубежный (главным образом американский) опыт, японские специалисты сосредоточили внимание не только на закупках лицензий, но и на статистических методах контроля качества. Они исходили из представления о том, что статистический контроль качества – наиболее важная часть американского опыта, обеспечившая развитие массового производства продукции. Жизнь показала, что эти представления оказались весьма эффективными. Так, в 1949 г. в Японии началось широкое внедрение семи методов, которые, по словам одного из инициаторов внедрения, профессора Исикава Каору [1; 2], обеспечивают решение примерно 95 % всех проблем, возникающих в производстве! Но прежде чем эти методы достигли такого совершенства, им пришлось пройти длительное и тщательное "шлифо-

вание". Дело в том, что многие из современных статистических методов довольно сложны, и задача заключается как раз в том, чтобы создать максимально простые и ясные процедуры, сохраняющие, насколько возможно, свою практическую эффективность и позволяющие избегать таких ситуаций, когда рекомендуемые методы не дают искомого результата или даже ухудшают исходную ситуацию. Ведь они должны работать в условиях реального промышленного производства, выпускающего товарную продукцию. И здесь всякое затруднение, тем более неудача, ведут к прямым материальным потерям.

Другое обстоятельство, с которым приходилось считаться разработчикам семи простых методов, заключалось в необходимости вписать разрабатываемые процедуры в общий методологический контекст подходов, принятых в Японии, с учетом их развития. Хотя у западных наблюдателей часто возникают затруднения при анализе японских управленческих структур, системный подход к их организации все же сомнений не вызывает. Если вспомнить, что "всякая система есть не что иное, как подчинение всех аспектов мироздания какому-либо одному" [3], то можно заметить, что в Японии "все аспекты мироздания" подчинены качеству продукции и услуг.

Наконец, при всей мыслимой простоте разрабатываемых методов важно было не оторваться от корней, сохранить связь со статистикой, дать возможность профессионалам пользоваться результатами этих методов и при необходимости углублять их.

В итоге длительных коллективных усилий удалось разработать такую систему методов, которая удовлетворяет всем названным требованиям. В нее вошли: 1) диаграмма Парето; 2) схема Исикава; 3) расслоение (стратификация); 4) контрольные листки; 5) гистограммы; 6) графики (на

плоскости) и 7) контрольные карты (Шухарта). Иногда эти методы перечисляют в другом порядке, что не принципиально, поскольку их предлагается рассматривать и как отдельные инструменты, и как системы (разные в различных обстоятельствах) методов. В каждом конкретном случае предлагается специально определять состав и структуру рабочего набора инструментов.

Последовательный подход, начинающийся с весьма простых приемов, видимо, неслучайно возник именно в Японии. Еще в XVIII в. большое впечатление на общество произвело наставление, данное учителем известному японскому мыслителю Норинага Мотоори: "Однако помни: тот, кто хочет достичь высоты одним прыжком и не желает заниматься простыми вещами, не сможет сделать даже простое, не говоря уж о сложном, и будет высказывать лишь ошибочные суждения. Зная это, ты не должен стремиться покорять высоту до тех пор, пока не одолеешь то, что лежит у подножия. Ты никогда не должен стремиться взять высоту на одном дыхании" (цит. по [4]). Поэтому семь простых методов можно назвать "Уияма буми" ("Первые шаги в гору познания"), как назвал Норинага одну из своих книг.

Первое конкретное описание семи методов на русском языке, вероятно, сделано в работах В.В.Потуловой [5; 6]. Затем появился перевод книги Сакато Сиро [7], требующий, правда, некоторых предварительных знаний статистики. А недавно опубликована методическая работа [8]. Есть еще значительное число упоминаний, не раскрывающих сути методов. Вот и все, что нам известно. Данная книга, несомненно, находится вне конкуренции. Можно смело сказать, что у нее нет аналогов не только на русском, но и ни на каком другом языке, даже японском.

Итак, наши семь методов очень просты. Но это не озна-

чает, что при использовании многих из них нельзя воспользоваться компьютером для убыстрения и облегчения счета и для увеличения наглядности результатов. Действительно, в Японии, а сейчас и во многих западных странах, есть несколько пакетов статистических программ, совмещаемых с семью простыми методами. Скоро у нас в стране выйдет перевод книги с одним из таких пакетов, где представлены программы на языке Бейсик для любых персональных компьютеров, совместимых с IBM PC [9].

Посмотрим теперь, в каких же организационных формах развивается в Японии работа по применению столь замечательных методов. Для этого обратимся к широко известному феномену, вокруг которого активно ведутся дискуссии, – кружкам качества.

Кружки качества и семь простых методов. Кружки качества, или, как иногда говорят, кружки контроля качества, начали развиваться в Японии с 1962 г. по инициативе К.Исикава [2]. Это – группы рабочих одного участка, которые совершенно добровольно систематически собираются вместе и под руководством мастера или инженера обсуждают возникающие на участке проблемы и возможные пути их преодоления. Администрация, как правило, не вмешивается, но всегда готова оказать посильную помощь или дать совет. Законченные разработки защищаются и после всеобщего одобрения в кружке подаются на рассмотрение администрации в качестве предложения по усовершенствованию тех или иных аспектов технологического процесса. В случае одобрения эти предложения внедряются в жизнь, нередко давая колоссальные экономические эффекты.

Движение кружков качества поддерживается специальным общепонским штабом, они имеют свой журнал и регулярно проводят ежегодные конференции. Данные о чис-

ленности и эффективности японских кружков качества вызывают удивление и огромный интерес во всем мире. Существуют многочисленные описания японского опыта в этой области на русском языке [10 – 16].

Хотя похожие подходы неоднократно разрабатывались в разных странах, но, видимо, неслучайно он укоренился раньше всего именно в Японии. Можно полагать, что причины этого – в национальных особенностях японцев, в свойственном им высоком духе коллективизма. Уже в детском саду перед воспитателями ставится главная задача: привить детям навыки участия в общем деле [17]. Представляется интересным сопоставление групповой работы в кружке качества со средневековой японской формой поэтического творчества, называемой рэнга, когда поэты садятся в кружок и к начатой кем-то поэтической фразе последовательно добавляют строфы. Казалось бы, что всю работу мог бы выполнить и один поэт, но вот что говорит по этому поводу знаток (Ёсимото): "... рэнга воплощает человеческий опыт и известную правду в более широком виде и на более твердом основании, нежели это может сделать индивид, рэнга имеет широту обзора и глубину чувства, основанные на мудрости многих" (цит. по [18]).

Может быть, именно такими особенностями отчасти и объясняются трудности, речь о которых обычно заходит при описании зарубежного опыта внедрения кружков качества [19; 20]. Правда, так бывает не всегда. Например, это движение успешно развивается в Корее [2] и Китае [21], а знаменитая английская торговая фирма Marks and Spencer считает, что японцам еще предстоит ее догнать в этом деле [22]. Заметим, что и у нас в стране началось движение кружков качества, но говорить об их эффективности, пожалуй, еще рано.

Рассказ о кружках качества понадобился нам для того, чтобы сказать, что семь простых методов контроля качества – это один из основных рабочих инструментов кружков качества. Именно этой "отмычкой" и удастся вскрывать те "замки", за которыми спрятаны "секреты" успеха. Вот почему статистические методы играют такую большую роль и имеют такой важный статус в японской концепции контроля качества.

Но коль скоро кружки качества – массовое явление, охватывающее часто более 80 % персонала фирм, то возникает проблема обучения семи методам широких масс трудящихся. Как здесь пригодится простота этих методов! Получается, что обучение семи методам – необходимое условие успешной деятельности кружков качества. С такого обучения обычно и начинается их деятельность. Но само обучение не заканчивается никогда.

Обучение и семь простых методов. В Японии, не без влияния Китая и конфуцианской морали, сделали важное открытие: обучение должно быть непрерывным и входить в структуру производственной деятельности. Тогда даже рутинная работа приобретает творческий характер, укрепляется чувство коллективизма, в трудовых коллективах создается такой моральный климат, что труд становится радостью. Все это, конечно, приводит к росту производительности труда и доходов, позволяет эффективно утилизировать резервы. Обучение стало, таким образом, инструментом систематического накопления информации, ее осмысления и распространения, средством непрерывной адаптации персонала к изменяющимся условиям и перманентного повышения качества работы.

Главное, чему сейчас учат членов кружков качества, – это статистические методы вообще и семь простых методов в частности.

Однако началось все после второй мировой войны с освоения американского опыта. Важную роль в послевоенном развитии японской промышленности сыграли три организации: Японский союз ученых и инженеров (ЯСУИ), Японская ассоциация стандартов (ЯАС) и Японская телефонная и телеграфная корпорация (ЯТТ). По инициативе ЯСУИ в 1950 г. в страну был приглашен один из основоположников статистических методов контроля качества, ныне заслуженный профессор школы бизнеса при университете в Нью-Йорке У.Э.Деминг (его именем впоследствии была названа японская национальная премия по качеству), который выступил перед 45 членами промышленного клуба – представителями высшего эшелона власти японской промышленности [23]. Интерес к его выступлению был столь велик, что за этим последовала серия лекций для управляющих. Какие же идеи из багажа Деминга нашли наиболее глубокий отклик в сердцах японцев?

Во-первых, это был цикл Деминга, развивающий подход Ф.У.Тейлора [24] и разделяющий управленческий цикл на четыре этапа: планирование, реализация, проверка и коррекция (управление). Характерную диаграмму с изображением этого цикла можно найти почти в любой японской книге по проблемам качества и управления. Японцы дополнили цикл операцией целеполагания и обучением кадров.

Позднее цикл Деминга стал применяться в качестве организационного шаблона при работе групп рабочих, объединенных в кружок качества и использующих семь простых методов. Так это происходит и поныне.

Во-вторых, в подходе Деминга сквозило то, что потом вылилось в его знаменитые 14 принципов для управляющего, которые мы, ввиду их актуальности, приведем здесь, следуя работе [25].

1. Всегда стремитесь к улучшению продукции и услуг.
2. Откажитесь от старой философии производства дефектной продукции.
3. Разружьте зависимость контроля от достигнутого уровня качества.
4. Прекратите практику поощрения работы по ее начальной стоимости.
5. Всегда и всюду поддерживайте любую инициативу.
6. Приступайте к обучению и воспитанию персонала, в том числе и управляющих.
7. Организуйте наблюдение.
8. Избегайте утрашения.
9. Ломайте барьеры между подразделениями.
10. Отбросьте лозунги и призывы.
11. Отмените рабочие стандарты, которые предписывают количественные доли отбора.
12. Уничтожьте препятствия, лишаящие рабочего его права гордиться результатами своего труда.
13. Создайте эффективную программу обучения и переподготовки кадров.
14. Обязайте каждого в вашей компании работать в группах по совершенствованию организации.

В вышедшей в 1950 г. книге Деминга [26], посвященной выборочному методу, обильно цитировались работы Доджа и Роминга, Шухарта и других исследователей, на которых, благодаря Демингу обратили внимание японские специалисты. Интересно, что сами выборочные методы (специалистом по которым был Деминг) не вошли в число семи простых. Они, конечно, используются в Японии, но только на профессиональном уровне. Видимо, их сочли слишком сложными и не поддающимися упрощению. Кроме того, дело еще в том, что упор сделан, где возможно, на сплошной, а не выборочный контроль, осуществля-

емый к тому же не специальным контролером, а самим рабочим. Одним из самых важных инструментов среди семи простых методов стали контрольные карты Шухарта. Исикава [2] даже говорит: "Управление качеством начинается с контрольной карты и завершается ею".

В 1954 г. в Японию для чтения лекций пригласили другого известного американского специалиста (выходца из Румынии) доктора Дж.Джурана [27]. Среди его многообразных достижений были и диаграммы Парето, вошедшие в состав семи простых методов.

Специалисты единодушно признают, что именно эти два визита послужили катализаторами цепной реакции внедрения статистических методов в практику управления японскими предприятиями.

Среди других важных влияний отметим системный подход, развитый в начале 50-х годов в США доктором А.В.Фейгенбаумом [28] и заложивший основы управления качеством в рамках всей деятельности фирмы. Японцы переосмыслили это представление и превратили его в идею всеобщей вовлеченности персонала фирмы в движение за обеспечение качества продукции. А это в свою очередь привело к массовым движениям за качество продукции, кружкам качества, семи простым методам статистического управления качеством и целому ряду других вещей.

Наконец, говоря о влияниях и заимствованиях, нельзя не коснуться теории планирования эксперимента, идущей от Р.Фишера. Особенно это относится к промышленным приложениям планирования, таким, как эволюционное планирование промышленных экспериментов (ЭВОП) [29 – 34]. Однако такое влияние проявилось уже не в наших семи методах, а в более сложных процедурах, прежде всего в так называемых методах Тагути [35; 36].

Все эти заимствования проходили на фоне быстро расширявшегося и совершенствовавшегося процесса обучения персонала на всех уровнях – от рабочего до директора. И по сей день в Японии, как ни в какой другой капиталистической стране, работа по усовершенствованию и распространению методов управления качеством ведется в общенациональном масштабе, что способствует воспитанию населения в соответствующем духе. В стране устраивается огромное количество конференций, массовыми тиражами издается специальная литература, ЯСУИ по-прежнему ведет широкую организационную, пропагандистскую и образовательную деятельность, издает 4 специальных журнала. По мнению одного из американских специалистов [37], эта организация ставит перед собой цель "сделать каждого рабочего инженером, а инженеров, не знакомых со статистическими методами, не считать полноценными".

Способность на протяжении многих лет поддерживать в миллионах людей живой интерес к обучению вовсе не таким уж простым вещам вызывает удивление в мире и желание понять причины. Вот как комментирует это Деминг [38]: "Я много думал об этом. По-моему, это произошло от того, что японский бизнесмен никогда не считает себя слишком старым, чтобы учиться, или невосприимчивым к знаниям". По мнению Э.Вогеля, автора книги "Япония впереди" [39], японцев отличает "жажда знаний". Интересную мысль высказывает Э.Хоффер [40]: "У меня сложилось такое впечатление, что никто не любит нового. Мы его боимся. И не только потому, что, как писал Ф.М.Достоевский, "сделать новый шаг, произнести новое слово – это то, чего люди боятся больше всего". Даже в самых незначительных вещах внедрение нового редко обходится без того, чтобы не пошатнулось что-то устояв-

шееся". Развивая эту мысль, управляющий по обеспечению качества одного из отделений корпорации Westinghouse У.Казор [23] отмечает: "Возможно, нежелание внедрять статистические методы контроля качества в США можно объяснить естественным сопротивлением людей новому... В Японии же после окончания второй мировой войны изменения стали частью жизни. С одной стороны, это было чувство отчаяния, а с другой – страстное желание возродить нацию. Этим можно объяснить, почему Э.Деминг нашел столь горячий прием, кроме того, японцы искренне полагали, что заимствуя методы статконтроля, они копируют то лучшее, что позволило США наладить массовое производство качественных товаров во время войны и что, как они ошибочно думали, повсеместно используется в США в послевоенные годы".

Благодаря массовому обучению, в Японии создан самый высококвалифицированный в мире персонал с точки зрения владения и практического применения методов управления качеством. Это привело, по мнению Джурана [41], к подлинной революции в области качества, причем разрыв столь велик, что по оценке 1981 г. США потребуются целое десятилетие, чтобы его преодолеть. Сейчас можно констатировать, что в 1990 г. этого еще не случится. Скорее разрыв еще больше увеличится. "Усердно осваивая на протяжении 30 лет теории, созданные в США, Япония превратила качество в оружие, завоевавшее мировые рынки", – отмечает обозреватель журнала "Fortune" Д.Мейн [42]. Описанию ситуации в США, Западной Европе и в Японии и сравнению положения дел в этих регионах посвящено много литературы. Приведем лишь несколько ссылок [43 – 52]. Примеры конкретных японских достижений в области качества продукции у всех "на слуху", и мы не будем здесь на них специально

останавливаться. Под воздействием реальных японских достижений в конкурентной борьбе начался обратный процесс пристального изучения и заимствования японских методов управления качеством как в США, так и в Западной Европе.

Если в 1978 г. Японию посетили для изучения опыта управления качеством 100 зарубежных специалистов, то уже в 1983 г. число их составило 1000. Причем с 1978 по 1984 г. в Японии побывали специалисты из 66 стран [53]. Член ЯСУИ Наото Сасаки [54], реагируя на этот процесс, пишет: "Управляющие западных компаний часто спрашивают, почему мы раскрываем наши "секреты" контроля качества своим конкурентам, даже зарубежным? Я уверен, что с социальной точки зрения взаимный обмен опытом способствует повышению качества продукции. Именно это вывело всю работу по управлению качеством в японском обществе на новый уровень". Теперь нам станет ясно, почему данная книга издана в Японии на английском языке.

Связь семи простых методов с другими процедурами. Было бы наивно думать, что мы перечислили уже все важные аспекты японского подхода к контролю качества. Кроме того, не стоит считать, что все японские методы заимствованы на Западе (хотя некоторым западным специалистам так кажется). Действительно, японцы практикуют своеобразную процедуру принятия коллективных решений, называемую ринги. Она основана на инициативе снизу и на длительном терпеливом поиске консенсуса (всеобщего согласия) путем многократных многоаспектных обсуждений в разных коллективах. Обсуждения направлены на отыскание подходящего компромисса. Все это делается не спеша и обстоятельно. Зато после того как решение принято, оно реализуется немедленно и без

заметного сопротивления [10]. Описанная процедура может применяться и при реализации разработок кружков качества. Нам представляется, что такая практика выработки решений напоминает принципы коллективного стихосложения, о которых мы уже упоминали [18].

Другой японский подход, все шире распространяющийся в настоящее время на Западе, – это система канбан, что означает “точно во-время” (в работе [12] используется термин “камбан”, что фонетически более точно). В основе этого подхода лежит следующая мысль: каждое изделие требуемого качества и в нужном количестве должно оказаться в данном месте в заданное время. Если появится раньше, будет мешаться под ногами, позже – вызовет остановку производства, если будет бракованным, принесет большие убытки. Такой внешне простой прием требует глубокой перестройки всего технологического процесса, а также складского хозяйства и систем учета [12; 14; 55; 83; 84]. Оказалось, что кружки качества органично вписываются в систему канбан.

Хотя Джафри [56] и говорит, что канбан – порождение самурайского духа, но в самурайском кодексе “Бусидо” нам не удалось обнаружить никаких аналогий. Зато вот что встретилось в знаменитом трактате Конфуция “Луньюй”: «Цыгун спросил: “Кто лучше Ши или Шан?” Учитель ответил: “Ши переходит через край, Шан не доходит”. “Тогда Ши лучше?” Учитель ответил: “Переходить не лучше, чем не доходить”» (цит. по [57]).

Мы уже упоминали методы Тагути, возникшие под влиянием западной теории планирования эксперимента, но содержащие целый ряд новых оригинальных элементов, делающих классические методы гораздо более пригодными для массового инженерного применения.

Не без влияния мировой науки в Японии недавно по-

явились семь новых методов управления качеством. На этот раз мы имеем дело с методологической разработкой, предназначенной не для массового использования. Это – инструменты постановки задач в рамках интенсивного профессионального обсуждения методом "мозгового штурма". Отечественных публикаций об этих методах мы пока не знаем, поэтому ограничимся ссылкой на первую публикацию в Японии на английском языке [58]. Чтобы деятельность кружков качества была эффективной, важно, чтобы постановки задач тщательно прорабатывались. Заметим, кстати, что и при использовании наших простых семи методов прибегают к "мозговому штурму".

Но, пожалуй, самым важным достижением последнего времени было осознание неразрывной связи всех этапов жизненного цикла любого изделия в едином комплексе, для обеспечения эффективного функционирования которого, собственно, и нужны все обсуждаемые нами многочисленные методы и приемы. Отсюда непосредственно следует понимание важности обеспечения качества уже на этапе научных исследований и предварительного проектирования. Сама по себе эта мысль отнюдь не нова [59]. Так же трудно назвать новыми такие проблемы, как связь качества с маркетингом и важность статистических методов в задачах маркетинга [60; 61]. Сюда же примыкает проблема инноваций и сохранения конкурентоспособности в течение длительного времени, все активнее обсуждаемая в литературе (см. [62 – 65], а также ссылку в эпиграфе к настоящему дополнению).

Тем не менее японцы придумали простой, но весьма эффективный и оригинальный метод, название которого на русский язык переводится как "структурирование функции качества" [66]. Здесь трудно описать этот интересный метод, предназначенный для выявления фактиче-

ских желаний потенциальных потребителей еще не существующей продукции. На основе такой информации можно дать задания на исследования и разработки, благодаря чему улучшится координация, сократятся сроки разработки новых изделий, повысится их качество.

Таков в общих чертах краткий очерк основных собственных и заимствованных разработок в области достижения и поддержания высокого качества продукции и услуг при постоянном снижении затрат.

Особенности книги. Эта книга написана коллективом авторов в составе: Йосинори Иизука, Такенори Такахаси, Масахико Мунетика, Сейдзиро Осимура. Все авторы – видные японские специалисты в области приложений статистических методов контроля качества. Научный редактор книги, а также автор предисловия, любезно написанного специально для советского издания, глав 8, 10 и эпилога – профессор Токийского университета Хитоси Кумэ. Выпускник этого, одного из самых престижных в стране, учебного заведения, химик по образованию, Хитоси Кумэ в 1965 г. защитил докторскую диссертацию и стал признанным не только в Японии, но и во всем мире специалистом в области управления качеством. Им написано много книг и статей, он читает лекции и ведет семинары, с 1960 г. консультирует разные фирмы по вопросам совершенствования систем управления качеством. В последние годы Хитоси Кумэ возглавляет японскую делегацию, участвующую в работе технического комитета № 176 "Управление качеством и его обеспечение" Международной организации по стандартизации. Этот комитет разрабатывает международные стандарты по системам управления качеством и руководства по их внедрению в промышленность и сферу обслуживания.

Данная книга, – так сказать, "выездная модель", ибо

она предназначена для обучения иностранцев, т.е. людей воспитанных в иных культурных традициях, чем японская. Авторы добросовестно пытались, и часто весьма успешно, учесть все мыслимые культурные различия. Можно думать, что они при этом руководствовались мудростью, которая очень давно была сформулирована в индийском трактате "Дхаммапада": "Несделанное лучше плохо сделанного; ведь плохо сделанное потом мучит. Но лучше сделанного хорошо сделанное, ибо, сделав его, не испытываешь сожаления" [67]. Авторы могут не испытывать сожаления.

И все-таки, читая книгу, полезно постоянно помнить о японской специфике. Например, как вы считаете, каким должен быть читатель? Нет, не в смысле исходных знаний, а с точки зрения моральных качеств? Вам кажется, что это не относится к делу? А вот в Японии есть такая известная дзенская сентенция (дзен – это религиозная буддийская секта, довольно широко распространенная в Японии): "В руках хорошего человека плохой метод становится хорошим, а в руках плохого человека и хороший метод плох" (цит. по [68]). Но этого мало. Предполагается, что читатель еще должен руководствоваться такой максимой: "... ничего не пропускать, довольствоваться малым, не ждать случая, не стремиться к великому и терпеливо наблюдать повседневность" (цит. по [69]). И конечно же, читатель должен страстно любить учебу. Ведь трактат Конфуция начинается мыслью: "Учиться и при том все время упражняться в усвоенном – разве это не одна из радостей?" (цит. по [70]). Вот еще несколько высказываний Конфуция по поводу обучения: "Кто постигает новое, лелея старое, тот может быть учителем" [57]; "Учиться и не размышлять – напрасно тратить время, размышлять и не учиться – губительно" [71]; "Нестрадающих не просвещают, непоколебимых не учат" [57]; "Учись, словно

не можешь обрести и будто опасаясь утратить" [57]; "Я днями целыми не ел и ночи напролет не спал – всё думал. Но напрасно. Полезнее учиться" [57].

Может быть, надо объяснить, почему, говоря о японских традициях, мы цитируем китайские и даже индийские тексты. Дело в том, что японская культура устроена точно так же, как и японский контроль качества: в ней много заимствований, но все они переосмыслены в соответствии с местными представлениями. Так, главная религия – буддизм – зародилась в Индии, а в Японию пришла через Китай и Корею. Важную роль играет доктрина конфуцианства, пришедшая в Японию из Китая. Есть и собственная религия – синтоизм, которая, впрочем, сильно переплетена с китайским даосизмом. Все это образует весьма сложное переплетение, которое к тому же не остается постоянным во времени. Надо отметить, что со времен немецкого социолога М.Вебера (первая четверть XX в.) предпринимаются систематические попытки связать успехи промышленности с характером религиозно-этнических процессов, протекающих в обществе. Например, Вебер считал, что современный капитализм в Европе в значительной степени обязан своим появлением протестантизму (одно из христианских вероучений). Многие западные и японские исследователи [72] связывают нынешние достижения Японии с конфуцианством и буддизмом. В подтверждение своих рассуждений они часто приводят ссылку на "четыре маленьких азиатских дракона". Имеются в виду Южная Корея, Тайвань, Гонконг и Сингапур. В ближайшее время к ним может присоединиться и Таиланд. Феномен бурного экономического развития этих стран действительно заслуживает серьезного внимания. Достаточно сказать, что южнокорейские автомобили уже начинают теснить японские на американском

рынке. Ничего похожего нет, например, в странах, исповедующих ислам, несмотря на их сказочные нефтяные богатства. Конечно, в подобных оценках важно проявлять сдержанность. Но вместе с тем ясно, что пренебрегать факторами такого рода, значит, заблуждаться.

Вернемся, однако, к нашей книге. Серьезная проблема, возникающая перед читателем, связана с концепцией детерминизма, пронизывающей европейскую культуру и приводящей к принципу причинности. На Востоке приняты иные представления [73]. Так, например, согласно учению буддийской школы Кэгон мир предстает в образе огромной сети, в которой сверкают драгоценные камни; каждый камень отражает все и отражается во всем. Этот образ обусловлен буддийским постулатом об ассоциативной, внепричинной связи между вещами [69].

А вот что говорит на этот счет знаменитый трактат "Чжуан-цзы" [71]: «Полутень спросила у Тени: "Раньше ты двигалась, теперь ты остановилась; раньше ты сидела, теперь ты встала. Откуда такое непостоянство поведения?" Тень ответила: "А может я поступаю так в зависимости от чего-либо? А может то, в зависимости от чего я так поступаю, зависит от чего-то еще? А может я завишу от чешуйки на брюхе змеи или от крыльев цикады? Как знать, почему это так, как знать, почему это не так?" >>.

В таких системах представлений исчезают причины и следствия, важное и второстепенное, да и сама возможность познания, выявления истины оказывается под вопросом. Как же быть? Для преодоления этих очевидных трудностей на Востоке возникло представление о познании через озарение, на внелогическом и даже невербальном уровне. Но чтобы желанное озарение наступило, требуется неустанная, каждодневная, рутинная, познавательная работа. Наши семь простых методов – это и есть

инструменты такого познания. Нелегко привыкнуть к подобным рассуждениям. Вот как реагирует на них американец К.Г.Юнг (цит. по [73]): "То, что мы называем случайностью, для этого своеобразного мышления является, судя по всему, главным принципом, а то, что мы превозносим как причинность, не имеет почти никакого значения... Их, видимо, интересует сама конфигурация случайных событий в момент наблюдения, и вовсе не гипотетические причины, которые якобы обусловили случайность".

Отсюда характерный подход к самому процессу познания и к оценкам его результатов. Описывая этот процесс, Чжу Си в комментарии к "Великому Учению" пишет (цит. по [73]): "Чтобы создать в себе знание, следует проникнуть к вещи и постигнуть ее закон. Ибо у человека есть духовное знание его сердца, у вещей Поднебесной – их закон... Когда усилия будут приложены в течение долгого времени, в один прекрасный день все в вещах – их лицевая сторона и обратная, тонкое в них и грубое – всё, как озаренное светом, станет ясным для нашего сердца и в своей сущности... и в своём проявлении".

Вот еще Чэн И-чуань (цит. по [73]): "Приведение же своих мыслей к истине состоит в познании вещей. В каждой вещи есть ее закон. Необходимо проникнуть в этот закон... Познать вещи – что же это значит? Нужно познать все вещи? Или же познание одной вещи дает знание всех законов? ...Как можно познать все? Познаешь сегодня одно, завтра – другое, и, когда накопленное знание будет достаточно велико, сразу проникнешь во всё". И снова обратимся к "Чжуан-цзы" (цит. по [73]): «"Незнание глубже, а знание мельче, – ответило Безначальное. – Незнание – внутреннее, а знание – внешнее". И тут Великая Чистота со вздохом сказала: "Тогда незнание – это знание? А знание – незнание? Но кто же познает знание незнания?" ».

Внешность обманчива. К поверхностному впечатлению надо относиться очень осторожно. Но вместе с тем [68]: "Не будь обманчивой видимости, было бы невозможно искать правду".

Именно такие рассуждения привели нас к мысли о том, что название схемы Исикава, часто интерпретируемое по-русски как "диаграмма причин и следствий" или "причинно-следственная диаграмма", лучше переводить как-то иначе. После долгих размышлений мы остановились на варианте "диаграмма причин и результатов". Это, конечно, палиатив. Но, может быть, это поможет читателю помнить, какие представления изначально заложены в методологию авторов.

Теперь представьте себе, что каждый цех, каждый участок превращены в арену каждодневного поиска истины и что семь простых методов – главный рабочий инструмент. Ясно, что в таком случае нельзя жалеть время и силы для его досконального изучения, в чем и призвана помочь данная книга.

Кроме стремления к максимально возможной простоте, характерного для большинства японских методов, их объединяет еще и стремление к наглядности и визуализации результатов. Можно полагать, что, с одной стороны, это связано с общемировым процессом увеличения роли знаковой информации, нашедшим отражение во многих направлениях современного искусства, например в сюрреализме, но, с другой стороны, – это проявление особенностей иероглифической системы письма, принятой на Дальнем Востоке. Вот аргумент в пользу этого тезиса, взятый из работы [18], в которой уделено большое внимание знаковым проблемам: "Особый склад мышления, который вырисовывается из характера знаков-образов языка искусства, находится в связи и с естественным

языком. В японском языке, как и в китайском, нет различия между единственным и множественным числом, не существует категории рода, у глаголов отсутствуют категории лица и числа. Идеографический характер иероглифической письменности наделяет каждый знак своим собственным смыслом, он может семантически восприниматься и вне контекста. Знак всегда оставался самим собой и вместе с тем весь растворялся в общем нерасчлененном единстве. ...всякий знак выражает больше, чем непосредственно представляет. ...знак в естественном пределе означает все, что есть" [18].

Во всяком случае мы надеемся, что вам удалось оценить ясность и удобство тех графических представлений, с которыми вы встретились в книге.

Любопытно, что визуализации в значительной мере способствуют персональные компьютеры, созданием и внедрением которых в Японии, как известно, энергично занимаются [74].

На этом можно было бы закончить обсуждение особенностей книги, если бы не эпилог. Многочисленные высказывания восточных мыслителей, которые мы цитировали, должны помочь вам воспринять этот текст во всей полноте. Но все-таки хотелось бы сделать еще несколько замечаний.

Прежде всего эпилог написан ритмической прозой, характерной для древних восточных философских текстов, что предполагает медитативный характер чтения, т.е. медленное погружение в него и систематическое обдумывание с разных точек зрения. Это ведь напутствие читателю, закончившему первое знакомство с мощным инструментом познания – семью простыми методами статистического контроля качества. И главная мысль эпилога вполне ясна – призыв к неустанному творчеству. А

что значит творчество? Это выход за круг обыденного, озарение. "На свете нет ничего очевиднее, и поэтому это очень трудно увидеть" [68].

Эпизод со слонем напоминает довольно плоский анекдот, но на самом деле – это старая китайская притча, а фраза об историях, которые люди часто рассказывают друг другу, перекликается с тем, что писал Кэнко-хоси (цит. по [73]): "...рассказы низкородных людей особенно насыщены поражающими слух происшествиями. Мудрый человек удивительных историй не рассказывает".

По поводу черного и белого Т.П.Григорьева [73] говорит так: "Можно сказать: белое или черное – европейская модель, белое станет черным – китайская модель, белое и есть черное – индийская модель". Завершающий эпизод, описывающий подъем в гору, традиционен в восточной культуре. Вот несколько высказываний: "Лишь пожив внизу, узнаешь, как опасно карабкаться наверх"; "Когда восходишь на высоты, на сердце становится легко" [68].

Заключение. Вклад Японии в копилку мирового опыта научно-технического прогресса быстро возрастает. Вместе с тем переводов японских работ у нас в стране выходит явно недостаточно. Да и среди выходящих книг о Японии преобладают переводы с английского. Другая особенность отечественных публикаций – анализ с "высоты птичьего полета" – на макроэкономическом уровне. Конечно, такой анализ совершенно необходим. Но наиболее практически важная часть японского опыта – конкретные процедуры и здесь пока делается совсем мало. Вот несколько недавних примеров [75 – 77]. Публикация данной книги – попытка начать движение в этом важном направлении.

Читатель, приступая к чтению этой книги, может вообще ничего не знать о контроле качества. Но если он будет

иметь некоторое представление об отдельных методах, то, возможно, его задача облегчится. Поэтому в дополнение к многочисленным ссылкам укажем еще несколько работ: [78, 85] – фундаментальный справочник; [79] – элементарное введение; [80] – начальный курс теории и приложений контрольных карт с большой дополнительной библиографией по разным аспектам контроля качества; [81; 82; 86–88] – последние публикации.

Проблема качества – кардинальная проблема нашего народного хозяйства. Нет качества без управления качеством. Таков вывод современной практики во всем мире. В нашей стране предпринимались многолетние усилия, направленные на достижение высокого качества продукции. Однако приходится признать, что в целом они пока не дали желаемых результатов. Над этим важно немедленно задуматься. Как говорил Конфуций: “Когда не ведают далеких дум, то не избегнут близких огорчений” [57].

Нам представляется, что широкое внедрение в практику семи простых методов – необходимое условие быстрого прогресса. Этот шаг не требует сколько-нибудь значительных затрат, если только не считать организации широкомасштабного обучения рабочих и специалистов. Обучение и организация производства, включая систему стимулирования, – ключевые моменты. Недавно в цехах одной из американских фирм появился лозунг: “Высокое качество создают люди высоких качеств”. Давайте на этом и закончим.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Ishikawa K. Guide to Quality Control. – Second rev. ed. – N.Y., Tokyo: Asian Productivity Organization, UNIPUB, 1982.
2. Ishikawa K. What is total quality control? The Japanese way// Trans. by David J. Lu. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, Inc., 1985. Русский перевод: Исикава Каору. Японские методы управления качеством. – М.: Экономика, 1988.
3. Борхес Х. Л. Тлён, Укбар, Orbis Tertius//Х.Л.Борхес. Проза разных лет/Пер. с исп. – М.: Радуга, 1984.
4. Михайлова Ю. Д. Мотоори Норинага. Жизнь и творчество. – М.: Наука, 1988.
5. Потулова В. В. Качество – путь к внешнему рынку: Опыт промышленных фирм Японии. – М.: Изд-во стандартов, 1970.
6. Потулова В. В. Методы обеспечения качества продукции в Японии. – М.: Изд-во стандартов, 1970.
7. Саката Сиро. Практическое руководство по управлению качеством/Пер. с яп.; Под ред. В.И.Гостева. – М.: Машиностроение, 1980.
8. Основные методы работы группы качества//Стандарты и качество. – 1988. – № 8. – С. 92 – 98.
9. Макино Т., Охаси М., Докэ Х., Макино К. Управление качеством с помощью персонального компьютера/Пер. с яп.; Под ред. Ю.П.Адлера. – М.: Машиностроение, 1990.
10. Курицин А. Н. Управление в Японии. Организация и методы. – М.: Наука, 1981.
11. Пронников В. А., Ладанов И. Д. Японцы (этнопсихологические очерки). – 2-е изд. – М.: Наука, 1985.
12. Пронников В. А., Ладанов И. Д. Управление персоналом в Японии: Очерки. – М.: Наука, 1989.

13. Коно Т. Стратегия и структура японских предприятий/Пер. с англ.; Под ред. О.С.Виханского. – М.: Прогресс, 1987.
14. Шонбергер Р. Японские методы управления производством. Девять простых уроков/Пер. с англ.; Под ред. Л.А.Коняревой. – М.: Экономика, 1988.
15. Дийков С. А. Управление качеством продукции в Японии//Приложение к бюллетеню иностранной коммерческой информации. – 1987. – № 9. – С. 2 – 24.
16. Спандарьян В. Б., Спандарьян М. В. Автомобильная промышленность Японии. – М.: Наука, 1989.
17. Детский сад в Японии. Опыт развития детей в группе/Пер. с яп.; Под общ. ред. В.Т.Нанивской. – М.: Прогресс, 1987.
18. Штейнер Е. С. Иккю Содзюн. – М.: Наука, 1987.
19. Белобрагин В. Я., Павлов Л. И. Основа успеха – неформальный подход//Стандарты и качество. – 1988. – № 8. – С. 55 – 60.
20. Уайт Д. Д., Беднар Д. Э. Поиск проблем и кружок качества//Методы снижения издержек производства/Под ред. Б.И.Майданчика, Г.В.Сергеева. – М.: Экономика, 1987. – С. 36 – 42.
21. Палачев Е. М., Крылова Г. Д. Некоторые аспекты управления качеством продукции в Китайской Народной Республике//Научные и организационные основы обеспечения качества и конкурентоспособности экспортной продукции. – М.: Торгово-промышленная палата СССР. – Вып. 2. – Секция по вопросам качества экспортной продукции, 1988. – С. 37 – 43.
22. Цзе К. К. Методы эффективной торговли. Опыт "Лучшей торговой фирмы года"/Пер. с англ. – М.: Экономика, 1988.
23. Kozor W. R. Beyond the QC Circle. – ASQC Quality Congress Transactions, 1982.
24. Беркович Д. М. Формирование науки управления производством: Краткий исторический очерк. – М.: Наука, 1973.
25. Joiner B. L. The Key Role of Statisticians in the Transformation of North American Industry//The American Statistician, 1985. – V. 39. – N 3. – P. 224 – 227.

26. Deming W. E. Some Theory of Sampling. – N.Y.: Dover Publ., Inc. – 1950 (ed. 1966).
27. Исикава К. Джуран Какэсэ // Хинсицу канри. – 1966. – V. 6. – № 1. – P. 1 – 4 (яп.).
28. Фейгенбаум А. Контроль качества продукции / Пер. с англ.; Под ред. А. В. Гличева. – М.: Экономика, 1986.
29. Box G. E. P., Draper N. R. Evolutionary Operation. – N.Y.: J. Willey, 1969.
30. Box G. E. P., Hunter W. G., Hunter J. S. Statistics for Experimenters – N.Y.: J. Willey, 1978.
31. Горский В. Г., Адлер Ю. П. Планирование эксперимента в системах контроля качества // Надежность и контроль качества. – 1971. – № 6. – С. 46 – 59.
32. Горский В. Г., Адлер Ю. П. Планирование промышленных экспериментов. (Модели статистики). – М.: Металлургия, 1974.
33. Адлер Ю. П., Лисенков А. Н. Оптимизация производственных химико-технологических процессов методами планирования эксперимента // Журнал ВХО им. Д. И. Менделеева. – 1980. – Т. 25. – № 1. – С. 35 – 45.
34. Ли Т. Г., Адамс Г. Э., Гейнз У. М. Управление процессами с помощью вычислительных машин: Моделирование и оптимизация / Пер. с англ.; Под ред. В. И. Мудрова. – М.: Советское радио, 1972.
35. Адлер Ю. П. Статистический контроль – условие совершенствования качества продукции. (О методах Г. Тагути и их применении) // Автомобильная промышленность США. – 1987. – № 11. – С. 30 – 38.
36. Адлер Ю. П. Новое направление в статистическом контроле качества – методы Тагути. – М.: Знание, 1988.
37. Cole R. E. Common misconceptions of Japanese QC Circles. – A SQC Quality Congress Transactions, 1981.
38. Deming W. E. The Statistical Control of Quality (interview) // Quality. – 1980. – V. 9. – N 2. – P. 38 – 41.
39. Vogel E. F. Japan as N 1. – Cambridge, Ma.: MIT, 1979. – P. 9.
40. Hoffer E. The Ordeal of Change. – Perennial Library, Harper and Row. – P. 3.

41. Juran J. M. Product quality – a prescription for the West//Management Review. – June 1981. – P. 9, 10.
42. Main J. The Battle for Quality Begins//Fortune. – 1980. – Dec. 29. – P. 28.
43. Чумаченко Н. Г. Статистико-математические методы анализа в управлении производством США. – М.: Статистика, 1973.
44. Конарева Л. А. Управление качеством продукции в промышленности США. – М.: Наука, 1977.
45. Горфан К. Л., Модин А. А., Прохожев А. А. Применение ЭВМ в управлении (опыт Японии). – М.: Экономика, 1972.
46. Куру С. Конец японского "экономического чуда"/Пер. с яп.; Под ред. Я.П.Повзнера. – М.: Прогресс, 1981.
47. Мильнер Б. З., Олейник И. С., Рогинко С. А. Японский парадокс. (Реальность и противоречия капиталистического управления.) – М.: Мысль, 1985.
48. Моритани М. Современная технология и экономическое развитие Японии/Пер. с англ.; Под ред. В.К.Зайцева. – М.: Экономика, 1986.
49. Макмиллан Ч. Японская промышленная система/Пер. с англ.; Под ред. О.С.Виханского. – М.: Прогресс, 1988.
50. Денисов Ю. Д. Основные направления научно-технического прогресса в современной Японии. – М.: Наука, 1987.
51. Конарева Л. А. Управление качеством продукции и освоение передовой технологии (опыт США и Японии)//ЭКО. – 1988. – № 1. – С. 155 – 170.
52. Рогинко С. А. Качество – два подхода. Опыт Японии и США// Политическое образование. – 1988. – № 7. – С. 61 – 67.
53. Noguchi J. JUSE role in Japanese QC. – World Quality Congress Proceedings. – 1984. – V. 1. – P. 48 – 52.
54. Naoto Sasaki. Quality in Japan//Quality. – 1980. – July. – P. 25.
55. Hutchins D. Just in Time. – Aldershot: Gower Technical Press, 1988.
56. Jafri S. Q. Skip parts continuous sampling plans for Kanban (Just-in-Time) environment with 3 dimension decision criteria. – EOQC 32d Annual Conference, Moscow, 13 – 17 June, 1988. – С. 5.2.

57. Семененко И. И. Афоризмы Конфуция. – М.: МГУ, 1987.
58. Nayatani Y. Seven Management Tools for QC//Rep. Stat. App. Res. JUSE. – 1986. – V. 33. – N 2. – P. 1 – 6.
59. Адлер Ю. П. Управление качеством: Статистический подход. – М.: Знание, 1979.
60. Dillon W. R., Madden T. J., Firtle N. H. Marketing research in a marketing environment. – St. Louis, Toronto, Santa Clara: Times Mirror/Mosby College Publ. – 1987.
61. Котляр Ф. Основы маркетинга/Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1990.
62. Питерс Т., Уотермен Р. В поисках эффективного управления (опыт лучших компаний)/Пер. с англ.; Под ред. Л. И. Евенко. – М.: Прогресс, 1986.
63. Фостер Р. Обновление производства: атакующие выигрывают/Пер. с англ.; Под ред. В. И. Данилова-Данильяна. – М.: Прогресс, 1987.
64. Ансофф И. Стратегическое управление/Пер. с англ.; Под ред. Л. И. Евенко. – М.: Экономика, 1989.
65. Твисс Б. Управление научно-техническими нововведениями/Пер. с англ.; Под ред. К. Ф. Пузыни. – М.: Экономика, 1989.
66. Макэлрой Дж. Структурирование функции качества в автомобильной промышленности//Автомобильная промышленность США. – 1989. – № 1. – С. 17 – 19.
67. Дхаммапада/Пер. с пали. – М.: Изд-во Восточной литературы, 1960.
68. Афоризмы старого Китая/Пер. с кит. – М.: Наука, 1988.
69. Пронников В. А. Икэбана, или Вселенная, запечатленная в цветке. – М.: Наука, 1985.
70. Алексеев В. М. Китайская литература. Избранные труды. – М.: Наука, 1978. – С. 429 – 498.
71. Древнекитайская философия. Собрание текстов в двух томах. – М.: Мысль, 1972. – Т. 1.
72. Митио Морисима. Капитализм по Конфуцию//Курьер ЮНЕСКО. – 1988. – № 1. – С. 34 – 37.
73. Григорьева Т. П. Японская художественная традиция. – М.: Наука, 1979.

74. ЭВМ пятого поколения. Концепции, проблемы, перспективы/Под ред. Т.Мото-ока/Пер. с англ.; Под ред. А.А.Рывкина, В.М.Савинкова. – М.: Финансы и статистика, 1984.
75. Гибкие производственные системы Японии/Пер. с яп.; Под ред. Л.Ю.Лищинского. – М.: Машиностроение, 1987.
76. Оокоси Т. Оптоэлектроника и оптическая связь/Пер. с яп.; Под ред. М.И.Беловолова. – М.: Мир, 1988.
77. Хасэгава Х. Мир компьютеров в вопросах и ответах. В двух книгах/Пер. с яп. – М.: Мир, 1988.
78. Шиндовский Э., Шюрц О. Статистические методы управления качеством. Контрольные карты и планы контроля/Пер. с нем. – Мир, 1976.
79. Адлер Ю.П., Розовский Б.Л. Оперативное статистическое управление качеством. – М.: Знание, 1984.
80. Мердок Дж. Контрольные карты/Пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1986.
81. Фридлендер И.Г., Жученко Э.И. Управляющий контроль качества продукции на рабочих местах. – М.: Машиностроение, 1988.
82. Статистические методы контроля качества продукции/П.Наулер, Дж.Хауэлл, Б.Голд, Э.Коуллезн, О.Моун, В.Ноулер/Пер. с англ.; Под ред. А.М.Бендерского. – 2-е изд. – М.: Изд-во стандартов, 1989.
83. Монден Я. "Тоёта": методы эффективного управления/Сокр. пер. с англ.; Под ред. А.Р.Бенедиктова, В.В.Мотылева. – М.: Экономика, 1989.
84. Как работают японские предприятия/Под ред. Я.Мондена, Р.Сибикавы, С.Такаянаги, Т.Нагао/Пер. с англ. – М.: Экономика, 1989.
85. Banks J. Principles of Quality Control. – New York a.o.: J.Wiley. – XXX + 634 p.
86. Катеман Г., Пийперс Ф.В. Контроль качества химического анализа/Пер. с англ.; Под ред. Ю.А.Карпова. – Челябинск: Металлургия, 1989.

87. Синк Д. С. Управление производительностью: планирование, измерение и оценка, контроль и повышение/Пер. с англ.; Общ. ред. и вст. ст. В.И. Данилова-Данильяна. – М.: Прогресс, 1989.
88. Тацуно Ш. Стратегия – технополисы/Пер. с англ.; Общ. ред. В.И. Данилова-Данильяна. – М.: Прогресс, 1989.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

А

- Аддитивность дисперсий (additivity of variances)
- Анализ Парето (Pareto analysis)
- Анализ процесса (process analysis)
- Альтернативная гипотеза (альтернатива) (alternative hypothesis)

В

- Вариация (variation)
- Вариация внутри подгруппы (within-subgroup variation)
- Вариация между подгруппами (between-subgroup variation)
- Верхний контрольный предел (upper control limit)
- Воспроизводимость процесса (process capability)
- Выборка (sample)
- Выборочное среднее (sample mean)

Г

- Генеральная совокупность, популяция (population)
- Гипотеза (hypothesis)
- Гистограмма (histogram)
- Граница класса (class boundary)

Д

- Данные (data)
- Двусторонний критерий (two-sided test)
- Действие (action)
- Дефект (defect)
- Диагноз процесса (diagnosis of process)
- Диаграмма Парето (Pareto diagram)
- Диаграмма причин и результатов, схема Исикава, "рыбий скелет" (cause-and-effect diagram)
- Дисперсия (variance)
- Доверительный интервал (confidence interval)
- Доверительный предел (confidence limit)
- Доверительный уровень (confidence level)
- Допуск (specification)

И

- Индекс воспроизводимости процесса (process capability index)
- Интервал класса (class interval)
- Интервальная оценка (interval estimate)

К

- Контроль, проверка (check)
- Контролируемая характеристика (control characteristic)
- Контролируемое состояние (controlled state)
- Контрольная карта (control chart)

Контрольная линия (control line)
Контрольный листок (check sheet)
Контрольные пределы (control limits)
Корреляция (correlation)
Корреляционный анализ (correlation analysis)
Коэффициент корреляции (correlation coefficient)
Коэффициент регрессии (regression coefficient)

Л

Линия регрессии (regression line)
Ложная корреляция (false correlation)

М

Математическое ожидание, ожидаемое значение (expectation)
Метод наименьших квадратов (least squares method)
Мозговой штурм, метод мозгового штурма (brain-storming)
Мощность критерия (power of test)

Н

Наблюдение (observation)
Независимо, независимый (independent)
Несмещенный оценщик (unbiased estimator)
Нижний контрольный предел (lower control limit)

- Нормальное распределение (normal distribution)
Нормирование, стандартизация (standardization)
Нормированное нормальное распределение (standard normal distribution)
Нулевая гипотеза, нуль-гипотеза (null hypothesis)

О

- Область отбрасывания (rejection region)
Область принятия (acceptance region)
Объясняющая переменная (explanatory variable)
Односторонний критерий (one-side test)
Опыт, прогон (run)
Отклик, зависимая переменная (response variable)
Оценивание (estimation)
Ошибка второго рода (error of the second kind)
Ошибка первого рода (error of the first kind)

П

- Подгруппа (subgroup)
Правило 3-сигма (3-sigma rule)
Принцип Парето (principle of Pareto)
Причина изменения (chance cause)
Проверка гипотезы (test of hypothesis)
Процентная точка (percentage point)

Р

- Размах (range)
- Распределение (distribution)
- Распределение t Стьюдента, t -распределение (t -distribution)
- Расслаивание, стратификация (stratification)
- Регрессионный анализ (regression analysis)
- "Рыбий скелет" (fishbone diagram)

С

- Слой, страта (strata)
- Случайная величина (random variable)
- Случайный выбор, случайный отбор (random sampling)
- Случайная выборка (random sample)
- Среднее, среднее арифметическое (mean)
- Средняя точка класса, середина класса (mid-point of class)
- Стандартное отклонение, квадратичное отклонение (standard deviation)
- Статистика (функция от результатов наблюдений) (statistic)
- Статистический контроль качества (statistical quality control)
- Степень свободы (degree of freedom)

Т

- Таблица нормального распределения (normal distribution table)

Таблица частот (frequency table)
Точечная диаграмма, поле корреляции,
диаграмма разброса (scatter diagram)
Точечная оценка (point estimate)

У

Уровень значимости (significance level)
Управление процессом (process control)

Ц

Центральная линия (central line)
Центральная предельная теорема (central
limit theorem)
С-карта (*c* chart)
Р-карта (*p* chart)
рп-карта (*pn* chart)
и-карта (*u* chart)
(*x - R*)-карта (*x - R* chart)
х-карта (*x* chart)

УКАЗАТЕЛЬ ИМЕН

Джуран Дж. М. (Juran, J.M.)	36
Исикава К. (Ishikawa, Каогу)	44
Лоренц М. (Lorenz, M.C.)	36
Осборн А. (Osborn, A.F.)	49
Парето В. (Pareto, V.)	36
Шухарт У. (Shewhart, W.A.)	112

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие автора к русскому изданию	5
Рекомендация	14
Глава 1. ВВЕДЕНИЕ.	17
1.1. Роль статистических методов в управлении производственными процессами.	17
Глава 2. КАК ПОЛУЧАТЬ ИНФОРМАЦИЮ	24
2.1. Как собирать данные.	24
2.2. Контрольные листки	27
Глава 3. АНАЛИЗ ПАРЕТО	36
3.1. Что такое диаграммы Парето?	36
3.2. Как построить диаграммы Парето?	37
3.3. Диаграммы Парето по результатам деятельности и по причинам.	41
3.4. Некоторые соображения о диаграммах Парето	42
Глава 4. ДИАГРАММЫ ПРИЧИН И РЕЗУЛЬТАТОВ	44
4.1. Что такое диаграммы причин и результатов?	44
4.2. Как построить диаграмму причин и результатов?	45
4.3. Некоторые соображения о диаграммах причин и результатов	50
4.4. Диаграммы Парето и диаграммы причин и результатов. .	52
Глава 5. ГИСТОГРАММЫ	57
5.1. Распределения и гистограммы	57
5.2. Как строить гистограммы?	60
5.3. Как читать гистограммы?	68
5.4. Меры, представляющие характеристики распределений .	73
5.5. Нормальное распределение и его характеристики	79
Глава 6. ДИАГРАММЫ РАССЕИВАНИЯ	87
6.1. Что такое диаграммы рассеивания?	87
6.2. Как построить диаграмму рассеивания?	88
6.3. Как читать диаграммы рассеивания?	91

6.4. Вычисление коэффициентов корреляции	94
6.5. Некоторые соображения о корреляционном анализе	97
6.6. Что такое регрессионный анализ?	103
6.7. Оценивание линии регрессии	105
6.8. Некоторые соображения о регрессионном анализе	108
Глава 7. КОНТРОЛЬНЫЕ КАРТЫ	112
7.1. Что такое контрольные карты?	112
7.2. Типы контрольных карт	114
7.3. Как строить контрольные карты?	117
7.4. Как читать контрольные карты?	126
7.5. Анализ процесса с помощью контрольных карт	129
7.6. Пример анализа процесса	137
7.7. Управление процессом с помощью контрольных карт	160
Глава 8. АДДИТИВНОСТЬ ДИСПЕРСИЙ	170
8.1. Средние и дисперсии сумм	170
8.2. Точность сборки деталей	172
8.3. Теоретические формулы	175
8.4. Математическое ожидание и дисперсия выборочных средних	176
8.5. Ошибка выборки и ошибка измерения	176
8.6. Дисперсия функций	178
8.7. Когда случайные величины не независимы	179
8.8. Избранные комбинации	181
8.9. Статистический контроль качества	182
Глава 9. ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ СТАТИСТИЧЕСКОГО ВЫВОДА ...	185
9.1. Статистика как функция от результатов наблюдений	185
9.2. Распределение статистики	186
9.3. Проверка гипотез	197
9.4. Оценивание параметров	205
9.5. Проверка гипотез и оценивание генеральных средних, когда σ неизвестна	207
9.6. Проверка гипотез и оценивание различий между двумя генеральными средними	210
9.7. Проверки гипотез и оценивание для парных наблюдений	213
9.8. Критерии значимости для коэффициента корреляции	217

Глава 10. ЗАМКНУТЫЙ ЦИКЛ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ.	221
10.1. Поиск проблемы.	222
10.2. Наблюдения.	225
10.3. Анализ.	228
10.4. Проведение мероприятий.	233
10.5. Проверка.	235
10.6. Стандартизация.	236
10.7. Окончание работы.	238
Эпилог.	240
Приложения	
Таблица А.1. Таблицы нормального распределения.	242
Таблица А.2. Коэффициенты для контрольных карт $\bar{x} - R$	244
Таблица А.3. Процентные точки для t -распределения.	245
Ответы к упражнениям.	246
Ю. П. Адлер, Л. А. Конарева. Дополнение к переводу.	261
Библиография.	285
Словарь терминов.	292
Указатель имен.	298

Научное издание

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА**

Под редакцией Х. Кумэ

*Книга одобрена на объединенном заседании редколлегий серий
"Математико-статистические методы за рубежом" и "Библиотечка
иностранных книг для экономистов и статистиков" 15. 12. 88.*

Зав. редакцией К. В. Коробов

Редактор О. А. Ермилина

Мл. редактор Т. Т. Гришкова

Худож. редактор Ю. И. Артюхов

Технический редактор Г. А. Полякова

Корректоры

Г. В. Хлопцева, М. М. Виноградова, М. А. Синяговская

Оформление художника Е. К. Самойлова

Набрано на "Типотайпере"

оператором И. В. Витте

ИБ № 2426

Подписано в печать 12.07.90.

Формат 70x100 1/32. Бум. офсетная №1. Гарнитура "Универс"
Печать офсетная. Усл.п.л. 12,35 Усл.кр.-отт. 25,03 Уч.изд.л. 12,02
Тираж 14000 экз. Заказ 1119. Цена 1 руб. 20 коп.

Издательство "Финансы и статистика",
101000 Москва, ул. Чернышевского, 7.

Отпечатано в типографии им. Котлякова
издательства "Финансы и статистика"
Государственного комитета СССР по печати
195273. Ленинград, ул. Руставели, 13

