

Информационная теория качества

А. А. МИРОНОВ

кандидат диссертационного совета ВИНТИ,
Москва, Россия

В настоящее время весьма большое внимание уделяется качеству. Говорят о качестве товаров, услуг, о качестве продукции, обслуживания, о качестве целых систем — образования, здравоохранения, жизнеобеспечения, защиты и т. д. Говорят, наконец, о качестве жизни.

ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ

Будем говорить о качестве объектов. Объектами O_1, O_2, \dots, O_j могут быть предметы, процессы. Они обладают характеристиками, принимающими некоторые значения.

Например, в качестве объектов (предметов) можно рассматривать какие-либо электробытовые приборы, транспортные средства, скажем, автомобили.

У них есть характеристики — некоторые технико-экономические, эргономические, эстетические и другие характеристики.

В качестве объекта-процесса можно рассмотреть некоторую услугу, например "стрижка мужская простая". Этой услуге имеется некоторое количество характеристик. Это, допустим, "длина волос на затылке (тоже на висках и других областях головы) после окончания стрижки", "стоимость услуги", "длительность выполнения услуги".

Можно предположить, что качество определяется совокупностью значений выделенных характеристик $\{X(i)\}_j$. Тогда качество можно оценивать сравнением характеристик той совокупности с желательным уровнем качества.

Возможно, что не все характеристики определяют качество. Скажем, цвет автомобиля может не входить в перечень выделенных характеристик, а "гарантированный пробег (тысячи километров) до капитального ремонта", условно, входит в этот перечень. Тот же цвет может входить в выделенные характеристики электроприбора, а "защита от перенапряжения в сети (в вольтах)" является важной характеристикой качества.

В качестве выделенной характеристики упомянутой услуги может фигурировать "густота волос после стрижки на (затылке, висках и т. д.)" — эта "густота" не может превышать некоторый уровень при высоком качестве услуги.

Такое сравнение имеет место при выполнении любого акта контроля, независимо от того, качество либо какие-то другие свойства объекта проверяются. Если проверяются значения характеристик из $\{X(i)\}_j$, то реализуется контроль качества.

Естественно стремление сделать уровень качества более высоким, во всяком случае выше некоторого предельного уровня. Желательный (предельный) уровень качества не является абсолютным, он может меняться в зависимости от условий места и времени, от того, на каком этапе своего жизненного цикла находится объект. Этапов, естественно, три: создание, использование (эксплуатация), утилизация.

Упомянутый "цвет изделия" вдруг под воздействием моды может сделаться одной из характеристик, определяющих качество. Поэтому не всегда при проектировании известен тот "дизайн" изделия, который будет востребован потребителем.

На каждом из этапов жизненного цикла возникают специфические отношения объекта с внешней средой, которые реализуются путем взаимодействия с пользователями. Пользователями на этапе создания являются элементы внешней среды, принимающие участие в технологическом процессе производства объекта, на этапе эксплуатации — элементы внешней среды, для взаимодействия с которыми объект создан (а также элементы, поддерживающие его рабочее состояние), на этапе утилизации — элементы среды, возможно, несколько не сходные с пользователями первых этапов, но принимающие участие в процессе уничтожения объекта.

Пользователей второго этапа — (эксплуатации) можно разбить на два класса. Первый класс это потребители, а второй — элементы (люди и приборы) технического обслуживания.

Пользователи третьего этапа — например, владельцы "автосвала", операторы прессов для автомобилей, металлурги, использующие результаты прессования в качестве металлолома.

В услуге "стрижка мужская простая" потребителем, осуществляющим эксплуатацию результатов услуги, является человек, которого постригли. Парикмахер является пользователем этапа производства. А третьего этапа — утилизации, возможно, вовсе нет для услуги "стрижка мужская простая" (она бессмертна!).

Заметим, что множества выделенных характеристик $\{X(i)\}_1$ для второго $\{X(i)\}_2$ и третьего $\{X(i)\}_3$ этапов могут быть совершенно разными, т. е. не иметь общих элементов. Тогда пересечение $\{X(i)\}_2$ и $\{X(i)\}_3$ пусто.

Из числа пользователей можно выделить конечных пользователей — таких, для которых предназначен объект. Они осуществляют второй этап — эксплуатацию (собственно использование объекта O_j).

Конечные пользователи это и есть потребители.

Зачастую конечным пользователям сами по себе значения характеристик качества, выделенных для этапа эксплуатации — $\{X(i)\}_2$, могут не представлять интереса. Для них важно, как реализуется эксплуатация объекта. Она может остановиться, либо выйти за пределы установленной оптимальности. Среди причин этого могут быть как неприемлемое качество O_j , так и нарушение правил эксплуатации

или возникновение обстоятельств непреодолимой силы. Конечный пользователь не всегда может определить, вследствие какой из возможных причин нарушена нормальная эксплуатация O_j . Для этого привлекают других пользователей, которые способны определить причину этого.

Владельцу автомобиля может быть совершенно неинтересно, каково значение характеристики "гарантированный пробег до капитального ремонта". В особенности тогда, когда он меняет "морально устаревший" автомобиль на новый раньше, чем достигнуто это значение.

У потребителя могут возникнуть сбои в процессе эксплуатации, как по причине низкого качества объекта, так и вследствие нарушения правил эксплуатации, например из-за использования некачественного горючего, вследствие дорожно-транспортного происшествия.

Точно также владельцу электроприбора неинтересно, каков конкретный уровень электрической защиты, лишь бы он был уверен в безопасности прибора, при условии, конечно, что пользователь не будет делать попыток включить его в линию высокого напряжения (слава Богу, обычно недоступную рядовым пользователям).

Постриженному человеку может быть неинтересно, понизил ли парикмахер густоту волос на затылке до нужной величины и какова она, лишь бы его устраивал собственный вид.

Точно также для пользователей третьего этапа жизненного цикла важно, реализуется ли процесс утилизации объекта, который при теперешнем экологическом контроле не должен выходить за установленные пределы по причине неправильных значений из $\{X(i)\}_{j3}$.

Поэтому значения характеристик из $\{X(i)\}_{j2}$ и $\{X(i)\}_{j3}$ представляют наибольший интерес для пользователей, принимающих участие в создании O_j , так как в результате их деятельности обеспечиваются эти значения. Однако вследствие сложной структуры процесса создания и постепенности возникновения характеристик из $\{X(i)\}_{j2}$ и $\{X(i)\}_{j3}$, появляются многочисленные особенности, собственно и определяющие получение требуемого качества.

Иными словами, наборы характеристик, определяющие качество, есть те ориентиры, к которым должны стремиться производители.

Прежде чем перейти непосредственно к рассмотрению получения $\{X(i)\}_{j2}$ и $\{X(i)\}_{j3}$, определим более четко участие пользователей в жизни объекта O_j .

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ДЕЙСТВИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Будем считать, что любому из пользователей — A_k поставлена в соответствие некоторая память — P_k , состоящая из ячеек — $\{P_{kh}\}$. Из этих ячеек пользователь, в частности, получает информацию об объекте и вводит в них управляющие воздействия. Очевидно, что имеет место предположение дискретности поступающей информации и управляющих воздействий. Обычно любые непрерывные сигналы и управляющие воздействия подвергаются дискретизации, а при использовании цифровых элементов (или даже процессоров целиком) дискретное (цифровое) представление становится обязательным.

Для потребителя — водителя автомобиля установлена вполне определенная память. В ней есть ячейки вывода информации и ввода управляющих воздействий. Это различные индикаторы, педали, рычаги и др. Для пользователя-пассажира существует другая память (ручки дверей, положение стекол и кресла, ремни безопасности).

У пользователя электробытовых приборов также есть некоторая память — клавиши управления, вилка подключения к сети, емкости для загрузки исходных материалов и извлечения результата работы прибора.

Для парикмахера голова клиента имеет несколько зон. Их можно условно считать более или менее изолированными ячейками.

Пользователь имеет возможность выполнять операции из установленного для него перечня операций. Эти операции выполняются пользователем вполне самостоятельно по его усмотрению.

Элементарной операцией $V_{[k, \{m\}]n}$ — пользователя A_k будем называть операцию, которая:

- входит в число элементарных операций заданных для A_k ;
- имеет исходные данные, заданные в ячейках $\{m\}$, входящих в $\{P_{kh}\}$;
- имеет результат, образующийся в одной, отдельно взятой ячейке p из $\{P_{kh}\}$;
- не может быть разбита на элементарные операции, подчиняющиеся трем предыдущим условиям.

Заметим, что согласно этому определению в ячейках может быть не только информация. Исходными данными могут быть какие-либо физические объекты. В качестве результатов — также объекты, полученные путем выполнения операции.

Для пользователя — водителя автомобиля установлены элементарные операции. Их достаточно много, они служат для управления автомобилем, создания комфортных условий, обеспечивают включение объекта в рабочий режим и выхода из него, загрузку расходных материалов и другое. Для пользователя-пассажира также имеются некоторые элементарные операции, обеспечивающие посадку в автомобиль и выход из него, безопасность и комфорт.

Точно также для пользователя — потребителя электробытового прибора установлены элементарные операции, описанные обычно в прилагаемой инструкции.

Элементарные операции клиента парикмахерской довольно просты и заключаются в указаниях, какого рода технологический процесс он желает привести в действие ("стрижка простая", "стрижка модельная") в обозревании результата и в оплате.

Элементарные операции парикмахера заключаются в обработке зон (условно — ячеек) головы клиента. Последовательность их применения регулируется традицией выполнения технологического процесса, опытом исполнителя, возможно — его художественной фантазией.

В соответствии с приведенным определением при выполнении пользователем действия, вызывающего изменение нескольких ячеек, исполняется несколько элементарных операций. Будем говорить, что в этом случае выполняется команда — комплекс элементарных операций.

Примером команды, которую может выполнить пользователь — водитель автомобиля, может служить выключение ключа зажигания. Это вызывает одновременное выполнение операций прекращения действия всех ранее запущенных в работу агрегатов (двигатель, освещение, отопление и т. д.).

Если парикмахер перед стрижкой моет голову клиента, то выполняется команда одновременного изменения состояния всех зон (ячеек) его головы.

В зависимости от этапа жизненного цикла можно говорить об элементарных операциях процесса производства (технологических), об элементарных операциях эксплуатации (использования по назначению, осмотра, ремонта), об элементарных операциях утилизации объекта.

СПЕЦИАЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Расширим память пользователя, включая в нее ячейку которой фиксируются факты нарушений процессов (прецедента или выхода из оптимальных пределов). В эту ячейку записываются результаты дополнительных элементарных операций $W_{[k, \{m\}r]}$, определяющих факты нарушений процессов.

Для каждой операции $V_{[k, \{m\}n]}$ имеется соответствующая ей операция $W_{[k, \{m\}r]}$, выполняющаяся одновременно с $V_{[k, \{m\}n]}$. Операции $\{W_{[k, \{m\}r]}\}$ будем называть сопутствующими операциями контроля качества. Будем также считать, что ячейка r имеет группы позиций, в которых отождаются причины нарушения процессов. В дальнейшем будем рассматривать лишь ту группу позиций, в которой фиксируются нарушения, возникающие вследствие неприемлемого качества объекта.

Пользователи-потребители автомобиля контролируют качество, конечно, непрерывно и чаще всего как бы подсознательно и фиксируют лишь "отрицательные" факты. Иногда отсутствие должного качества вызывает раздражение, иногда воспринимается как неизбежное (элементарные операции закрытия и открывания дверей отечественных автомобилей), но бывают и случаи, когда отсутствие должного качества приводит к тяжелым последствиям.

Контроль качества электробытовой техники также имеет место всегда и тоже как бы подсознательно.

Качество стрижки оценивается клиентом по окончании всего процесса — по "приглашению" исполнителя-парикмахера. Иногда предоставляется возможность взглянуть на себя и с обратной стороны с помощью второго зеркала.

Если после окончания всего жизненного цикла объекта оказывается, что множество всех результатов операций соответствующего контроля качества $\{r\}_j$ — пусто, то объект имеет наивысшую степень качества. Действительно, при этом ни в одном случае применения элементарных операций $V_{[k, \{m\}n]}$, из которых слагаются процессы, не зафиксировано ни одного сбоя или отказа операций $\{W_{[k, \{m\}r]}\}$. Здесь уместно отметить, что если имеет место множество одинаковых объектов $\{O_j\}$, и для них все результаты соответствующего контроля качества $\{\{r\}_j\}$ — пусты, то при достаточно большом количестве элементов в $\{O_j\}$ принято считать, что произвольный объект типа O_j (в том числе и не принадлежащий в $\{O_j\}$) с высокой вероятностью обладает наивысшей степенью качества.

На этом основаны целые системы оценки и сравнения качества продукции в целых отраслях промышленности (автомобильной, электротехнической, радиоэлектронной и др.). Для получения достоверных данных о качестве своей продукции (и продукции конкурентов) фирмы создают системы мониторинга, учитывающие все факты нарушений в процессе эксплуатации.

Для конечного пользователя, взаимодействующего с конкретным O_j , важно, чтобы была пуста та часть множества

$\{r\}_j$, которая содержит результаты сопутствующего контроля качества, образующиеся в процессе эксплуатации (а для экологов — в процессе утилизации). Нередко этим категориям пользователей безразлично, каким качеством первоначально обладали составные части и весь объект O_j в целом в процессе производства и были ли достигнуты значения характеристик из $\{X(i)\}_{j2}$ (и $\{X(i)\}_{j3}$). Главное — какие результаты заполнения подмножеств ячеек из $\{r\}_j$, предназначенных для фиксации качества в процессах эксплуатации и утилизации.

Возможны случаи, когда при невысокой вероятности получения качественного изделия (результаты мониторинга не подтверждают высокое качество изделий этого типа), конкретный пользователь-потребитель приобрел конкретное изделие, ни разу не проявившее себя как некачественное. Это результат либо случайного отклонения параметров изделия в лучшую сторону, либо использования его в облегченных режимах, когда низкое качество не проявилось.

Возможно и напротив, когда ожидаемое качественное изделие проявляет недостаточный уровень качества в силу случайных отклонений параметров в худшую сторону и эксплуатации в тяжелых режимах.

Это в полной мере относится и к услугам. Парикмахер, имеющий определенную репутацию, может иногда и не подтвердить ее.

Разобьем множество $\{r\}_j$ на подмножества $\{r\}_{ja}$ и $\{r\}_{jb}$, содержащие результаты сопутствующего контроля качества для процессов эксплуатации и утилизации ($\{r\}_{ja}$) и процесса производства ($\{r\}_{jb}$).

Такое разбиение иллюстрируется операциями контроля качества при стрижке. Контроль качества при эксплуатации осуществляет клиент ($\{r\}_{ja}$), а контроль в процессе производства делает парикмахер ($\{r\}_{jb}$).

МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДСТВА

Теперь перейдем к построению модели производства объекта O_j и тех мер, предпринимаемых в процессе производства, которые обеспечивают качество объекта — минимизацию заполнения ячеек подмножества $\{r\}_{ja}$.

Поскольку процесс производства предшествует процессам, заполняющим $\{r\}_{ja}$, для априорного получения требуемого качества O_j как раз и формируют перечень и значения его характеристик $\{X(i)\}_{j2}$ и $\{X(i)\}_{j3}$, которые должны обеспечить минимизацию $\{r\}_{ja}$. Заметим, что не всегда это удается сделать сразу — при первоначальном налаживании процесса производства O_j . Обоснованный перечень и уровень значений для $\{X(i)\}_{j2}$ и $\{X(i)\}_{j3}$ нередко уточняются итерационно, на основании мониторинга величин, формируемых в $\{\{r\}_{ja}\}$ в течение некоторого времени.

Кроме некоторых традиционных характеристик качества автомобиля (наджность, экономичность, безопасность, комфорт, удобство управления и др. — выражаемые количественно набором значений конкретных параметров) могут иметь место характеристики, отражающие вкус и пристрастия пользователей, иногда оправданные условиями эксплуатации (например, климат), иногда диктуемые требованиями моды.

Специфические требования к качеству могут иметь и "вырожденный" характер — их устанавливают, например,

коллекционеры, собирающие старинные изделия, или изделия "под старину".

Характеристики качества услуги "стрижка мужская простая" изменяются с течением времени вместе с изменениями преобладающего стиля. Когда-то в качестве такой стрижки выступал "бокс" или "полубокс", позже "полька". У этих стрижек есть свои параметры по длине волос на разных зонах (по-нашему — ячейках) головы. И качественный "бокс" по этим параметрам довольно экстравагантно отличен от теперешней "стрижки простой мужской".

Степень детализации модели процесса производства, состоящей из пользователей, доступной памяти и элементарных операций, определяется, главным образом, выбираемой структурой доступной памяти пользователей. Если рассматривается память, доступная лишь на верхнем уровне управления производством, то состав пользователей состоит из менеджеров этого уровня. Если это память, доступная на уровне управления производственным подразделением, то и пользователями являются соответствующие управленцы. В том же случае, когда рассматривается память, в которой отображаются процессы изготовления комплектующих объекта O_j , сборки его узлов и всего объекта в целом, то в качестве пользователей выступает персонал вместе с используемым оборудованием и автоматические устройства, осуществляющие эти процессы.

Если имеет место память, с которой работают менеджеры, координирующие взаимодействие цехов (заводов), изготавливающих агрегаты автомобиля, то и элементарные операции представляют собой загрузку выходных "ворот" цеха (завода) по содержимому его входных "ворот". Технологический процесс в рамках этих операций представляет собой передачу агрегатов из цеха в цех и обеспечение сборки каждого из агрегатов путем снабжения комплектующими. Внутренняя структура операции создания агрегата в цехе не рассматривается, так как не рассматривается внутренняя память цеха.

Существуют способы представления технологических процессов производства в виде графов, отображающих как последовательность, так и одновременность выполнения производственных операций. При построении модели производства примем такой граф за основу. По этому графу построим доступную память. В соответствии с построенной памятью формируется перечень пользователей и их элементарных операций.

Можно определить содержательно некоторые правила, по которым строится память пользователей.

- Для каждого узла определяется выходная ячейка и совокупность входных ячеек.
- Для каждого разветвления формируется перечень выходных ячеек и входные ячейки.
- На всех линейных участках, разбитых на производственные операции, формируются входные и выходные ячейки для каждой такой операции.

В соответствии с этими правилами есть некоторые особенности построения системы элементарных операций.

- Каждому узлу соответствует одна элементарная операция.
- Каждому разветвлению соответствует комплекс элементарных операций, содержащих столько тождественных элементарных операций, сколько выходных ветвей в разветвлении.
- Каждой производственной операции из линейного участка соответствует элементарная операция.

Примером простейшей элементарной операции может служить выполнение соединения двух деталей болтом с гайкой. Она отображает узел, входными данными (ветвями) которого являются: первая соединяемая деталь, вторая соединяемая деталь, болт, гайка. Результат операции — соединение двух деталей.

Далее, пусть имеется автоматическая линия, производящая болты. Они используются при выполнении элементарных операций в разных местах технологического процесса. В графе процесса имеет место разветвление. Автоматическая линия выполняет столько тождественных элементарных операций, сколько болтов передается в другие элементарные операции.

Разветвление может иметь место и тогда, когда в результате элементарной операции получена некоторая масса материала, разделяемая между элементарными операциями, для которых этот материал является исходным при получении результата. Здесь представление всей массы материала как совокупности результатов нескольких тождественных элементарных операций является условным (здесь в реальности разделение массы на результаты нескольких операций может иметь смысл, если в ней допущена существенная неоднородность).

Возможно, что "стрижка простая мужская" представляет собой один линейный участок, в котором парикмахер стандартно повторяет цепь элементарных операций, отличающихся между собой обрабатываемыми ячейками (зонами головы) и используемым инструментом. Однако чаще этот процесс носит итерационный характер, при котором мастер возвращается к уже выполненным операциям, корректируя ранее полученный результат для достижения нужного качества.

Элементарные операции $V_{[k, \{m\}]n}$ закрепляются за пользователями A_k , участвующими в производственном процессе.

ОПЕРАЦИИ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА

Одновременно с операциями $V_{[k, \{m\}]n}$ выполняются операции $W_{[k, \{m\}]r}$, для которых память элементарных операций производственного процесса $\{P_{ki}\}$ расширяется путем включения ячеек $\{r\}_{j\beta}$, в которых отражаются нарушения выполнения процесса производства объекта O_j .

Здесь имеет место существенное отличие операций $W_{[k, \{m\}]r}$, формирующих $\{r\}_{j\beta}$ от таких же операций, выполняемых при эксплуатации и утилизации объекта O_j , и формирующих состояние ячеек $\{r\}_{j\alpha}$. Если в $\{r\}_{j\alpha}$ отражается качество O_j , то в $\{r\}_{j\beta}$ — нарушение процесса производства, когда O_j еще не существует. Если $\{r\}_{j\beta}$ не пусто, то вовсе не обязательно, что объект O_j будет иметь недостаточное качество, так как сбой или отказ в процессе производства может быть устранен и не повлияет на качество O_j .

Иными словами, неправильность в исполнении некоторой элементарной операции $V_{[k, \{m\}]n}$, обнаруженная сопутствующей операцией $W_{[k, \{m\}]r}$ и приведшая к непустому $\{r\}_{j\beta}$, не всегда вызывает непосредственное изменение характеристик $\{X(i)\}_{j2}$ и $\{X(i)\}_{j3}$, которые делают объект O_j некачественным. Это весьма вероятно, когда элементарная операция $V_{[k, \{m\}]n}$ входит в состав некоторых финальных операций $\{V_{[k, \{m\}]nf}\}$, влияющих непосредственно на элементы $\{X(i)\}_{j2}$ и $\{X(i)\}_{j3}$. Для операций, не являющихся финальными, имеет

место влияние на $\{X(i)\}_{j2}$ и $\{X(i)\}_{j3}$, когда результат операции создания детали или узла объекта O_j является не просто существенным аргументом для $\{X(i)\}_{j2}$ и $\{X(i)\}_{j3}$, но и таким, что его влияние не "маскируется" до получения O_j .

Пусть изготовлено колесо, в котором отсутствуют отверстия для прохождения крепежных болтов. Это нарушение приведет к невозможности выполнения технологического процесса, начиная с той элементарной операции сборки автомобиля, в которой крепится колесо. Отсутствии отверстий должно фиксироваться сопутствующей операцией $W_{[k, \{m\}]r}$.

Если же у колеса все отверстия имеются, но в нем смещен центр (имеется значительный эксцентриситет), то это никак не может помешать выполнению технологического процесса и не будет фиксироваться операцией $W_{[k, \{m\}]r}$.

Если при штамповке пластмассового корпуса телефонного аппарата не проделаны отверстия для дальнейшего крепления к нему комплектующих деталей, то это должно фиксировать операцию $W_{[k, \{m\}]r}$. Но если при штамповке не возникло вспомогательное отверстие для крепления телефона на стену (используемого, обычно, в настольном варианте), то это на технологический процесс не повлияет и не фиксируется операцией $W_{[k, \{m\}]r}$.

При выполнении услуги "стрижка..." операция типа $W_{[k, \{m\}]r}$ вряд ли может применяться. Можно придумать "вырожденный" случай, когда стрижку выполняет практикант, который настолько "запорол" обработку некоторой зоны головы, что вместо "стрижки простой мужской", исполнение которой сделалось невозможным, клиент счел за благо постричься "наголо".

ЧАСТИЧНЫЕ ОБЪЕКТЫ И ЭТАЛОНЫ

Детализируя технологический процесс производства объекта O_j , введем в рассмотрение **частичные объекты** O_t . Они являются результатами $V_{[k, \{m\}]n}$ — тех элементарных операций процесса производства, при которых образуются комплектующие изделия и узлы объекта O_j . Эти операции не входят в число финальных операций.

Для каждого частичного объекта O_t , образованного с помощью $V_{[k, \{m\}]n}$, установлен перечень характеристик $\{X(i)\}_t$, являющихся существенными аргументами для $\{X(i)\}_{j2}$ и $\{X(i)\}_{j3}$. Значения $\{X(i)\}_t$ не должны выходить из заданных пределов. Если это имеет место, то при производстве объекта O_t обеспечивается качество объекта O_j , разумеется, в той его части, которая зависит от O_t — изделия или узла объекта O_j , входящего в его комплектацию.

Для каждой из операций $V_{[k, \{m\}]n}$ имеет место сопутствующая ей операция $W_{[k, \{m\}]n}$, которая определяет, не возникает ли в результате выполнения $V_{[k, \{m\}]n}$ нарушения технологического процесса, и формирует непустые значения в ячейках $\{r\}_{j2}$.

При достаточно высоком технологическом уровне эти требования соблюдаются. Однако все множества операций $W_{[k, \{m\}]r}$ и $W_{[k, \{m\}]n}$ контролируют лишь исполнение технологического процесса и могут не влиять на качество объекта O_j .

Поэтому предпринимаются специальные меры обеспечения качества финального изделия O_j в процессе его производства. Это достигается системой контроля качества.

При контроле производится сравнение с некоторым эталоном.

Для каждого из объектов (финального — O_j или частичного — O_t) имеются эталоны. Эталон не обязательно должен быть физически реализован. Обычно эталон представляет собой информационную модель. Формы представления моделей могут быть разными: в графическом виде (чертежи, схемы), в виде таблиц со значениями параметров $\{X(i)\}_j$ или $\{X(i)\}_t$, с помощью содержательных описаний режимов функционирования объектов O_j или O_t и, наконец, в виде программных моделей функционирования этих объектов.

Общеизвестно, что в машиностроении основным способом описания объектов являются чертежи, которые выполняются по определенным правилам, обеспечивающим однозначное понимание изображений. На чертежах указаны все размеры, допустимые отклонения от них, материалы частичных объектов (деталей), соединения их между собой. Эталоном являются идеальные объекты, не имеющие каких-либо отклонений от чертежа.

Для материалов нередко эталоны выражены в виде химических формул, в виде изображений структуры смесей из разных компонентов и т. д.

Нередко эталоны "подкрепляются" изображением общего вида финального изделия. В случае стрижки обций вид и является эталоном (с учетом, обычно, весьма неплотной внешности фотомодели).

Будем различать два типа эталонов, существующих для каждого O_j и O_t . С помощью эталонов первого типа отображается структура финального — O_j или частичного — O_t объектов. С помощью эталонов второго типа отображаются режимы функционирования O_j и O_t . Под структурой объекта понимается его состав (комплектация), соединения частей между собой, размеры и др. Под отображением режимов функционирования понимается описание порядка эксплуатации, предельно допустимых значений динамических параметров, порядок перехода из одного режима в другой и др.

Приведенные примеры (чертежи, формулы, внешний вид финального изделия, фотография модели) являются эталонами, отображающими структуру объектов.

ОПЕРАЦИИ СПЕЦИАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Для каждой операции из $\{V_{[k, \{m\}]n}r\}$ и $\{V_{[k, \{m\}]n}t\}$ вводятся две параллельные операции $Q_{[k, \{m\}]n}X$ и $Q_{[k, \{m\}]n}Y$ контроля качества результата этой операции.

Операции $Q_{[k, \{m\}]n}X$ осуществляют сравнение структуры результатов операций из $\{V_{[k, \{m\}]n}r\}$ и $\{V_{[k, \{m\}]n}t\}$ — (O_j или O_t) — с эталонами и называются операциями **логического контроля**.

Всякий внешний осмотр, проверка комплектации изделия, осмотр внутреннего устройства через предусмотренные дверцы, люки и т. д. являются операциями логического контроля.

Операции $Q_{[k, \{m\}]n}Y$ сравнивают с эталонами режимы функционирования объекта O_j или O_t (результаты операций из $\{V_{[k, \{m\}]n}r\}$ и $\{V_{[k, \{m\}]n}t\}$) и называются операциями **режимного контроля**.

Включение двигателя автомобиля есть операция режимного контроля. Пробный выстрел из произведенного экземпляра оружия, испытательный полет самолета, проверка ракетного двигателя на стенде, пробное включение

прибора в электросеть в магазине — все это операции режимного контроля.

Нередко при выполнении операции логического контроля — $Q_{[k, \{m\}n]X}$ сравниваются с эталонами значения тех из характеристик $\{X(i)\}_t$ частичного O_t или $\{X(i)\}_j$ финального объекта O_j , для определения которых не требуется реализация какого-либо из режимов функционирования объекта O_j . Это характеристики $\{X(i)\}_{tXlog}$ и $\{X(i)\}_{jXlog}$. Однако в ряде случаев характеристики структуры объекта O_j или O_t невозможно определить, не выполняя некоторый минимальный набор режимов функционирования объектов O_j или O_t . Это характеристики $\{X(i)\}_{tXwork}$ и $\{X(i)\}_{jXwork}$. Соответственно, будем считать, что операция $Q_{[k, \{m\}n]X}$ может состоять из двух частей $Q_{[k, \{m\}n]Xlog}$ и $Q_{[k, \{m\}n]Xwork}$.

Упомянутые операции внешнего осмотра есть операции из $Q_{[k, \{m\}n]Xlog}$. В качестве простых примеров операций из $Q_{[k, \{m\}n]Xwork}$ можно привести проверку (в магазине) целостности нити лампы накаливания подачи напряжения ниже номинала или обмотки насоса кратковременным включением в сеть без погружения в воду. Операции из $Q_{[k, \{m\}n]Xwork}$ могут быть существенно более сложными. Например, для проверок целостности структур интегральных схем (кристаллов) используются специальные испытательные стенды. С помощью этих стендов подаются комбинации входных сигналов, гарантирующие полную проверку всех внутренних логических элементов, хотя, возможно, эти комбинации не возникнут в процессе реальной эксплуатации.

При выполнении операций $Q_{[k, \{m\}n]Y}$ всегда реализуются режимы функционирования объектов.

Иными словами, операции $Q_{[k, \{m\}n]X}$ ($Q_{[k, \{m\}n]Xlog}$ и $Q_{[k, \{m\}n]Xwork}$ — совместно) проверяют целостность объекта. Этот контроль “отвечает” лишь за совпадение структуры объекта с заданной (с эталоном), но не за функционирование объекта.

Операции $Q_{[k, \{m\}n]Y}$, напротив, “отвечают” за функционирование объекта, но не за его структуру.

Возможны случаи, когда структура правильная, но объект неверно работает и, наоборот, при правильной работе объекта его структура не соответствует эталону.

РЕАЛИЗАЦИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ КОНТРОЛЯ

Обычно реализация $Q_{[k, \{m\}n]Xlog}$ — той части операции $Q_{[k, \{m\}n]X}$, которая проверяет значения характеристик $\{X(i)\}_{tXlog}$ и $\{X(i)\}_{jXlog}$, осуществляется теми же пользователями, которые выполняют операции $\{V_{[k, \{m\}n]f}\}$ и $\{V_{[k, \{m\}n]t}\}$, формирующие объекты O_j и O_t . (Эти же пользователи реализуют операции $W_{[k, \{m\}n]f}$ и $W_{[k, \{m\}n]t}$, проверяющие возникновение нарушений технологического процесса.) Иными словами, “штатным” алгоритмом выполнения операций $\{V_{[k, \{m\}n]f}\}$ и $\{V_{[k, \{m\}n]t}\}$ (и оборудованием для его реализации) обычно предусматриваются проверки структуры результата, равно как и возможность продолжения технологического процесса. В этом есть сходство операций логического контроля с операциями проверки возможности реализации технологического процесса — $W_{[k, \{m\}n]f}$ ($W_{[k, \{m\}n]t}$).

Вместе с этим, в ряде случаев и для контроля структуры применяют как дополнительное оборудование, так и специальных пользователей, и даже целые коллективы, занимающиеся контролем структуры объектов-результатов. Это осо-

бенно характерно для производств с “итерационным” характером (химических, металлургических), когда процесс корректируется по результатам анализов, выполняемых специальными лабораториями. Однако такие коллективы пользователей можно считать элементами регулирования технологического процесса, осуществляющими обратную связь, без которой нельзя получить объект с требуемой структурой (не смотря на названия коллективов, в которых нередко упоминается слово “контроль”).

Для организации проверки режимов функционирования O_j или O_t операциями $Q_{[k, \{m\}n]Xwork}$ в части контроля характеристик $\{X(i)\}_{tXwork}$ и $\{X(i)\}_{jXwork}$ и операциями режимного контроля $Q_{[k, \{m\}n]Y}$ необходимы дополнительные алгоритмы и, как правило, дополнительное оборудование. С помощью оборудования и алгоритмов обеспечивается имитация внешней среды по отношению к O_j и O_t , без чего обычно нельзя реализовать режимы их работы. В связи с этим нередко приходится дополнительно вводить новых пользователей специально для реализации операций $Q_{[k, \{m\}n]Xwork}$ и $Q_{[k, \{m\}n]Y}$, которые используют указанное дополнительное оборудование.

Для проверки структуры, естественно, используются произведенные в технологическом процессе объекты O_j и O_t . Однако для контроля режимов функционирования недостаточно располагать только объектами O_j и O_t .

При выполнении операции режимного контроля — $Q_{[k, \{m\}n]Y}$ проверяются значения тех из характеристик частичного O_t или финального объекта O_j , для определения которых требуется реализация какого-либо из режимов функционирования объекта O_j . В качестве таких характеристик обычно выступают параметры нормальных режимов функционирования. Кроме нормальных могут задаваться параметры неких “допустимых” режимов, при которых объект должен функционировать в течение определенного времени.

Если операцией $Q_{[k, \{m\}n]Y}$ контролируются нормальные режимы, то обычно “ресурс” объекта заметно не уменьшается и в процессе контроля можно использовать полученные в технологическом процессе объекты O_j и O_t . Однако для оценки качества существенно больший интерес представляет проверка допустимых режимов и, более того, проверка “предельных” режимов — тех границ значений параметров, при которых возникают необратимые изменения объектов O_j и O_t . Граничные значения параметров характеризуют “запас” надежности объектов O_j и O_t при работе в экстремальных условиях.

Естественно, если проверки в допустимых режимах все же возможны (ценой некоторого уменьшения ресурса O_j и O_t), то если проверять все произведенные объекты на предельные режимы, то выход продукции будет равен нулю.

Установилась практика, когда вместо совокупностей однотипных финальных $\{O_j\}$ или частичных $\{O_t\}$ объектов производятся совокупности, содержащие большее число таких объектов. Обозначим эти совокупности: $\{O_j + q_j\}$ и $\{O_t + q_t\}$. Для реализации технологического процесса используются “основные” части совокупностей $\{O_j\}$ и $\{O_t\}$, а “дополнительные” их части $\{q_j\}$ и $\{q_t\}$ используются для реализации проверок “представителей” объектов типа O_j и O_t во всех возможных режимах, включая “предельные”.

Если элементы $\{q_j\}$ и $\{q_t\}$ “выдерживают испытания” путем выполнения над ними достаточного числа операций $Q_{[k, \{m\}n]Y}$, то полагают, что и объекты из $\{O_j\}$ и $\{O_t\}$ удовлетворяют условиям режимного контроля. Вопрос о соотношении количеств элементов в основных ($\{O_j\}$; $\{O_t\}$) и дополнительных ($\{q_j\}$; $\{q_t\}$) частях совокупностей решается специально в каждом конкретном случае с помощью соответствующих методик.

Можно привести множество самых разных примеров реализации испытаний объектов в самых разнообразных тяжелых режимах, вплоть до разрушающих. Для электроаппаратуры это — повышение напряжения вплоть до возникновения необратимых повреждений (пробой, обжиг, оплавление вольтовой дуги и т. д.); для автомобилей — использование специальных трасс и полигонов, позволяющих оценить надежность и безопасность вплоть до разрушения образцов при столкновении с препятствиями; для баллонов, труб, котлов — повышение давления вплоть до предельного и т. д.

ОЦЕНКИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Рассмотрим технологический процесс F производства объекта O_j .

Предположим, что T — общее число всех характеристик объектов O_j и O_t , выход значений которых из установленных пределов приводит к нарушению технологического процесса F . Обозначим через P ту часть из T , которая фиксируется операциями $\{W_{[k,(m)]n}f\}$ и $\{W_{[k,(m)]n}t\}$.

Тогда

$$V = P/T \quad (1)$$

характеризует долю предусмотренных фиксаций нарушений технологического процесса F от всех возможных. Назовем отношение V реактивностью контроля над технологическим процессом F .

Предположим теперь, что N — общее число всех характеристик объектов O_j и O_t , выход значений которых из установленных пределов является нарушениями структуры этих объектов. Обозначим через M ту часть из N , которая фиксируется тем реализованным множеством операций $\{Q_{[k,(m)]n}x\}$ логического контроля, сопровождающих операции $\{V_{[k,(m)]n}f\}$ и $\{V_{[k,(m)]n}t\}$ получения O_j и O_t .

Тогда

$$L = M/N \quad (2)$$

характеризует долю отклонений структур финального и частичных объектов, фиксируемых операциями логического контроля качества от всех возможных отклонений. Назовем отношение L логической полнотой охвата правильности структуры объекта O_j .

Предположим теперь, что H — общее число режимов работы объектов O_j и O_t , проверка которых обеспечивает требуемый уровень вероятности качественного функционирования O_j . Обозначим через S ту часть из H , которая фиксируется тем реализованным множеством операций $\{Q_{[k,(m)]n}y\}$ режимного контроля, которые сопровождают операции $\{V_{[k,(m)]n}f\}$ и $\{V_{[k,(m)]n}t\}$ получения $O_j + c_j$ и $O_t + c_t$.

Тогда

$$R = S/H \quad (3)$$

характеризует долю режимов работы, проверенных операциями режимного контроля качества от всех режимов работы, которые следует проверить. Назовем R режимной глубиной контроля качества объекта O_j .

Введем также величину

$$E = LR \quad (4)$$

и назовем ее эффективностью контроля качества объекта O_j .

Эффективность контроля E характеризует соответствие как структуры, так и функционирования объекта O_j эталонам, безотносительно к тому, сколько и какие нарушения технологического процесса F возникали в процессе производства O_j . Эта характеристика отражает интересы конечных пользователей.

Для производителя, кроме этого, может представить интерес полная эффективность контроля качества, определяемая формулой (5)

$$E = BLR. \quad (5)$$

Можно дать следующую содержательную интерпретацию элементов формулы (5):

- если преследуется цель получить приемлемое значение только характеристики B , то реализуется стратегия “лишь бы собрать” выпускаемую продукцию;
- если преследуется цель получения только приемлемого значения L , то реализуется стратегия “лишь бы продать (сдать)” продукцию;
- если преследуется цель получения приемлемого значения $E=LR$, то имеет место стратегия выпуска качественной продукции;
- если же стремятся получить приемлемое значение E , то реализуется стратегия выпуска качественной продукции с оперативной реакцией на нарушения технологического процесса.

В отношении контроля качества можно сделать два замечания:

1. Технологический процесс является наиболее отработанным (налаженным), когда в процессе выполнения всех перечисленных операций контроля не обнаруживаются нарушения процесса и качества продукции (память результатов этих операций пуста). Однако такая работа возможна лишь на сравнительно небольших отрезках времени, так как неизбежны помехи от внешней среды.

2. В предыдущем изложении говорилось лишь о контроле на выходе операций, а возможности входного контроля не затрагивались. Мы рассматриваем входной контроль как исключение, возникающее либо в случае недоверия к поставщику, либо для организации “ревизорских” проверок достоверности выходного контроля.

Известен Указ Петра Великого относительно качества ружей, производимых на российских заводах. В нем, в частности, сказано:

Дьякам и подьячим ружья проверять и смотром и стрельбою. А два ружья стрелять пока не испортятся.

Рассмотрим приведенные элементы Указа с нашей точки зрения.

Дьяки и подьячие —

Расширение множества пользователей $\{A_k\}$ за счет включения в него элементов (дьяки, подьячие), не принимающих участия в процессе производства, но осуществляющих контроль качества

Ружья проверять и смотром —

Проверка соответствия структуры продукции установленному эталону в целях получения значения $L = 1$

и стрельбою —

Проверка работы продукции в номинальном режиме работы в целях приближения к значению $R = 1$ на множестве всех выпущенных финальных изделий $\{O_j\}$

А два ружья стрелять пока не испортятся

Проверка работы продукции в экстремальном режиме работы (максимальная нагрузка по времени) в целях приближения к значению $R = 1$ на расширении $\{c_j\}$ (два ружья)

Государь зафиксировал точку зрения Заказчика. Дьяки и подьячие, которым адресованы приведенные фразы Указа, в то время играли роль военпредов и должны были стремиться к получению значения эффективности контроля качества $E = 1$.

Характеристика B , связанная с технологическим процессом, в Указе никак не отражена — это дело владельца фабрики.