

У. ЛЕВИНСОН  
Р. РЕРИК



## БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО:

синергетический  
подход  
к сокращению  
потерь

# **Lean Enterprise**

A Synergistic Approach to  
Minimizing Waste

William A. Levinson and  
Raymond A. Rerick

ASQ Quality Press  
Milwaukee, Wisconsin



ДЕЛОВОЕ СОВЕРШЕНСТВО

У. ЛЕВИНСОН,  
Р. РЕРИК

# БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО:

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД  
К СОКРАЩЕНИЮ ПОТЕРЬ



РИА «Стандарты и качество»  
Москва 2007

УДК 658.5



*Библиотека Всероссийской организации качества*

*Серия книг «Деловое совершенство»*

**Левинсон У., Рерик Р.**

Бережливое производство: синергетический подход к сокращению потерь / Пер. с англ. А.Л. Раскина; Под науч. ред. В.В. Брагина. — М.: РИА «Стандарты и качество», 2007. — 272 с., ил. — (Серия «Деловое совершенство»).

ISBN 978-5-94938-051-2

Термин «бережливое производство» (lean production) был введен для обобщения японских производственных методик, позволяющих сокращать затраты труда, времени и пространства наряду с повышением эффективности и минимизацией дефектов производства.

Книга знакомит читателя с методиками и программами, включая управление цепочкой поставок, канбан, кайдзен, пока-ёкэ, целью которых является устранение действий, не приносящих дополнительной ценности для предприятий.

УДК 658.5

Система менеджмента качества РИА  
«Стандарты и качество»  
сертифицирована  
по ГОСТ Р ИСО 9001:2001  
и ИСО 9001:2008.



ISBN 978-5-94938-051-2

© 2002 by ASQ

© РИА «Стандарты и качество», 2007

## **Бережливое предприятие как результат комплексного системного подхода к организации производства**

*«Наступит день, когда некая разумная нация осознает, что благодаря проведению научных исследований в сфере трудовой деятельности она получит индустриальное превосходство над остальным миром. Мы очень надеемся, что такой нацией окажутся жители Соединенных Штатов... Если мы не поторопимся, то это сделают другие народы, и тогда от нашего хваленного прогресса и превосходства останутся одни воспоминания».*

Роберт Т. Кент,  
редактор журнала *Industrial Engineering* —  
из предисл. к кн. Фрэнка Б. Джи́лбрета  
*Motion Study* (1911)

Американские производители последовали советам Р. Кента десятью годами позднее своих японских коллег. Методы научного управления предприятиями, ставшие основой современных способов организации бережливого производства, превратились в начале XX в. в главное средство, с помощью которого США утвердили свое превосходство над Великобританией, державой, опиравшейся на собственную, в то время превосходившую остальные страны индустриальную мощь. В 1910-х гг. США стали самой богатой и промышленно развитой страной мира. Ведущая роль в этом превращении принадлежала корпорации Ford Motor Company и местным поставщикам комплектующих изделий и материалов для автомобильной промышленности. Организация предприятий на основе идей, предвосхитивших современные принципы «точно вовремя» и бережливого производства, позволила Г. Форду написать (Ford, 1930): «Наша задача всегда заключалась в том, чтобы сдерживать рост прибылей, не допуская их чрезмерного увеличения»\*. Применение аналогичных подходов позволило Японии в 1950-х гг. занять второе место среди индустриально развитых мировых держав. Торговая марка «Сделано в Японии», слывшая когда-то эквивалентом дешевой низкосортной продукции, ныне ассоциируется с товарами высочайшего качества и надежности.

Данная книга призвана убедить читателей, что принципы создания бережливого производства и организации бережливых предприятий и в наши дни могут содействовать достижению не менее высоких результатов. Под бережливым производством мы понимаем комплекс взаимно дополняющих и поддерживающих друг друга подходов и методов,

---

\* Чарльз Соренсен (Sorensen, 1956) показал, какие многократные выгоды приобрели миноритарные акционеры, после того как Г. Форд приобрел в конце 1910-х гг. принадлежавшие им активы в компаниях — поставщиках комплектующих изделий и материалов для его собственной корпорации. Рост их капиталов действительно измерялся числами с многими нулями. Например, один доллар, вложенный в акции Ford Motor Company, через шестнадцать лет стоил уже 2500 долл., т. е. годовой прирост стоимости акций компаний составил около 63%, не считая дивидендов, выплаченных за это время акционерам. Сам Г. Форд стал первым долларовым миллиардером в эпоху, когда 1 млрд долл. составлял невообразимо большую сумму.

обеспечивающих наиболее эффективное изготовление продукции или предоставление услуг. Эти подходы и методы могут слегка различаться в зависимости от того, кто и зачем их применяет, но в их основе лежит один и тот же базовый принцип — *необходимость устранения в деятельности предприятия всех непроизводительных расходов и любых действий, не создающих ценность\**. Эта концепция должна быть распространена на весь поток создания ценности или на цепочку поставок продукции, поскольку самое бережливое, но действующее изолированно предприятие не способно раскрыть свой потенциал, если ему приходится взаимодействовать с поставщиками и субподрядчиками, не придерживающимися принципов бережливого производства.

Принцип «точно вовремя» служит важным элементом в наборе инструментов бережливого производства, и в настоящее время существует немало различных приемов внедрения этого принципа в практику работы предприятий. В частности, теория ограничений Э. Голдратта и методология синхронизированного поточного производства направлены на совершенствование фордовских принципов организации массового производства и традиционных систем канбан (kanban). Пятая и седьмая главы книги, посвященные теории ограничений и синхронизированному поточному производству, описывают опыт их применения компанией Fairchild Semiconductor на заводе в г. Маунтинтоп (штат Пенсильвания).

В книге также приведены доказательства того, что принципы «точно вовремя» и организации бережливого производства являются американскими изобретениями. Это не просто интересный факт, заслуживающий обсуждения специалистами-историками, но весомый аргумент в пользу интенсивного применения указанных теорий в процессе управления организационными изменениями на предприятиях США. Те, кто осуществляет подобные перемены в других странах, пользуются неоспоримыми доказательствами преимуществ этих методов (собранными в США, а затем и в Японии), создавая на их основе собственные системы бережливого производства, организованные по принципу «точно вовремя».

## Генри Форд научил японцев строить автомобили

Японцы, позаимствовавшие у США в первой половине XX в. принципы бережливой организации производства, не смогли бы столь успешно действовать на американском рынке автомобилей, если бы вовремя не открыли для себя способы изготовления более качественных и менее дорогих машин. Они научились этому, читая книги Г. Форда и других американских авторов, давно забытых у себя на родине. Шенбергер (Schonberger, 1982) доказал, что японцы сумели для расширения своей доли рынка с пользой применить ставшее классикой высказывание Форда, что он готов «предложить покупателю автомобиль любого цвета, лишь бы этот цвет был черным».

«Они (японские компании) стали промышленными гигантами не потому, что старались предугадать все прихоти покупателей, но благодаря массовому изготовлению очень качественных автомобилей, представляющих ограниченное число модификаций, проникая, таким образом, в те сегменты рынка, которые не удовлетворяли вниманием другие фирмы. Производство дешевой, но высококачественной продукции позволяет предприятию расширять свое присутствие на рынке. В этом состоит кредо Генри Форда».

Корпорация Ford Motor Company начала применять принцип «точно вовремя» в первой половине прошлого века, а все преимущества обеспечения непрерывности производственных

\* Термин «ценность» определяет продукцию, обладающую полезностью для потребителя по характеристикам качества, а также срокам поставки и цене. — *Прим. науч. ред.*

процессов и сокращения объемов запасов очень наглядно доказал еще Форд. «Хотя концептуально принцип “точно вовремя” является вполне естественным для непрерывных производств (где, однако, не всегда реализуется), Форд и его помощники сумели заставить его прекрасно работать в условиях дискретного промышленного производства товаров» (Schonberger, 1986). Известный японский промышленник и основатель компании Toyota Тайити Оно\*, всенело доверявший Форду, позаимствовал его идею\*\*. Это подтверждает Норман Бодек, президент компании Productivity Inc., писавший в свое время:

«Я был среди первых, тех, кто в 1980 году попытался внедрить принцип “точно вовремя” и производственную систему Toyota. Во время одной из ознакомительных поездок в Японию я имел возможность собственными глазами увидеть эту систему в действии, после чего повстречался с ее создателем, г-ном Тайити Оно. Когда наша группа забросала его вопросами о том, на что он опирался, создавая эту систему, г-н Оно рассмеялся и заявил, что он всему научился, штудировав книгу Генри Форда» («Сегодня и завтра», 1926).

Действительно, практически все принципы бережливой организации производства, как они описаны в книге Вумска и Джонса «Бережливое производство», можно обнаружить, читая фордовские «Моя жизнь и мой труд» (1922), «Сегодня и завтра» (1926) и «Двигаясь вперед» (1930). Как утверждает Левинсон (Levinson, 2002), в этих работах представлены практически все основные методы повышения качества и производительности, которые впоследствии приобрели популярность благодаря достижениям японской промышленности, включая такие, как кайдзен (kaizen, непрерывное совершенствование), пока-ёкэ (poka-yoke, защита от оплошностей), муда (muda, способ борьбы с непроизводительными затратами и отходами производства) и мури (muri, методика предупреждения чрезмерной утомляемости работников) и даже элементы системы 5S-CANDO (поддержание чистоты и порядка на рабочих местах).

## Идеи Форда не утратили своей ценности

Хотя некоторые предпосылки принципов создания бережливых предприятий встречаются в работах основоположников научного управления производством, только Форду первым удалось объединить эти идеи в стройную систему, где они дополняют и усиливают друг друга. Исчерпывающее описание опыта Форда содержится в книге Левинсона (Levinson, 2002), составленной на основе упомянутых трудов самого Форда, а также его последователей С. Кроузера и др. Наша работа посвящена проблемам создания бережливого предприятия, включая применение теории ограничений Э. Голдратта и следующих из нее принципов управления синхронизированным поточным производством. Поэтому в ней содержится краткое описание идей Форда, но приводится немало цитат и примеров из его книг, что обусловлено следующими соображениями.

1. Зачастую эти примеры являются наиболее понятными из всех предлагаемых в литературе иллюстраций идей, излагаемых в книге. Форд, начинавший свою карьеру механиком, не получил систематического образования. Будучи самоучкой, он писал

---

\* В Японии принято писать вначале фамилию, а потом имя, например, Оно Тайити или Синго Сигео.

\*\* Смит (Smith, 1998) рассказывает, что Тайити Оно пристально наблюдал за процедурами заказов товаров, принятых в супермаркетах, где работники на складе или продавцы в зале заказывали товар, только обнаружив пустые места на соответствующих полках. Эти наблюдения стали основой для создания систем, основанных на спросе: пустые места на полках «провоцируют» заказы на новые товары.

свои книги, опираясь исключительно на практический опыт или на то, что Масааки Имаи обозначает термином *гемба* (*gemba*)\*. Именно поэтому ему удалось очень лаконично сформулировать принципы бережливого производства, используя терминологию, доступную массовому читателю. В первой главе настоящей работы читатели смогут, в частности, узнать, что в книге «Моя жизнь и мой труд» Форд сумел в одном параграфе изложить все основные идеи принципа «точно вовремя», дополнив их полезными мыслями по поводу организации грузоперевозок.

2. Создание бережливого предприятия связано не просто с внедрением определенного набора приемов и методов организации производства, но также требует радикального изменения корпоративной культуры и вовлеченности в процесс всех работников компании. Те, кто занимается этой работой, должны быть готовы ответить на вопросы сотрудников о том, какую пользу лично им принесут проводимые изменения. Пропаганда новых идей подобно продажам новых товаров должна опираться на примеры их успешного применения, и в этом смысле достижения Форда являются неоспоримыми и беспрецедентными.
- Генри Форд — один из первых в мире миллиардеров-самоучек, а созданное им предприятие коренным образом изменило сложившиеся представления о промышленном производстве. Поэтому мы должны быть благодарны, что он оставил нам в наследство несколько книг, в которых подробно описал, как ему удалось этого добиться.
- В истории промышленности США можно назвать только еще одного предпринимателя, достижения которого по своему историческому значению и масштабам сопоставимы с успехами Форда. Это Билл Гейтс, глава корпорации Microsoft, который сумел превратить персональный компьютер в такой же привычный предмет повседневного обихода, каким Форд несколькими десятилетиями раньше сделал легковой автомобиль.

Положительные результаты, получаемые с помощью бережливой организации производства, служат неоспоримыми аргументами в пользу ее применения в любой стране. Но американское происхождение этой методологии (на чем настаивают авторы данной книги) должно способствовать ее внедрению именно в США. Таким образом, экскурс в историю становится ценным практическим инструментом для изменения сложившихся подходов к управлению производством.

## Обзор содержания книги

Первые пять глав посвящены вопросам бережливой организации производства. В 1-й и 2-й главах утверждается, что достаточно исчерпывающее описание бережливого предприятия и организации производства по принципу «точно вовремя» дал Форд. В 4-й рассмотрены некоторые специальные приемы и методы создания бережливого производства и описана программа их практического внедрения. При этом неоднократно подчеркивается, что большинство указанных методов нужно применять не разрозненно, а в комплексе, чтобы они, дополняя друг друга, усиливали взаимную результативность.

В 1-й главе дано также определение понятия «бережливое предприятие» и подчеркивается важность комплексного применения средств и методов бережливого производства.

---

\* Этот японский термин имеет два значения, в равной мере подходящих к данному контексту. Во-первых, японцы называют *гемба* место действия, где происходят те или иные события, а во-вторых, в литературе по вопросам менеджмента так обозначают совокупность действий и процессов, создающих ценность. — *Прим. пер.*

Далее в ней обосновывается важность сохранения и развития отечественной промышленности для процветания и обеспечения национальной безопасности любого государства, что должно в обязательном порядке учитываться при внедрении любых новых подходов к управлению производством.

Глава 2 знакомит читателя с основными идеями организации производства по принципу «точно вовремя» и создания бережливого предприятия. В ней подчеркивается, что еще Форд наглядно доказал все преимущества сокращения объемов запасов компании, и демонстрируется, каким образом он проводил этот принцип на собственных предприятиях и в рамках всей цепочки поставок.

Глава 3 посвящена основным требованиям к управлению изменениями на предприятии, нацеленными на трансформирование всей корпоративной культуры компании. К их числу относятся обязательная приверженность руководства проводимым реформам, уверенность сотрудников в сохранении за ними рабочих мест и отказ от жесткой специализации, препятствующей проведению необходимых перемен. Идеология бережливого производства должна охватывать все предприятие. Это понятие не следует рассматривать как эвфемизм термина «сокращение размеров предприятия». Создание бережливого предприятия предполагает перераспределение трудовых и иных ресурсов, их переключение с бесполезной работы на виды деятельности, связанные с созданием реальной ценности. Угроза увольнений влечет за собой такое явление, как симуляция занятости (*soldiering*)\*, когда сотрудники стремятся ограничить повышение производительности труда и сопротивляются любым другим усовершенствованиям, в результате которых они могут остаться без работы.

В 4-й главе описаны некоторые специальные приемы и методы создания бережливого производства, обеспечивающие повышение эффективности работы предприятий. В ней также более детально рассмотрена основополагающая для теории бережливого производства концепция трения или, муда. Лишние затраты и непроизводительные операции могут в скрытом виде присутствовать даже в тех работах, которые необходимы для создания ценности. Поэтому главная цель бережливой организации производства состоит в выявлении и устранении любых лишних затрат. В данной главе приведены соответствующие примеры.

Следующие три главы посвящены теории ограничений Э. Голдратта, ее экономическим аспектам и практическим приложениям при создании синхронизированного поточного производства. Теория ограничений указывает причины, по которым основные усилия по совершенствованию производства должны быть сосредоточены на ограничениях производственных процессов. Повышение производительности любых операций помимо ограничивающих производительность процесса нецелесообразно, поскольку оно никак не отражается на работе предприятия в целом. Нежелательно наличие в производственном процессе операций, на которых обработка изделий происходит исключительно партиями, так как это может провоцировать возникновение очередей. Даже в тех случаях, когда такие

\* Вероятно, этот термин обязан своим происхождением наблюдениям за ленивыми солдатами (*soldiers*), искавшими любые способы, чтобы уклониться от работы. Он появился в работах Тейлора, который писал (Taylor, 1911a) о рабочих «...трудившихся в замедленном темпе, но фактически бездельничавших, только обозначая свое присутствие на рабочих местах, что принято называть симуляцией деятельности, или *soldiering*, т. е. маршем на месте». Обучение солдат строевой подготовке, которая в XIX в. стала иметь исключительно формальное, церемониальное значение, предусматривало марш на месте без продвижения вперед. Главная идея такой маршировки, по-видимому, заключалась в придании всему воинскому подразделению единого ритма движений перед совершением следующего маневра. На производстве же подобный марш на месте, т. е. деятельность, не приводящая к полезному результату, всегда означает снижение производительности труда.



операции не оказывают отрицательного влияния на производительность процесса в целом, их наличие увеличивает продолжительность изготовления единицы продукции и затрудняет применение статистических методов управления процессами.

В 5-й главе рассмотрены общие положения теории ограничений и ее экономические аспекты. Согласно этой теории эффективность любого производственного процесса жестко определяется производительностью самого медленного его звена, которое принято называть ограничением этой системы. В данной главе рассмотрены также экономические аспекты теории ограничений, в частности, скрытые издержки, связанные с влиянием ограничений на снижение производительности предприятия и упущенную выгоду\*. В ней показано, что применение различных способов повышения производительности, например всеобщей эксплуатации оборудования (TPM) или системы быстрой его переналадки (SMED), дает наибольший эффект при использовании на операциях, являющихся ограничениями процессов.

В 6-й главе обсуждаются преимущества штучного производства по сравнению с обработкой изделий партиями или сериями, которые является нежелательными по целому ряду причин. В частности, обработка партиями усложняет выполнение графика работ (Joldratt and Cox, 1992). Даже одна очередная партия удлиняет время выполнения заказа на последующем этапе и нарушает ритмичность всего процесса. При этом может происходить снижение качества продукции, поскольку обработка партиями добавляет еще один источник вариаций параметров изделий, усложняя применение статистических методов управления процессами. Подобная обработка иногда препятствует правильной оценке индексов возможностей процессов\*\*, что затрудняет применение методологии «Шесть сигм». Единичное изготовление продукции или выпуск ее малыми партиями практически не оставляет шансов остаться незамеченными существующим проблемам качества и недостаточной производительности процессов.

Глава 7 посвящена синхронизированному поточному производству. В ней описана система управления производством, названная Э. Голдраттом «барабан-буфер-веревка» и служащая основой современной системы управления производством на уже упоминавшемся заводе компании Fairchild Semiconductor. В книгах Форда не разъяснен ряд вопросов, неизбежно возникающих у читателей, знакомых с работой Голдратта и Кокса «Цель». Как известно, сборочные линии на заводах Форда представляли собой отлично сбалансированные системы, ни один их участок не обладал избыточными производственными мощностями, но все они работали почти со 100%-ной загрузкой. Возникает вопрос: каким образом Форду удавалось избежать возникновения гигантских запасов материалов и незавершенной продукции? Один из возможных путей — в *сокращении вариаций времени обработки по-*

\* Бенжамин Франклин в своей книге Poor Richard's Almanac сформулировал концепцию альтернативных или скрытых издержек еще в XVIII в.: «Человек, потерявший время, за которое он мог бы заработать пять сантимов, поступил столь же безрассудно, как если бы он просто бросил эти пять сантимов в реку. Он не только потерял эти пять сантимов, но также утратил все прочие преимущества, которые он мог бы получить, пустив их в дело в юности, что принесло бы ему полный кошелёк в старости».

\*\* Индексы возможности процессов характеризуют способность производственного процесса устойчиво соответствовать предъявленным к нему требованиям. Индекс возможности процесса (воспроизводимости процесса)  $C_p$  представляет собой отношение ширины поля допуска на некоторый параметр процесса к мере возможности процесса (обычно шесть значений стандартного отклонения). Индекс возможности процесса  $C_{pk}$  характеризует отклонение среднего параметра процесса от его целевого значения,  $C_{pk} = \min \{CPL; CPU\}$ . Индексы CPL и CPU характеризуют способность процесса не выходить за нижнюю или верхнюю границы поля допуска (при наличии смещения центра распределения соответствующего параметра от середины поля допуска на него).

средством их разбивки на более мелкие простые составляющие. Такой подход, широко применяемый до сих пор, служит надежным средством против возникновения запасов незавершенной продукции внутри процесса, механизм которого хорошо иллюстрирует модель со спичками и игральными костями, приведенная в упоминавшейся книге «Цель».

В главе 8 рассмотрены базовые принципы управления цепями поставок и вопросы участия заказчиков в развитии и совершенствовании производства своих поставщиков. Основное внимание при этом уделено необходимости распространения принципов организации бережливых предприятий и синхронизированного поточного производства на все остальные звенья цепи поставок продукции, включая субподрядчиков и поставщиков комплектующих изделий и материалов.

В теории управления цепями поставок все образующие ее организации рассматриваются как деловые партнеры, причем успешность работы каждого из них целиком зависит от эффективности функционирования системы в целом. Глава, посвященная управлению цепями поставок, следует в книге непосредственно за разделами, в которых рассмотрены основные положения теории ограничений и синхронизированного поточного производства, потому что в ней доказывается необходимость распространения этих положений на всю цепь поставок. Наличие ограничения в любом ее звене влияет на общий ритм и темп работы. Относительно небольшие расстояния перевозок, существующие в большей части Европы и в Японии, способствуют организации доставки продукции от одних звеньев цепи поставок в другие по принципу «точно вовремя». Вместе с тем современные системы управления грузовыми перевозками позволяют организовать по этому же принципу доставку малых партий изделий на большие расстояния, характерные для США и России.

Следующие две главы посвящены приложению математических методов исследования операций к теории ограничений, организации синхронизированного поточного производства и планированию производства продукции. В 9-й главе рассмотрены вопросы планирования производства при наличии различного рода ограничений, наложенных на работу предприятия. В ней, в частности, показано, что методы линейного программирования могут оказаться ценным вспомогательным инструментом теории ограничений. Они позволяют определять оптимальные номенклатуру продукции и объемы изготовления изделий каждого типа, обеспечивающих предприятию получение максимальной прибыли в условиях небольших производственных мощностей и наличия рыночных ограничений на сбыт продукции. Применение этих методов позволяет также учесть потребности покупателей и подлежащие обязательному выполнению заказы в случаях их недостаточной выгодности для производителя. Кроме того, эти методы указывают те аспекты, на которых должны быть сосредоточены усилия по развитию производственных мощностей предприятия и его маркетинговая деятельность, направленная на поиски дополнительных заказов. Таким образом, применение методов линейного программирования учитывает не только недостаточность производственных возможностей предприятия, изучаемую в теории ограничений, но и его внешние ограничения и обязательства. С их помощью удастся также легко реализовать сценарии «что, если» для сравнения различных вариантов совершенствования предприятий, например, связанных с ослаблением действующих ограничений или полным устранением ограничивающих составляющих производственных процессов.

Глава 10 посвящена приложениям теории ограничений к управлению проектами и программами. В ней приведен случай применения методов теории ограничений, позволивших компании Fairchild Semiconductor в рекордно короткие сроки построить и запустить новый цех на заводе в г. Маунтинтон (весь цикл его создания занял 13 месяцев). Этот пример служит образцовой моделью, иллюстрирующей концепцию управления проектами с использованием так называемых *критических цепочек*, предложенную Э. Голдраттом.

Современные методы управления проектами PERT (методика оценки и анализа программ) или СРМ (метод критического пути) фактически служат средствами выявления ограничений, обуславливающих продолжительность самой длинной последовательности выполняемых проектных работ. Ускорение любой работы, выполняемой методом критического пути, за счет выделения большего количества денежных средств и иных ресурсов эквивалентно ослаблению ограничений производственных процессов с использованием методов теории ограничений или синхронизированного поточного производства.

*Уильям А. Левинсон, Levinson Production Systems*

*Раймонд А. Перук, Fairchild Semiconductor*

## ГЛАВА 1

### **БЕРЕЖЛИВОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ — ЧТО ЭТО ТАКОЕ?**

В современной деловой литературе широкое распространение получили термины «бережливое производство» (lean manufacturing) и «бережливое предприятие» (lean enterprise). Поэтому целесообразно начать главу с разъяснения реального содержания обоих понятий. В свое время Форд (Ford, 1922) сумел одной фразой сформулировать существо концепции бережливого предприятия: «В любой организации не должно быть ничего бесполезного». Хотя в словаре APICS (Cox and Blackstone, 1998) предложены более развернутые определения указанных выше терминов, но их основная идея мало отличается от приведенного высказывания Форда и заключается в необходимости выявления и устранения из всех областей бизнеса любых действий, не создающих добавленной стоимости.

Производство на отдельно взятом заводе может быть организовано достаточно экономно и бережливо, но, для того чтобы компания в целом могла быть названа бережливым предприятием, необходимо рассмотреть, насколько отвечает требованиям береливости вся цепочка поставок или создания стоимости ее продукции. Такой комплексный подход чрезвычайно важен, поскольку, например, неритмичная работа поставщиков или субподрядчиков способна посеять хаос в самой совершенной системе управления бережливым производством. Именно поэтому столь важно эффективное управление цепочками поставок, которому посвящена восьмая глава книги.

### **ТРЕНИЕ**

Термин «трение»\*, формулирующий основную идею бережливого предприятия, взят из книги «О войне» (1976) видного германского теоретика военного искусства генерала Карла фон Клаузевица и означает «силу, которая усложняет то, что очевидно... те бесчисленные небольшие инциденты и то, что вы

---

\* Вводимый в менеджмент термин «трение» означает сопротивление достижению целей, возникающее при взаимоотношении между людьми и окружающей средой (например, используемым оборудованием, транспортируемыми материалами и изделиями). — *Прим. науч. ред.*

никогда на самом деле не сможете предвидеть. — в сочетании с падением общего уровня эффективности деятельности, так что никогда не достигаешь поставленной цели». В бизнесе понятию «трение» наиболее соответствует японский термин *муда* — т. е. любые непроизводительные затраты (*waste*). Следовательно, бережливым (*lean*) следует считать предприятие, в котором такие затраты отсутствуют. Но поскольку в реальности невозможно полностью исключить трение, можно говорить лишь об определенной степени бережливости.

Концепция трения применительно к работе предприятий столь важна и всеобъемлюща, что в разных редакциях встречается у многих авторов. В частности, Форд (Ford, 1930) почти дословно цитирует К. Клаузевица:

«Существует немало мелочей, например, неловких движений рабочего при выполнении некоторых операций, на которые никто не обращает внимания. Но любое производство целиком и полностью складывается из подобных мелочей, способных разрастаться и, накладываясь друг на друга, создавать очень серьезные проблемы».

Сигео Синго поддерживает мысль Форда, утверждая:

«...к сожалению, реальные потери очень часто настолько хорошо маскируются, что их бывает непросто распознать. Такие непроизводительные затраты удается выявить только посредством очень тщательных наблюдений и сопоставления с основными целями предприятия. Необходимо всегда помнить, что самыми значительными оказываются те непроизводительные расходы, которые мы не замечаем» (цит. по кн.: Robinson, 1990).

Ему вторит Тайити Оно:

«В реальной жизни непроизводительные затраты, такие как, например, ожидание в очередях, лишние, ненужные движения и т. д., обычно остаются скрытыми и их сложно распознать и устранить... Чтобы внедрить на предприятии систему организации производства, принятую в корпорации Тойота, необходимо выработать четкое понимание того, что следует считать подобными непроизводительными затратами. До тех пор, пока не будут выявлены все возможные источники подобных затрат, успешная работа предприятия останется несбыточной мечтой» (Ohno, 1988).

Приведем еще несколько цитат.

«Накопление мелких недостатков, кажушихся столь незначительными, чтобы заниматься их устранением, становится главной причиной утраты компанией рыночных позиций» (Peters, 1987).

«Станок, который порой отказывает, инструмент, который нужно искать, рабочий на сборочной линии, иногда допускающий ошибки, несвоевременная подача деталей на следующую операцию, ошибки в чертежах, отсутствие маркировки деталей и многие другие подобные недостатки часто приводят к дорогостоящим последствиям, но принимаемые при этом "решения" на самом деле таковыми не являются, поскольку нередко они нацелены на выработку способов примирения с существующими проблемами, но не на их радикальное устранение» (Schonberger, 1986).

«Обращайте внимание на мелочи, от которых зависят успехи или неудачи компании. Они очень вероломны и способны существенным образом урезать прибыли» (The System Company, 1911a).

В приведенных высказываниях речь идет практически об одном и том же — мелких, кажущихся незначительными недостатках, с которыми людям свойственно мириться и в жизни, и в работе. Краткое, но исчерпывающее определение этих недостатков, объединяемых понятием «трение», применительно к действиям людей, непосредственно занятых на производстве, дают Левинсон и Тамбелти (Levinson and Tumbelty, 1997): «Если есть нечто, хронически доставляющее неудобства работнику, раздражающее его или снижающее производительность его труда, то именно это и следует считать “трением”».

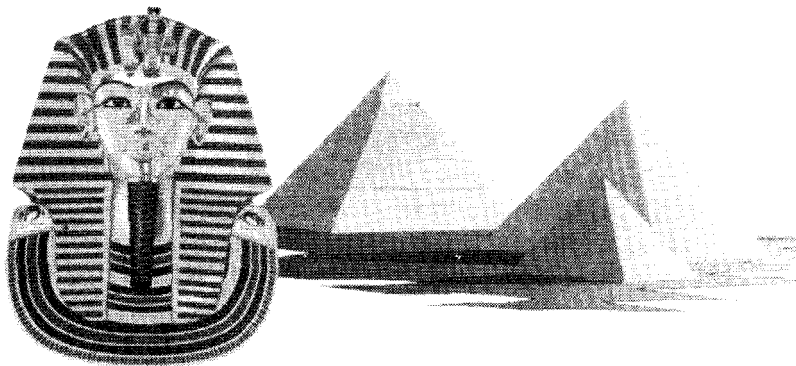
Одной из форм непроизводительных расходов является наличие на предприятии лишних запасов имущества, но зачастую они являются следствием, а не причиной появления подобных затрат. Недаром Стэндард и Дэвис (Standard and Davis, 1999) считают лишние запасы «вершками, но не корешками всех зол». Организация производства по принципу «точно вовремя» (JIT) служит одним из способов сокращения материальных резервов, но этот метод эффективен только при условии устранения причины появления лишних запасов. Самая лучшая организация производства оказывается бессильной, если неритмичная работа поставщиков и субподрядчиков, не придерживающихся принципа «точно вовремя», вынуждает предприятие поддерживать страховочный уровень запасов комплектующих и материалов. Концепция бережливого производства нацелена на устранение причин возникновения ненужных резервов и, таким образом, способствует внедрению принципа «точно вовремя». Достаточно придерживаться этой теории, и лишние запасы исчезают сами собой, без дополнительных усилий на их ликвидацию.

### Главное — устранить непроизводительные затраты

Современные специалисты по организации производства сумели существенно развить методы, применявшиеся Фордом, но базовые принципы остаются неизменными и заключаются в нетерпимом отношении к любым непроизводительным затратам (включая временные). При этом лишние материальные ресурсы и большие объемы незавершенного производства в конечном счете означают потери времени. Основополагающей остается идея Форда о том, что все должно быть нацелено на добавление ценности продукту или услуге.

«Мы не должны иметь ничего лишнего на предприятии. Мы не должны возводить монументальные здания, служащие лишь символами наших успехов. Затраты на их постройку и содержание ведут к бессмысленному удорожанию продукции. Таким образом, эти сооружения оказываются в конечном итоге столь же бесполезными памятниками тщеславия, как египетские пирамиды» (Ford, 1922) (рис. 1.1.).

В этом разделе бережливое предприятие охарактеризовано с точки зрения концепции трения: последнее не должно мешать работе. Бережливое предприятие



Офис руководителя являлся когда-то действительно тем, за что стоило умереть... Эти сооружения были испещрены иероглифами («священными письменами»). Греческое слово «иероглиф» происходит от того же корня, что и «иерархия». Это понятие характерно для небрежной компании, имеющей организационную структуру в форме пирамиды

Рис. 1.1. Первые в мире памятники успехов

применяется относительно целого потока ценностей или цепочки поставок продукции. Разница имеет значение, потому что неразумно организованная цепочка поставок препятствует развитию компании. В следующем разделе добавлена еще одна важная концепция — синергия\*.

## СИНЕРГИЯ: УМЕНИЕ ВИДЕТЬ ЗА ЧАСТНОСТЯМИ ОБЩЕЕ

Цель авторов книги — представить читателям комплексный подход к решению поставленной проблемы, показав, что создание бережливого предприятия требует применения взаимосвязанных, дополняющих и усиливающих друг друга инструментов и методов, составляющих единую *систему бережливой организации производства*. Лучше всего преимущества принципа синергии иллюстрирует известная басня Джона Г. Сакса (1816—1887) о шести слепых и одном слоне, воспроизведенная на следующей странице. Сакс пародирует теологические диспуты, но все сказанное им в полной мере относится к построению любых систем управления. Действительно, можно исчерпывающе обрисовать ноги, бивни, туловище, уши, хобот или хвост слона. Но до тех пор, пока из описаний не будут создана общая картина, невозможно представить, как выглядит это животное. То же самое происходит в отношении идеи бережливого предприятия (рис. 1.2), при создании которого нельзя пренебрегать системным

\* Синергия (синергизм, от греч. synergos) — комбинированное воздействие двух или более факторов, характеризующееся тем, что их совместное действие значительно превышает эффект каждого компонента и их суммы. — *Прим. ред.*



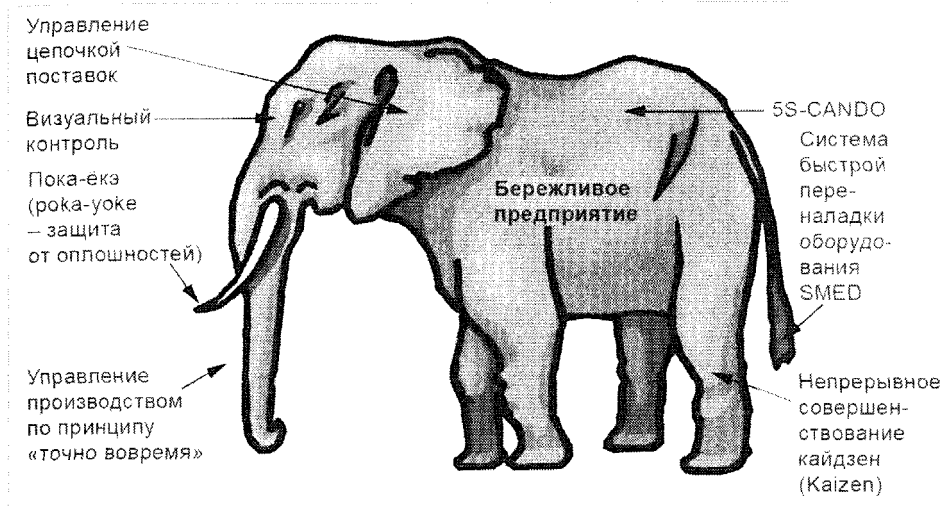


Рис. 1.2. Бережливое предприятие и принцип синергии

подходом к использованию различных подходов и методов. Попытки разрозненного внедрения и применения таких идей, как системы кайдзен и канбан, система быстрой переналадки оборудования SMED\*, система поддержания чистоты и порядка на рабочих местах 5S-CANDO, методология «Шесть сигм», пока-ёкэ, систем профилактического обслуживания и ремонта оборудования и т. п., только раздражают работников предприятия и вызывают сомнение в эффективности этих методологий. Организации, пытающейся одновременно внедрять дюжину разнообразных инициатив, не удастся должным образом сосредоточиться ни на одной из них. По этому поводу уместно вспомнить высказывание прусского короля Фридриха II Великого, который считал, что, «стараясь защищать все на свете, мы рискуем все потерять».

Внедрение любых подходов и методов упрощается, если рассматривать их как составные части единой системы. Как отмечалось выше, основная цель организации бережливого предприятия — устранение всех видов непроизводительных затрат. Решение этой задачи не должно сводиться к спонтанной реализации отдельных программ и инициатив, каждая из которых может оказаться привлекательной лишь на короткое время. Наоборот, следует рассматривать все методы сокращения непроизводительных затрат (как описанные в данной книге, так и не нашедшие в ней должного отражения) только как составные части единого набора инструментов для построения бережливого производства (lean manufacturing toolbox). Из такого комплекта всегда можно выбрать средство, наиболее

\* Аббревиатура SMED (Single Minute Exchange of Dies) относится к разработанной С. Синго системе переналадки оборудования (например, смены пресс-форм или штампов) за время, не превышающее 10 мин. — *Прим. пер.*

## ИЗУЧЕНИЕ СЛОНА

Джон Годфри Сакс

Шесть мудрецов из Индостана,  
Любовь к познанию питая,  
Отправились к слону  
(Хоть были все слепыми),  
Чтобы свои теории проверить.

Один лицом уткнулся  
В шершавый бок слона  
И, падая, воскликнул:  
«О, Господи, меня ты вразумил,  
Воистину, слон — прочная стена!»

Второй, нащупав бивень, закричал:  
«Мне совершенно ясно!  
Чудесный слон в моей руке —  
Не что иное,  
Как гладкое и острое копьё!»

А третий, подойдя к слону,  
За хобот ухватился,  
Отбросил в сторону  
И молвил: «Несомненно,  
Слон и змея — одно и то же».

Четвертый, подбежав к слону,  
Колено руками обхватив,  
Сказал: «Ну что тут спорить,  
Таким прямым и ровным  
Быть может только дерево».

Тут пятый, он сумел до уха  
Допрыгнуть, закричал:  
«Любой слепец вам скажет:  
Нет никаких сомнений:  
На веер слон похож».

Шестой неспешно  
Добрался до хвоста  
И вымолвил: «Веревка, да и только.  
Не может слон  
Быть чем-нибудь еще».

Так мудрецы из Индостана  
В горячих спорах  
Стояли твердо на своем.  
Был каждый в чем-то прав,  
Но ошибались все.

Мораль:  
Так часто в спорах люди, истину свою  
Пытаясь доказать,  
                                не слушают друг друга.  
И притча о слоне —  
Лишь небольшой пример  
Всеобщего непониманья.

*Вольный перевод Валерия Земских  
(Источник: Г. Миниберг, Б. Альстрэнд, Дж. Лэмтел.  
Школы стратегий. — СПб.: ИД «Питер», 2001)*

подходящее для решения конкретной задачи. Более того, одновременное использование двух и более инструментов из этого набора дает лучшие результаты, нежели их разрозненное применение, т. е. возникает эффект синергии.

В следующем разделе речь пойдет о важности промышленного производства (сохранению и развитию которого способствует применение методов организации бережливых предприятий) для безопасности и процветания государства. Читатели познакомятся с аргументами в пользу укрепления самоуважения людей, занятых «грязной» работой по изготовлению товаров. Кроме того, будет доказана ошибочность представлений о превосходстве тех, чья служба связана с внешне более эффективной маркетинговой или финансовой деятельностью. Если не работает производство, то специалистам по маркетингу нечего будет продавать, а у финансистов не окажется денег, которыми можно распоряжаться. Необходимо

просвещать общество относительно фундаментальной роли индустрии в обеспечении высокого уровня жизни. Модные рассуждения о том, что развитый сектор услуг может со временем заменить тяжелый труд в промышленности, чрезвычайно опасны для благосостояния и обороноспособности любой страны. Истинность этого мнения подтверждает высказывание, служащее последние несколько лет (с декабря 2001 г.) популярным объяснением причин падения фондового рынка: «промышленность — единственный сектор экономики, который работает плохо».

## ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО КАК ОСНОВА ОСНОВ

*«Можно сколь угодно поднимать урожаи пшеницы и кукурузы, наращивать поголовье коров и свиней, добывать все больше сырья, но только развитие промышленности способно гарантировать людям хорошую работу и высокий уровень жизни, только промышленное производство служит залогом роста личного и национального благосостояния, способствует укреплению позиций страны на международной арене... Если бы мы были язычниками, то нам следовало бы создать культ промышленности, возвести ее на пьедестал и молиться на нее».*

Альберт У. Мур (1996)

*«Реальное богатство нации складывается из того, что она извлекает из земли, добывая полезные ископаемые или собирая выращенный урожай, из добавленной стоимости, создаваемой в процессе их промышленной переработки. Сокращая число операций, выполняемых в ходе добычи и переработки сырья, мы намного увеличиваем производительность труда работников, и соразмерно вырастает общее мировое богатство. Мы прошли немалый путь к тому состоянию, когда стоимость жизни выросла настолько, что у нас не остается иного выхода, как всячески увеличивать общее благосостояние и любыми путями приносить пользу всему человечеству».*

Роберт Т. Кент  
(цит. по кн.: Jilbreth, 1911)

Приведенное высказывание Р. Кента прекрасно характеризует роль индустриального производства, в особенности бережливого, в создании общественного богатства. Промышленный сектор настолько важен, что, образно говоря, «за его сохранение не жалко отдать жизнь». Попытки монополизации производственных мощностей с помощью законов или налогов не раз служили причинами войн (в частности, войны за независимость США или американской Гражданской войны).

Индустрия служит тем фундаментом, на котором покоятся национальное благосостояние и государственная безопасность. Только промышленная переработка способна увеличивать добавленную стоимость сырьевых материалов, производимых добывающими отраслями (лесной, сельскохозяйственной, добычей полезных ископаемых), и организация бережливого производства целиком и полностью должна быть нацелена на увеличение добавленной стоимости продукции.

«Основами любого общества являются люди и средства производства\*, позволяющие им выращивать, производить и перемещать полезные продукты. Пока существуют промышленность, сельское хозяйство и транспорт, мир будет способен вынести любые экономические или социальные потрясения» (Ford, 1922).

К этому высказыванию Форда можно добавить следующую цитату из книги Голдратта и Фокса (Goldratt and Fox, 1986):

«Промышленность является главным генератором богатства в современном индустриальном мире. Способность создавать материальные ценности делает наш образ жизни предметом зависти для всего остального мира. Но если мы будем терять производственную базу, а этот процесс идет нарастающими темпами, то очень скоро наша страна и другие государства станут жить хуже».

Даже Советский Союз признавал это, изобразив серп и молот на своем государственном флаге. Коммунисты ставили своей целью захват именно средств производства, а не банков, других учреждений финансового сектора и сферы услуг\*\*. Правильно понимая значение средств производства, они, заполучив их, не сумели должным образом ими распорядиться. Вот почему изобилие продуктов питания и потребительских товаров наблюдалось лишь в провозглашаемых правительством пятилетних планах экономического развития страны, но не в реальной жизни.

## Роль промышленности в истории

Борьба за обладание средствами производства, проявлявшаяся прежде всего в виде протекционистских законов и налоговых пошлин, стала основной причиной войны за независимость и Гражданской войны в США. Индустриализация сыграла ведущую роль в уничтожении рабства в Великобритании и в северных американских штатах. Промышленное превосходство определило победу северных штатов в Гражданской войне, союзников во Второй мировой войне и относительно бескровное поражение Советского Союза в холодной войне с Западом, которую многие называли необъявленной Третьей мировой войной.

Приведенные ниже исторические факты объясняют, почему США обязаны преодолеть наблюдающуюся утрату превосходства в производственных мощностях, если они претендуют на сохранение ведущего положения в мире. Применение принципов бережливой организации производства — один из возможных способов решения этой задачи. Поэтому информация, содержащаяся в данном разделе, имеет не только исторический интерес. Она призвана помочь

\* Автор просит читателей не беспокоиться, когда в приводимых им цитатах из Форда, Тейлора, Бассета и других для обозначения рабочих используется исключительно мужской род. Эти книги были написаны в то время, когда в промышленности работали почти одни мужчины. Хотя Форд настаивал на неприемлемой в настоящее время идее, что замужняя женщина, муж которой не является безработным, не должна работать, он далеко опередил требования Национальной женской организации, утверждая, что мужчины и женщины должны получать равную оплату за равный труд.

\*\* Это утверждение автора представляется достаточно спорным, поскольку, как известно, большевики в 1917 г. первым делом национализировали именно банки. — *Прим. пер.*

специалистам по бережливой организации производства в пропаганде концепции бережливого предприятия и завоевании поддержки со стороны сотрудников компаний всех уровней.

Начнем экскурс с открытия испанцами в 1492 г. Нового Света с его неисчерпаемыми золотыми запасами. Для человека, подходящего к истории исключительно с меркантильных позиций и считающего деньги единственным мерилom богатства страны, могло показаться, что попутный ветер, приведший испанские корабли к берегам американского континента, сделал ее самой мощной мировой державой. Но эта иллюзия продержалась менее столетия. Историческая правда восторжествовала в 1588 г., когда Великая испанская армада потерпела сокрушительное поражение при Гравелине и самой сильной страной мира стала Великобритания.

Как утверждает Альфред Махан в своей книге «О роли морских держав в мировой истории» (Mahan, 1980), Испания и Португалия (которая обнаружила большие запасы серебра в завоеванной Бразилии) растрчивали богатство, покупая необходимые промышленные товары у своих главных конкурентов — Англии и Голландии. Благодаря этому последние сумели на деньги соперников развить собственные производственные мощности и судостроение, поскольку сырье и промышленная продукция требовали транспортных средств для перевозки. А. Махан пришел к выводу, что «стремление торговать и необходимость производить товары, которыми можно торговать, служат национальными особенностями, имеющими наибольшее значение для превращения страны в морскую державу».

Британия получила мощное оружие и хорошо понимала его значение. Поэтому парламент страны принял ряд протекционистских законов (подобных законам о мореплавании), которые предоставляли отечественным судовладельцам исключительное право любых морских перевозок в Англию и ее колонии. Другими правовыми актами запрещалось производство каких бы то ни было промышленных товаров в колониях. Они имели право лишь добывать и экспортировать в метрополию сырье, а взамен приобретать только английские товары. Подобная политика наряду с «налогообложением без представительства» стала основной причиной войны за независимость США. Хотя в области законодательного регулирования прав человека Англия в то время намного опережала другие европейские страны, она всячески препятствовала эмиграции квалифицированных рабочих-текстильщиков, сдерживала развитие многих отраслей промышленности в своих колониях и других странах.

«Определенные районы Англии обладали монополией на производство и импорт отдельных видов товаров. Например, когда британские купцы завезли из индийской Калькутты превосходную хлопчатобумажную ткань, получившую впоследствии известность под названием «миткаль», среди британских торговцев шерстью началась настоящая паника. Новая ткань оказалась столь красивой и дешевой, что угрожала гибелью собственной британской текстильной промышленности. Парламент с готовностью откликнулся на требования текстильных магнатов и запретил ввоз в Британию и производство этой ткани» (Stow, 1943).

Получив независимость, бывшие колонии любыми путями стремились приобрести (или просто украсть) британские промышленные технологии. Например, один американец купил в Англии ткацкий станок, разрезал его на части и вывез под видом зеркального стекла во Францию, оттуда переправил морем в Америку, где вновь собрал его.

Между тем промышленная революция уничтожила рабство в Великобритании и, вероятно, покончила бы с ним в США даже без войны между Севером и Югом. Индустриализация несовместима с рабством, поскольку с развитием промышленного производства отпадает потребность в дешевом неквалифицированном труде. По мере индустриализации любой страны пролетарии становятся противниками рабства, поскольку рабы являются их соперниками в борьбе за рабочие места. Форд прекрасно объяснил, почему нищенская оплата труда, которой едва хватает на пропитание (а рабский труд представляет собой крайний случай подобных трудовых отношений), является препятствием для экономического роста: «Если рабочий не в состоянии приобрести тот товар, который он производит, то у его работодателя становится намного меньше покупателей».

Принципиальной причиной Гражданской войны стали фундаментальные различия в производственных мощностях. Если владельцы промышленных предприятий Севера стремились защититься таможенными пошлинами от импорта английских промышленных товаров, то аграрный Юг продавал большую часть выращиваемого хлопка на текстильные фабрики английского Ланкашира и был готов приобретать на вырученные средства товары, ввозимые из метрополии. Жители южных штатов считали протекционистское таможенное законодательство невыгодным для себя, что привело их к отделению и Гражданской войне. Промышленное превосходство Севера стало решающим фактором в военном поражении и последующей капитуляции Конфедерации южных штатов.

Адмирал Ямамото в свое время предупреждал, что Япония будет не в состоянии победить в войне против США. Американская промышленная мощь оказалась тем самым «спящим великаном», который, однажды пробудившись, сокрушил страны оси\* во Второй мировой войне. Тайити Оно был вынужден согласиться с адмиралом, изучив статистические данные и обнаружив, что в 1937 г. производительность труда японского рабочего была втрое ниже, чем немецкого, а последний втрое уступал по этому показателю американскому пролетарию (Ohno, 1988). Но еще раньше предупреждением японскому военному командованию могла бы стать карикатура «Воюющий пацифист», опубликованная в газете *The London Times* в 1918 г. Подпись под ней гласила: «Генри Форд — личный враг кайзера». На рисунке был изображен Форд, заваливающий германского кайзера Вильгельма бесконечным потоком танков, автомобилей, судов, аэропланов, артиллерийских снарядов и денег (Alvarado R. and Alvarado S., 2001).

\* Речь идет об оси Берлин — Рим — Токио, тройственном союзе Германии, Италии и Японии, сформировавшемся перед началом Второй мировой войны. — *Прим. пер.*

Именно применению принципов бережливой организации производства обязана Северная Америка своим почти девятикратным превосходством над Японией по производительности труда в промышленности. Чарльз Соренсен (Sorensen, 1956) не оставляет никаких сомнений в том, что «семена победы союзников в 1945 г. были посеяны еще в 1908-м, когда мы отлаживали первый сборочный конвейер на заводе Ford Motor Company, располагавшемся на Пикет-авеню». В этой же книге Соренсен добавляет: «...карандашный набросок, сделанный мною в номере калифорнийской гостиницы, положил начало созданию сборочного цеха в милю длиной на заводе Willow Run, который в течение всей Второй мировой войны неуклонно штамповал по одному бомбардировщику В-24 в час». У стран оси не было никаких шансов соревноваться с Америкой в подобной организации производства.

Соединенные Штаты одержали также победу в холодной войне с Советским Союзом, индустриальная мощь которого оказалась не в состоянии выдержать гонку вооружений. Этот и приведенные выше исторические примеры лишний раз подчеркивают значение промышленности для национальной безопасности.

### Проблема: сокращение объемов промышленного производства

Марчиано (Marciano, 1999), объясняя причины, по которым г. Хартфорд (штат Коннектикут), когда-то считавшийся одним из богатейших в США, попал в десятку самых бедных, цитирует Е. Гранта: «С конца Гражданской войны и вплоть до Великой депрессии 1929 г. основу экономики города составляли предприятия Colt Armory, Pratt&Whitney и еще около 60 компаний. Но постепенно сфера услуг по числу рабочих мест начала преобладать над промышленным производством... Мне кажется, что переломным для Хартфорда явился 1960 г., когда фирмы, занятые предоставлением различных услуг, стали основным работодателем в городе. В том же году был построен Constitution Plaza, окончательно подорвавший монополию деловой части Хартфорда».

Короче говоря, невозможно построить жизнеспособную экономику, целиком основанную на продаже друг другу гамбургеров и других популярных продуктов, предоставлении страховых и банковских услуг.

Еще боле тревожным является тот факт, что лишь треть сегодняшней экономики США занята производством реальных ценностей (табл. 1.1). Об этом свидетельствует падение валового внутреннего продукта (ВВП), наблюдавшееся в 1999 г. (в связи с округлениями сумма данных во втором столбце табл. 1.1 не равна 100%)\*. Транспорт и коммунальные услуги отнесены к производственной сфере, поскольку они необходимы для производства продукции.

Безусловно, некоторые виды услуг абсолютно необходимы. К их числу относятся, например, здравоохранение (на долю которого приходится около 5,5% ВВП).

\* Данные о распределении ВВП по различным отраслям экономики в 1993—1999 гг. опубликованы 5 апреля 2001 г. на сайте Бюро экономического анализа <http://www.bea.doc.gov>



Таблица 1.1

**Распределение ВВП США по производственным и непроизводственным сегментам**

Отрасль экономики	Доля в ВВП, %
Добывающая промышленность и сельское хозяйство	2,5
Строительство	4,5
Промышленное производство	16,1
Транспорт и коммунальное хозяйство	8,4
Итого, производственные отрасли	31,5
Оптовая торговля	6,9
Розничная торговля	9,2
Финансы, страхование, операции с недвижимостью	19,3
Сфера обслуживания	21,4
Государственные расходы	12,5
Итого, непроизводственный сектор	69,3

Часть расходов федерального бюджета приходится на содержание вооруженных сил, охраняющих свободу и благосостояние граждан. Но на долю оптовой и розничной торговли приходится примерно такая же доля ВВП, что и на продукцию промышленных предприятий. Это означает следующее: в цене произведенных товаров почти половину составляют непроизводительные затраты, включающие прибыль и накладные расходы посредников, их расходы на содержание товарных запасов, складских и торговых помещений. Если обратиться к таким сферам, как финансы, страхование и операции с недвижимостью, то выясняется, что на их долю приходится большая доля ВВП, чем создаваемая промышленностью, хотя соответствующие учреждения заняты лишь сбором дани с каждой транзакции и обслуживанием ценностей, создаваемых в других отраслях.

В отличие от США, на долю промышленного производства в Китае приходится 35% ВВП, и в этой сфере занято около 24% рабочих. Темпы роста производства в этой стране составляют примерно 9% в год, намного превосходя соответствующие показатели экономики США. Сейчас, по данным С. Брискоу (Briscoe, 2001), суммарные объемы промышленного производства в Китае составляют 1,68 трлн долл., или три четверти от объемов производства в США (2,3 трлн долл.).

В США, где одна пятая часть работников занята в сфере производства материальных ценностей, уровень жизни гораздо выше. Это объясняется тем, что лишь пятая часть работоспособного населения занята в реальных секторах экономики. (Аналогичная картина наблюдается в большинстве европейских стран, в Японии, Южной Корее, Канаде и Тайване; производительность труда на одного работника во всех этих государствах выше\*.) Проблема в том, что гигантский ВВП

\* Авторы книги отмечают общую тенденцию, характерную для экономически развитых стран, где благодаря высокой производительности труда в сфере материального производства занято всего 20—30% трудоспособного населения, остальные — в сфере услуг. Уточним, что в сфере производства услуг также хорошо действуют принципы бережливого производства. — *Прим. науч. ред.*

Соединенных Штатов является иллюзорным, поскольку на долю промышленного производства в нем приходится менее шестой части. Такое положение опасно, если учесть, что обороноспособность любой страны находится в прямой зависимости от производственного потенциала.

Разумеется, США и другие развитые страны не должны беспокоиться по поводу промышленного развития других районов мира и обязаны сдерживать этот процесс. Напротив, еще Форд был убежден, что индустриализация, ликвидирующая бедность — главную причину войн между народами, будет способствовать укреплению мира. Как известно, именно развитие промышленности позволило покончить с рабством и с рабскими условиями труда в XIX в. Повышая благосостояние жителей других стран, индустриализация создает новые рынки сбыта для американских товаров.

Тем не менее США обязаны приостановить перемещение производственных мощностей страны в другие районы мира. Наблюдаемая тенденция к замещению рабочих мест в промышленности сферой услуг и виртуальными компаниями представляет собой реальную угрозу процветанию и национальной безопасности США. Потеря производственных мощностей является опасным заболеванием для экономики, но применение принципов бережливой организации производства может стать действенным лекарством от него.

### Бережливое производство — решение проблемы

В свое время Генри Р. Тоун, бывший президент Американского общества инженеров-механиков (ASME), утверждал, что создание бережливого (или эффективного) производства может остановить сокращение количества рабочих мест в промышленности, наблюдавшееся вначале в США, а теперь и в Японии, и в странах ЕЭС, последовавшее за перенесением производств в страны с более дешевой рабочей силой.

«Мы по праву гордимся высоким уровнем заработной платы в нашей стране и очень ревниво относимся к проникновению на наши рынки товаров из государств со значительно более дешевой рабочей силой. Для сохранения современного положения и усиления контроля над внутренним рынком и для расширения возможностей сбыта наших товаров за рубежом, где приходится конкурировать с продукцией других промышленно развитых стран, мы обязаны всячески приветствовать и поощрять любые усилия, направленные на повышение эффективности производственных процессов в отечественной промышленности». (Из предисл. к кн.: Taylor, 1911a).

Слова, приведенные выше, остаются справедливыми и сегодня, так как ничего не изменилось за прошедшие 90 с лишним лет. Например, в 1984 г. трудоемкость изготовления четырехцилиндрового автомобильного двигателя в корпорации Toyota составляла примерно 20% от трудозатрат на производство аналогичных двигателей корпорациями Ford или Chrysler (Womack and Jones, 1996). Таким образом, там, где японцы платили своим работникам всего 11,35 долл./ч, амери-

канские компании вынуждены платить 62,5 долл. за пять часов работы с аналогичными результатами при средней почасовой оплате труда в США 12,5 долл. (в ценах 1984 г.). Бережливое производство заставляет рабочего трудиться более продуктивно. Тейлор еще в 1911 г. утверждал, что принципиальным различием между бедными и богатыми странами является разница в производительности труда.

Из сказанного выше становится ясно, что промышленность играет определяющую роль в обеспечении благосостояния и национальной безопасности любой страны, а создание бережливого производства защищает и приумножает ее потенциал. Наш читатель получает возможность рассказать в своей организации о культурных преобразованиях, описанных в книге, а также влиять на общественное сознание и поведение коллег.

Следующая глава описывает истоки современных подходов к организации промышленных предприятий: бережливого производства и производства по принципу «точно вовремя». Эти методы до сих пор не утратили своего значения. Глава также знакомит читателя с важностью управления изменениями при внедрении методов бережливого производства и системой организации производства в японской корпорации Toyota.

## ГЛАВА 2

### **ЗАРОЖДЕНИЕ ПРИНЦИПОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА И «ТОЧНО ВОВРЕМЯ»**

Шенбергер (Schonberger, 1982) утверждал, что разработка корпорацией Toyota нового подхода к организации производства по принципу «точно вовремя» «...явилась, возможно, наиболее значительной инновацией в области менеджмента, нацеленной на повышение производительности производства, со времен разработки Тейлором основ научной организации труда на рубеже XIX и XX вв.». Но этот подход не был оригинальным изобретением Toyota. Форд выразил основную идею организации производства по принципу «точно вовремя» с помощью всего одного абзаца в своей книге, опубликованной в 1922 г. Он писал:

«Что касается снабжения покупными изделиями, то мы убедились: неразумно закупать их больше, чем необходимо для удовлетворения неотложных потребностей производства. Поэтому мы покупаем лишь такое количество покупных изделий и материалов, которое с учетом состояния транспорта обеспечивает выполнение наших производственных планов. Если транспорт в отличном состоянии и гарантирует ритмичное поступление покупных изделий, то нет нужды заготавливать их впрок. Вагоны с такими товарами будут поступать по графику в достаточных количествах, и изделия будут доставляться сразу с железной дороги на производство. Благодаря ускоренному обороту средств, выделяемых на закупки, и отсутствию омертвления капитала в ненужных запасах на складах удастся добиться немалой экономии. Но при плохо налаженных грузоперевозках производитель вынужден создавать большие запасы покупных изделий и материалов».

Таким образом, основные преимущества организации производства по принципу «точно вовремя» можно изложить в пяти пунктах.

1. Покупные изделия и материалы прибывают на предприятие только тогда, когда в них возникает производственная необходимость.
2. Покупные изделия поступают с погрузочно-разгрузочной платформы не только на склад, но и непосредственно в производственные цеха.
3. Возможности применения принципа «точно вовремя» определяются надежностью транспортных систем и логистики.
4. Запасы покупных изделий и материалов ведут к омертвлению капитала. Сокращение их объемов высвобождает капитал для других нужд.
5. Сокращение длительности производственного цикла изготовления продукции также ведет к высвобождению капитала.

Поясним подробнее перечисленные преимущества.

1. *Покупные изделия и материалы прибывают на предприятие только тогда, когда в них возникает производственная необходимость.* В книге Голдратта и Кокса «Цель» (Goldratt and Cox, 1992) приведен следующий пример. Компания UniCo заключила контракт с фирмой, принадлежащей Бакки Бернсайд, на поставку 1000 штук изделий марки 12. При этом директор завода UniCo рассказал, что у них «...не было возможности изготовить всю тысячу заказанных изделий в течение двух недель, но мы были готовы отгружать заказчикам в течение месяца по 250 изделий в неделю». При этом, по словам начальника отдела сбыта, оказалось, что «заказчиков гораздо больше устраивает предложенный им график поставок изделий малыми партиями, нежели получение всей тысячи штук одновременно».
2. *Покупные изделия поступают с погрузочно-разгрузочной платформы не только на склад, но и непосредственно в производственные цеха.* В книге Форда (Ford, 1926) описан идеальный процесс поставок железной руды из грузового порта на Великих озерах на сталелитейное производство. «Буквально через десять минут после того, как судно пришвартовалось в порту, доставленная им руда направляется на завод для загрузки в печь». На фордовском заводе в Чикаго расстояние от железной дороги, по которой прибывают покупные изделия и материалы, до начала первого производственного конвейера не превышает 6,1 м. Нет никаких складов или территорий для их временного хранения. Ясно также, что отсутствует входной контроль\*. Подобная организация приемки требует абсолютной уверенности в качестве поступающих материалов.
3. *Возможности применения принципа «точно вовремя» определяются надежностью транспортных систем и логистики.* Этот принцип предполагает также абсолютную надежность системы снабжения. Форд указывал на следующие возможные проблемы в этой области:
  - Все материалы, находящиеся на стадии транспортировки (Форд обозначал их термином float — флоут, используемым в финансовой и банковской сферах), увеличивают объемы материально-технических запасов предприятия.
  - Отсутствие любого комплектующего изделия задерживает изготовление конечной продукции.
  - Все покупные изделия и материалы должны заказываться и доставляться точно в назначенное время. Система снабжения, созданная Фордом, производит неизгладимое впечатление. Хотя в то время не было компьютеров, соблюдение графиков отгрузки и поступления любых комплектующих отслеживалось с большой точностью. Руководство компании знало о

\* На сборочных конвейерах Форда применялось большое число контрольных устройств для автоматической отбраковки дефектных деталей. По возможности подобная отбраковка осуществлялась на ходу без задержек проверяемых изделий перед контролером.

фактах отставания от графика более чем на час любого вагона, движущегося по железным дорогам.

Как утверждают Хайзер и Рендер (Heizer and Render, 1991), транспортировка остается актуальной проблемой для многих компаний. «По оценкам руководства GM, в каждый произвольный момент времени более половины потребляемых корпорацией комплектующих находится в пути на грузовиках или в железнодорожных вагонах». Но с появлением Интернета и совместных локальных компьютерных сетей логистические возможности предприятий существенно расширились. В восьмой главе, посвященной управлению цепочками поставок, будут рассмотрены некоторые возможности логистики, например компьютерные системы управления грузовыми перевозками (FMS) и системы логистики с участием третьей стороны (3PL).

Корпорация Weyerhaeuser Corporation, являющаяся ведущим производителем целлюлозно-бумажной продукции, создала компьютерную сеть, управляющую отгрузкой продукции потребителям — собственным бумажным фабрикам. Система позволяет увязать данные о продажах этих фабрик с основным производственным графиком головного предприятия корпорации Valley Forge Fine Paper Company, темпы производства которого задаются потребителями. По мере повышения спроса эта компания увеличивает выпуск своей продукции. Благодаря применению компьютерной системы удалось сократить запасы сырья на бумажных фабриках-потребителях почти на 40%. По словам главного менеджера корпорации, «компаниям удалось внедрить принцип “точно вовремя” во все сферы производства, снабжения и сбыта. Это позволяет надеяться, что ей удастся удвоить свою производительность без привлечения дополнительного числа работников. Благодаря этому снизятся цены на продукцию (по сравнению с конкурентами) и расширится доля принадлежащего ей рынка сбыта» (Richards, 1996).

4. *Запасы покупных изделий и материалов ведут к омертвлению капитала. Сокращение их объемов высвобождает капитал для других нужд.* На читателя, знакомого с книгой «Цель» Голдратта и Кокса (Goldratt and Cox, 1992), наверняка произведет должное впечатление следующее заявление Форда:

«После 1921 г. мы добились значительного расширения бизнеса, но оно оплачено теми деньгами, которые при сохранении устаревших методов снабжения были бы омертвлены в горах запасов чугуна, стали, угля и других сырьевых материалов или в собранных автомобилях, ожидающих отгрузки на складах готовой продукции. Сейчас у нас нет в собственности или в аренде ни одного такого склада» (Ford, 1926).

Практика приобретения сторонних компаний только за счет собственных средств без привлечения кредита не утратила своей актуальности. Пример этого приводят в своей книге Вумек и Джонс (Womack and Jones, 1996): «Всякий раз, когда корпорация Wiremold, словно гигантский пылесос, засасывает очередного поставщика комплектующих, она начинает копить деньги для приобретения следующего». При этом подход Wiremold во многом напоминает фордовский и заключается в конвертировании запасов в наличные деньги, используемые для других целей.

Стэндард и Дэвис (Standard and Davis, 1999) подняли важную проблему, заметив, что лишние материальные запасы вредны не столько сами по себе, сколько тем, что их наличие служит симптомом серьезных и глубоко скрытых недостатков в работе предприятия. Такими проблемами могут быть колебания производительности, слишком большие размеры партий, стремление изготавливать детали впрок без переналадки оборудования в целях повышения его эффективности. Большие запасы готовой продукции могут быть обусловлены желанием компании обеспечить быстрое исполнение поступающих заказов. Если цикл изготовления продукции продолжителен, то без наличия запаса готовых изделий невозможно исполнять заказы с той скоростью, которая бы устраивала потребителей. От этих резервов невозможно избавиться, не сократив предварительно время цикла\*.

5. *Сокращение длительности производственного цикла изготовления продукции также ведет к высвобождению капитала.* В 1922 г. Форд писал:

«Для поддержания непрерывности производства мы были вынуждены иметь запасы общей стоимостью 60 млн долл. Сократив продолжительность цикла изготовления автомобилей на одну треть, мы смогли высвободить 20 млн долл., что равноценно годовой экономии в 1,2 млн долл. только за счет процентов по кредиту на эту же сумму. С учетом сокращения запасов готовой продукции на 8 млн долл. нам удалось в общей сложности высвободить для других нужд 28 млн долл., сэкономив также на процентах, поскольку не потребовалось брать кредиты на эту сумму».

В данном разделе разъясняется, что концепция «точно вовремя» зародилась не в Японии, а в США. Этот факт поможет сторонникам бережливого производства убедить сомневающихся в целесообразности его внедрения на американских предприятиях. Они также могут сослаться на успешный опыт Ford Motor Company и японских компаний при апробировании этого подхода. В следующем разделе второй главы описана производственная система, действующая в корпорации Toyota — известной последовательнице идей Форда и автора общепризнанной модели бережливой организации производства. Ключевыми элементами этой системы служат управление производством, основанное на спросе — канбан, обеспечение качества, автоматизация и ритмичность производства.

## ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СИСТЕМА КОРПОРАЦИИ ТОУОТА

Создавая производственную систему корпорации Toyota, Тайити Оно опирался на опыт Форда. Но если Форд для снижения себестоимости производства изготавливал единственную модель автомобиля (вспомним его афоризм: «Вы можете заказать автомобиль любого цвета, главное, чтобы он был черным»), то Оно стремился выпускать широкий ассортимент продукции небольшими партиями,

\* Время цикла — срок, по истечении которого выходит очередной готовый продукт. Оно включает период изготовления и сборки, а также подготовки оборудования, загрузки и выгрузки продукта. — *Прим. науч. ред.*



сохраняя эффективность производства, равную фордовской. В остальном он придерживался тех же принципов, что и Форд, сокращая все виды непроизводительных затрат и поддерживая запасы на минимальном уровне. Т. Оно (Ohno, 1988) определил сущность производственной системы Toyota как «абсолютное исключение непроизводительных затрат». Эта система опирается на два базовых принципа: «точно вовремя» и автономизацию, т. е. автоматизацию с участием человека.

### Производство, основанное на спросе

Производственная система Toyota, которую часто обозначают просто аббревиатурой JIT («точно вовремя»), привела к созданию производства, основанного не на предложении (push), а на спросе (pull). При такой организации ни одна операция, начиная с самой первой, не осуществляется до тех пор, пока (для выполнения операций на последующих участках производственного процесса) не возникнет спрос на ее результаты.

### Качество

Применение JIT невозможно без надежного обеспечения качества. Если последующая операция производственного процесса требует поставки детали, изготавливаемой на предыдущей стадии, но эта деталь оказывается дефектной, то весь процесс останавливается. В прошлом план действий в случае непредвиденных обстоятельств предусматривал наличие достаточных запасов заготовок и деталей для каждой операции или на каждом производственном участке. Такой подход увеличивал объемы незавершенного производства и был связан с риском старения запасов, в которых бракованные изделия и причины дефектов не выявлялись в течение продолжительного времени.

Синхронизированное поточное производство (SFM), рассматриваемое в седьмой главе, требует наличия буферного запаса только для операции с наименьшей производительностью, сдерживающей весь производственный процесс. Благодаря этому предотвращаются простои в случаях, когда на этой операции возникают какие-либо проблемы.

### Автономизация

Если SFM предотвращает остановки производства при возникновении тех или иных сложностей, то автономизация, или дзидока (jidoka), означающая перенесение части человеческого интеллекта на оборудование, нацелена на предупреждение этих проблем. Основатель Toyota Motor Company Сакити Тойода (1867—1930) в начале прошлого века придумал автоматический ткацкий станок, останавливавшийся при обрыве нити. Его изобретение положило начало автономизации оборудования, способного отличать нормальное протекание производственного процесса от аномального. Такие машины не требуют постоянного внимания

оператора, позволяя единственному работнику одновременно обслуживать несколько станков.

Примером автономизации может быть автоматическое обнаружение станком недопустимого износа режущего инструмента. Безусловно, можно поручить рабочему периодически останавливать машину, чтобы проверить состояние инструмента, но такой подход замедляет производственный процесс, если только в конструкции станка не заложена быстрая или автоматическая смена инструмента, как это предусматривает упоминавшаяся выше система SMED. Но, как известно, износ сверла или метчика можно выявить, контролируя прилагаемый к ним крутящий момент, который резко возрастает в конце срока службы инструмента (Kalpakjian, 1984). Введение измерений крутящего момента может служить примером автономизации, при которой станок автоматически контролирует свое техническое состояние и выявляет возникающие проблемы (в данном случае — износ инструмента).

Опытный механик способен выявлять износ режущего инструмента просто на слух. Но если оснастить станок соответствующим акустическим оборудованием, он будет способен так же различать аномальные шумы, возникающие в процессе обработки деталей. Например, пьезоакустический датчик, установленный на суппорте\* станка, может улавливать акустические волны, испускаемые в процессе резания, как следствие волнообразного изменения напряжений в обрабатываемой заготовке. По мере износа инструмента растет среднеквадратическое значение акустического сигнала, выдаваемого датчиком. Такой прием пригоден для контроля износа режущего инструмента при токарных и сверлильных операциях (Kalpakjian, 1984). Смит (W. Smith, 1998) предложил также контролировать содержание металлических примесей в смазочной жидкости, чтобы своевременно обнаруживать износ деталей станка.

Синго (Shingo, 1986) описывает процесс термической обработки деталей, в котором остановка сетчатого ленточного конвейера, подающего детали в печь для отжига, приводит к появлению брака, поскольку часть деталей, находящихся на остановившейся ленте, остается в печи слишком долго. На заводе было применено специальное устройство для предупреждения подобных дефектов, которое, обнаружив остановку, немедленно извещает операторов и отключает привод конвейера во избежание повреждения сетчатой ленты.

Автономизированное оборудование может снабжаться световой или звуковой сигнализацией, извещающей операторов о возникших проблемах или об успешном завершении операции. При возникновении отклонений от нормальной работы, приведших к автоматической остановке станка, оператор устраняет неисправность и вновь запускает агрегат. Но проблема может приобрести хронический характер,

\* Суппорт (англ. и франц. support, от позднелат. supporto — поддерживаю) — узел, предназначенный для крепления и перемещения (при помощи механизма или вручную) инструмента, например в металлорежущих станках. — *Прим. ред.*

и для ее устранения потребуются определенные затраты, относящиеся к числу непроизводственных, т. е. к категории, которую мы выше обозначили термином «трение». Оно любил приводить старую японскую поговорку о человеке, который, стремясь избавиться от неприятного запаха, не ликвидирует его источник, а просто прикрывает крышкой. По этому же поводу генерал ВВС Кертис ЛиМей любил повторять: «Вместо того чтобы ловить мух, надо найти кучу навоза, в которой они плодятся». В обоих случаях подчеркивается одна и та же идея — необходимо найти и устранить коренные причины возникшей проблемы и принять меры против их повторного возникновения (рис. 2.1). В четвертой главе, посвященной методологии создания бережливого производства, описан систематизированный подход к решению подобной задачи, разработанный Ford Motor Company и получивший название «Восемь правил коллективного решения проблем» (TOPS-8D).

### Поточное производство

Оно признал недостатки процессно-ориентированного предприятия, производственные цеха которого оснащены по принципу однотипного оборудования. На таком предприятии обработка заготовок на каждом участке производится крупными партиями, в результате чего возникают большие запасы обработанных изделий и увеличиваются непроизводительные транспортные расходы.

Еще Фордом были заложены основы сотовой организации производства, при которой каждый участок («ячейка») специализируется на изготовлении определенных деталей и оснащен всем необходимым для этого оборудованием.

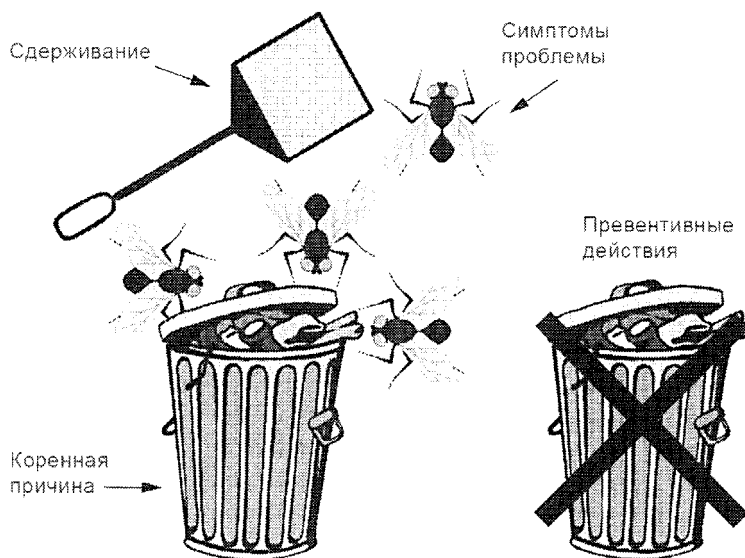


Рис. 2.1. Политика сдерживания вместо превентивных действий

В 1988 г. Оно писал: «В качестве эксперимента я расположил все станки в том порядке, который соответствует технологическому процессу изготовления не-которой детали. Такой подход радикально отличался от общепринятого, при котором на каждом участке обрабатывалось большое число однотипных заготовок, передаваемых затем на следующий участок».

Необходимым условием создания поточного производства служит выравнивание работы отдельных производственных участков (production leveling). Например, если предприятию требуется 1000 деталей определенного наименования в месяц, то, считая, что в месяце 25 рабочих дней, легко вычислить: ежедневно должно производиться по 40 таких деталей. При длительности рабочего дня в 480 мин изготовление одной детали должно занимать 12 мин. Время изготовления одной детали принято называть *временем такта*, которое рассчитывают так:

$$\text{время такта} = \frac{\text{доступное производственное время}}{\text{требуемое количество деталей}} = \frac{\text{время}}{\text{ед. изм.}}.$$

Синхронизация обеспечивает ритмичность выполнения всех необходимых операций без ненужных колебаний загрузки отдельных участков. Как будет показано далее, вариации продолжительности операций служат главными причинами возникновения лишних запасов. Наглядной иллюстрацией сказанного может служить упражнение со спичками и коробками, описанное в книге Голдратта и Кокса (Goldratt and Cox, 1992).

Хорошо известные благодаря применяемой Toyota системе канбан специальные карточки, прикрепляемые к таре с заготовками или деталями, служат средством уведомления предыдущего участка о необходимости начать изготовление деталей, требуемых на следующем этапе. Применение карточек канбан обеспечивает ритмичность поточного производства и препятствует возникновению лишних запасов в производственном процессе. Эта система наряду с другими моделями организации производства, основанного на спросе, будет рассмотрена в шестой главе.

В данной главе проанализированы американские истоки бережливой организации производства и методологии создания бережливых предприятий и сделан краткий обзор их развития при создании производственной системы, применяемой корпорацией Toyota. Инициаторы перестройки работы предприятий могут использовать содержащиеся в ней сведения для продвижения изменений корпоративной культуры, которым будет посвящена следующая глава.

## ГЛАВА 3

### **ИЗМЕНЕНИЯ В КОРПОРАТИВНОЙ КУЛЬТУРЕ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ БЕРЕЖЛИВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Создание бережливого предприятия не сводится к применению набора приемов и методов, но требует коренной перестройки всей корпоративной культуры компании и соответствующего изменения менталитета ее работников. В главе рассмотрены культурные и организационные изменения, которые должны предшествовать успешной реорганизации предприятия, чтобы оно стало действительно бережливым.

Не стоит полагать, что менеджеры и работники компании не способны самостоятельно создать действительно бережливое предприятие. Росс Перо (Perot) однажды язвительно заметил по поводу излишней бюрократизации корпорации GM: «Стоит им увидеть у себя в помещении змею, они тут же создадут специальный комитет по изучению змей, потом пригласят консультанта по пресмыкающимся и наймут менеджера, занимающегося их уничтожением. У себя в EDS мы поступаем проще: тот, кто заметил змею, тут же просто убьет ее\*». Поэтому наша цель состоит в том, чтобы наделить каждого сотрудника предприятия, независимо от его служебного положения, необходимыми полномочиями для выявления и устранения замеченных им непроизводительных затрат (трения, или муды). Следующий раздел посвящен описанию жизненно важной для успешной перестройки корпоративной культуры концепции управления изменениями на предприятии.

### **УПРАВЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯМИ**

Управление изменениями должно содействовать: 1) убеждению работников организации в необходимости перемен и 2) превращению ее сотрудников в сторонников или, еще лучше, активных участников предлагаемых реформ. На необходимость решения этих задач более 90 лет назад указывал Тейлор (Taylor, 1911, 1911a), которого цитируют Лейтин и Митчелл (Lathin and Mitchell, 2001), обосновывая необходимость рассмотрения предприятия как комплексной социотехнической системы, социальная и техническая составляющие которой должны поддерживать друг друга

---

\* Обнаружено в Интернете в результате поиска по ключевому слову.

и не могут успешно действовать в отрыве одна от другой. Они предложили матрицу планирования, применяемую при создании бережливого предприятия, во многом напоминающую известные матрицы развертывания функции качества. Напомним, что последнюю из-за ее внешнего сходства с изображением домика (каким его рисуют дети) часто называют «домом качества». Так вот, «крышу» этого «дома» образуют позитивные и негативные взаимодействия между характеристиками рассматриваемого продукта. Аналогичным образом в матрице планирования бережливого предприятия изображают взаимосвязи между технологическими и социальными факторами.

Стэнфорд и Дэвис (Standard and Davis, 1999) отмечают, что «...эффективность применения методов организации бережливого производства достигается лишь при условии, когда соответствующие культурные ценности находят практическое воплощение». Не только разные методы бережливой организации производства должны дополнять друг друга, создавая эффект синергии, но необходимо также, чтобы корпоративная культура и технологии надлежащим образом сочетались между собой.

Любые изменения оказываются более эффективными, если работники проводят их по собственной инициативе, без принуждения руководства. Согласно принципам научной организации труда Тейлора (в их первоначальной редакции), менеджеры обязаны менять корпоративную культуру, предлагая более совершенные методы работы и соответствующим образом вознаграждая работников за их применение. Один из предлагаемых Тейлором приемов внедрения подобных изменений заключается в отборе группы сотрудников, которым предлагается работать с использованием нового метода за более высокую плату. Остальной персонал видит, что они также могут повысить свое благосостояние, если будут трудиться по-новому. Описываемый Тейлором пример применения данного подхода доказывает, что руководство опиралось преимущественно на внешнюю мотивацию работников деньгами или другими видами материального поощрения.

«Стоявшая перед нами задача заключалась в том, чтобы заставить грузчика по фамилии Шмидт с энтузиазмом перетаскивать за день по 47 тонн чугунных чушек. Для этого был использован такой прием. Мы подозвали к себе Шмидта, стоявшего в толпе грузчиков, и между нами состоялся следующий разговор:

— Шмидт, ты считаешь себя высокооплачиваемым работником?

— Я не понимаю, о чем вы.

— Мы хотим знать, считаешь ли ты себя более ценным работником, чем все те парни, которые стоят там? Иными словами, желаешь ли ты зарабатывать по 1,85 доллара или тебя устраивают те 1,15 доллара, которые все они получают?

— Хочу ли я получать 1,85 доллара в день? Так вот что вы имеете в виду, говоря о высокооплачиваемом работнике. Конечно, я хочу быть таким.

— Тогда слушай внимательно. Мы оба с тобой знаем, что высокооплачиваемый работник обязан с утра до вечера строго выполнять то, что ему говорят. Ты никогда не встречал прежде вот этого человека, не так ли? (Речь идет, по-видимому, об одном из ассистентов Ф. Тейлора.)

— Нет, я никогда прежде его не видел.

— Так вот, если ты считаешь себя высокооплачиваемым работником, то завтра, с утра до вечера, ты обязан в точности исполнять все, что тебе будет при-

казывать этот человек. Если он прикажет взять чушку и нести ее, ты возьмешь ее и понесешь, если он скажет, что тебе пора присесть отдохнуть, ты сядешь и будешь отдыхать. Ты начнешь так работать прямо с завтрашнего утра. И никаких пререканий. Итак, высокооплачиваемый работник должен строго выполнять то, что ему приказывают и не вступать в пререкания. Тебе все понятно? Если этот человек велит тебе идти, ты пойдешь, если он прикажет сесть, ты беспрекословно исполнишь его распоряжение. Значит, завтра с утра ты приходишь и начинаешь работать так, как тебе сказано, а уже к вечеру будет видно, достоин ли ты называться высокооплачиваемым работником или нет» (Taylor, 1911).

Вероятно, именно приведенный выше пример стал причиной распространенного мнения, будто Тейлор стремился, чтобы рабочие, образно говоря, «оставляли свои мозги за заводскими воротами». Однако сам Тейлор настаивал, что предлагаемый им прием можно использовать только по отношению к малоквалифицированным работникам, интересующимся исключительно заработком и не обладающим внутренней мотивацией к труду. Он писал:

«Приведенный разговор с работником может показаться довольно грубым. И действительно, он был бы таковым, если бы речь шла об образованном механике или достаточно интеллигентном рабочем. Но когда имеешь дело с такими умственно неразвитыми людьми, как этот Шмидт, такой способ ведения беседы является вполне подходящим, и его нельзя считать слишком суровым, поскольку внимание Шмидта фиксируется исключительно на более высоком заработке, который он сможет получать. В разговоре нет ничего лишнего, обращенного к его сознанию, потому что умственная работа, которая потребовалась бы, чтобы понять сказанное, вероятно, показалась бы ему непосильной» (Taylor, 1911).

В следующих разделах главы, где речь пойдет о стандартизации и внедрении передового опыта, будет доказано: Тейлор стремился к тому, чтобы рабочие сами предлагали способы повышения эффективности труда. В этом смысле он намного опередил идеи современных специалистов в области менеджмента о наделении работников необходимыми полномочиями. Приводимая ниже цитата из книги *The System Company* подтверждает ту немаловажную роль в сфере повышения производительности труда, которую Тейлор, создавая свою теорию научной организации труда, отводил рабочим.

«Вот еще один пример. Когда вы проходите по цеху, один из рабочих останавливает вас и спрашивает, нельзя ли сделать обрабатываемую им бронзовую втулку немного короче. Если укоротить ее всего на четверть дюйма (6,35 мм), то такие втулки можно вытачивать намного быстрее — он это выверил с часами в руках. Он также знает, что изготовление втулок требует времени и что бронза, из которой их делают, — дорогой материал. Таким образом, его предложение позволит сэкономить не только время, но и значительные средства, поскольку эти втулки изготавливаются в больших количествах. Этот рабочий — настоящий мастер своего дела, и прислушаться к его предложениям означает получить значительную экономию» (Taylor, 1911a).

В системе кайдзен присутствует элемент, обозначаемый термином *blitz* (блиц) и заключающийся в нахождении самим сотрудником наиболее эффективных

приемов и методов работы без привлечения сторонних экспертов\*. Аналогичное предложение мы находим в теории научной организации труда Тейлора, когда он говорит об участии персонала в совершенствовании методов труда. Когда работник сам предлагает те или иные усовершенствования, он гораздо проще воспринимает и быстрее внедряет соответствующие изменения. Речь не идет о полном отстранении менеджеров от проведения реформ. Главная идея заключается в превращении всех работников в активных участников этого процесса. Более подробно о кайдзен блиц будет рассказано в следующей главе, посвященной описанию методов создания бережливого производства.

### Обязательства руководства в создании бережливого предприятия

*«Самая грубая ошибка состоит в том, чтобы объявить отдельную часть системы “пробной”. Если решено сделать какой-то шаг, то все стороны должны четко сознавать, что они обязаны действовать именно так, а не иначе, нравится им это или нет. При внесении изменений в систему те ее элементы, в которых оставлена свобода выбора, чаще всего не срабатывают, а там, где дана четкая установка, — прекрасно функционируют».*

Ф. Тейлор (Taylor, 1911a)

*«Делать или не делать. Выбора нет».*

Йода, персонаж фильма «Звездные войны»

В приведенной выше цитате основоположник научной организации труда сформулировал ключевой постулат проведения любых организационных изменений, а герой фильма Джорджа Лукаса «Звездные войны» облек его в хорошо запоминающуюся краткую форму. Этот принцип действует при осуществлении любых инициатив, связанных с повышением качества продукции или производительности предприятий. Приверженность изменениям должна исходить от высшего руководства. Бейкерьян подчеркивает (Bakerjian, 1993), что приверженность высшего менеджмента идеям непрерывного совершенствования компании является важнейшим элементом любых соответствующих программ. Фейгенбаум (Feigenbaum, 1991) со своей стороны предупреждает, что невнятно выраженная поддержка руководства или его равнодушие способны погубить любую программу непрерывного совершенствования.

Не следует ожидать немедленных результатов от проводимых изменений, хотя некоторые предложения работников или кайдзен блиц способны давать быстрые и заметные улучшения локального масштаба. Глубокие изменения в организациях могут длиться годами, и, по мнению многих авторов, пять лет — вполне обычный срок для получения результатов. Например Тейлор предупреждает:

«Когда человек ожидает больших результатов всего через полгода или год после начала очень крупной работы, то чаще всего оказывается, что он гонится за

---

\* Термин kaizen blitz (высвечивание возможностей для совершенствования) был введен Коксом и Блэкстоуном (Cox and Blackstone, 1998).



недостижимым... Но если у него хватит терпения подождать два-три года, то он сумеет предложить свои рекомендации любому производственнику в стране и получить требуемый результат».

### Измерения результатов деятельности содействуют бережливому производству

*«Будьте осторожны в своих желаниях, ибо порой они сбываются».*

**Старинная поговорка, обыгрываемая во  
многих мифах и сказках\***

Лейтин и Митчелл (Lathin and Mitchell, 2001) приводят примеры устаревших взглядов и измерений ненужных показателей, от которых необходимо отказываться, если речь заходит о создании бережливых производственных систем. К числу таких отживших идей относится представление о том, что на предприятии все должно постоянно работать на полную мощность. Как следует из теории ограничений, 100%-ная загрузка оборудования и работников требуется только на тех операциях, которые являются узкими местами, ограничивающими производительность организации.

Стэндард и Дэвис (Standard and Davis, 1999), в свою очередь, приводят примеры нелепостей, в которые было бы трудно поверить, если бы это не подтверждалось фактами. В частности, завод по производству двигателей (расположенный на юго-востоке штата Мичиган) должен был изготавливать по 1800 агрегатов в день, и его работу оценивали по тому, насколько он справлялся с этим заданием. В то же время автосборочному предприятию, куда поставлялись эти двигатели, требовалось всего по 1600 шт. в день. Директор завода исправно продолжал требовать от подчиненных, чтобы они ежедневно собирали по 1800 двигателей, а когда на складе готовой продукции их скапливалось слишком много, то просто закрывал предприятие на неделю-другую. Вот другой пример: компания, занимающаяся производством штампованных деталей, оценивала умение собственного отдела снабжения приобретать покупные материалы по самым низким ценам. При этом транспортные расходы на их доставку оплачивало предприятие, которому эта компания поставляла свою продукцию. Экономя пенни на закупках материалов, идущих на изготовление одной детали, организация теряла по пять центов на грузоперевозках, закупая материалы у самых удаленных поставщиков.

Еще один пример из недавнего прошлого приводит Войленд (Voiland, 2001).

«Для того чтобы не допускать простоя станков и продолжать получать компенсацию фиксированных накладных расходов, один из цехов производил детали независимо от наличия спроса на них. В результате, по мере того как они двигались по производственным линиям, возникали новые узкие места и росли объемы незавершенной продукции. Запасы лишних деталей продолжали расти, а их изготовление занимало ресурсы, необходимые для деталей, пользующихся спросом.

\* См., например, сказку Уильяма У. Джакобса (Jacobs) «Лапа обезьяны» и другие народные сказки.

Производство ненужной продукции занимало ценное машинное время, требовало дополнительных ресурсов для их последующей обработки, отнимало время у сборщиков. Все это сопровождалось несвоевременными поставками нужных деталей».

Компания, о которой шла речь в этом примере, вовремя осознала нелепость и опасность ситуации. Применяв на практике теорию ограничений, ей удалось найти решения, позволившие значительно повысить эффективность работы.

В книге Смита (W. Smith, 1998) описан металлургический завод, работа всех трех цехов которого (плавильного, горячей и холодной прокатки) оценивалась с использованием одного и того же показателя — стоимости отгруженной в течение месяца продукции. Естественно, каждый цех стремился заполучить самый дорогой из имеющихся заказов, независимо от того, способен ли он выполнить задание в срок. В результате около 35% готовой продукции отгружалось потребителям с опозданием. Зачастую это был брак, хотя все понимали, что он будет возвращен потребителями.

В рамках действующей системы оценки деятельности подразделений компании стремление каждого цеха заполучить наиболее выгодные заказы приводило к крайне неэффективному использованию ресурсов предприятия. На первую неделю каждого месяца приходилось всего 15% от общего объема работ, и персонал часто простаивал без дела. В то же время почти половина всего заказа выполнялась в последнюю неделю, и компания была вынуждена выплачивать сверхурочные. Руководство предприятия, настаивавшее на принятии такой системы оценок работы подразделений, на собственном опыте убедилось в справедливости поговорки, послужившей эпиграфом к данному разделу. Маловероятно, что в данном случае требования руководства к подразделениям (применяемые показатели для оценки их работы) совпадали с его истинными намерениями (обеспечением эффективности производства и удовлетворенности потребителей).

Стэндард и Дэвис (Standard and Davis, 1999) сформулировали следующие три основных правила выбора адекватных систем оценок работы предприятий и их подразделений.

1. Все применяемые характеристики должны быть объективными, точно определенными и количественными, т. е. выражаемыми и измеряемыми в численном виде.
2. Работники или подразделения, работу которых оценивают, должны иметь возможность контролировать применяемые для этой цели характеристики. Это правило перекликается с введенным Дж. Джураном понятием «самоконтроль».
3. Система оценки должна стимулировать поведение работников, отвечающее целям предприятия.

Например, подразделения не всегда могут самостоятельно обеспечить выполнение требования о максимальной загрузке установленного оборудования, поскольку зависят от поступления заготовок и деталей с предшествующих операций производственного процесса. Теория ограничений доказывает справедливость данного соображения. При этом ограничением служит выполнение

предшествующих операций, задающее темп последующим. Применение уровня загрузки оборудования в качестве показателя эффективности работы подразделений также не способствует достижению предприятием стоящих перед ним целей. Напротив, следствием такого подхода часто оказывается так называемая субоптимизация — стремление максимизировать загрузку оборудования каждого цеха, ведущее к накоплению излишних запасов продукции.

Теория ограничений рекомендует применять для оценки работы предприятия и его подразделений следующие три показателя:

- 1) объем материалов, израсходованных на готовую продукцию, продаваемую потребителям;
- 2) объем материально-производственных запасов, учитывающий все инвестиции предприятия в производство продукции, которую оно планирует реализовать;
- 3) операционные расходы.

Более детально эти показатели рассмотрены в книге Стэндарда и Дэвиса (Standard and Davis, 1999).

Среди этих показателей отсутствуют многие величины, фигурирующие в бухгалтерском учете, например трудоемкость изготовления продукции или накладные расходы. Но еще Форд много лет назад предостерегал против допуска бухгалтеров к управлению предприятиями. Большинство видов накладных расходов относится к категории постоянных, необратимых затрат, которые предприятие вынуждено нести, независимо от того, что и в каких объемах оно производит. Попытки распределения или поглощения накладных расходов за счет максимального увеличения выпуска готовой продукции в лучшем случае оказываются бесполезными, а зачастую и вредными.

### Преодоление парадигм самоограничения

*«Приверженность догмам привела к крушению многих армий, повлекла за собой большее число поражений и жертв, чем любые другие причины. Ни один человек с догматическим мышлением не способен стать хорошим полководцем».*

Генерал-майор Д.Ф.К. Фуллер  
(цит. по кн.: Р. Tsouras, 1992)

Некоторые могут с недоумением спросить, какое отношение имеет Геракл к проблеме создания бережливого производства. Действительно, легенды о нем — не более чем миф, но они помогли Александру Македонскому, считавшему древнегреческого героя образцом для подражания, покорить большую часть мира. Александр прежде всего учился у Геракла прозорливости и умению преодолевать сдерживающие, косные взгляды. Точно так же превращение компании в бережливое предприятие требует отказа от устаревших идей и принципов.

В современном изложении мифов о Геракле он изображен неким суперменом, пользующимся своей необузданной силой для спасения людей, исправления несправедливости и т. д. По своему характеру герой крайне импульсивен и способен в приступе гнева убивать ближних (в этом смысле Александр Великий очень на него похож). Встающие перед ним задачи часто требуют нестандартных, новаторских решений и, когда для преодоления брошенного ему вызова грубая сила бесполезна, — кажутся ему неразрешимыми. В табл. 3.1 проводится сравнение между менталитетом Геракла, Александра Великого и современного специалиста по бережливой организации производства; у всех троих обнаруживается много общего. Так же, как герои древности, последний призван заменить капитал интеллектом. Он делает это, стремясь расширить возможности предприятия и сократить временные затраты на производство продукции, не приобретая дополнительного оборудования (хотя такая мера нередко является первым, импульсивным действием).

Таблица 3.1  
**Что общего между подвигами Геракла, Александра Великого и новаторскими подходами, применяемыми при создании бережливого предприятия**

Ситуация	Ограничивающая парадигма	Решение
Первый подвиг Геракла — убийство немейского льва. Когда герой пытался подстрелить зверя из лука, стрелы отскакивали от шкуры	Для того чтобы убить льва, охотнику надо подстрелить того стрелой, выпущенной из лука, или заколоть копьем. Но поскольку шкура льва не пробивалась стрелами или копьями, убить его этими способами оказалось невозможно. Если бы это все-таки удалось, с льва невозможно было бы снять шкуру	Хотя шкура льва была непробиваемой, она оставалась достаточно гибкой, позволяя тому двигаться. Поняв это, Геракл умертвил зверя, свернув ему шею. Потом он немного поэкспериментировал и обнаружил, что когти хищника достаточно остры, чтобы прорезать собственную шкуру. Используя их в качестве орудия, Геракл снял шкуру и сшил себе из нее легкие непробиваемые доспехи. Безусловно, именно благодаря этому мифу на древних македонских монетах Александр Великий изображался в львиной шкуре, а римские legionеры, державшие штандарты, часто носили такие же накидки
Следующим подвигом Геракла стало уничтожение лернейской Гидры, у которой на месте отрубленной головы немедленно вырастали две новые. (Подобным свойством нередко обладают сокращаемые запасы предприятий.)	Гидру не только невозможно было убить отрубанием ее головы, но сами попытки усугубляли проблему	Геракл приказал своему племяннику Иолау прижигать шею Гидры горящим факелом сразу, как только он отрубил очередную голову. (Тут уместна аналогия с корректирующими действиями долгосрочного характера.) Убив чудовище, Геракл обмакнул наконечники стрел в ее ядовитую кровь, и они стали отравленными
Заметим, что всякий раз, совершив очередной подвиг, Геракл приобретал для себя что-нибудь полезное (например, непробиваемые доспехи или отравленные стрелы). В этом заключается важный урок — следует всегда искать возможность расширить область применения любых найденных решений		

Таблица 3.1 (окончание)

Ситуация	Ограничивающая парадигма	Решение
Гераклу было поручено очистить авгиевы конюшни, которые много лет оставались грязными	Гераклу предстояло выгрести горы накопившегося навоза	Геракл направил в конюшни воду из двух рек, благодаря чему быстро завершил всю грязную работу, даже не замарав рук. Перед нами превосходный пример, подтверждающий, что всегда следует действовать с помощью ума, а не чрезмерных усилий
Из истории с авгиевыми конюшнями следует еще один важный урок для специалистов по бережливой организации предприятий — <i>никогда нельзя принимать на веру и оставлять без анализа ни один аспект совершенствуемой работы, включая применяемые для ее выполнения оборудование, материалы и методы</i> . Геракл намного опередил Тейлора в стремлении сделать эффективнее любую работу		
В древности существовала легенда, согласно которой человек, сумевший развязать гордиев узел, будет править Малой Азией, но дело заключалось в том, что распутать этот узел было невозможно	Гордиев узел невозможно распутать	Но нигде не было записано правило, что гордиев узел нужно обязательно распутывать. Поэтому Александр Великий просто разрубил узел мечом
Самые непреодолимые трудности чаще всего являются вымышленными. Человек, утверждающий, что какую-то работу невозможно сделать, прав до тех пор, пока его не переубедят в обратном. В этой связи Синго упоминает инженеров, говорящих «нет» по любому поводу, а Йосики Ивата называет таких людей «чугунными головами» (Womack and Jones, 1996) и занудами. Вспомним также карфагенского полководца Ганнибала, который, собираясь перейти через Альпы, воскликнул: «Мы найдем проход или прорубим его!» Главная опасность заключена в том, что убежденные в невозможности чего-либо верят, будто их противники думают так же. В 1940 г. французские генералы считали арденнский лес непроходимым для германской армии, но они заблуждались. В 1941 г. многие в США верили, что бухта Перл-Харбора слишком мелка для применения авиационных торпед, но они жестоко ошиблись		
Александр Македонский осаждал крепость Тир, располагавшуюся на острове и поэтому недоступную для его пехоты	Крепость Тир считалась неприступной	Александр, возможно, вспомнил о подвигах Геракла (историю с авгиевыми конюшнями) и приказал своим солдатам насыпать перешеек между материком и островом. Переправившись по нему со своим войском, он взял крепость штурмом
Переналадка оборудования не является действием, добавляющим ценность продукции	Производство одинаковой продукции большими партиями позволяет сократить затраты на переналадку оборудования	Аналогичный результат дает применение системы быстрой переналадки оборудования SMED, но при этом отпадает необходимость увеличения партий выпускаемой продукции
Стремление быстро исполнять заказы, поступающие от потребителей	Для этого необходимо располагать большими запасами готовой продукции	Сокращение продолжительности производственного цикла позволяет предприятию изготавливать продукцию на заказ и не зависеть от ненадежных прогнозов будущих объемов продаж

### Ограничение узкой специализации

Превращение компании в бережливое предприятие требует от сотрудников отказа от узкой специализации и освоения смежных профессий, чтобы они могли выполнять разнообразные задания. Еще Форд всячески поощрял своих рабочих к овладению дополнительными навыками, полезными для фирмы, и считал это важной составляющей их должностных обязанностей. Т. Оно утверждал, что установление жестких правил, согласно которым каждый работник является только токарем или сварщиком и ничем иным, препятствует созданию производственных ячеек и внедрению гибкого автоматизированного производства, построенного по такому принципу. Например, в производственной системе, применяемой Toyota, каждый рабочий механического цеха должен уметь работать на токарном, фрезерном и сверлильном станках. Таким образом, совмещение специальностей является важнейшим признаком бережливого предприятия.

Вумек и Джонс (Womack and Jones, 1996) описывают внедрение этого принципа Артом Берном, руководителем компании Wiremold. «Он понимал, что жесткие правила, согласно которым штамповщик должен только штамповать детали, маляр — красить, кузнец — ковать заготовки и т. д., установленные действовавшим коллективным договором с профсоюзом, препятствуют введению поточного производства и непрерывному совершенствованию всех его операций. Но ему удалось преодолеть сопротивление профсоюза, гарантировав, что в результате задуманной им рационализации ни один работник не будет сокращен».

Профсоюзы должны осознать необходимость отказа от защиты правил, жестко ограничивающих профессиональные обязанности каждого работника (которые часто симулируют излишнюю загруженность), как от контрпродуктивного метода борьбы за сохранение рабочих мест. Такие нормы действуют лишь до тех пор, пока конкуренты, освоившие более современные способы организации труда, не выдают компанию, сохраняющую отсталые правила, с рынка, а приверженность устаревшим догмам препятствует повышению заработной платы. Шенбергер (Schonberger, 1986) утверждал, что грамотные менеджеры и профсоюзные функционеры понимают: сохранение жестких правил на самом деле означают дурной менеджмент, результатом которого становится закрытие предприятий и потеря рабочих мест. Поэтому профсоюзы первыми должны быть заинтересованы в смягчении этих норм.

### Бережливость не означает сокращения численности работающих

*«Если руководство предприятия пытается экономить исключительно в целях получения прибыли, его планы обречены, что совершенно естественно. Причина, по которой многие планы, строящиеся на идее сокращения персонала, расстраиваются, заключается в том, что работодатель пытается получить всю выгоду сразу».*

Бассет (Basset, 1919)

Идея бережливой организации производства не сводится только к увольнению части работников, что заставит оставшихся трудиться интенсивнее. Внедрение

усовершенствований, после которых удалось сократить половину работников, не означает, что производительность предприятия возрастет вдвое. Такая политика лишь способствует усилению отмечавшейся выше симуляции работниками своей загруженности и снижению производительности труда в качестве деструктивных способов сохранения за собой рабочих мест. Эффект симулирования загруженности был открыт Тейлором, который возлагал всю вину за его появление на менеджеров.

Он писал:

«...достаточно в два-три раза урезать установленные расценки за единицу продукции после того, как рабочий начинает трудиться более интенсивно и превышать норму, как он быстро поймет политику работодателя и придет к естественному выводу, что симуляция загруженности работой — эффективное средство борьбы с дальнейшим урезанием расценок» (Taylor, 1911).

Напомним также слова Оно:

«Когда дела компании идут хорошо и ее производительность растет, глупо нанимать новых сотрудников только затем, чтобы уволить их или принудить раньше срока выйти на пенсию, когда наступит экономический спад... Кроме того, ликвидация бессмысленных, не создающих добавленной стоимости процессов только повышает ценность работы в компании для ее сотрудников» (Ohno, 1988).

Приведем еще одну цитату, иллюстрирующую те способы, применяя которые корпорация Ford Motor Company добивалась снижения цен на свою продукцию, одновременно повышая заработки работников и собственную прибыль:

«Урезание расценок или повышение норм выработки являются признаком слабости мастера, придерживающегося подобной практики. Но устранение ненужных или объединение двух и более операций в этап, выполняемый одним работником, служат залогом повышения эффективности труда и отвечают интересам всех заинтересованных сторон — компании в целом, мастера и работника» (The System Company, 1911a).

Состояние трудовых отношений в фирме быстро пришло в упадок, после того как ее менеджеры забыли заветы ее основателя. Именно этого следует избегать при создании бережливого производства.

«Двадцать рабочих завода River Rouge, занимавшихся изготовлением деталей одного вида, наблюдали за тем, как в их цехе монтируют новый станок. Потом одного из них обучили работать на нем, и он смог выполнять ту работу, которой прежде занималось двадцать человек. Но остальные девятнадцать не были немедленно уволены — этого не позволял коллективный договор. Мастер был вынужден перевести их на другие работы, после чего стал всячески притеснять, и они скоро узнали, почему фунт лиха» (Sinclair, 1937).

Такая политика менеджмента, несомненно, способствовала проникновению Объединенного профсоюза рабочих автомобильной промышленности на заводы Форда, хотя в свое время основатель компании настаивал на установлении отношений со своими работниками без посредников. Подобная же картина наблюдалась в 1930-е гг. на Японских национальных железных дорогах, когда там появились листовки следующего содержания:

«Братья по работе в Омий!»

Как пережить наступающие несчастные времена? Нельзя мириться с тем, что нас будут заставлять работать на износ, хронометрируя каждое наше движение,

принуждать трудиться за гроши, урезая расценки и угрожая увольнением всем, кто будет жаловаться на несправедливость.

...Долой изучение каждого движения! Долой урезание расценок!» (Tsutsui, 1998).

Высокая текучесть кадров, являющаяся результатом как сокращения штатов или раннего ухода работников на пенсию, так и их недовольства работой и увольнений по собственному желанию, несовместима с идеей непрерывного совершенствования предприятий. Тейлор (Taylor, 1991a) утверждал, что «...бедное, но хорошо организованное предприятие предпочтительнее богатого, но организованного плохо». Он считал, что успешный владелец завода должен рассуждать следующим образом:

«Если меня поставят перед выбором, что лучше: отказ от существующей организации компании или пожар, грозящий уничтожить заводские цеха стоимостью во много миллионов долларов, то я выберу последнее. Взяв деньги в кредит, можно достаточно легко и быстро отстроить завод заново, но на перестройку созданной мною организации может уйти жизнь целого поколения».

Когда в середине 1940-х гг. Ford Motor Company потеряла в результате ухода с работы по собственному желанию или по естественным причинам (старение и смерть) несколько ключевых сотрудников, это разрушило целостность принципов управления компанией, созданных ее основателем. Результатом стал курьезный факт: ее высшие руководители, посетившие в 1982 г. Японию, не были знакомы с методами организации производства, когда-то возникшими на их собственном предприятии. «Один из японских менеджеров высшего звена в разговорах постоянно упоминал некую “книгу”. Когда же руководители Ford спросили, о каком, собственно, произведении идет речь, тот ответил: “Конечно о книге Генри Форда, основателя вашей компании”» (Stuelpnagel, 1993).

*Не верьте, когда вам говорят, что луддиты были правы!* Напомним, что луддитами называли работников английских текстильных предприятий, которые в начале XIX в., боясь потерять место, громили новые ткацкие станки. Следует всегда иметь в виду, что рабочие будут всеми силами противиться любым усовершенствованиям, угрожающим, по их мнению, увольнениями, и сделают все от них зависящее, чтобы помешать их внедрению. При этом не обязателен прямой саботаж, часто вполне достаточно так называемой «работы строго по правилам и согласно указаниям начальства»\*. Однако если рабочие ожидают от проводимых усовершенствований повышения зарплат, они будут не только сотрудничать с менеджерами по их внедрению, но и сами выдвигать рационализаторские предложения. Это и есть цель, к достижению которой стремились Форд и Тейлор.

Вумек и Джонс (Womack and Jones, 1996) настойчиво проводят следующую идею: *«Ни в коем случае не следует увольнять сотрудников, которые становятся ненужными в результате проводимых усовершенствований»*. Необходимо постараться занять

\* Термин «саботаж» происходит от французского выражения «ходить, громко шаркая подошвами», означающего любые несловные движения во время работы, работу с лишним шумом, т. е. симуляцию деятельности.



их на других работах или включить в команду, занятую внедрением улучшений. Кроме того, повышение производительности труда и, как следствие, сокращение себестоимости продукции могут способствовать расширению бизнеса и созданию новых рабочих мест. Например, уже упоминавшийся выше А. Берн из компании Wiremold осознал, что «...сопротивление непрерывному совершенствованию предприятия может принимать хронический характер, если рабочие не будут уверены в том, что не окажутся на улице даже в том случае, когда их нынешние рабочие места будут упразднены».

В этой связи следует вновь обратиться к столь важным проблемам, как совмещение профессий и необходимость ослабления излишне жестких правил работы. Создание бережливого производства, безусловно, может (и часто должно) быть связано с ликвидацией некоторого количества ненужных рабочих мест. Но сотрудники, участвующие в этом процессе, должны иметь желание и возможность перейти на новые должности, многие из которых потребуют от них повышения квалификации и более ответственного отношения к делу. Тейлор был убежден, что подобная ситуация является естественным результатом применения его научных методов организации труда, которые развивает концепция бережливого предприятия, основанная на более широком привлечении работников к ее реализации.

### Не бойтесь высоких зарплаток!

Стремление сэкономить на заработной плате подталкивает многих владельцев компаний к непродуктивным решениям о переносе производства в страны с более дешевой рабочей силой. Но еще Тейлор и Форд подчеркивали, что высокая заработная плата — не проблема, если система организации производства достаточно эффективна, чтобы обеспечить подобные выплаты. Тейлор стремился воспитать высокооплачиваемого работника, уровень квалификации и прилежание которого стоят затраченных на него больших денег (в виде заработной платы).

Бассет (Basset, 1919) добавляет: «...эффективный работодатель должен гордиться тем, что может себе позволить платить своим работникам такую зарплату, размеры которой способны разорить его менее удачливых конкурентов». Создание бережливого предприятия как раз и нацелено на решение этой задачи. Бассет усиливает некоторые идеи Форда и Тейлора, утверждая:

«Нам всем хорошо известно, что грошовый труд не так дешев, как кажется. Использование при выращивании и сборе хлопка наемного труда доказало свою более высокую эффективность по сравнению с рабским. Но потребовалось немало времени, чтобы убедить в этом плантаторов Юга, которые никогда не подчитывали, во что им реально обходится содержание ленивых рабов\*. В любых

---

\* Это было написано в 1919 г., когда еще были живы люди, заставшие рабство.

операциях, где стоимость используемых материалов намного выше затрат на оплату труда, всегда выгоднее платить максимально высокую заработную плату, если в результате удастся сократить расход материалов, увеличить выход годной продукции или добиться и того и другого одновременно. В тех же отраслях, где трудозатраты являются основной составляющей себестоимости продукции, высокая заработная плата экономически оправдана, если она позволяет свести к минимуму непроизводительные затраты труда» (Basset, 1919).

Итак, мы рассмотрели некоторые изменения в корпоративной культуре предприятия, которые должны сопровождать его перестройку при переходе к бережливым методам организации производства. Идеология создания бережливого предприятия должна пользоваться поддержкой не только со стороны менеджеров и инженеров, но и всего коллектива компании, каждый работник которой обязан думать о способах сокращения непроизводительных затрат. Необходимым условием этого должна быть уверенность сотрудников в сохранении рабочих мест, которая служит надежным средством против симулирования занятости и сознательного сопротивления переменам. Иначе для чего работник станет помогать менеджерам в их стремлении сделать его рабочее место ненужным? Уверенный же в собственной безопасности персонал, напротив, будет сам избегать излишне жесткой специализации, поддерживать совмещение профессий и создание гибких рабочих мест.

## БЕРЕЖЛИВОЙ ДОЛЖНА БЫТЬ ВСЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

Понятие бережливости должно распространяться не только на производство, но и на все остальные аспекты деятельности организации, включая транспортировку и доставку продукции потребителям. В восьмой главе будет доказано, что полный эффект от бережливого производства достигается при условии, когда в этом процессе задействованы все звенья цепочки поставок. Бережливое производство не способно полностью раскрыть свой потенциал, находясь в одной цепочке поставок с небережливыми поставщиками и субподрядчиками. Невозможно эффективно реализовать принцип «точно вовремя», если служба снабжения будет продолжать закупать комплектующие изделия гигантскими партиями, руководствуясь предлагаемыми при этом скидками. Вот почему бережливое предприятие лучше, чем просто бережливое производство.

### Избавляйтесь от бюрократии и волокиты!

Бюрократы и администраторы всех мастей только расходуют деньги предприятия, не внося заметного вклада в добавленную стоимость его продукции или услуг. Вклад же в эту стоимость управленческого, инженерно-технического и вспомогательного персонала всегда остается только косвенным, реализуемым через труд рабочих, занятых на производстве.

Самоуправляемые бригады работников (SDWT) находятся во внутреннем круге организационной диаграммы, изображающей структуру управления заводом компании Fairchild Semiconductors, которую приводит Венц (Wentz) (цит. по кн. Levinson, 1998). Подобным образом во внутренний круг «Новой круговой модели производственного предприятия» (разработанной обществом инженеров-технологов Ассоциации производителей компьютеров и автоматических систем), в центре которой находятся потребители, помещены «персонал, командная работа и организация»\*.

Том Питерс (Peters, 1989) сравнивает схему организации корпорации Wal-Mart с трехъярусной башней, в которой помещается ее главная штаб-квартира. Существующая иерархическая структура управления корпорации Sears' во многом подобна небоскребу Sears' Tower, где размещалась ее штаб-квартира и который она была вынуждена продать. В корпорациях Nucor Corporation и Chaparral Steel имеется по четыре уровня управления. Питерс (Peters, 1987) отмечает, что в Lincoln Electric на одного супервайзера приходится по 100 рабочих и что «...передовые компании имеют в своей организационной структуре в среднем на 3,9 уровня управления меньше, чем остальные компании (7,2 против 11,1), а количество работников в расчете на 1 млрд долл. продаваемой продукции в этих компаниях в среднем меньше на 500 человек». Форд, обращаясь к читателям, настаивал на том, чтобы упрощать структуру организации. Он писал (Ford, 1992):

«По моему мнению, нет ничего более опасного, чем искаженное мышление, которым обладают так называемые “гении организации”. Их усилиями обычно рождаются гигантские схемы, сильно напоминающие генеалогическое древо и указывающие, как разветвляются обязанности и ответственность в компании... Если какой-нибудь рабочий при такой схеме пожелает обратиться к главному управляющему, он обязан вначале адресоваться к помощнику мастера, который передаст его просьбу по цепочке: мастер — начальник департамента — помощники управляющего. Когда же много времени спустя оно достигнет главного управляющего, предмет разговора будет представлять лишь исторический интерес»\*\*.

Когда Форд в начале 1920-х гг. приобрел железнодорожную компанию Detroit, Toledo & Ironton Railroad (D.T.&I), ему досталось предприятие с дурной репутацией и полностью разложившимся персоналом. Он начал с того, что упразднил юридическую службу компании и урезал расходы по этой части на 93%. Все высшее руководство стало помещаться всего в двух комнатках, и еще

\* Информация с сайта: <http://www.smc.org/cgi-bin/new-gethtml.pl?casa/casamwh/htm&&&CASA&> по состоянию на 29.08.2001.

\*\* Карл фон Клаузевиц (1776. Т. 5. Гл. 5) писал: «Во-первых, чем длиннее цепочка, по которой проходит отданный приказ, тем больше утрачивается скорость его передачи, его действенность и точность исполнения... Каждое дополнительное звено в цепи управления войсками снижает эффективность отдаваемых распоряжений двумя способами — за счет усложнения процесса его передачи и увеличения длительности его прохождения по всем звеньям цепи. Отсюда следует вывод, что численность подразделений, равноценных по своему статусу, должна быть максимальной, а цепь передачи команд — как можно более короткой». В свое время фельдмаршал Гельмут фон Мольтке (Helmuth von Moltke) придерживался такого же мнения.

одно небольшое помещение было отведено под бухгалтерию. В момент приобретения предприятия Фордом численность персонала составляла около 2700 человек. Несколько лет спустя в нем осталось 2390 человек, которые обеспечивали удвоенный объем грузовых перевозок и зарабатывали намного больше денег владельцу. После нескольких лет пребывания D.T.&I в собственности у Форда эта железная дорога стала приносить ежегодный доход, составлявший почти половину тех средств, которые он в свое время потратил на ее приобретение, т. е. рентабельность инвестиций достигла 50%. Этот пример служит хорошим подтверждением идей Питерса и Деминга о целесообразности упрощения организационных структур.

## ГЛАВА 4

### МЕТОДЫ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Глава посвящена методам повышения эффективности работы и начинается с рассмотрения фундаментального понятия «трение», которое в Японии принято обозначать термином «мүда», а в англоязычной литературе — термином waste (потери). Последний переводится на русский язык как любые непроизводительные, лишние затраты и расходы предприятия или просто расточительное ведение дел. Учитывая это понятие, авторы описывают конкретные методы и способы повышения эффективности и производительности работы персонала и использования оборудования.

Но прежде всего хотелось бы предостеречь читателей в отношении самого термина «производительность» (efficiency). Как будет показано, теория ограничений *не рекомендует оценивать отдельно взятые операции предприятия по критериям производительности или полноты использования (загрузки) производственных мощностей*. Требование максимальной производительности или 100%-ной загрузки мощностей имеет смысл только по отношению к операциям, выступающим в роли ограничивающих факторов для всего производственного процесса. *Для других операций повышение производительности не обязательно увеличивает производительность предприятия в целом*. Но при этом достигаются следующие выгоды для компании.

- Сокращается трудоемкость изготовления изделий, что позволяет высвободить ресурсы для выполнения иных работ.
- Уменьшается продолжительность выполнения отдельных работ, что имеет большое значение для реорганизации производства по принципу «точно вовремя». При этом различают следующие временные характеристики:
  - *время выполнения заказа (lead time)* — промежуток между моментами размещения заказа и поставки готовой продукции (предоставления услуги) потребителю;
  - *время цикла (cycle time)* — промежуток между моментами начала и завершения выполнения определенной работы. Если предприятие выпускает продукцию только «на заказ», то время его выполнения не может быть меньше суммарного оперативного времени изготовления требуемого количества продукции.

- Снижение себестоимости продукции за счет исключения из производственного процесса лишних работ и операций, например правки деталей после термической обработки или подбивания кирпичей после их укладки на раствор.
- Переход от обработки деталей партиями с возможными очередями между операциями к штучному их изготовлению посредством применения систем быстрой переналадки оборудования.

В первой главе было введено фундаментальное понятие трения как совокупности мелких препятствий, мешающих достижению требуемой эффективности предприятия. Каждое из них по отдельности не столь серьезно, чтобы требовать немедленного устранения, но в комплексе они способны повлечь за собой фатальные снижения эффективности и производительности предприятия. Отметим, что введение понятия «трение» позволяет всего в нескольких словах сформулировать сущность концепции бережливого предприятия.

## ТРЕНИЕ — НЕВИДИМЫЙ ПРОТИВНИК

Для обозначения понятия «трение» японцы, помимо уже упомянутого слова «муда» (waste), применяют также термин *мурі\** (strain — перегрузки). Эти японские слова сейчас проникли во многие языки и применяются в самых разнообразных контекстах. *Бережливое производство — это выявление и устранение трения*, причем первая часть этой задачи — выявление трения — зачастую оказывается не менее сложной, чем вторая — его устранение. Если даже приводимые ниже примеры не имеют прямого отношения к той области деятельности, которой занимается читатель, то сам описываемый в них процесс, связанный с выявлением трения, может оказаться для него полезным в практическом отношении.

Тейлора часто критикуют за то, что он в своих работах не подвергал сомнению необходимость тех работ, процесс выполнения которых стремился усовершенствовать. Например, ему удалось почти вчетверо увеличить количество чугунных чушек, переносимых одним рабочим, увеличив его заработную плату на 60%. Само по себе это было феноменальным достижением, но при использовании разработанных им принципов научной организации труда Тейлор даже не задумывался о том, не разумнее ли для перемещения чугунных чушек применить тележки или конвейер. Он исходил из аксиомы, что рабочие обязаны таскать их вручную (парадигма самоограничения).

Тейлор уделял немало времени формированию научного подхода к выбору ручного инструмента, наиболее подходящего для конкретной работы. В этом смысле он далеко опередил свое время, доказав, что разумнее, например, применять специальные лопаты для перегрузки разных видов сыпучих материалов (железной руды, угля или золы), хотя большинство считало, что одна лопата годится на все

\* *Мурі* (мури) обозначает перегрузку оборудования или операторов в течение длительного времени по сравнению с расчетной нагрузкой.

случаи жизни. Но мифологический Геракл, вместо того чтобы чистить авгиевы конюшни вручную, применил лопату и сделал это только затем, чтобы выкопать канал, по которому отвел воды рек, смывших скопившийся навоз. Он оказался разумнее Тейлора. Его пример доказывает, *что не следует рассматривать как нечто раз и навсегда заданное и необходимость самой работы, и применяемые методы, материалы и инструменты для ее выполнения.*

Процедуру выявления лишних затрат можно проиллюстрировать такой простейшей операцией, как закручивание винтов при сборке. Рассмотрение этой процедуры усложняет следующий факт: анализ затрат безусловно относит закручивание винтов в разряд операций, создающих добавленную стоимость, а при оценивании затрат, связанных с качеством, ее считают обязательным этапом сборки. Вместе с тем при ручной сборке «сама процедура закручивания винтов обходится предприятию в 6—10 раз дороже стоимости самих винтов» (Cubberly and Bakerjian, 1989). Рабочий, чтобы закрутить винт, должен повернуть его на несколько оборотов, что требует достаточно продолжительного времени даже при использовании специального инструмента. Но стоит ли считать эту операцию необходимой? Нельзя ли заменить винты защелками? Задаваясь подобными вопросами, можно устранять лишние, непроизводительные операции.

Джилбрет (Gilbreth, 1911) приводил другой пример непроизводительных затрат, которые находятся прямо у нас под носом, а точнее — на кончике пера.

«Существенным шагом вперед по избавлению от каждодневной лишней работы как на производстве, так и в быту могла бы стать стандартизация написания букв алфавита в целях приведения его в соответствие с принципами, применяемыми при анализе трудовых движений. Внимательное изучение написания большинства букв убеждает в том, что в нем содержится большое число совершенно лишних штрихов, заставляющих совершать пишущего много ненужных движений».

Безусловно, практическое решение этой задачи, обеспечивающее гладкий переход от существующего алфавита к новому, остается достаточно сложным. Но стенография фактически уже решила ее. История относит зарождение стенографии как средства быстрого преобразования устной речи в письменную к глубокой древности.

«В IV в до н. э. в Древней Греции применялись системы символов, позволяющие заменять буквы алфавита, а также — наиболее распространенные слова, суффиксы и приставки, в которых присутствовала та или иная буква, специальными штриховыми значками...» (Британская энциклопедия, 1909).

Как отмечает К. Смит, подобный способ широко применялся в бизнесе для записи соглашений о сделках, в образовании — для конспектирования лекций, в судах — для составления юридических документов, при составлении и пересмотре религиозных текстов, в политике — для записи речей ораторов. Римляне развили греческую систему скорописи.

«Тиро, вольноотпущенник Цинерона, считается автором первой действенной системы скорописи, способной дословно и достаточно точно фиксировать человеческую речь с использованием специальных символов, форма и положение которых отражают наиболее употребительные в устной речи слова. Тиро также

занимался подготовкой стенографов из числа специально обученных рабов, которые располагались вокруг римского форума и, сменяя друг друга, стенографировали происходившие там дебаты» (С. Smith, 1998).

Еще одним примером устройства, которое порождает скрытые непроизводительные затраты и находится буквально у нас под руками, может служить клавиатура QWERTY\*, разработанная еще в XIX в. для механических пишущих машинок. Предполагалось, что такая раскладка клавиатуры, при которой разделены наиболее часто употребляемые буквы, препятствует западанию букв пишущей машины. Но современные ссылки, найденные авторами в Интернете, опровергают миф о том, что эта раскладка, замедляющая темпы печати, реально предотвращала заедания. Теперь, когда механические пишущие машинки остались в прошлом, проблема заедания отпала и, вполне вероятно, существуют другие, более эффективные варианты раскладки клавиатур. Но QWERTY, как и прежде, остается нерушимым стандартом. Мы не настаиваем на немедленной отмене QWERTY, но приводим этот пример, чтобы проиллюстрировать, насколько прочно лишние операции и движения могут укорениться при выполнении определенных работ. Это указывает на необходимость отказа от привычных взглядов, чтобы успешно выявлять непроизводительные затраты.

### Виды непроизводительных затрат

Бейкерьян (Bakerjian, 1993) и Оно (Ohno, 1998) выделяют семь основных видов (источников) лишних, непроизводительных затрат и расходов.

1. *Перепроизводство.* Оно чаще всего является следствием производства, основанного не на спросе, а на предложении (push-style production), или применения для оценки производственных процессов или участков таких показателей, как коэффициент загрузки оборудования или стоимость изготовления одного изделия. Поэтому нельзя допускать, чтобы система бухгалтерского учета управляла предприятием.
2. *Ожидание в очередях.* Наличие вариаций продолжительности выполнения отдельных работ порождает эффект очередей и накопления незавершенной продукции даже в тех производственных системах, которые обладают излишней пропускной способностью. Изготовление изделий крупными партиями также способствует росту времени ожидания в очередях.
3. *Транспортирование.*
4. *Производственные процессы, не создающие добавленной стоимости.* Вот характерный пример такого процесса: когда-то на заводах Форда была обязательной правка осей после их термической обработки. Совершенно очевидно, что

\* Название этой общепринятой в англоязычных странах раскладки клавиатуры, сохранившейся и на современных персональных компьютерах (ПК), происходит от последовательности расположения клавиш в первом ее ряду слева направо. Чтобы убедиться в этом, читателю достаточно взглянуть на клавиатуру собственного ПК. — Прим. пер.



эта операция не создавала добавленной стоимости, а была направлена исключительно на исправление брака. В конце концов был найден такой способ охлаждения осей, который не вызывал их деформации, и эта лишняя операция была исключена из производственного процесса.

5. *Лишние материально-производственные запасы.* Необходимость избавления от них очевидна, но они продолжают присутствовать на большинстве предприятий. Звучит как оксюморон, но многие компании, внедряя принцип «точно вовремя», создают специальные склады материалов и готовой продукции, обеспечивающие своевременность поставок потребителям. Замаскированными складами можно также считать контейнерные перевозки. Заметную часть запасов может также составлять так называемый *флот*, т. е. материалы и покупные изделия, оплаченные предприятием, но еще находящиеся на этапе доставки.
6. *Лишние движения.* Избавление от лишних трудовых движений при выполнении работ было главной задачей первых специалистов по научной организации труда и управления.
7. *Затраты, связанные с качеством, — проверки, переделки дефектной продукции и утилизация неисправимого брака.* На устранение подобных затрат нацелены обеспечение качества и применение стандартов ИСО 9000.

### Ложная экономия как источник непроизводительных затрат

Еще одной концепцией, позволяющей избавляться от непроизводительных затрат, может служить недопущение ложной экономии или реализация известного принципа: «Мы не настолько богаты, чтобы покупать дешевые вещи». Излишнее внимание, уделяемое поиску самых дешевых работников, материалов или оборудования, может дорого обойтись компании. В свое время Тейлор старался сформировать высокооплачиваемого работника, заработная плата которого оправдывается его стремлением и умением точно следовать рабочим инструкциям. Форд (Ford, 1930) утверждал, что хорошие сотрудники, даже требующие повышенной заработной платы, обходятся предприятию дешевле, поскольку высококлассный рабочий способен более продуктивно использовать доверяемое ему ценное оборудование и другие основные средства предприятия.

Еще один пример ложной экономии — развитие металлообработки в конце XIX в. Тейлор вместе с М. Уайтом, металлургом компании Bethlehem Steel доказали, что новые сплавы для изготовления режущего инструмента позволяют увеличить скорость резания на многие сотни процентов, но при этом они столкнулись с предостережением, весьма распространенным среди рабочих механических цехов.

«...Они были убеждены, что скорость резания следует выбирать такую, которая обеспечит максимальную долговечность режущих кромок инструмента. Но это не так. Резцы могут и должны систематически затачиваться. Главное же — обеспечить максимум съема материала заготовки в единицу времени, и скорость резания должна определяться этими соображениями» (Aitken, 1960).

Как видно из этого примера, усилия по повышению долговечности режущего инструмента позволяют избавиться от одного вида непроизводительных расходов, но порождают другие, связанные с недостаточной производительностью механической обработки. В данном случае эти затраты обусловлены неправильным методом работы, но с равным успехом они могут появляться в связи с ошибками в подборе персонала, материалов и оборудования. Форд, например, всегда набирал на свои грузовые суда лучшие экипажи и платил им соответствующую высокую заработную плату. Он считал своим главным приоритетом максимизацию коэффициента технического использования судов, представлявших объекты достаточно крупных капиталовложений, и в этом смысле прием на работу исключительно первоклассных моряков не только не приводил к лишним расходам на оплату их труда, но, напротив, давал существенную экономию.

Сейчас все станки приводятся в действие электромоторами, но, если возвратиться в прошлое, когда применялся ременный привод, можно обнаружить еще один характерный пример ложной экономии. В книге *The System Company* (1911a) описан такой случай. Оказалось, что можно приобретать кожу для изготовления ремней на 10—12% ниже цены, по которой обычно продавался первоклассный товар. Но кожа, ремни из которой получались дешевле, поступала из районов, удаленных от признанных центров кожевенного производства. Она была неравномерной толщины и прочности, и когда такие слабые участки попадали на край ремня, тот быстро растягивался и часто соскакивал со шкивов. Кроме того, такие ремни служили всего по три месяца, в то время как срок службы ремней из первоклассной кожи составлял до одного года. Авторы приходят к очевидному выводу, что «...нет ничего хуже экономии, позволяющей удешевить ремень всего на 10% путем отступления от требований к качеству».

Позднее мы еще рассмотрим пример компании Omark, производящей цепные пилы, которая сумела избавиться от термообработки, начав изготавливать пилы из сплава, не требующего закалки. Неизвестно, насколько дороже был новый материал, но переход на него позволил устранить из производственного цикла лишнюю, достаточно продолжительную по времени операцию.

### Роль производственных рабочих в уменьшении трения

Халпин (Halpin, 1966) рассматривает систему устранения причин ошибок исполнителей (ECR), разработанную General Electric и нацеленную на повышение качества продукции. Среди таких причин были:

- неправильное расположение настольных ламп;
- вынужденное использование операторами-левшами оборудования, рассчитанного на праворуких операторов (этот фактор относится к области эргономики, или учета человеческого фактора);
- размещение телефонного аппарата не с той стороны стола.

Главный вывод, к которому пришел Халпин, заключается в следующем: «...компания удалось избавиться от таких мелочей, которые работники постоянно испытывали на собственной шкуре, но считали их слишком незначительными, чтобы обращаться к руководству с требованиями об их исправлении». Левинсон и Тамбелти (Levinson and Tumbelty, 1997) приводят собственное, укладывающееся в одно предложение определение того, что следует считать трением применительно к условиям труда на производстве: «Любой фактор, постоянно раздражающий или беспокоящий работника, хронически снижающий производительность его труда, должен считаться трением».

Эдвард Мотт Вулли (Wooley) поделился следующими наблюдениями о трении в машинописном бюро, хотя и не употребляя этого термина. Отмечая наличие раздражающих факторов, которые, не препятствуя в принципе выполнению работы, снижают ее продуктивность путем создания неоправданных трудностей, он пишет:

«Многие столы, на которых установлены машинки, выше нормы на несколько дюймов, стулья для машинисток неудобны, настольные лампы дают мало света или неправильно расположены, столы расставлены так, что мешают свободному перемещению, отсутствует должная система ухода за машинками и их технического обслуживания. Кроме того, отсутствует унификация машинок, применяются поддюжины разных марок» (The System Company, 1911).

Шенбергер (Schonberger, 1986) предлагает, чтобы рабочие сами фиксировали причины, по которым выполнение любой работы замедляется или приостанавливается. Такие записи можно считать эквивалентом предупредительного желтого сигнала в системе цветовой сигнализации, применяемой в автоматизированном оборудовании, где красный цвет оповещает о реальной остановке станка. Возникшая проблема и ее причины должны регистрироваться незамедлительно, после чего их сводят в таблицы частот или контрольные листки, обрабатываемые с помощью диаграмм Парето. Таким образом, открывается возможность использования двух традиционных и простых в применении методов управления качеством.

Уже упоминавшаяся выше система ECR (Halpin, 1966) и описанные в работе Имаи (Imai, 1997) отчеты о проблемах с качеством или производительностью труда (hiyari) служат средствами устранения трения или проведения других усовершенствований, инициируемых самими работниками. Целый раздел данной главы будет посвящен описанию уже упоминавшейся системы коллективного решения производственных проблем путем выявления и долговременного устранения их причин (TOPS-8D), существующей в корпорации Ford Motor Company. Эта система обладает высокой гибкостью и в равной мере подходит как для разрешения hiyari, так и для внедрения рационализаторских предложений работников.

Итак, в разделе были рассмотрены природа и виды непроизводительных затрат (мұда и мури), объединяемых термином «трение», и дано краткое определение этого понятия с точки зрения рабочего, непосредственно занятого на производстве. Следующий раздел посвящен вопросам эффективного использования материалов, тесно примыкающим к проблемам трения, которым нельзя не уделять должного внимания.

## ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ

*Он довел новые процессы до совершенства: все, что прежде улетало, как дым из трубы, теперь становилось частями автомобиля.*

Э. Синклер, «Король жестянок» (1937)

Концепция действительно эффективного использования материалов тесно связана с проблемами снижения трения. Один из секретов успеха Г. Форда заключен в его умении извлекать максимум пользы из всех материалов, поступающих в его распоряжение. Ходила даже легенда, будто Форд просил поставщиков упаковывать свою продукцию в деревянные ящики, изготовленные из досок определенного размера — якобы потом эти доски шли на изготовление пола кабины его знаменитого Ford-T. До этого поставщики упаковывали продаваемые Форду изделия, как им заблагорассудится, мало заботясь о размерах досок для ящиков.

Возможно, это рассказы, но истина в том, что Форд умел пускать в дело даже упаковочные ящики, вместо того чтобы отправлять их на завод по перегонке древесины. Он соглашался сжигать горючие отходы для выработки тепла и энергии, но считал это только крайней мерой, допустимой тогда, когда их нельзя было употребить с большей пользой. Он настаивал на необходимости извлечения из угля всех ценных химических веществ в процессе его коксования. Тонна угля, поставленного на завод, стоила в то время 5 долл., но после переработки в кокс и сопутствующие продукты ее стоимость доходила уже до 12 долл. (Ford, 1926). Кстати, в процессе переработки угля из него извлекалась большая часть примесей серы, шедшей на производство удобрения (сульфата аммония), и это происходило задолго до того, как человечество осознало опасность кислотных дождей, выпадавших в результате загрязнения атмосферы продуктами горения угля с повышенным содержанием серы.

Генри Форд провел свое детство на ферме и, вероятно, запомнил на всю жизнь поговорку сельских жителей «В забитой свинье должно быть использовано все, кроме визга» (рис. 4.1). Возможно, она покажется малопривлекательной для любителей сосисок, но хорошо отражает главную идею — необходимо искать и находить применение всему. Австралийские фермеры додумались даже до того, чтобы проводить вакцинацию скота против вырабатывающих метан бактерий, которые обитают в пищеварительной системе животных, полагая, что кормить следует только сам скот, а не живущих в нем микроорганизмов. Этот пример хорошо иллюстрирует многообразие способов сокращения непроизводительных затрат.

Левинсон (Levinson, 2002) утверждает, что фордовская стратегия ведения бизнеса — ничего не выбрасывать и всему находить полезное применение — полностью отвечала требованиям ИСО 14000 задолго до того, как стали известны нормы по охране окружающей среды, установленные этими стандартами и Национальным агентством по защите окружающей среды. Но Форд жил в то время, когда не было законов, запрещавших сбрасывать в реки отходы, которые нельзя было сжечь. Как



Рис. 4.1. Об отношении к материалам

отмечает автор романа «Король жестянок» (цитата из которого вынесена в эпиграф к данному разделу), он не мог смотреть, как деньги вылетают в трубу, и постоянно искал способы полезной утилизации отходов. Таким образом, концепция бережливого производства служит хорошим дополнением к системам охраны окружающей среды, отвечающим требованиям стандартов ИСО 14000.

*Нельзя недооценивать важность идеи распознавания непроизводительных затрат и потерь всюду, где только они могут возникнуть.* Приводимый ниже пример показывает, что Форду было достаточно одного взгляда, чтобы обнаружить подобные затраты. Неплохо, чтобы работник любого предприятия обладал таким умением.

«Однажды мы с мистером Фордом проходили по территории завода, и он обратил внимание на ржавчину, выступившую на шлаке, который использовался в качестве балласта на железнодорожных путях, принадлежавших D.T.&I. Этот шлак поступал из наших собственных доменных печей.

— Мне кажется, что в этом шлаке осталось немало железа, — заявил мистер Форд, — вам следует поручить бригадам крановщиков, извлекающим шлак из печей, извлекать из него остатки железа и отправлять его на переплавку» (Ben-net, 1951).

Любой человек на месте Форда, вероятно, не обратил бы внимание на наличие ржавчины на материале, пригодном только на выброс. Но тот отметил для себя два важных момента: 1) если есть ржавчина, значит, есть и железо в шлаке, и 2) этот шлак производят его собственные доменные печи. Возврат железа на переплавку становится лишь следствием первых двух наблюдений, тем этапом в процедуре коллективного решения проблем TOPS-8D, которую нам предстоит рассмотреть, принято называть «сдерживанием». В данном случае корректирующим действием, имеющим долговременные последствия, должно быть прежде всего предупреждение выброса отходов железа за пределы предприятия, для чего на сталелитейном заводе были установлены мощные электромагниты, извлекающие частицы железа из шлака.

Вот еще один пример, касающийся умения видеть непроизводительные затраты и потери. Как и в случае с ржавым шлаком, большинство людей не обращает внимания на дым, идущий из трубы, рассуждая примерно так: дым как дым, черный, идет себе из трубы, как и положено, так в чем проблема?

«Черный дым означает неполное сгорание углерода, т. е. недополученные тепло и энергию, впустую израсходованный уголь. Дымящая труба — пустая трата денег!» (The System Company, 1911a).

В наше время черный дым из трубы означает нарушение природоохранительного законодательства. Очевидным способом борьбы с ним служит установка циклонов, тканевых и электрических фильтров и других пыле- и газоуловителей в дымоходах, предотвращающих выбросы в атмосферу токсичных газов и твердых частиц. Но подобные меры требуют значительных инвестиций, которые никогда не принесут доходов, способных их окупить. Существует иной, не столь очевидный, но гораздо более эффективный подход к решению проблемы, заключающийся в недопущении самого появления черного дыма, например, путем обеспечения более полного сжигания и извлечения большего количества тепла из каждой тонны топлива. Форд также извлекал из угля ценные химикаты, перед тем как сжечь его в виде кокса. При этом сера, удаление которой является обязательным требованием (поскольку выделяемый при сжигании загрязненного ею топлива токсичный газ — диоксид серы служит причиной выпадения кислотных дождей), идет на производство ценных химических удобрений. Подобный склад мышления, нацеленный на полезную утилизацию всех производственных отходов, должен стать привычным для работников любых предприятий. *При этом всегда следует иметь в виду: если какие-то отходы существуют, то всегда найдется человек, уже придумавший, что с ними делать.*

### Ресурсосберегающие конструкции и технологии:

нужно производить полезные изделия, а не стружку или опилки

В книге К. Меже (Mege, 2000) приводится пример гибкой производственной линии (НАМ) для изготовления алюминиевых деталей. Одна американская компания, купившая подобную линию, с гордостью сообщала, что она перерабатывает 364 т алюминия в месяц. При этом она была вынуждена приобрести специальный пресс, с помощью которого делаются брикеты из образующейся алюминиевой стружки, продаваемые переработчикам металлолома. Более того, как выяснилось, масса готовых деталей, производимых НАМ, составляет всего 15–20% от массы исходных заготовок.

Но задача любого предприятия состоит в том, чтобы изготавливать продукцию, а не брикеты стружки. Автору неизвестны особенности данного конкретного производства, чтобы утверждать о возможностях более эффективного производства продукции, но его владельцы обязательно должны были задаться вопросом: не существует ли иных способов выработки деталей, не требующих столь больших объемов механической отделки? Зачем пускать в стружку, отправляемую потом переработчикам

дома, каждые пять из шести заготовок? Этот пример снова доказывает, что непроизводительные затраты отнюдь не являются очевидными. Механическая обработка заготовок всегда относилась к категории операций, добавляющих ценность, а с точки зрения анализа затрат, связанных с качеством, является обязательной работой.

Для сокращения объемов механической обработки следует переработать конструкцию изготавливаемых деталей или технологию их производства. Хотя механическая обработка зачастую является лучшим и единственным способом обеспечения заданных допусков на размеры деталей или требований к чистоте обработки их поверхностей, она всегда сопряжена с появлением значительных отходов материалов.

«Потери материала при традиционной механической обработке составляют от 30 до 70% исходной массы заготовок, причем чем сложнее форма детали, тем больше отходов возникает при ее изготовлении. Хотя основную часть стружки удастся утилизировать в виде металлолома, предприятия при этом несут существенные убытки. В результате постоянно растет внимание, уделяемое безотходным технологиям, при которых формы и размеры заготовок максимально приближены к окончательным параметрам готовых деталей. Примерами таких технологий могут быть высокоточная штамповка, точное литье под давлением или прессование заготовок из металлических порошков» (Dieter, 1983).

Жак (Jacques, 2001) описывает процесс изготовления бейсбольных бит на заводе компании Hillerich & Bradsby, расположенном в г. Луисвилль-Слаггер. При этом он обращает внимание читателей на два принципиальных момента (иллюстрируемых рисунками). На первом из них изображен человек с круглой деревянной заготовкой в руках, из которой предстоит изготовить бит. Как известно, концепция бережливого производства требует умения мысленно представить положение будущего готового изделия в заготовке (чтобы оценить рациональность ее размеров и формы). Второй рисунок подтверждает худшие опасения читателя, изображая процесс обточки заготовки, сопровождаемый большим количеством опилок и выделяемой пыли. Заготовки для бит, поступающие в Луисвилль, имеют массу от 80 до 100 унций (2268—2835 г), в то время как масса готовых бит составляет от 30 до 35 унций (850—992 г). Таким образом, в отходы идет от 56 до 70% массы заготовок.

Сразу возникает идея вытачивать по две биты из одной заготовки немного большего размера, причем не обязательно цилиндрической формы (рис. 4.2). Вероятно, такой процесс несколько сложнее вытачивания одной биты из гладкой

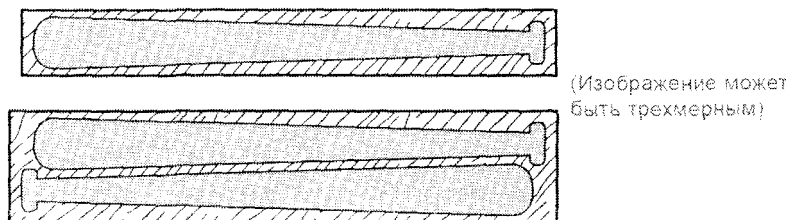


Рис. 4.2. Сколько бит можно сделать из одной деревянной заготовки?

заготовки, но уже в XIX в. существовали токарные станки Blanchard, позволявшие вытачивать деревянные изделия самой причудливой формы, например ружейные приклады. Грубо ободренные заготовки могут затем потребовать дополнительной токарной обработки для окончательной отделки поверхностей бит.

Но такой прием не обязательно является лучшим для данной работы. Качество продукции и размеры капитальных затрат на приобретение нового оборудования, или оба эти фактора вместе взятые, могут перевесить экономию на материалах, стоимость которых составляет пренебрежимо малую часть цены профессиональных бейсбольных бит (на их производстве специализируется Hillerich & Bradsby). Но, возможно, экономия материала имеет смысл для любительских бит, поступающих в розничную торговлю. Некоторые полезные сведения на этот счет предоставил Джек Хиллерич из N&B, сообщивший, что когда-то его компания уже пыталась вытачивать более одной биты из одного куска дерева, что позволило ей сократить расход материала на 20%. Но теперь предприятие применяет станок с одним широким резцом сложной формы, позволяющим обтачивать всю битку разом. Для этого требуется специальный держатель заготовок с кольцом, поддерживающим их противоположный от суппорта конец, в который невозможно установить заготовку более сложной формы. Для чистовой обработки заготовок бит можно применить сложный обрабатывающий центр с более чем 40 резцами, но он нуждается в сложной продолжительной настройке и, соответственно, выпуске продукции большими партиями. Это противоречит одному из принципов бережливого производства, требующего короткого времени переналадок оборудования и производства продукции малыми партиями. Оптимизация производственного процесса с учетом всех перечисленных факторов может привести к выводу о целесообразности больших расходов материалов, поскольку затраты, требующиеся на их уменьшение, не окупаются стоимостью сэкономленного материала.

Аналогичные соображения вполне применимы к приведенному выше примеру с использованием НАМ. Алюминий — достаточно дешевый материал, и вполне возможно, что нецелесообразно применять дополнительное оборудование или вводить лишние производственные операции ради получения большего числа деталей из одной заготовки. Но эти экономические соображения могут привести совсем к иным выводам, если заменить алюминий каким-то другим, специальным, более дорогим сплавом. Из всего сказанного следует важный вывод: *повышенное количество пыли, стружки или опилок, сопутствующих любой механической обработке, обязательно заслуживает внимания*. Вполне вероятно, что не существует способов полного исключения отходов, но эта проблема требует изучения.

### Соблюдение требований стандартов ИСО 14000 и сокращение выбросов парниковых газов

Стоит напомнить, что концепция бережливого производства представляет собой синтез идей, заложенных в стандарты ИСО 9000 и ИСО 14000. Выполнение



требований ИСО 14000 по охране окружающей среды не только не должно быть разорительным, но, напротив, выгодным для предприятия. Известно, что возможны два принципиально различающихся подхода к их соблюдению — затратный либо прибыльный. В первом случае организация только тратит деньги на создание систем улавливания и утилизации производственных отходов, чтобы не загрязнять окружающую среду. Но более разумным представляется второй подход, заключающийся в уменьшении количества отходов или в поиске путей для их превращения в полезные, востребованные рынком продукты (именно так поступал Форд).

Перспективы глобального потепления вследствие увеличения выбросов так называемых парниковых газов (диоксида углерода или метана) и связанные с ними проблемы считаются спорными\*. Но, безусловно, ратификация Киотского протокола\*\* может иметь катастрофические последствия для экономики США. Она приведет к росту цен на энергию, потребляемую промышленностью и транспортом, что сделает американские товары неконкурентоспособными по сравнению с продукцией развивающихся стран, не принимающих на себя никаких обязательств по этому соглашению. Опыт штата Калифорния, накопленный в 2000—2001 гг., отчетливо показал, какие последствия ожидают Северную Америку в случае присоединения к Киотскому протоколу.

Возьмем, к примеру, крупный алюминиевый завод, расположенный на западном побережье США. Это предприятие заключило долговременные контракты на поставки электроэнергии по фиксированным ценам. Но его владельцы обнаружили, что им выгоднее закрыть завод и заняться перепродажей приобретаемого электричества в Калифорнию. Таким образом, под влиянием разрушительных для экономики движущих сил предприятие, ранее производившее ценность, превратилось в ничего не создающего торгового посредника. Подобная тенденция представляется крайне опасной для благосостояния страны. При этом вина лежит не только на владельцах алюминиевого завода, но и на правительстве Калифорнии,

\* Последующее обсуждение проблем, связанных с Киотским протоколом, не отражает мнение Fairchild Semiconductor и некоторых других компаний. Борьба с глобальным потеплением климата позволяет сопоставить методологию бережливой организации производства, основанную на идеологии уменьшения любых непроизводительных затрат и извлечения максимума полезного из всех применяемых материалов, с другими подходами, которые на деле означают выбрасывание денег на решение несуществующих проблем.

\*\* Киотский протокол — это международный документ, ставящий своей целью ограничить выбросы промышленных газов, оказывающих значительное влияние на потепление климата, в атмосферу. Авторы книги пытаются доказать, что ратификация Киотского соглашения такой промышленно развитой страной, как США, потребует значительных затрат и приведет к повышению цены на продукцию и, как следствие, сделает ее неконкурентоспособной. Безусловно, эффективность этого международного проекта зависит от массовости участия в нем стран мирового сообщества, потребует совершенствования применяемых технологий. Реализация проекта в каждом государстве требует неодинаковых усилий и затрат, однако современное общество должно осознавать ответственность за благополучие будущих поколений. Правительства имеют достаточно возможностей для влияния на развитие бизнеса в своих странах, в том числе на нежелательную замену промышленного производства на торговое посредничество, не создающее какой-либо ценности. Россия ратифицировала Киотский протокол в 2005 г. — *Прим. науч. ред.*

проводящем политику, препятствующую созданию новых производственных мощностей в энергетике. Более того, многие работодатели стали задумываться о выводе из этого штата своих фирм, производство на которых регулярно останавливается из-за отключений электроэнергии. Другие штаты рады заполучить новые рабочие места и всячески заманивают к себе калифорнийских промышленников, многие из которых уже готовы к переезду.

«Компанию STC Plastics (г. Чайно, штат Калифорния), находящуюся в самом эпицентре энергетического кризиса, по словам ее президента Скотта Келлера, замучили бесконечные отключения электроэнергии, которых за этот год было более 20... Если эта тенденция продолжится, то может быть принято решение о переносе производственных мощностей STC Plastics в другой штат, с менее высокими ценами на электроэнергию».

«...Наши неприятности проистекают из того, что все занимаются политикой, но никто не желает составлять разумные законы, — считает Эрл Боуз, вице-президент по производству цементной компании Hanson Permanent Cement (г. Плизантон, штат Калифорния) ... Если правительственные агентства штата, например Caltrans, не желают платить больше за производимый в Калифорнии цемент (подорожавший из-за взлета по их вине цен на электроэнергию), то им придется вскоре завозить цемент из Кореи, Китая или Таиланда, где электричество стоит намного дешевле» (Kim, 2001).

Боуз добавляет, что в настоящее время на изготовление одной тонны портланд-цемента требуется около 100 кВт · ч электроэнергии. В цитируемой статье Э. Кима указывается: аналогичные проблемы распространились, кроме Калифорнии, и на другие штаты западного побережья, также оказавшиеся в тисках энергетического кризиса. Например, из-за этой проблемы Georgia-Pacific Corporation вынуждена постоянно приостанавливать работу целлюлозно-бумажного комбината и химического завода в г. Беллингхэм (штат Вашингтон).

Хлор и едкий натр добывают, как известно, из соленой воды методом электролиза. Район Ниагарских водопадов (штат Нью-Йорк) издавна является популярным местом размещения химических предприятий, производящих хлор и щелочи. Это происходит по той же причине, по которой бокситы для переработки в алюминий возят из Австралии в Скандинавию — благодаря наличию дешевой электроэнергии, вырабатываемой гидроэлектростанциями. Но компания Atofina Chemicals, Inc. вынуждена приостановить работу завода в г. Портланде (штат Орегон). Как сообщается на веб-сайте компании ([www.AftoniaChemicals.com](http://www.AftoniaChemicals.com)), это стало следствием «беспрецедентного роста цен на электроэнергию, поставляемую Pacific Northwest», обусловленного как политикой правительства Калифорнии, так и падением уровня воды в водохранилищах гидроэлектростанций.

Превращение стоимости электрической энергии в главную движущую силу развития экономики становится все более очевидным. Еще Форд считал *стоимость энергии и транспортные расходы* главными из факторов, учитываемых при размещении новых производств. При этом он ничего не говорил о доступности дешевой рабочей силы. Ратификация Киотского протокола заставит владельцев

промышленных предприятий переносить все производства, связанные с выбросами углекислого газа, за рубеж, где они не будут связаны никакими обязательствами, вытекающими из этого соглашения.

На самом деле это соглашение нанесло бы ущерб мировой экологии. Американское законодательство в области охраны окружающей среды точно так же, как нормы, существующие в этой области в большинстве других промышленно развитых стран, жестко регламентируют выбросы любых веществ, опасных для человека, животных и растений. Хотя США, надеемся, не будут регулировать выбросы в атмосферу углекислого газа, они очень строго контролируют, например, ртутные загрязнения, возникающие при сжигании угля на тепловых электростанциях. Уже сейчас в стране ограничены допустимые выбросы токсичного диоксида серы, являющегося основной причиной кислотных дождей. Большинство развитых стран не имеют вообще или располагают значительно менее строгим природоохранительным законодательством, столь же активно, как американское, подталкивающим промышленников переносить грязные производства за рубеж, добавляя тем самым к парниковым газам выбросы токсичных веществ и кислотные дожди.

Киотский протокол содержит еще одно опасное для экономики США положение, предусматривающее торговлю квотами на выбросы. История с торговлей квотами напоминает известный анекдот: предприниматель, прослышав, что правительство США приплачивает фермерам за согласие не увеличивать поголовье скота, чтобы избежать перепроизводства и падения закупочных цен на продукцию животноводства, обратился в Министерство сельского хозяйства с письмом, где сообщил о своем намерении принять участие в процессе регулирования численности скота. Он спрашивает, каких животных и в каком количестве не следует выращивать, какой тип фермы для этого подходит и т. п. Кроме того, фермер напоминает, что то поголовье, которое он не взрастит, не будет поедать кукурузу, и в связи с этим задает вопрос: стоит ли ему рассчитывать на компенсацию за неполученный урожай этой невовзделанной кукурузы? Анекдот характеризует абсурдность идеи получения денег за то, что отдельные государства соглашаются не производить материальные ценности. Богатство и процветание страны должны зависеть не из торговли квотами, а создаваться за счет изготовления и продажи товаров.

Вместе с тем существуют экономические факторы, косвенным образом способствующие сокращению выбросов парниковых газов. В табл. 4.1 показано, что грамотный научный подход к охране окружающей среды позволяет успешно сочетать создание экологически чистых производств с извлечением прибыли. К числу таких грамотных подходов можно отнести создание топливных элементов, обеспечивающих прямое преобразование химической энергии в электрическую. Тем самым удастся обойти ограничения по КПД традиционных циклов генерации, в которых значительная часть тепла, выделяемого в топках паровых котлов, теряется в охладителях. Главной задачей создателей топливных элементов должно быть удвоение выхода полезного продукта, получаемого из единицы

расходуемого топлива. При этом производители энергии будут расходовать значительно меньше средств на приобретение топлива, попутно сокращая выбросы тепла и углекислого газа. Первым компаниям, сумевшим создать и внедрить новые технологии, основанные на применении топливных элементов, удастся заработать немалые прибыли.

Итак, в данном разделе показано, что идеи бережливого производства, нацеленные на извлечение максимального эффекта из всех видов ресурсов, позволяют успешно решать смежные проблемы, например по охране окружающей среды в соответствии с требованиями стандартов ИСО 14000, экономии топливных ресурсов и сокращению выбросов парниковых газов. Идея бережливого производства позволяет обеспечивать получение больших доходов при меньших затратах. Таким

Таблица 4.1

**Разумные и не очень продуманные подходы к решению экологических проблем**

<b>Большие затраты с малыми результатами</b>	<b>Прибыльная охрана окружающей среды</b>
Создание автомобилей, не загрязняющих окружающую среду выхлопами. Имеются в виду электромобили на аккумуляторах, требующих частой подзарядки и таким образом стесняющих свободу передвижения. Электромобили действительно не имеют выхлопной трубы, но не решают проблему выбросов кардинально, просто перенося ее на уровень тепловых электростанций, вырабатывающих энергию для зарядки аккумуляторов	Сейчас разрабатываются системы извлечения водорода из традиционных видов автомобильного топлива — бензина и солярки, который затем преобразуется топливными элементами в электрическую энергию с КПД, вдвое большим, чем в обычном тепловом цикле Отто, используемом в двигателях внутреннего сгорания. Подобные системы приведут к появлению машин, способных расходовать вдвое меньше топлива на километр пробега без увеличения их собственной массы и энерговооруженности, причем в качестве топлива не будут применяться сжатые, взрывоопасные газы. В подобных системах в каждый момент времени присутствует очень малое количество взрывоопасного водорода, который вырабатывается только по мере его расходования
Создание автомобилей, не загрязняющих окружающую среду выхлопами. Имеются в виду автомобили и автобусы, работающие на водороде или использующие водород в топливных элементах. Но, для того чтобы заправить такой автомобиль количеством топлива, делающим его применение целесообразным с практической точки зрения, водород в его топливном баке должен находиться под сверхвысоким давлением. Здесь уместно вспомнить, что случилось с дирижаблем «Гинденбург», в котором именно водород обеспечивал подъемную силу. Правда, возможно безопасное хранение и транспортирование водорода, если насыщать им некоторые твердые вещества. Например, в Интернете имеется немало сообщений об экспериментах по использованию в этих целях углеродных нанотрубок	Улучшение аэродинамики автомобилей позволяет повысить их топливную экономичность без ущерба для безопасности других технических параметров. Еще одним способом сокращения расхода топлива служит применение трансмиссий с ускоряющими передачами, используемые на относительно ровных автострадах

Таблица 4.1 (окончание)

<p>Ужесточение требований закона о среднем удельном расходе топлива автомобилями, производимыми в США, заставляет производителей выпускать небольшие, менее безопасные и менее востребованные покупателями машины</p>	<p>Отказ от реакции прямого сжигания углерода:  <math>C + O_2 \rightarrow CO_2 + \text{тепло}</math>.          Современные паровые турбины способны обеспечить КПД преобразования энергии сжигаемого угля на уровне 35—40%*. Наиболее предпочтительной является следующая реакция с использованием гидрогенизации угля с последующим прямым преобразованием химической энергии водорода в электрическую энергию в топливных элементах:  <math>C + H_2O \rightarrow CO + H_2</math>; <math>CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2</math>          и <math>2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + \text{электричество}</math>.          Технологии гидрогенизации угля с помощью водяного пара уже давно на подходе. С точки зрения термодинамики нет никаких ограничений для удвоения КПД однородных топливных элементов при выработке электрической энергии по сравнению с традиционным тепловым циклом, причем для выработки того же количества электроэнергии потребуется вдвое меньше угля</p>
<p>Установка дорогих газоуловителей на дымовых трубах и выплата больших штрафов за превышение норм выбросов в атмосферу. Тепловые электростанции, работающие на угле, уже сейчас применяют эффективные пыле- и газоуловители для удаления из отработанных газов опасных для людей и природы твердых частиц, сернистых и азотистых соединений. Вместе с тем углекислый газ является естественным продуктом горения, и требования по его удалению негативно сказываются на производстве энергии. Однако повышение концентрации <math>CO_2</math> в атмосфере в связи с выбросами тепловых электростанций не представляет опасности для животных и растений</p>	<p>Сейчас Австралия стремится создать лекарственные средства или вакцины, подавляющие жизнедеятельность бактерий, вырабатывающих метан в пищеварительной системе животных. Это очень продуктивная идея: безусловно, пища, скармливаемая домашнему скоту, должна превращаться в мясо, шерсть и кожу, а не расходоваться на поддержание жизни бактерий и выработку метана</p>
<p>Введение специального налога на выбросы метана животноводческими хозяйствами, поскольку сейчас «более половины выбросов парниковых газов в Новой Зеландии приходится на долю 48-миллионного стада овец и 9-миллионного стада крупного рогатого скота молочных и мясных пород»**. Метан, являющийся продуктом пищеварения скота, способен создавать парниковый эффект, в 21 раз более мощный, чем углекислый газ, выбрасываемый в тех же количествах</p>	

\* Идеальный тепловой цикл Карно, который не может быть реализован ни в одной реальной тепловой машине, определяет, что максимальная эффективность переноса тепла из горячего в холодный резервуары с абсолютными температурами по шкале Кельвина или Ренкина  $Thot$  и  $Tcold$ , не может превышать величины  $\eta = (T_{hot} - T_{cold})/T_{hot}$ . Естественно, что любой реальный энергетический цикл «паровой котел — турбина — конденсатор — насос» (например, цикл Ренкина) имеет меньший КПД, чем цикл Карно, что доказывает неэффективность современных методов преобразования тепловой энергии в электрическую, обеспечивающих полезное использование лишь небольшой части энергии, содержащейся в сжигаемом топливе.

\*\* Данные о налоге с сайта: [http://www.Ananova.com/news/story/sm\\_299143.html](http://www.Ananova.com/news/story/sm_299143.html) (по состоянию на 06.08.01). Информацию об этом налоге можно найти и в других источниках.

образом, эта методология противоположна распространенному подходу к решению проблемы путем массированного расходования средств без ее глубокого творческого осмысления.

Следующий раздел посвящен проблеме *стандартизации*, т. е. внедрению унифицированных рабочих инструкций и технических условий, придающих постоянный характер проводимым усовершенствованиям в области повышения качества продукции и производительности предприятий. Стандартизация служит, по словам Дж. Джурана, «средством сохранения достигнутого».

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Стереотипное мнение о методе научной организации труда как способе воспитания работников, «оставляющих свои мозги за заводскими воротами», во многом обязано повышенному вниманию, которое Тейлор уделял проблемам стандартизации, нацеленной на внедрение самых эффективных приемов и методов труда. Распространение передового опыта на деле означает внедрение стандартных приемов и методов в масштабах всего предприятия.

Стандартизация выступает против традиционных представлений, при которых работник может выполнять порученное дело в соответствии с собственными представлениями об оптимальных способах его выполнения. Научная организация труда направлена на поиск наилучших приемов и методов работы с последующей стандартизацией, т. е. требованием обязательности их применения на предприятии.

Стандартизация способствует распространению накопленных знаний и навыков. В прошлом ремесленники также занимались совершенствованием применяемых методов работы, но предпочитали не делиться своими достижениями с другими. Более того, чаще всего они нигде не фиксировали свои достижения, и, когда мастер умирал или увольнялся, он уносил свои профессиональные тайны с собой. Подобное происходит и в наше время, о чем свидетельствует приводимая ниже цитата.

«...должны быть предприняты все необходимые действия, гарантирующие, что найденные усовершенствования станут неотъемлемой частью повседневной работы и стандартизованных процедур и методов ее выполнения. В противном случае любые усовершенствования быстро размываются и предприятие утрачивает возможные выгоды от их постоянного применения. Усовершенствования без последующей стандартизации не могут быть достаточно устойчивыми» (Standard and Davis, 1999).

В работе Дж. Джурана и Грайны (Juran and Gryna, 1988) термином *knack* (*сноровка*) обозначены «небольшие отклонения от стандартных методов работы, оказывающие весьма существенное влияние на ее результаты». Сноровка позволяет некоторым обладающим ею работникам демонстрировать выдающиеся результаты труда. Порой люди склонны скрывать свою сноровку, чтобы избежать критики за нарушения стандартизованных методов работы или не выделяться среди остальных.

Последнее лишний раз подтверждает нецелесообразность ранжирования сотрудников, занятых выполнением одинаковых работ. Вместе с тем известны примеры проявления сноровки в виде небрежного выполнения работы нестандартными способами, приводящего к снижению качества продукции и производительности труда. Обобщение и распространение опыта лучших работников наряду с предупреждением случаев проявления негативной сноровки должны быть главной задачей стандартизации. В упомянутой выше работе приводятся два подобных примера.

1. Анализ дефектов коленчатых валов показал, что все поврежденные механизмы укладывались на соседний конвейер одним и тем же работником, который иногда их ронял. Это происходило потому, что человек был левшой, а его поставили на рабочее место, рассчитанное на правшей, и ему приходилось применять особую сноровку. (Этот случай нельзя целиком отнести к примерам негативной сноровки, поскольку здесь на первый план выступают проблемы эргономики при проектировании рабочих мест, более пристальное внимание этой теме будет уделено ниже).
2. Только одному из рабочих авиационного сборочного завода удавалось стабильно выполнять нормы выработки. Как выяснилось, он отнес механический гайковерт домой и усовершенствовал его, поставив более мощный электромотор. Когда предприятие использовало его опыт и модернизировало все остальные гайковерты, производительность труда резко увеличилась.

Дж. Джуран и Грайна — сторонники широкого распространения выгодных для предприятия приемов и методов, применяемых наиболее мастеровитыми работниками, с одновременным предупреждением ошибок, являющихся следствием негативной сноровки. Именно эти задачи решают стандартизация и распространение передового опыта. Внедрение систем менеджмента качества, регламентированных стандартами ИСО 9000, требует создания систем документального отражения знаний, накапливаемых предприятием, и стандартизация становится простым примером синергии концепции бережливого производства и стандартизованных принципов управления качеством. Если раньше объектом стандартизации были инструкции и руководства, то сейчас — создание рабочих мест, ориентированных на работника, обладающего расширенными полномочиями. Это является современным проявлением концепций научной организации труда Тейлора.

Стандартизация позволяет сократить вариации результатов труда, заставляя каждого сотрудника выполнять одну и ту же работу одинаковыми способами. Она также содействует их непрерывному совершенствованию (кайдзен), предупреждая возврат к устаревшим приемам и методам. Именно на этом в свое время настаивал Тейлор, который предвидел принципы современных школ ведения бизнеса, считая накопление и сохранение знаний и навыков обязательными для профессионалов и инженерно-технического персонала (так называемых белых воротничков).

«К сожалению, сейчас отсутствуют сложившиеся научные школы менеджмента. Нет ни одного учреждения — носителя передового опыта и достижений, в котором можно было бы ознакомиться с наиболее важными деталями управления предприятиями. Самые блестящие достижения в этой области изолированы друг от друга и зачастую погребены под горами никому не нужного “мусора”» (Taylor, 1911a).

Тейлор не только признавал, но и всячески поддерживал идею о том, что рабочие, занятые на производстве, способны предлагать разнообразные усовершенствования. Если эти предложения оказываются работоспособными, то их, подобно любым другим усовершенствованиям, следует стандартизовать и распространять в качестве образцов передового опыта. Вместе с тем научная организация труда прежде отделяла планирование от производства и возлагала основную ответственность за внедрение усовершенствований на разработчиков производственных процессов. Современная концепция бережливого производства отводит значительно большую роль в их совершенствовании работникам, непосредственно занятым на производстве.

### Распространение передового опыта

Харри и Шредер (Harry and Schroeder, 2000) подчеркивают, что выявление и распространение передового опыта представляют собой ключевые элементы методологии «Шесть сигм». Если то или иное усовершенствование может быть применено при выполнении нескольких операций или разными работниками, то его следует рассматривать как образец передового опыта, подлежащий распространению и внедрению в масштабах всего предприятия. Эта концепция фактически восходит к идеям Тейлора, писавшего в свое время:

«Это правда, что научная организация труда запрещает рабочему по собственному усмотрению применять инструменты и методы, которые он считает подходящими для выполняемой повседневной работы. Вместе с тем она всячески поощряет подачу работником рационализаторских предложений по совершенствованию методов работы и применяемого инструмента. И стоит ему подать такое предложение, менеджеры обязаны тщательно проанализировать его, проведя, при необходимости, серию экспериментов, позволяющих точно оценить преимущества нового метода по сравнению со стандартным. *Если в результате будет выявлено, что новый метод заметно превосходит старый, то он должен быть принят в качестве стандартного для всего предприятия.* Заслуги человека, подавшего такое предложение, должны получить полное признание, а он сам должен быть вознагражден денежной премией за проявленную смекалку» (Taylor, 1911a).

Программа распространения передового опыта, действующая в корпорации Hewlett-Packard, почти дословно повторяет мысли Тейлора.

«Каждая работа, выполняемая в корпорации, регламентирована в виде соответствующей стандартной процедуры (SOP), определяющей порядок ее выполнения. Если работник видит более совершенные способы выполнения порученной ему работы, то ему следует документально оформить свое предложение, которое



затем должно быть рассмотрено менеджерами, чтобы оценить его преимущества и при их выявлении признать передовым опытом, заслуживающим распространения. Все наставления и инструкции должны быть переработаны соответствующим образом, с признанием заслуг работника, подавшего предложение. Соответственно, система материального поощрения работников должна быть нацелена на выплату вознаграждений тем, кто активно ищет более совершенные способы выполнения порученной работы» (Bakerjian, 1993).

В целом стандартизация и распространение передового опыта предотвращают распространенное явление, наблюдаемое во многих компаниях при внедрении более совершенных приемов и методов работы, сущность которого можно сформулировать как «два шага вперед, шаг назад». Стандартизация позволяет сохранять достигнутое, а внедрение передового опыта — распространить выгоды от их применения на всю организацию в целом.

Вместе с тем наибольшие возможности для создания действительно бережливого производства зачастую находятся не в цехах предприятия, а закладываются еще на стадии разработки продукции. Хорошо отработанная конструкция создает необходимые предпосылки для значительного сокращения себестоимости ее изготовления на стадии производства. Но самые лучшие в мире рабочие не в состоянии преодолеть при изготовлении продукции непроизводительные затраты, которые обусловлены ее конструктивным несовершенством.

## ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ПРОДУКЦИИ

Создание бережливого производства начинается еще на стадии разработки продукции. При этом ключевыми моментами следует считать конструктивное обеспечение технологичности изделий, т. е. их приспособленности к изготовлению (design for manufacturing, DFM) и к сборке (design for assembly, DFA), которое неразрывно связано с конструктивным обеспечением качества продукции в соответствии с требованиями ИСО 9000. Таким образом, концепции бережливой организации производства и менеджмента качества оказываются взаимосвязанными и поддерживающими друг друга. Кабберли и Бейкерьян (Cubberly and Bakerjian, 1989) сформулировали следующие основные принципы конструктивного обеспечения технологичности изделий в процессе их разработки.

1. *Количество составных частей и деталей в разрабатываемом изделии должно быть минимальным. То есть подход к проектированию должен быть прямо противоположным принципам, предлагаемым Руби Гольдбергом. Форд советовал «начинать разработку с создания общей работоспособной концепции нового изделия, после чего следует приступить к поиску в нем совершенно бесполезных деталей, без которых можно обойтись. Такой прием годится для проектирования чего угодно — обуви, одежды, домов, станков, железных дорог, пароходов и аэропланов. Устраняя ненужные части и предельно упрощая действительно необходимые, мы тем самым сокращаем будущие*

- затраты на изготовление разрабатываемого изделия» (Ford, 1922).
2. *Применение модульных конструкций.* Шенбергер (Schonberger, 1986) считает, что модульные конструкции с минимальным количеством составных частей в каждом модуле значительно упрощает решение всех последующих производственных проблем с их изготовлением. Применение сложных процессов и конструкций дает прямо противоположный эффект.
  3. *Применение стандартных деталей и составных частей.* «Самое главное в стандартной детали — ее проверенность практикой. В прошлом Хегох в каждой следующей модели копировального аппарата применял до 80% принципиально новых составных частей и деталей, что удлиняло продолжительность цикла разработки новой продукции и последующей ее экспериментальной отработки, замедляло ее выход на рынок. В последних аппаратах семейства 9900 Хегох уменьшил число новых компонентов до 30—40%, что позволило вдвое сократить время, потребовавшееся для создания, освоения и продвижения на рынок новой продукции» (Schonberger, 1986).
  4. *Использование деталей многофункционального назначения и применение специальных конструктивных элементов, облегчающих сборку.* К числу таких элементов можно отнести установочные штифты, позволяющие монтировать деталь в единственном, требуемом положении. Такой способ принято называть «защита от оплошностей», или пока-ёкэ. Еще одним из способов облегчения сборки может быть применение зеркальных отражающих поверхностей, упрощающих контроль монтажа.
  5. *Любые лишние крепежные детали (болты, гайки, заклепки, винты — злейший враг конструктора и особенно сборщика.* Известно, что стоимость завинчивания одного винта при сборке может в 6—10 раз превышать цену самого винта. Поэтому всегда следует задаваться вопросом, нельзя ли заменить подобный крепеж быстроразъемными соединениями типа защелок.
    - Если изделия должны разбираться и собираться при техническом обслуживании, то следует применять крепежные элементы, обеспечивающие наиболее быстрое соединение и разъединение деталей. Множество хлопот доставляют сборщикам винты, требующие кажущегося бесконечным количества оборотов для завинчивания и вывинчивания. Предпочтительны также зажимы, которым для затягивания и отпускания необходима всего пара оборотов вместо крепления крышек и фланцев болтами, проходящими через них насквозь. Робинсон (Robinson, 1990) описывает конструкцию болта с неполной резьбой, для затягивания которого достаточно поворота ключом всего на 60 градусов.
    - Генри Форд всегда настаивал на сварке кованых или штампованных деталей вместо применения заклепочных соединений.
  6. *Вся сборка изделия должна по возможности осуществляться с одной стороны.*

Сборщики не должны ходить вокруг собираемого изделия или переворачивать его, совершая лишнюю, не создающую добавленной стоимости работу. В то же время нет никаких возражений против конструкции, допускающей одновременную сборку двумя рабочими. Что касается механической обработки, то целесообразно предусматривать возможность обработки заготовок со всех четырех сторон. Например Арнольд и Фороут (Arnold and Fauroute, 1915) описывают станок Foote-Burt, способный обрабатывать одновременно 45 отверстий в отливке блока цилиндров двигателя во всех четырех направлениях. Они также приводят в пример другой станок этой же фирмы, предназначенный для одновременного нарезания резьбы в 24 отверстиях в трех направлениях. Главная цель при этом заключена в недопущении перестановок обрабатываемых деталей или собираемых изделий.

7. *Соединяемые детали не должны требовать значительных усилий для сборки.* Установку деталей на место упрощает наличие скосов, фасок, направляющих, лысок и т. п.
8. *Необходимо избегать применения гибких элементов типа проводов и кабелей.*
  - В тех случаях, когда они нужны, должно применяться цветовое кодирование проводов (с учетом возможного дальтонизма рабочих) или использоваться другие средства, предупреждающие их неправильное подсоединение. Прорези или выступы могут предупреждать ошибочное соединение разъемов. Характерным примером подобной защиты от оплошностей может быть применение вилок со смещенными штырями.
  - По возможности провода и кабели следует заменять печатными платами.

Выше мы уже отмечали целесообразность конструирования деталей, не требующих значительной механической обработки заготовок для них.

### Функционально-стоимостный анализ и развертывание функции качества

Дж. Джуран (Juran, 1992) определяет функционально-стоимостный анализ (ФСА) как «процедуру оценки взаимосвязей между функциями изделия с определенными свойствами и затратами, связанными с его созданием». Основная идея ФСА, таким образом, заключается в создании изделия, выполняющего часть основных функций при минимальных затратах. В частности, отказ от некоторых второстепенных функций может способствовать снижению расходов на создание изделия.

Исходными данными для ФСА служат:

- требования потребителей и оценки их относительной значимости;
- свойства, которыми должно обладать изделие, чтобы оно отвечало установленным потребительским требованиям;
- оценки затрат на обеспечение требуемых свойств изделия;
- информация о свойствах и стоимости аналогичных изделий, предлагаемых конкурентами.

Отметим, что ФСА тесно взаимосвязан с процедурой развертывания функции

качества (QFD) в виде диаграммы, которую по ее внешнему виду принято называть «дом качества»\*. Основные составляющие этой диаграммы показаны на рис. 4.3, заимствованной из работы Градески (Hradesky, 1995). Эта диаграмма может быть дополнена столбцом «характеристики продукции», данные которого используют для оценки технической сложности их обеспечения, при проведении бенчмаркинга и установлении требуемых значений этих параметров. Строки, соответствующие потребительским требованиям, могут быть продлены для указания в них оценок конкурентоспособности продукции.

На рис. 4.3 в качестве примера проставлены оценки рангов (относительной значимости) характеристик продукции А с точки зрения выполнения всех потребительских требований (1–5). Матрица взаимодействий указывает на необходимость поиска компромиссов между противоречивыми требованиями к техническим характеристикам продукции (или их оптимизации). Например, замена стали при изготовлении некоторой детали титановым сплавом может иметь положительный эффект с точки зрения снижения ее массы, но отрицательно влияет на обрабатываемость. Титановая стружка, образующаяся при механической обработке, обладает способностью к самовоспламенению на воздухе, и поэтому обработка заготовок из титановых сплавов требует особых мер предосторожности\*.



Рис. 4.3. Развертывание функции качества

\* Построение «дома качества» представляет собой лишь первый этап достаточно сложной процедуры развертывания функции качества, целью которой является перевод требований, излагаемых на обычном языке, понятном потребителям, или так называемого «голоса потребителя», на язык технических требований к изделию в целом, его составным частям и технологическим процессам их изготовления. — Прим. пер.

Оценки относительной значимости (приоритетности для обеспечения) отдельных потребительских требований, включая требования безопасности и соответствия нормам действующего законодательства, должны также учитываться при проведении анализа возможных видов и последствий отказов изделий (FMEA), влияя на оценки тяжести последствий отказов каждого вида. Например отказы, представляющие опасность для жизни и здоровья потребителей, должны иметь самый высокий рейтинг по тяжести последствий. Те же отказы, которые приводят к несоответствию изделия отдельным, не столь важным потребительским требованиям, вызывая лишь легкое раздражение пользователей, получают при FMEA самые низкие рейтинги. Отмеченные взаимосвязи между функционально-стоимостным анализом, развертыванием функции качества и анализом видов и причин отказов лишний раз доказывают, что все существующие методы повышения качества продукции и продуктивности работы предприятий тесно связаны между собой, взаимно поддерживая и усиливая результативность друг друга, и поэтому должны применяться только в комплексе.

Таблица 4.2 представляет собой пример матрицы ФСА, заимствованной из работы Дж. Джурана (Juran, 1992), столбцы которой соответствуют требуемым функциям продукции, а строки — ее свойствам. В ячейках матрицы указано, какая часть стоимости обеспечения данного свойства продукции приходится на долю той или иной его требуемой функции. Дж. Джуран предупреждает, что данные, содержащиеся в матрице ФСА, не отличаются высокой точностью, и ошибки при их оценке могут достигать 10%.

В данном разделе рассмотрена роль конструктивного обеспечения технологичности изделий в снижении последующих производственных затрат при их изго-

Таблица 4.2  
Матрица функционально-стоимостного анализа

Свойство продукции	Стоимость обеспечения (абс., долл. / доля от общей стоимости, %)	Требуемая функция		
		Обеспечить простоту обслуживания, долл.	Повысить безотказность, долл.	Улучшить безопасность, долл.
Заказные материалы	20,00 / 40		15,00	5,0
Изготовление деталей	20,00 / 40	5,00	7,50	7,50
Сборка	10,00 / 20	8,00	1,00	1,00
Общая стоимость	50,00	13,00	23,50	13,50
Доля от общей стоимости, %		26	47	27

\* См. NFPA 481, стандарт, устанавливающий требования в отношении производства, обработки, перегрузки и хранения продукции из титановых сплавов. См. также: <http://www.timet.com/fab-p21.html> (сайт компании Titanium Metals Corporation по состоянию на 16.05.01) или сайт Международной организации производителей титана [www.titanium.org/](http://www.titanium.org/).

товлении и показано, что низкая технологичность препятствует бережливой организации производства изделий независимо от того, насколько совершенно предприятие, на котором они будут изготавливаться. Функционально-стоимостный анализ и развертывание функции качества, со своей стороны, служат средствами реализации потребительских требований в конструкции изделий. Наконец, конструктивные методы обеспечения технологичности нацелены на выполнение требований ИСО 9000 по контролю процесса разработки продукции. Следующий раздел посвящен системе рациональной организации рабочих мест, обеспечения и поддержания чистоты и порядка на них (5S-CANDO).

## СИСТЕМА 5S-CANDO

Основные идеи этой системы можно выразить цитатой из стихотворения Редьярда Киплинга «Язычник»<sup>\*</sup>:

«Язычник в безрассудстве поклоны бьет камням;  
Приказы не исполнит, коль их не отдал сам;  
И личное оружие где как кидает он;  
Потом приходит наш отряд — беги, язычник, вон.  
Вечная грязь здесь и вечный кавардак,  
Вечно будут дикари все делать кое-как.  
Вечно будут хазар-хо, да кул, да аби-най\*\*  
О себе заботься, ружье не забывай!»

Аббревиатура, обозначающая рассматриваемую систему, образована по начальным буквам японских и английских слов, обозначающих действия, перечисленные в приводимой ниже таблице.

Применение системы 5S позволяет устранить потери времени (муда) на поиск рабочими нужных инструментов, которые всегда находятся на отведенных местах.

5S	CANDO
Seiri = избавление от всего лишнего и ненужного	Clearing up = избавление от всего лишнего и ненужного
Seiton = приведение в порядок всего оставшегося	Arranging = наведение порядка
Seiso = наведение чистоты на рабочем месте	Neatness = опрятность
Shisuke = регулярная уборка рабочего места и поддержание на нем порядка	Discipline = порядок
Seiketsu = превращение системы 5S в привычный образ жизни	Ongoing improvement = постоянные усовершенствования

<sup>\*</sup> Ермаков Э.Ю. — Р. Киплинг ««Хазарменные баллады». Полный текст», опубликовано на сайте: [http://zhurnal.lit.ru/e/ermakow\\_e\\_j/bartack.shtml](http://zhurnal.lit.ru/e/ermakow_e_j/bartack.shtml).

<sup>\*\*</sup> «Хазар-хо» — завтра, «кул» — потом, «аби-най» — когда-нибудь.

В американской промышленности основные принципы этой системы известны давно, по крайней мере, они широко применялись уже в 1911 г.

«Обычно болты, требующиеся для крепления заготовок на станках, разбросаны по всему цеху, причем редко имеется вся номенклатура болтов, в которых может возникнуть потребность. Например, когда требуется болт длиной 4 дюйма (102 мм), механик отправляется на их поиски и, не найдя нужного количества таких болтов, берет болты длиной 6 дюймов (152 мм). Но, для того чтобы обеспечить надежное крепление, ему теперь потребуется заворачивать каждую гайку на целый дюйм больше. Кроме того, поскольку болты валяются как придется, резьба на них может быть повреждена и механик будет вынужден предварительно подгонять ее, чтобы плотно затянуть гайки. Как доказывают многие исследования трудовых движений и наблюдения в цехах, на все эти действия уходит в 10–20 раз больше времени, чем на саму установку заготовок на станок.

На каждую операцию тем не менее существуют технологические карты, в которых продолжительность наладки станка расписана с точностью до сотых долей часа (заметим, что научная организация труда требует учета времени наладки). Но подобная точность оказывается бесполезной, если не снабдить механика всеми необходимыми подкладками и болтами для крепления заготовок. Поэтому теперь, после реорганизации, плановый отдел должен внимательно следить за тем, чтобы вся необходимая номенклатура подкладок и болтов разной длины постоянно находилась на инструментальных полках. Для выполнения каждой операции механик получает из инструментальной кладовой крепежные болты именно того размера, который требуется, независимо от того, применяется ли для установки заготовок стандартное приспособление или специальная оснастка. Кроме того, полученные болты подлежат возврату в кладовую, причем, до того как поместить их на соответствующую полку, каждый болт и каждая гайка должны быть проверены на отсутствие повреждений. Достаточно проверить любой болт, хранящийся в кладовой, чтобы убедиться: гайка легко наворачивается на него вручную.

Невозможно получить достоверное представление о размерах потерь, связанных с выполнением той или иной операции без сравнения временных затрат на ее исполнение до и после реорганизации рабочих мест... Ныне каждая деталь имеет собственную маркировку и собственное место хранения на складе, все сборочные операции теперь могут быть нормированы» (The System Company, 1919).

Из приведенного текста следует ряд важных выводов.

- Необходимость поиска нужных инструментов, крепежа и деталей приводит к значительным потерям рабочего времени и непроизводительным затратам.
- Плохо организованное хранение и небрежное обращение с инструментами и оснасткой затрудняет их применение по назначению. Хорошо отлаженное профилактическое обслуживание упрощает пользование ими и играет основную роль в сокращении времени наладки оборудования, обеспечивая возможность применения систем быстрой переналадки SMED.
- Американские производители внедрили принцип наведения и поддержа-

ния порядка на рабочих местах задолго до того, как стало известно о системе 5S.

Еще один базовый принцип системы 5S-CANDO заключается в том, что имеющиеся проблемы сложнее скрыть при поддержании чистоты на предприятии. Грязь на рабочих местах способна маскировать неисправности оборудования, в то время как, например, утечки масла сразу видны на чистом полу. Г. Форд требовал применять для окраски цехов только краски светлых тонов, на их фоне любая грязь сразу бросается в глаза. Белые или светло-серые полы и стены говорят сами за себя, заставляя вспомнить известную поговорку о работе в белых перчатках. Шенбергер (Schonberger, 1986) приводит примеры того, как поддержание чистоты в цехах компаний Detroit Diesel Allison и Harley-Davidson, где рабочим было вменено в обязанности не только смазывать станки, но также чистить их по несколько раз в день, способствовало повышению коэффициентов технического использования оборудования. Стали сразу видны подтеки масла на станинах станков и на полу цеха, что позволило рабочим немедленно устранять неполадки, предупреждая тем самым незапланированные остановки станков из-за поломок.

Чистота на рабочих местах способствует также более эффективной работе, причем система 5S-CANDO применима даже в строительстве.

«Обнаружилось, что замусоренный пол под ногами рабочего утомляет его не меньше, чем сама работа. Ровные подмости из гладко оструганных досок позволяют каменщику укладывать за смену намного больше кирпичей, чем в тех случаях, когда ему приходится стоять на неровных качающихся лесах» (Gilbreth, 1911).

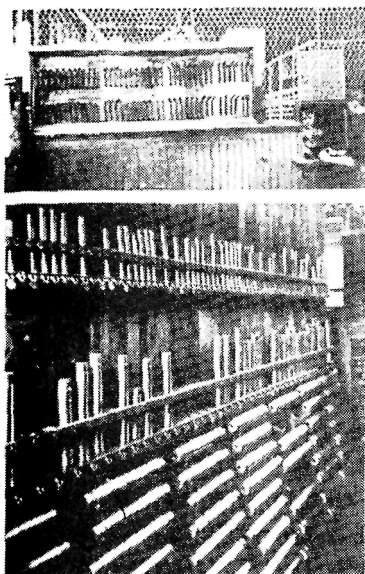
## Элементы системы 5S

1. *Избавление от всего лишнего и ненужного. Если вы сомневаетесь, нужна ли вам та или иная вещь, лучше просто выбросить ее.*

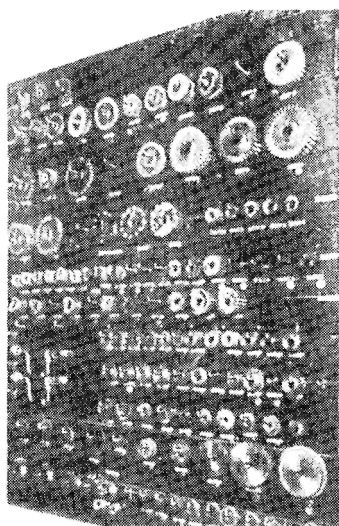
- Корзина для мусора — ваш лучший друг. Всегда помните, что один из законов Мерфи гласит: «На месте одной выброшенной бумажки немедленно появляются две новые».
- Необходимо как можно шире пользоваться Интернетом и средствами электронной торговли. Требуемые обслуживания, но в данный момент не нужные инструменты и оборудование, включая такое, как автопогрузчики, источники питания, шлифовальные и токарные станки, офисное оборудование (копировальные аппараты и факсы), лабораторные приборы, бульдозеры, станки с ЧПУ и т. д., всегда могут быть проданы или приобретены в онлайн-режиме.
- Рабочее место должно быть освобождено от всего лишнего. Снабдите красными бирками предметы, кажущиеся ненужными, и если в течение некоторого времени они не будут никем востребованы, отправьте их на склад или избавьтесь от них.



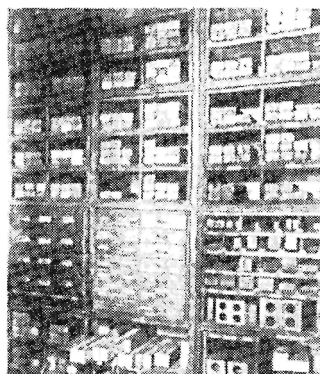
- Размещайте инструменты и оснастку в соответствии с регулярностью их применения. Часто применяемые предметы должны храниться непосредственно на рабочем месте, относительно редко используемые располагайте вблизи от него, а те, которыми пользуются редко, от случая к случаю, должны храниться где-нибудь в отдалении. В любом случае соблюдайте принцип 2, приведенный ниже.
2. *Наведение порядка. У каждой вещи должно быть свое место, и все вещи должны лежать на своих местах.* В противном случае происходит, как в стихотворении у Киплинга: «И личное оружие где как кидает он». Каждый инструмент, деталь, оборудование должны быть размещены так, чтобы их было легко найти, и иметь собственное место хранения на складе, когда ими не пользуются (рис. 4.4). Многие ящики для хранения инструмента устроены так, что для каждой единицы хранения имеется свое собственное гнездо.
  3. *Опрятность.* Необходимо все содержать в чистоте, чтобы грязь и мусор не мешали работе оборудования и не повреждали продукцию. Помимо этого, как указывали Форд и Шенбергер, чистота на рабочих местах позволяет сразу видеть утечки масла и другие подобные неисправности оборудования.
  4. *Поддержание порядка. «Ковбой должен заботиться о своей винтовке, как о самом себе!»*
    - Регулярные проверки и чистка оборудования должны войти в привычку. При стандартизации работ профилактика и очистные операции могут включаться в рабочие инструкции, а их выполнение отмечаться в журналах учета технического обслуживания.
    - Профилактическое обслуживание оборудования, проводимое строго по графику, является одной из составляющих научной организации труда, по Тейлору. Он предлагал заводить специальные памятные книжки, в которой расписаны все работы на каждый день года, благодаря чему «...через установленные промежутки времени будут проверяться все элементы системы, проверяться и пересматриваться действующие стандарты и нормы, заменяться или ремонтироваться все изнашиваемые или стареющие детали станков, котлов, двигателей, заменяться приводные ремни и т. д.» (Taylor, 1911a). Ныне применение компьютерных программ-планировщиков, безусловно, намного упрощает эту задачу, а проведение планового профилактического обслуживания является одним из требований стандартов ИСО 9000 по управлению производственными процессами.
  5. *Постоянное улучшение.* Необходимо постоянно отыскивать способы наилучшей организации рабочих мест и поддержания на них чистоты и порядка, выявляя при этом источники непроизводительных затрат — злейших врагов повышения производительности труда, которые легко проникают на все рабочие места и производственные участки.



Хранение калибров  
на заводах Link Belt



Каждый металлорежущий  
инструмент имеет собственное  
место на стеллаже. Обратите  
внимание на памятные таблички  
над местом хранения, отведенным  
для каждого резца, фрезы и т. д.



Этот уголок инструментальной кладовой иллюстрирует  
старое правило: «У каждой вещи должно быть свое место,  
и все вещи должны лежать на своих местах»

Рис. 4.4. Поддержание порядка на американских предприятиях (фотография сделана около 1911 г.)  
Источник: The System Company, How Scientific Management s applied (1911)

### Еще несколько слов о профилактическом обслуживании

Ford Motor Company всегда проводила и продолжает регулярно проводить профилактическое обслуживание всего станочного парка, стремясь таким образом обеспечить его бесперебойную работу. Тейлор наглядно объясняет все преимущества такого обслуживания:

«Большинство станков в стране по-прежнему имеет ременный привод. Хотя разрабатываются станки, снабженные собственными электромоторами, отказ от ремней все еще остается делом отдаленного будущего. Но в сотне выбранных наугад предприятий не найдется ни одного, которое не поручало бы уход за ремнями и их подтяжку самим станочникам, хотя всякому мало-мальски знакомому с предметом хорошо известно, что ни один самый квалифицированный станочник не способен правильно отрегулировать натяжение ремня без специальных винтовых приспособлений с пружинными динамометрами для измерения силы натяжения. Известно также, что ремень, отрегулированный специалистом с использованием такого приспособления, способен передавать вдвое большую мощность и вызывать остановки станка реже по сравнению с ремнем, регулировка натяжения которого осуществлялась рядовым станочником обычными методами. Вызывает ужас тот вал убытков, который катится по всей стране из-за нежелания соблюдать установленные стандарты и нормы в самых мельчайших деталях».

(Taylor, 1991a).

Хотя на заводах давно уже не применяют ременный привод, отмеченные Тейлором принципы профилактического обслуживания по-прежнему остаются в силе. Регулярная профилактика повышает коэффициенты готовности оборудования, его эффективность и (или) качество работы. Отметим важность применения калиброванных инструментов и средств измерений при проведении профилактического обслуживания.

Подводя итоги обсуждения системы 5S-CANDO, приведем еще одну строфу из упоминавшегося стихотворения Р. Киплинга:

«Не терпи грязищи и плюнь на кавардак,  
Не храни привычки все делать кое-как;  
Позабудь все хазар-хо, и кул, и аби-най —  
О себе заботься, ружье не забывай!»

Существует также большое разнообразие визуальных средств контроля, подерживающих систему 5S-CANDO (в части правильной организации рабочих мест) и обеспечивающих защиту от оплошностей работников (пока-ёкэ), внедрение принципов «точно вовремя» (карточек канбан) и автономизации (сигнальных лампочек).

## СРЕДСТВА ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

Караваджо (Caravaggio) (цит. по кн.: Levinson, 1998) приводит следующее обобщенное описание системы управления, основанной на применении визуальных средств контроля:

«Визуальные средства позволяют выявлять любые непроизводительные затраты, отклонения от нормальной работы, несоответствия стандартам и нормам. Они просты в применении и доступны даже тем, кто мало знаком с производством... Система визуального контроля имеет следующие пять основных аспектов:

1. Коммуникативный. При этом наиболее доступным способом коммуникаций служат письменные сообщения.
2. Наглядность коммуникаций с использованием зрительных образов и сигналов.
3. Однородность, поскольку во всех видах работ используются одинаковые правила.
4. Способность выявлять различные отклонения и сообщать о них с помощью различных предупреждающих и тревожных сигналов.
5. Способность предотвращать аварийные ситуации, своевременно сообщая о возникших отклонениях или ошибках».

Сузаки (Suzaki, 1987) сравнивает системы визуального контроля с нервной системой человека, обеспечивающей своевременную передачу в мозг различной информации. У. Смит (W. Smith, 1998) утверждает: «Главная задача [подобных систем] заключается в том, чтобы сделать ход выполнения некоторой операции прозрачным для наблюдателя». Рассуждая о визуальном контроле, не следует упускать из виду эффект синергии, представляющий главное содержание данной книги. Мы уже отмечали, что бережливое производство и повышение качества представляют собой два взаимно поддерживающих и взаимно усиливающих друг друга подхода. Точно так же применение визуальных средств контроля, как это следует из табл. 4.3, нацелено на повышение эффективности других систем и подходов.

Джилбрет (Gilbreth, 1911) приводит в этой связи ряд отличных примеров, связанных с работой каменщиков, но не утративших своего принципиального значения для других отраслей.

Изучение влияния цвета на производительность труда работников заслуживает пристального внимания психологов. Результаты их исследований, возможно, принесут немалые выгоды предприятиям, особенно в части создания благоприятных условий труда для сотрудников, работающих в закрытых помещениях, где правильный выбор цвета окраски стен и оборудования и надлежащего освещения, безусловно, будет этому способствовать.

В данной работе мы ограничимся только рассмотрением влияния цвета на экономию движений во время работы. Как известно, цветовые различия воспринимаются человеком быстрее, чем различия в форме предметов. Поэтому маркировка цветом деталей и других элементов, требующих четкого различения, значительно эффективнее различных надписей на них. Приведем несколько примеров.

- Трубы разного назначения, уложенные в одном канале, должны быть окрашены в различные цвета, что усиливает и дополняет их маркировку с помощью бирок. (Подобная маркировка ныне является обязательным требованием по обеспечению безопасности рабочих мест.)
- Правые края кирпичей, находящихся на одном поддоне, должны быть окрашены в черный цвет, поддон должен всегда располагаться по отношению к

Таблица 4.3

**Использование визуальных средств контроля в других способах  
и системах повышения качества и производительности**

Способ и система	Визуальное средство контроля
5S-CANDO (наведение порядка на рабочих местах)	Маркировка мест хранения инструментов и материалов
Автономизация (jidoka)	Сигнальные лампы, средства звуковой сигнализации (зуммеры, сирены и т. д.)
Защита от оплошностей (пока-ёкэ)	Цветовое кодирование и другая маркировка, обеспечивающие правильную сборку или применение
Производство по принципу «точно вовремя» (JIT)	Карточки или этикетки, применяемые в системе канбан, использование пустых контейнеров в качестве сигналов для начала изготовления очередной партии деталей, разметка на полу цеха, пересечение которой контейнером с деталями или собираемым изделием служит сигналом о необходимости следующего заказа
Обеспечение безопасности	Применение разноцветных бирок или наклеек для контейнеров или емкостей с опасными материалами (красных — для горючих веществ, синих — для ядовитых, желтых — для окислителей, белых — для едких и т. д.)
Статистическое управление процессами	Применение контрольных карт, понятных и видимых всем, кто связан с выполнением данной операции (контрольные карты, видимые только на компьютерах в техническом отделе, не являются средством контроля)
Непрерывное совершенствование	Системы наглядного производственного менеджмента, рассматриваемые в следующем разделе, предназначены для визуализации проблем, препятствующих достижению целей предприятия. Эти проблемы могут требовать не только немедленного разрешения для возобновления производственных процессов, но и проведения корректирующих действий длительного характера, предотвращающих их повторное появление. Примером упорядоченного подхода к проведению подобных действий может служить система коллективного разрешения проблем TOPS-8D, действующая в Ford Motor Company

каменщику таким образом, чтобы тому, беря очередной кирпич правой рукой, не приходилось поворачивать или переворачивать его перед укладкой на место.

- Окрашивание инструментов в разные цвета, совпадающие с цветом окраски ящиков или гнезд, в которых они хранятся, экономит время и устраняет необходимость лишних движений при их поиске или возвращении взятого инструмента на место. (Этот принцип хорошо согласуется с принципом наведения порядка на рабочих местах системы 5S-CANDO.)
- Когда подсобный рабочий подносит квалифицированному и высокооплачиваемому коллеге упаковки с нужными материалами, эти упаковки с одного бока и сверху должны быть окрашены в разные цвета или помечены соответствующими надписями или наклейками, чтобы подсобник ставил упаковку на место в соответствии с инструкциями, без лишних

движений и не тратя лишнего времени на размышления. Это избавляет квалифицированного работника от лишних движений по поворачиванию или переворачиванию поднесенной упаковки. (Разделение рабочих на подсобных, подносящих материалы, и квалифицированных, эти материалы использующих, восходит к масонству — братствам вольных каменщиков, — где проводилось четкое разделение членов ложи на мастеров и подмастерьев.)

- Очень часто рабочие, которые по своим физическим качествам способны быть каменщиками, не умеют читать вообще или читать по-английски. (Это соображение ныне приобретает особую актуальность). Но даже грамотному работнику требуется некоторое время для чтения поясняющих надписей на подвижных подмостках, специально разработанных для облегчения труда каменщиков. Поэтому гораздо проще окрасить в разные цвета края подмостков, обращенные в сторону стены и наружу».

В работе Шенбергера (Schonberger, 1982) приводится пример того, как в Японии принято окрашивать в разные цвета контейнеры с различными деталями, поступающими на сборку, чтобы рабочим было проще находить нужные детали. Но следует иметь в виду, что небольшую долю населения составляют люди, плохо различающие цвета, и поэтому правильнее применять наряду с цветовым кодированием с помощью пиктограмм или формы и местоположения сигналов, которое широко используется при регулировании дорожного движения. Например, красный сигнал всегда располагается в верхней части светофора, стоп-сигналы на автомобилях имеют прямоугольную форму, что исключено для других указателей, дорожный знак «уступи дорогу», обозначающий выезд на главную трассу, сделан в виде треугольника, обращенного вершиной вниз, и т. д.

## Наглядный менеджмент и управление производством

Смит (W. Smith, 1998) перечисляет основные отличительные признаки систем наглядного менеджмента. В каждой рабочей зоне должно иметься табло, на котором информация, воспроизводимая любым способом, вручную или с помощью электроники, должна отвечать единственному требованию — быть своевременной. На табло должно быть показано:

- *какая операция подлежит выполнению.* Характеристиками процесса при этом являются частота такта или количество изделий, подлежащих выпуску в единицу времени;
- *какая операция должна быть следующей;*
- *какие проблемы препятствуют выполнению производственных заданий?* Кто отвечает за их разрешение? Когда должны быть разрешены возникшие проблемы?

Приведенный ниже отрывок из работы Ф. Кобурна (Coburn, Laying Out Work for Each Man) уточняет ответы на поставленные выше вопросы и методы разрешения возникающих проблем.

«Для каждой операции на этапе планирования выполнения заказа должна быть составлена технологическая карта, устанавливающая порядок ее выполнения. Копию этой карты, поступившую вместе с очередной заготовкой, рабочий помещает на специальную подставку, расположенную на станке или верстаке. Чтобы обеспечить полную загрузку работников, им обычно дается одновременно три задания (и соответствующие им технологические карты): первое выполняется в текущее время, второе предстоит сделать следом (для этого у рабочего под рукой уже находятся все необходимые материалы и инструменты). Для третьего также все готово и хранится на промежуточном материальном складе или в инструментальной кладовой. Когда первое задание завершено, рабочий вешает соответствующую технологическую карту на крючок справа от себя и переходит к следующему поручению... *Технологические карты, находящиеся на подставке перед рабочим, позволяют мастеру в любой момент видеть, какой работой он занят и какое следующее задание ему предстоит выполнить, что очень важно для координации работы разных производственных участков*» (The System Company, 1911).

Система, описанная Кобурном, предвосхищает еще одно преимущество современных производственных систем, организованных по принципу «точно вовремя»: ни один дефект или нарушение ритма не удастся скрыть в запасах незавершенной продукции — они немедленно обнаруживаются на следующем рабочем этапе.

«...очень важно также, чтобы каждый рабочий своевременно выполнял все порученные задания, вовремя передавал результаты следующему, который не желает сидеть сложа руки, если ценит свое рабочее место. (Эта фраза, отражая отношение менеджмента к рабочим, которое было характерно для начала XX в., тем не менее предвосхищает появление производственных систем, основанных на спросе — pull system\*, в которых любые остановки на последующих операциях из-за отсутствия работы требуют срочного расследования причин задержек на прошлых этапах). И если предыдущий рабочий неправильно выполнил свою работу, то следующий должен обнаружить и вернуть бракованную деталь, чтобы мастер не застал его за ее обработкой. *Таким образом, весь производственный процесс становится замкнутым, ритмично работающим механизмом при условии, что должным образом налажены его планирование и контроль. При этом наибольшие проблемы возникают в условиях, когда производственная деятельность протекает гладко, действуя в рамках старой системы*» (The System Company, 1911).

Последняя цитата свидетельствует о том, что первые специалисты в области научной организации труда уже понимали, что небережливо организованное, обладающее лишними запасами незавершенной продукции производство способно скрывать существующие в нем проблемы. Подобная система может казаться работающей ритмично, поскольку запасы незавершенной продукции выступают в ней в качестве буферов между смежными операциями. При этом рабочий, получивший дефектную заготовку, просто выбрасывает ее или возвращает на место и берет следующую, причем его не волнует необходимость выявления операций, с которых эти бракованные детали поступают. Такая озабоченность наступает только при бережливой организации производства, в котором отсутствуют лишние запасы материалов и незавершенной продукции.

\* Такую систему называют также «вытягивающей». — Прим. науч. ред.

О том же самом говорит Шенбергер (Schonberger, 1982), подчеркивая, что на бережливом предприятии внутренний потребитель — следующий по порядку производственный участок — немедленно предъявляет рекламацию, когда к нему поступает дефектная заготовка с предыдущего участка, поскольку он не располагает резервом в виде подобного буфера, позволяющего скрывать брак. В этой же книге указывается, что в Японии стремятся сокращать буферные запасы и численность работников на производственных линиях, чтобы *возникающие проблемы сразу становились видны*. Устранение лишних запасов способствует повышению качества продукции и уменьшению колебаний производительности процессов. Японцы также сокращают объемы незавершенного производства, не пропуская на предыдущий участок процесса карточки канбан, без которых не может начаться изготовление следующей партии заготовок и, соответственно, не растут запасы незавершенной продукции. Отсутствие лишних рабочих на производстве позволяет выявлять неэффективное оборудование и методы работы, которые могут маскироваться при избытке рабочей силы.

С управлением производством тесно связана концепция визуализации требований, при которой каждый предшествующий производственный участок немедленно видит нужды внутренних потребителей в его продукции (W. Smith, 1998). В этих целях в системе kanban существуют различные средства сигнализации.

### Средства визуального контроля и качество

Шенбергер утверждает (Schonberger, 1982), что в Японии контролеры стремятся иметь ясные, визуальные индикаторы качества всех процессов, которые были бы понятны каждому рабочему в цехе и не требовали интерпретаций со стороны инженерно-технического персонала. В работе Форда (Ford, 1926) описан электрический тестер для проверки взаимного положения кулачков на кулачковых валах, в котором реализован подобный принцип. При обнаружении дефекта начинают мигать сигнальные лампочки тестера, после чего оператор проверяет показания индикатора на маховике, чтобы обнаружить дефект.

Средства визуального контроля позволяют всем работникам предприятия быть в курсе состояния производства и проблем качества. Применение разноцветных бирок и наклеек повышает безопасность на рабочих местах. Кодирование цветом или формой, о котором шла речь выше, решает задачи предупреждения ошибок.

Следующий раздел посвящен вопросам сокращения продолжительности производственного цикла, что служит необходимым предварительным условием для организации производства продукции на заказ, не опираясь на недостоверные прогнозы будущего спроса на нее. Малая продолжительность цикла изготовления придает компании способность поставлять свою продукцию потребителям «точно вовремя».



## СОКРАЩЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЦИКЛА

Еще одним важным преимуществом бережливой организации производства служит сокращение времени цикла\*, представляющего собой промежуток времени от начала выполнения работы до момента ее завершения. Смит (W. Smith, 1998) определяет продолжительность цикла как отношение имеющегося запаса готовой продукции к интенсивности спроса на нее, т. е.:

$$\text{время цикла} = \frac{\text{запас изделий, шт}}{\text{спрос, шт./ед. времени}}.$$

Вместе с тем простое уменьшение запасов готовой продукции вовсе не обязательно ведет к сокращению времени цикла. Согласно Стандарду и Дэвису, наличие на предприятии лишних запасов всех видов может быть лишь следствием, а не коренной причиной имеющихся проблем, которые могут скрываться в поточном изготовлении продукции большими партиями. При этом вполне вероятны такие отрицательные явления, как возникновение очередей внутри процесса, перепроизводство продукции, вариации продолжительности обработки деталей и т. д. Устранение запасов без разрешения проблем, которыми они обусловлены, может привести только к сокращению объемов выпуска или *производительности* процесса в том смысле, который придает этой характеристике теория ограничений. Предприятие будет выпускать меньше продукции, но на это ему потребуется столько же времени.

Чтобы проиллюстрировать сказанное, преобразуем приведенное выше уравнение следующим образом:

$$\text{запас изделий} = \text{спрос (или пропускная способность)} \times \text{время цикла}.$$

В данном случае запас становится функцией продолжительности цикла, а не причиной ее изменения. У. Смит поддерживает точку зрения Стандарда и Дэвиса, в соответствии с которой лишние запасы есть следствие, а не причина всех бед предприятия, утверждая при этом следующее:

- 1) на предприятии присутствуют лишние запасы, потому что не устранены причины их появления;
- 2) приказы и другие директивные способы сокращения объемов запасов не действуют до тех пор, пока не будут устранены эти причины;
- 3) разрешение проблем, которым эти запасы обязаны своим существованием, сопровождается их автоматическим сокращением.

Другой характеристикой работы организации служит время выполнения заказа (lead time), составляющее промежуток между его размещением и поставкой готовой продукции потребителю. Если предприятие, как и положено, поставяет

\* Различают операционный и производственный циклы, первый связан с выполнением операции, а второй — со временем прохождения всего потока создания ценности от начала до конца (его называют также общим временем цикла продукта). — *Прим. науч. ред.*

продукцию только на заказ, то время его выполнения равно продолжительности производственного цикла (общему времени цикла) плюс период, необходимый для оформления заказа. Последняя составляющая может быть пренебрежимо мала в условиях электронной торговли, но оказывается весьма значительной из-за бюрократизации этой процедуры в обычных условиях.

Например, компания Harley-Davidson, ныне специализирующаяся не только на производстве мотоциклов, ухитряется исполнять поступающие заказы столь быстро, что успевает получить оплату за поставленные товары еще до того, как она расплатилась с поставщиками комплектующих изделий и материалов. Компанию можно уподобить гонщику, успевающему финишировать до того, как остальные еще только уходят со старта. В этом и заключена основная идея сокращения времени выполнения заказов.

*Сокращение времени выполнения заказов повышает также способность организации гибко реагировать на нужды потребителей и упрощает процедуры производственного планирования.* Компания Adams Citrus Nursery из г. Хайнес-Сити (штат Флорида) построила теплицу для выращивания цитрусовых деревьев, в которой тележки с саженцами, через несколько месяцев превращающимися в почти зрелые деревья, медленно и непрерывно перемещаются по проложенным внутри рельсам. При этом удалось довести время выращивания деревца с трех лет до девяти месяцев, т. е. сократить его на 75%. Благодаря этому компании теперь не приходится гадать, какой сорт саженцев будет пользоваться спросом через два или три года, и она имеет возможность планировать производство на основании рыночных требований текущего года. Все это позволило Adams превратиться в крупнейшего в мире поставщика саженцев цитрусовых культур и даже завоевать рынок Саудовской Аравии (Standard and Davis, 1999).

Авторам неизвестна во всех подробностях применяемая Adams технология, но имеющиеся в их распоряжении научные данные\* позволяют предполагать, что компания использует для ускорения роста саженцев лампы дневного света или ультрафиолет. Такой подход может показаться излишне дорогостоящим, но только до тех пор, пока не будут учтены все потери от выращивания саженцев, которые не удастся продать из-за ошибок в прогнозах рыночного спроса, а также все затраты на их содержание в течение 3-летнего срока. Кроме того, ускоренное выращивание саженцев увеличивает пропускную способность теплиц. Напомним, что поговорка «дешевле не значит лучше» была и остается ведущей идеей концепции бережливого производства. Бойтесь ложной экономии!

Имаи (Imai, 1997) выдвигает ключевую идею, которую полезно процитировать. «Между моментами создания добавленной ценности может находиться немало непродуктивных действий, сопровождаемых непроизводительными затратами и

\* Фрэнк Уитли (Wheatley), член IEEE, изобретатель биполярного полевого транзистора с изолированным затвором. В настоящее время является консультантом предприятия компании Fairchild Semiconductor в г. Маунтинтоп (штат Пенсильвания).

потерями времени. Мы должны стремиться к организации процессов, состоящих только из продуктивных операций, на совершенствовании которых должно быть сконцентрировано все внимание, и ликвидировать все непроизводительные затраты и простои». Эти продуктивные операции Имаи обозначает термином «Bang!» («Бац!»). Стэндард и Дэвис иллюстрируют мысль Имаи графически с помощью диаграммы, воспроизведенной на рис. 4.5.

Смит (W. Smith, 1998) вводит понятие «КПД производственного цикла». Коэффициент он определяет так:

$$MCE = \frac{\text{время создания добавленной стоимости}^*}{\text{общее время цикла продукции}} \times 100\%.$$

Автор отмечает, что эта величина во многих производственных процессах может составлять менее 1%. Таким образом, полезные работы могут занимать лишь малую часть времени, расходуемого предприятием на производство продукции. Отсюда вытекает главная идея системы быстрой переналадки производства SMED, которая будет более подробно рассмотрена позднее.

Стэндард и Дэвис (Standard and Davis, 1999), иллюстрируя идеи бережливого производства, проводят аналогию с гольфом — видом спорта, не чуждым японцам. Игрок реально касается мяча клюшкой при одном ударе всего около 0,02 с. Такое касание или полезное действие вполне подходит под понятие «Бац!», употребляемое Имаи. Достаточно просто перейти от примера с гольфом к штамповочным операциям, при которых длительность удара, создающего добавленную ценность штампуемой детали, сопоставима с продолжительностью удара по мячу (хотя, конечно, сложно говорить о создании добавленной ценности в процессе игры в гольф). Допустим теперь, что одна игра длится примерно 4 ч, причем в течение

Процесс, состоящий из четырех операций



Фактическое время цикла



Продолжительность создания ценности за время цикла



Продолжительность операции по добавлению ценности, или «Бац!»



Действия, не добавляющие ценности: (ожидание, наладка оборудования, установка и снятие заготовок, перемещение заготовок)

Рис. 4.5. Большие возможности для сокращения времени производственного цикла

\* Время создания ценности (добавленной ценности) включает период фактического трансформирования продукта в то его состояние, за которое клиент готов платить. — Прим. науч. ред.

этого времени один игрок совершает около 90 ударов. Таким образом, продуктивные действия занимают всего 1,8 с или 0,0125% от общего времени игры, большая часть которого уходит на хождение игроков по полю. Здесь уместно вспомнить Форда и его современников, считавших пустой тратой денег оплату времени, расходуемого рабочими на хождение по цеху в поисках нужных деталей и инструментов.

«На одном предприятии, где не была должным образом организована раскладка инструмента, рабочим, находившимся на повременной оплате труда, приходилось до 60% оплачиваемого времени расходовать на поиски нужного инструмента. Владелец предприятия считал, что он нанимает людей для работы, но фактически оплачивал их пешие прогулки по цеху. На самом деле от такого положения вещей терпели убытки все» (Basset, 1919).

Все сказанное выше в полной мере относится также к лишним запасам материалов и незавершенной продукции, а приведенная аналогия с гольфом подсказывает возможные пути сокращения продолжительности производственного цикла изготовления продукции. Итак, рассмотрим, какими способами можно сократить промежутки между кратковременными продуктивными операциями.

### Поддержание непрерывности производственного процесса

Схема на рис. 4.6 указывает, почему требуется поддерживать непрерывность производственного процесса, причем речь не идет об обеспечении полной загрузки оборудования и рабочих. В рассматриваемом примере требуется выполнять некоторую работу, состоящую из двух операций, первая из которых занимает 0,5, а вторая — 1 ч. Как следует из диаграммы в верхней части рис. 4.6, производственный процесс организован так, что выполнение первой операции начинается строго в 10:00, и перед участком, на котором она выполняется, допускается возникновение очереди из трех заданий без принятия дополнительных

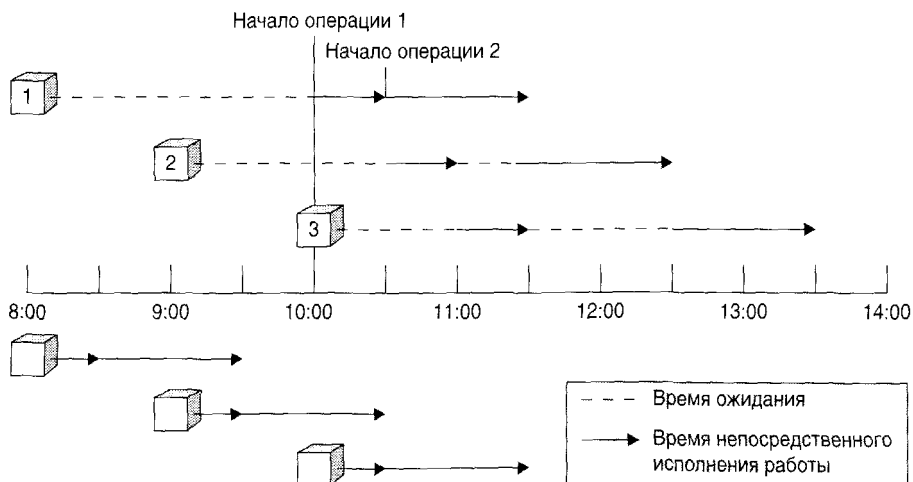


Рис. 4.6. Поддержание непрерывности производственного процесса

мер для ее рассасывания. Все огрехи, возникающие при выполнении первой операции (и прежде всего ожидание в очереди перед ней) переносятся на последующую операцию. Таким образом, пока выполняется первое задание, второе и третье ожидают своей очереди перед первой операцией (по 0,5 и 1 ч соответственно). Задания поступают на вторую операцию с получасовыми интервалами, но поскольку она занимает 1 ч, то второму и третьему заданиям перед вторым участком также приходится выстраиваться в очередь. В результате цикл выполнения каждого задания длится по 3,5 ч, из которого непосредственная работа занимает всего 1,5 ч, что составляет тот минимум, к которому следует стремиться при рациональной организации процесса. Остальные 2 ч уходят на ожидание в очередях (по 1 ч перед каждым участком) в связи с поздним началом работы или занятостью оборудования.

Диаграмма в нижней части рисунка показывает, как можно рационализировать процесс, если начинать выполнение заданий по мере их поступления.

### Продолжительность производственного цикла и «производственная физика»

Стэндрд и Дэвис (Standard and Davis, 1999) ввели термин «производственная физика» (factory physics) применительно к расчетам продолжительности производственного цикла в виде функции коэффициентов вариации основного времени выполнения операций и коэффициентов загрузки оборудования. Как будет показано ниже, Форд и другие специалисты, первыми применявшими на практике принципы научной организации труда, часто стремились разбить производственные операции на мелкие элементарные действия. Например, одному рабочему поручалось насаживать винты вручную, а второму — затягивать их с помощью механической отвертки. Идея такого разделения труда заключалась в устранении лишних движений и потерь времени, связанных с манипулированием отверткой. Если бы эту операцию выполнял один рабочий, то ему всякий раз требовалось бы, затянув очередной винт, отложить отвертку, насадить следующий винт, снова взять отвертку и затянуть его, опять отложить отвертку и т. д. Другим положительным следствием разделения труда становится сокращение вариаций времени исполнения каждого элементарного движения и операции в целом. Возможно, именно этим обусловлен тот факт, что фордовская система функционировала столь эффективно, не являясь в подлинном смысле этого слова системой, основанной на спросе, как современные системы канбан или DBR («барабан-буфер-веревка»).

Коэффициент вариации  $cv$  времени выполнения некоторой работы со средним временем  $t$  и выборочным стандартным отклонением  $\sigma$  рассчитывают по формуле:

$$cv = \frac{\sigma}{t}.$$

Если предположить, что среднее время выполнения некоторой работы на автономном производственном участке составляет 8 мин, то при коэффициенте вариации, равном 0,125, его стандартное отклонение составит 1 мин. Разобьем теперь эту операцию на четыре задачи по 2 мин каждая с теми же коэффициентами вариации. В результате окажется, что стандартное отклонение продолжительности каждой задачи составит 0,25 мин. При этом, учитывая, что стандартное отклонение суммы случайных величин со стандартными отклонениями слагаемых  $\sigma_i$  представляет корень квадратный из суммы квадратов их стандартных отклонений:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\Sigma \sigma_i^2}.$$

продолжительность операции в целом по-прежнему составит  $4 \times 2 = 8$  мин, но ее стандартное отклонение уменьшится и будет равно:

$$\sqrt{4 \times \left(\frac{1}{4}\right)^2} = 0,5 \text{ мин.}$$

Таким образом, вариация продолжительности работы уменьшается, что позволяет справиться с проблемой увеличения объемов незавершенной продукции в производственных процессах, на первый взгляд кажущихся сбалансированными. Эту проблему отметили Голдратт и Кокс в книге «Цель». Стэндард и Дэвис полагают даже, что *средний объем незавершенной продукции на предприятии прямо пропорционален стандартному отклонению времени цикла* (1999). При этом объемы незавершенной продукции не зависят от средней продолжительности цикла, а только от ее дисперсии. Таким образом, ускорение производственных процессов и сокращение времени ожидания в очередях способны только сократить продолжительность цикла изготовления единицы продукции, но не объемы незавершенной продукции, накапливающиеся на предприятии.

### Задержки в системах с избыточными мощностями

Стэндард и Дэвис (Standard and Davis, 1999) приводят убедительные аргументы против повышения коэффициентов загрузки оборудования до 100%, что сейчас является целью многих предприятий, где применяют этот показатель для оценки работы подразделений. Они также показали, почему работа сбалансированной производственной линии, модель которой приведена в книге Голдратта и Кокса, сопровождается устойчивым увеличением объемов незавершенного производства. В этой модели производственная линия представляет собой последовательность нескольких рабочих постов\*, на каждом из которых можно одновременно обрабатывать, в зависимости от настройки, от одной до шести заготовок. Средняя производительность каждого рабочего поста составляет 3,5 заготовки

\* Рабочий пост — это место, на котором выполняются обычно одна или несколько взаимосвязанных операций. — *Прим. науч. ред.*

за одну настройку, т. е. вся производственная линия является отлично сбалансированной. Однако математическое моделирование работы такой линии показало, что в ней происходит накопление объемов незавершенного производства.

Стэндард и Дэвис вывели следующую формулу для расчета времени цикла ожидания в очереди для любого рабочего поста:

$$CT_q = \left( \frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \cdot \left( \frac{u}{1-u} \right) \cdot t_e \quad (4.1)$$

где:  $CT_q$  — время цикла в очереди (ожидание на одном посту);

$c_a = \sigma_a / t_a$  — коэффициент вариации периодичности поступления на рабочий пост;

$c_e = \sigma_e / t_e$  — коэффициент вариации эффективного времени обработки;

$u = t_a / t_e^*$  — коэффициент загрузки рабочего поста;

$t_e$  — эффективное время обработки.

Из приведенной формулы следует, что *время цикла (ожидание) в очереди стремится к бесконечности по мере приближения коэффициента загрузки рабочего поста к 100%*. Смит также доказал (W. Smith, 1998), что проблема роста объема незавершенной продукции усугубляется по мере роста коэффициента загрузки оборудования и приближения его к 100%. Кроме того, вариации продолжительности обработки заготовок на каждом рабочем посту и периодичности их поступлений на нее, зависящих от вариаций этих же параметров, наблюдаемых на предыдущих постах, также увеличивают общую продолжительность производственного цикла.

Стэндард и Дэвис также отмечают, что уравнение (4.1) является точным только в предположении, что поток поступающих заготовок является пуассоновским, т. е. периодичность поступления заготовок распределена экспоненциально, а количество поступающих заготовок в единицу времени имеет распределение Пуассона. Уравнение (4.1) дает завышенные значения времени ожидания в очереди в случаях, когда отсутствует вариация периодичности поступления заготовок на станцию, а эффективное время обработки соответствует нормальному распределению\*\*. Но все сказанное выше не имело своей целью вывод абсолютно точного уравнения для среднего времени ожидания в очередях, авторы лишь стремились проиллюстрировать характер влияния на него как вариаций временных параметров процесса, так и коэффициента загрузки оборудования. Лучше всего их совместный эффект описывает известная поговорка: «Хуже всего ждать и догонять».

Допустим, что время обработки одной заготовки на рабочем посту составляет в среднем 19 с, а сами заготовки поступают для обработки на ней со средней

\*  $\sigma$  и  $t$  представляют соответственно стандартное отклонение и математическое ожидание, а при использовании выборочных статистических характеристик — выборочное стандартное отклонение и среднее. — *Прим. науч. ред*

\*\* Вероятно, нормальное распределение — не лучшая, но вполне подходящая модель для описания времени обработки, в отличие от экспоненциального, допускающего вероятность нулевого времени обработки.

периодичностью 20 с. Казалось бы, что в этом случае не должно возникать никакой незавершенной продукции и никаких простоев, поскольку данный рабочий пост имеет резерв пропускной способности. Но это справедливо только в том случае, когда вариации времени обработки отсутствуют. В реальной жизни это не так, и обработка заготовок может занимать как больше, так и меньше среднего времени. Предположим, что удалось обработать заготовку за 17 с вместо 19. Казалось бы, что удалось сэкономить 2 с, но это мнимая экономия, поскольку новая заготовка на обработку еще не поступила и рабочий пост простаивает. Таким образом возникает та часть поговорки, которая соответствует слову «догонять».

Предположим теперь, что обработка следующей детали заняла 21 с. В результате третья поступившая заготовка будет вынуждена подождать 1 с в очереди на обработку. Так возникает вторая часть поговорки — ждать. Вместе с тем средняя продолжительность обработки заготовок осталась прежней и составляет те же 19 с. Вся проблема состоит в том, что каждая следующая поступившая заготовка ощущает на себе эффект ожидания от вариаций времени обработки. *Вот почему в системе, обладающей избытком производственных мощностей, могут возникать очереди и скапливаться незавершенная продукция.* Несмотря на то что среднее время ожидания в очереди согласно уравнению (4.1) сильно зависит от коэффициента загрузки оборудования  $u$ , вероятно, последствия наличия вариаций периодичности поступления заготовок и времени их обработки оказываются еще более серьезными благодаря действию эффекта «ждать и догонять».

Генри Форд часто повторял, что ему хотелось бы, чтобы работа была спланирована таким образом, при котором каждому работнику отведено все необходимое время для ее выполнения, но ни секундой больше. Это заявление звучит чудовишно в контексте последствий действия уравнения (4.1). Легко себе представить бесконечную череду складов для хранения материалов и груды необработанных заготовок между станками, ожидающих своей очереди. Сборочный конвейер, изображенный Чарли Чаплином в известном фильме «Новые времена», хорошо иллюстрирует, как должна, а точнее — не должна работать подобная система. Однако система, созданная Фордом, обладала по крайней мере двумя особенностями, позволявшими сглаживать эффекты, описываемые уравнением (4.1).

1. Форд особо подчеркивал: «Необходимо применять специальные салазки или иные направляющие, позволяющие рабочему, завершив операцию, опустить на них готовую деталь или заготовку, практически не меняя своего положения, причем эти устройства должны быть расположены максимально удобно и желательно, чтобы поставленные на них детали под действием силы тяжести сами соскальзывали к следующему рабочему для продолжения обработки» (Ford, 1922). Таким образом, предыдущий рабочий переправляет свою продукцию следующему максимально быстро, уменьшая тем самым вариации периодичности поступления заготовок следующему (значения стандартного отклонения  $\sigma$  в уравнении 4.1). Вместе с тем остаются в неприкосно-



венности вариации времени обработки, которые, в свою очередь, определяют вариации периодичности поступления обрабатываемых заготовок на последующие рабочие станции производственной линии.

2. Форд стремился максимально автоматизировать все процессы, оставляя на долю рабочих только такие операции, как установка заготовки на станок, его включение нажатием рычага или кнопки и снятие готовой детали. Полностью автоматизированные процессы отличают крайне малые вариации продолжительности обработки деталей, и это, вероятно, было еще одной причиной, позволявшей фордовской системе работать столь эффективно. На современных предприятиях, производящих полупроводниковые приборы, также крайне малы вариации времени нахождения пластин кремния на рабочей станции.

Короче говоря, в системе Форда удавалось обеспечить очень высокие уровни коэффициентов загрузки оборудования хорошо сбалансированных производственных линий за счет подавления всеми доступными способами вариации продолжительности выполнения операций и периодичности поступления заготовок с предыдущих рабочих станций на последующие. Этот подход тесным образом связан с применением концепции поддержания тактового времени, которому должны уделять повышенное внимание современные предприятия.

В следующем разделе рассматривается система быстрой переналадки оборудования SMED, нацеленная на уменьшение непроизводительных затрат и потерь, связанных с переналадками и настройками оборудования. Общие принципы создания таких систем, первоначально разработанных применительно к штамповочному производству, вполне применимы для промышленного оборудования любых типов.

## СИСТЕМА SMED

Подобно многим известным методам повышения производительности и качества эта система уходит своими корнями в опыт американской промышленности.

*«На одном хорошо известном нам предприятии требовалось сверлить в заготовках несколько отверстий разного диаметра, для чего был изготовлен специальный кондуктор, а комплект необходимых для этой операции сверл и патронов выдавался рабочему в специальном железном ящике. Изучение данной операции позволило нам выявить ряд интересных фактов. Во-первых, просверлив все необходимые отверстия, рабочий должен был остановить станок, чтобы вынуть готовую деталь из кондуктора и заменить ее новой заготовкой, теряя на этом время. Эту проблему удалось устранить, изготовив еще один такой же кондуктор, в котором рабочий мог установить вторую заготовку, в то время пока происходила обработка первой. После завершения обработки рабочий просто заменял кондуктор с готовой деталью другим, где уже была зажата новая заготовка, и начинал ее обрабатывать».*

Р. Кент

(цит. по кн.: Gilbreth, 1911)

Приведенная цитата со всей очевидностью доказывает, что американским основоположникам научной организации труда была хорошо известна проблема переналадки станков, требующей его остановки, и необходимость введения «внешней» переналадки, осуществляемой без остановки станка. На рис. 4.7 показан пример бланка (применявшегося еще до 1911 г. Тейлором для сбора данных о продолжительности различных операций, выполняемых в ходе технологического процесса токарной обработки деталей), в котором четко проводится разделение этих операций на создающие добавленную ценность и непроизводительные, в ходе которых увеличения добавленной ценности не происходит.

### УПРАВЛЕНИЕ ЦЕХОМ

The Midvale Steel Co.

Форма D-124

Механический цех.....18.....

#### Оценки продолжительности токарной обработки деталей

Операции, связанные с установкой заготовок на токарный станок и снятием готовых деталей после окончания их обработки		Наименование..... Чертеж.....Номер..... Заказ.....Масса..... Металл.....Термообработка..... Предел прочности на растяжение.....Хим. состав..... Процент удлинения..... Класс твердости.....					
Операция	Время, мин.	Операции механической обработки					
		Скорость	Подача	Глубина	Резец	Дюймы	Минуты
Накинуть цепь, работа на полу							
Накинуть цепь, работа в центрах							
Снять цепь, работа на полу							
Снять цепь, работа в центрах							
Установка на тележку							
Снятие с тележки							
Поднятие заготовки на направляющие							
Установка заготовки в центрах							
Снятие детали с центров и пускание на пол							
Все погрузочно-разгрузочные работы							
Регулировка подачи содового раствора							
Клеймение							
Зажим в центрах							
Проверка биения с помощью мела							
То же, с помощью штангенциркуля							
То же, с помощью калибра							
Установка в оправку							
Снятие с оправки							
Установка в зажимные центры							
Снятие с зажимных центров							
Установка в насадные центры							
Снятие с насадных центров							
Установка в подвижный люнет							
Снятие с люнета							
Установка на планшайбу							
		ИТОГО					

Рис. 4.7. Сопоставление временных затрат на выполнение продуктивных и непроизводительных операций в процессе механической обработки деталей  
 Источник: Frederick W. Taylor, Shop Management (1911)

Операция	Время, мин.		Обработка в центрах Обработка в суппорте Ручные операции Дополнительные работы
Снятие с планшайбы			Суммарное время Верхний предел Нижний предел
Установка в патрон			
Выемка из патрона			
Раскладка инструмента			ПРИМЕЧАНИЯ
Замена резцов			
Укладка детали в тару			
Перерывы между операциями			
резания			
Изучение задания			
Изучение способов зажима			
заготовки			
Смазка станка			
Чистка станка			
Замена наряда			
Получение и сдача инструмента			
Передача смены			
Установка шаблона			
Снятие шаблона			
Настройка подачи			
Настройка скорости			
Настройка задней бабки			
Настройка ходового винта			
для нарезания резьбы			
Подпись	ИТОГО		Реально затраченное время, суммарное

В левой части бланка, очевидно, сосредоточены данные, относящиеся ко всем непроизводительным операциям, связанным с наладками и настройками станка и с уходом за ним, в то время как в его правой части представлены данные, имеющие отношение к продуктивным, создающим добавленную стоимость операциям. Общий подход к подобной классификации операций сохраняет свою актуальность и в наши дни, почти век спустя после того, как был разработан представленный бланк. Операции в левой части бланка не изменяют размеров, формы и других параметров заготовки и, таким образом, не создают добавленную стоимость. Система SMED имеет своей целью сокращение доли таких операций в производственном процессе

Рис. 4.7 (окончание)

Выявление и устранение всех непроизводительных наладочных операций составляют основу широко известной в настоящее время системы быстрой переналадки оборудования SMED, основоположником которой считают С. Синго. Эта система нацелена на преобразование крупносерийного поточного производства в единичное или мелкосерийное, способное сократить время выполнения отдельных заказов. Ключом к пониманию системы SMED является знание того, когда операция добавляет ценность продукту или услуге. В этой связи напомним уже процитированное выше наблюдение Имаи:

«Между моментами создания добавленной ценности может находиться немало непродуктивных действий, сопровождаемых непроизводительными затратами и потерями времени. Мы должны стремиться к организации процессов, состоящих только из продуктивных операций, на совершенствовании которых должно быть сконцентрировано все внимание, и ликвидировать все непроизводительные затраты и простои» (Imai, 1997).

Как мы уже писали, Имаи обозначает это термином «Bang!» («Бац!»).

Подобно многим методам и методикам система SMED имеет свою аналогию в военном деле. Например, продуктивной операцией можно считать залп пехотного подразделения, вооруженного мушкетами, первоначально заряжавшимися с дула, через которое в ствол из рожка насыпался порох, затем в него забивался пыж и закатывалась пуля. Затем их стали заряжать с казенной части, используя сначала деревянные, а потом картонные гильзы с порохом, но пулю по-прежнему забивали с помощью шомпола.

Таким образом, одна непроизводительная наладочная операция по заряданию мушкета была просто заменена другой, более быстрой, но столь же непроизводительной с точки зрения основного назначения мушкета — производства выстрела из него. Современные специалисты по организации производства должны рассуждать аналогичным образом, понимая, что реальные продуктивные операции могут быть очень кратковременными. Например, при механической обработке такими операциями следует считать только те, в ходе которых режущий инструмент контактирует с обрабатываемой заготовкой. Если при сверлении сквозных отверстий требуется достаточно продолжительное время для прохождения сверла через заготовку, то при замене сверления прошивкой отверстий на штамповочном прессе собственно продуктивная операция занимает считанные доли секунды: «Бац!» и готово.

Тайити Оно указывает, что потребность компании Toyota во внедрении системы SMED возникла после того, как она перешла от изготовления автомобилей одной марки большими сериями к производству большого числа их разновидностей малыми партиями. Это потребовало возможности быстро осуществлять частые переналадки оборудования. Оно добавляет, что если в 1940-е гг. на Toyota замена одного штампа часто занимала от двух до трех часов, то ныне для этого требуются считанные минуты.

### Внутренние и внешние переналадки

Слова «замена пресс-формы» в названии системы SMED могут вводить в заблуждение, порождая мнение о том, что она применима исключительно к кузнечно-прессовому оборудованию. Но базовая идея этой системы универсальна и заключается в том, чтобы *как можно большая часть работ по наладке и настройке оборудования под определенную операцию проводилась на ходу, в то время, когда станок занят выполнением другой работы*. Такую наладку принято называть внешней, при которой большая часть х-операций проводится за пределами самого станка без его остановки. Если же для наладки требуется остановить станок, то ее называют внутренней. В любом случае внешняя переналадка в отличие от внутренней не увеличивает продолжительности основных операций.

Замену штампов или пресс-форм нельзя считать операцией, увеличивающей доведенную стоимость штампуемых на них деталей (точно так же, как смену литографического шаблона в экспозиционной камере при производстве полупроводниковых

приборов, которая в связи с применением в ней сложной оптики стоит многие миллионы долларов). Пластина кремния, покрытая светочувствительным материалом, выполняет функцию фотобумаги. На нее с шаблона проецируется электрическая микросхема сложной конфигурации, которая затем должна быть на ней воспроизведена. В другом оборудовании для производства полупроводниковых приборов используются газовые баллоны или металлические распыляемые мишени, и замена расходных материалов относится к наладочным работам, точно так же, как загрузка и выгрузка партий кремниевых пластин в экспозиционную камеру.

Еще один пример применения системы SMED в случае, отличном от штамповки металлических деталей, приводит Робинсон (Robinson, 1990). Речь идет о вакуумной формовке пластиковых изделий, осуществляемой по технологии, включающей следующие операции:

- установку сменной формы на стационарную;
- откачивание воздуха из сменной формы для создания вакуума внутри нее;
- впрыскивание полимера внутрь формы;
- открытие формы и извлечение готового изделия.

В описанном процессе единственной операцией, создающей добавленную ценность, служит впрыскивание полимера в форму и его полимеризация в ней. Откачка воздуха из формы относится к числу внутренних наладочных, непроизводительных операций. Сложно представить, как можно рационализировать этот процесс, поскольку, перед тем как начать откачивать воздух, необходимо предварительно закрыть форму после извлечения из нее готовой детали. Синго предложил следующее решение. Была приобретена герметичная емкость, объем которой в 1000 раз превышал внутренний объем сменной формы, и ее присоединили к форме шлангом с клапаном. Пока происходили впрыск полимера и формирование детали, этот клапан был закрыт, а из емкости вакуумным насосом откачивался воздух. После извлечения готовой детали и закрытия формы клапан открывался и почти мгновенно 99,9% воздуха переходило из формы в присоединенную емкость. Если для процесса формовки требовался более глубокий вакуум, то остатки воздуха из формы удалялись вакуумным насосом. Таким образом удалось сократить большую часть времени внутренней наладки, переведя ее в разряд внешней, производимой параллельно с работой формовочной установки.

Робинсон приводит еще один пример, когда удается ограничиться всего одним оборотом для разборки и сборки болтовых или винтовых соединений. Представим себе один из болтов, которым штамп крепится на столе пресса. Если он имеет 15 витков резьбы, то для его завертывания рабочему потребуется повернуть болт 15 раз, но при этом лишь последний оборот, при котором происходит затяжка соединения, в данном случае является продуктивным, а остальные 14 представляют пустую трату времени. Небольшое конструктивное изменение штампа превращает подобное болтовое соединение в быстроразъемное, для затягивания которого достаточно одного поворота болта. Для этого отверстиям во

фланце штампа достаточно придать грушевидную форму (рис. 4.8), при которой головка болта свободно проходит через широкую часть такого отверстия. Надев фланец на болты, его сдвигают так, чтобы его плоскость оказалась под головками болтов, после чего достаточно повернуть каждый болт всего на один оборот, чтобы плотно притянуть фланец к столу пресса. Операцию повторяют в обратной последовательности, когда штамп требуется снять со стола: ослабляют болты на один оборот и сдвигают штамп так, чтобы его фланец широкими частями грушевидных отверстий оказался под головками болтов.

Но оказывается, что возможны такие конструкции болтовых креплений, для затяжки или ослабления которых достаточно не полного оборота болта, а его поворота всего на 60 градусов, т. е. на одну шестую часть оборота. Идея таких конструкций, в которой применены болты с тремя продольными лысками на резьбовой части, восходит к XIX в., когда прерывистая резьба применялась в артиллерийских орудиях для запираания казенных частей замками (Robinson, 1999). Мы уже отмечали выше, что военная необходимость часто подстегивает развитие различных методов (например, защиты от ошибочных сообщений в средствах связи) и технологий (применение картриджей с заранее отмеренным зарядом пороха в мушкетах вместо насыпания его в дуло из рожка), которые затем находят применение в гражданской сфере. Способность поразить противника до того, как он успеет выстрелить в тебя, безусловно, не имеет никакого смысла на промышленных предприятиях. Но конструкторам артиллерийских орудий, работавшим в позапрошлом веке, уже была известна идея, высказанная Синго сто лет спустя: необходимо стремиться всячески сокращать непроизводительные временные затраты на наладку и настройку оборудования. Поэтому они четко представляли, что не следует тратить много времени, поворачивая замок по резьбе на несколько оборотов в

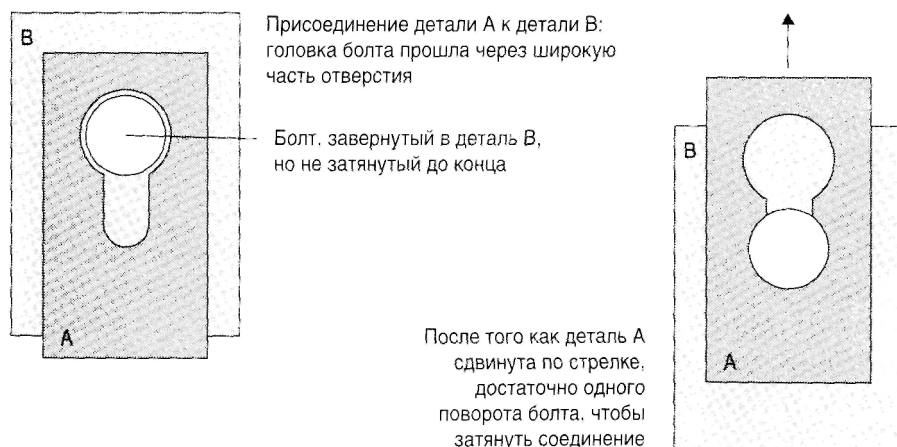


Рис. 4.8. Отверстия грушевидной формы допускают быструю разборку и сборку болтовых креплений

казеннике орудия для его надежного уплотнения. Решением стало применение прерывистой резьбы, занимавшей только половину поверхности резьбовой части замка. Отверстие казенника имело аналогичную форму, что позволяло заряжающему просто вставлять замок в казенник и, повернув его на 90 градусов, обеспечить надежное запирание. Прочность подобного соединения оказалась столь высока, что оно было способно выдерживать давление пороховых газов при стрельбе из 16-дюймовых пушек (калибр 406 мм). Эта же идея применена в болтах с лысками (рис. 4.9), требующих для затяжки поворота всего на 60 градусов.

Системы быстрой наладки оборудования SMED выглядят весьма впечатляюще благодаря своей способности увеличивать пропускную способность всех рабочих станций производственного процесса, на которых требуются наладочные операции. Но теория ограничений указывает, что *SMED способна увеличить пропускную способность производственного процесса только при условии, если она применима к тем его операциям, которые выступают в роли ограничений*. Вместе с тем применение этой системы для рационализации остальных операций, не ограничивающих пропускную способность процесса, позволяет сократить размеры партий или перейти на единичные способы их выполнения. Кроме того, теория ограничений позволяет выявить, в каких точках производственного процесса прежде всего необходимо сосредоточить внимание на использовании средств защиты от человеческих ошибок или на введении промежуточного контроля\*, хотя, безусловно, следует стремиться к предотвращению любых дефектов и ошибок при изготовлении продукции.

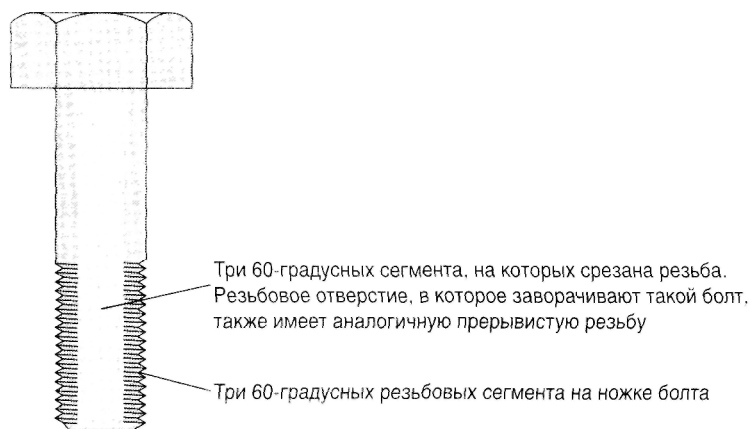


Рис. 4.9. Болт с прерывистой резьбой и продольными лысками

\* Сингю Сингю применяет термин «проверка» в смысле, несколько отличном от общепринятого. Специалисты по управлению качеством считают визуальные проверки наименее эффективными средствами контроля продукции. Сингю относит этот термин к применению автоматических сортировщиков и других автоматизированных средств разбраковки продукции без участия человека с его субъективными суждениями.

Разработку метода пока-ёкэ часто связывают с именем Синго, но подобно системе SMED разнообразные приемы и способы предупреждения человеческих ошибок впервые также были созданы в США.

## ЗАЩИТА ОТ ОПЛОШНОСТЕЙ (РОКА-УОКЕ)

Применение различных способов предупреждения человеческих ошибок представляет еще одну составляющую методологии создания бережливого производства, тесным образом связанную с выполнением требований стандартов ИСО 9000. В основе всей идеологии предупреждения человеческих ошибок лежит предположение о том, что можно ожидать появления таких ошибок всюду, где требуется участие человека и привлечение его субъективных представлений. Синго, вводя эти приемы и методы в Японии, первоначально называл их «защитой от дурака» (*boka-yoke*), но позднее он стал употреблять более нейтральный термин «защита от оплошностей» (*пока-ёкэ*), чтобы не наводить менеджеров на мысль, что ко всем рабочим следует относиться как к глупцам (Singo, 1986).

Вот один характерный пример методов защиты от ошибок, который приводит Форд (Ford, 1930): «По мере выполнения сварочных операций поворачивающиеся пластины, имеющие форму лопастей вентилятора и приводимые кулачковым валом, закрывают все точки сварки кроме одной, в которой должна производиться следующая операция. Таким образом, сварщику невозможно ошибиться». Рекомендацию Джилбрета (Gilbreth, 1911) относительно цветового кодирования объектов, обеспечивающего их правильную ориентацию в пространстве, можно также считать одним из способов предупреждения ошибок. Той же цели служит цветовое кодирование проводов и мест их присоединения, но, применяя этот способ, следует помнить, что есть люди (дальтоники), плохо различающие цвета.

Еще одним приемом предупреждения ошибок может служить использование конструктивных элементов, делающих невозможным неправильную сборку деталей. Характерным примером такого приема являются поляризованные вилки со штырьками разного размера или со смещенными штырьками, которые можно вставить в электрическую розетку только в одном положении.

Различные калибры или автоматические сортировщики, предупреждающие использование нестандартных деталей, также можно считать одним из способов предупреждения ошибок. Поступление на операцию, ограничивающую пропускную способность процесса, дефектных материалов или комплектующих изделий становится причиной простоев, переделок и увеличения объемов отходов\*. Перемешивание годных и бракованных деталей, выходящих с таких операций, также

---

\* Этот вопрос будет более внимательно рассмотрен в главе, посвященной основам теории ограничений. Изделия, не отвечающие установленным требованиям и снижающие производительность операции, служащей ограничением процесса, являются источником невозполнимых альтернативных затрат (т. е. упущенной выгоды), которые зачастую не распознаются существующими системами бухгалтерского учета.



имеет опустошительные последствия, поскольку брак, допущенный на них, обычно является неисправимым.

Генри Форд (Ford, 1926) приводит пример роликового конвейера для разбраковки втулок, предназначенного для того, чтобы не допустить попадания дефектных деталей в готовую продукцию: «...втулки меньшего диаметра, чем требуется, проваливаются между роликами в один желоб, а годные втулки — в другой. Все оставшиеся на роликовом конвейере втулки имеют диаметр больше заданного и в конце его падают на третий желоб». Сортировочный конвейер настроен так, что втулки нормального и увеличенного диаметра не проходят в зазор между первыми роликами, через который проваливаются втулки меньшего диаметра. Через следующий зазор между роликами проходят только втулки, соответствующие техническим условиям. Такой сортировщик может настраиваться с точностью до 2,54 микрона. Робинсон (Robinson, 1990) описывает аналогичное устройство для сортировки плунжеров натяжных механизмов. Описанные сортировщики относятся к тому классу устройств, которые С. Синго называет *самоконтролируемыми системами* (self-check systems).

В цитируемой работе Робинсона приведен также пример борьбы с недорезанными канавками под головками болтов, которые иногда появляются, если в процессе обработки суппорт с резцом случайно касается патрона станка. Простое устройство стоимостью всего 75 долл., изображенное на рис. 4.10, полностью исключает попадание болтов с недорезанными канавками на дальнейшую обработку. Звуковой сигнал, раздающийся при захвате этим устройством дефектного болта, предупреждает операторов о необходимости устранения причин касания патрона станка суппортом.

Концепция защиты от оплошностей имеет также прямое отношение к обеспечению безопасности труда. Менеджеры фордовского завода River Rouge всегда придерживались правила: «Надежнее сделать ошибочные действия невозможными, чем приказывать рабочим не совершать их». В частности, все станки и рабочие места должны быть спроектированы так, чтобы сделать производственные травмы невозможными, вместо того чтобы развешивать лозунги типа: «Будь осторожен! Циркулярная пила — не игрушка». Выражение «Не балуйся с пилой»

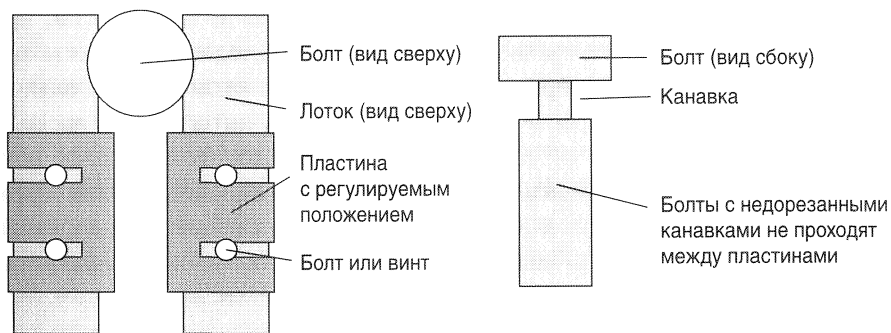


Рис. 4.10. Устройство для отбраковки болтов с недорезанными канавками

стало поговоркой в Новой Англии, где можно встретить немало людей, лишившихся пальцев из-за циркулярной пилы. Даже Чарльз Соренсен, руководивший всеми производствами в компании Форда, лишился двух пальцев, отрезая плашки для изготовления литейных форм. Примерами распространенных способов предотвращения несчастных случаев на производстве могут служить ограждения движущихся частей, применение средств блокировки включения станка при открытых крышках корпусов механизмов или откинутых ограждениях.

Настоящий раздел был посвящен проблеме защиты от человеческих ошибок и некоторым концепциям, связанным с ее разрешением, например самоконтролируемым системам. Защита от оплошностей является также одним из средств, направленных на выполнение требований ИСО 9000 и QS-9000. Объектом следующего раздела является систематический и гибкий подход к решению разнообразных производственных проблем, известный под названием «система TOPS-8D». Не являясь в полном смысле этого слова методом создания бережливого производства, эта система представляет собой полезное вспомогательное средство, отлично увязанное с требованиями ИСО 9000 в отношении проведения корректирующих и предупредительных действий.

## ВОСЕМЬ ПРАВИЛ КОЛЛЕКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ

Хотя принятая в компании Ford Motor Company методология коллективного решения проблем TOPS-8D не имеет прямого отношения к созданию бережливого производства, она, будучи непосредственно связанной с реализацией требований ИСО 9000 в отношении проведения корректирующих действий по устранению причин дефектов, тем не менее заслуживает упоминания в контексте настоящей книги. Изначально эта методология имела реактивный характер, устанавливая восемь основных правил устранения проблем качества после того, как те уже проявились. Вместе с тем эти правила вполне подходят для проведения и документального оформления предупредительных мер, направленных на повышение производительности компании и качества ее продукции.

Восемь правил, составляющих основу рассматриваемой методологии, представляются более гибкими по сравнению с принятым в методологии «Шесть сигм» типовым циклом RDMAICSI (признание — определение — измерение — анализ — совершенствование — контроль — стандартизация — интеграция), поскольку они подходят с небольшими доработками или вообще без них к решению широкого круга задач совершенствования работы предприятий. Методология «Шесть сигм» требует обязательного количественного описания решаемой проблемы, в то время как TOPS-8D ограничивается точной ее постановкой не только в количественном, но и в качественном виде, что позволяет применять ее для устранения трения, мешающего эффективно трудиться рабочим на производстве. Напомним, что под трением мы понимаем *любые факторы, хронически раздражающие*

*рабочего и мешающие ему эффективно трудиться.* Согласно описаниям рабочих, с трением часто происходит то же явление, что и в случаях, когда человека просят дать определение того, что следует считать непристойным. Большинство при этом ответит, что не может дать общего определения, но всегда способно отличить непристойность, стоит ее услышать или увидеть. Конечно, всегда полезно оценить количественно последствия проводимых усовершенствований, но невозможность получения подобных оценок не должно препятствовать конструктивным действиям в этом направлении. Достаточно вспомнить совет Перо: «Всякий, кто первым увидит змею, обязан ее убить (не заботясь о точности формулировки понятия «змея» и того, как с ней бороться)».

Подобно многим другим подходам к совершенствованию работы предприятий, основу системы TOPS-8D составляет известный цикл PDCA (планирование — осуществление — проверка — действие) Шухарта — Деминга, описанный, например, в книге Дж. Джурана и Грайны (Juran and Gryna, 1988). Этот цикл состоит из четырех основных составляющих:

- 1) *планирование.* Необходимо выявить имеющиеся возможности для совершенствования разностей между желаемыми и фактическими значениями характеристик эффективности работы предприятия. Следует, при необходимости, спланировать также проведение необходимых экспериментов;
- 2) *осуществление.* Проведение запланированных изменений и сбор данных об их результативности;
- 3) *проверка.* Оценка результативности проведенных изменений;
- 4) *воздействие.* Переход к этапу «планирование» цикла управления производственными процессами, на котором должны быть предусмотрены меры для сохранения и поддержания достигнутых усовершенствований. При этом следует:
  - установить требования внутренних и внешних потребителей и измерения. Предусмотреть применение методов управления процессами с обратной связью (например, методов статистического контроля процессов или автоматического управления ими). Установить требования, предъявляемые к поставщикам материалов и комплектующих изделий. Спланировать работы, например с использованием технологических карт процесса;
  - стандартизовать (добавим от себя) проведенные усовершенствования посредством соответствующих доработок рабочих инструкций и попытаться распространить их в качестве примеров передового опыта в масштабах предприятия, подыскав те работы, к которым они применимы.

После завершения описанного цикла его следует применить повторно в поисках путей дальнейшего совершенствования работы предприятия.

Обращаясь теперь к описанию восьми правил решения проблем в соответствии с методологией TOPS-8D, будет легко заметить, что правила 1, 2, 4 и 5 хорошо подпадают под описание этапа «планирование» цикла PDCA. Шестое правило соответствует этапам «осуществление» и «проверка», а седьмое — этапу «воздействие».

Упомянутые восемь правил включают:

1. Применение командного подхода к решению проблем. В идеале команда, формируемая для решения некоторой производственной проблемы, должна включать людей, непосредственно связанных с теми работами, в ходе выполнения которых она возникла и с которой они знакомы лучше остальных. Это правило можно считать одним из элементов этапа «планирование» цикла PDCA.
  - В состав команды должен быть также включен так называемый чемпион по проектам, т. е. человек, располагающий достаточными полномочиями для внедрения предлагаемых решений и изменений и распоряжающийся необходимыми для этого ресурсами.
2. Формулирование рабочей постановки проблемы. Это правило также можно отнести к этапу «планирование».
  - Дж. Джуран и Грайна подчеркивают (Juran and Gryna, 1988), что постановка проблемы должна быть четкой и недвусмысленной. Поэтому, формулируя проблему, следует избегать неоднозначных терминов.
  - Термин «проблема» обозначает любое несоответствие действующим нормам и правилам. В случае применения рассматриваемых восьми правил применительно к предупредительным действиям необходимо также оценивать совершенство существующих норм. Поэтому здесь целесообразно заменить термин «проблема» на выражение «возможности для совершенствования».
3. Сдерживание дальнейшего развития проблемы и ее последствий. Это может означать недопущение попадания дефектной продукции потребителям, отключение неисправного оборудования и т. д.
  - Сдерживание является первой реакцией на возникшую проблему и не играет заметной роли при проведении усовершенствований.
  - Фактически сдерживание не укладывается в рамки цикла PDCA, означая просто осуществление мер по защите потребителей от некачественной продукции.
  - Напомним уже цитировавшееся выше крылатое выражение генерала Ли-Мея: «Проще найти кучу навоза, чем заниматься ловлей мух, в которой они плодятся». Сдерживание проблемы как раз и относится к тому, что он называет «ловлей мух». Компания обязана защищать своих потребителей, но ей никогда не удастся справиться с причинами возникших проблем, не доведя до конца процедуры, включающей все восемь описываемых правил их разрешения.
4. Установление первопричин возникшей проблемы. Некоторые аспекты их поиска также относятся к этапу «планирование», поскольку они связаны с анализом существующих процессов. Вместе с тем процедура, обозначаемая термином «планирование эксперимента» представляет сам цикл PDCA в миниатюре.
  - К числу средств установления причин возникшей проблемы относятся такие традиционные методы повышения качества, как контрольные

листки, диаграммы Парето или причинно-следственные диаграммы типа «рыбий скелет» (диаграммы Исикавы).

- Методы планирования эксперимента могут быть полезным средством экспериментальной проверки эффективности предлагаемых усовершенствований, заменяющим собой контроль их результатов по данным последующей производственной отчетности.
5. Выбор корректирующих мер, обеспечивающих долговременное устранение выявленных причин проблемы. Это также относится к этапу «планирование» цикла PDCA.
  6. Реализация выбранных корректирующих мер (этап «воздействие») и проверка их эффективности (этап «проверка»).
  7. Предотвращение повторного возникновения проблемы посредством придания предлагаемым изменениям обязательного характера.
    - Для этого необходимо пересмотреть рабочие инструкции или инструкции по эксплуатации оборудования и другие действующие нормы и правила.
      - В случае, когда данный подход применен в качестве средства предупреждения возможных проблем, разработанные изменения должны быть стандартизованы, чтобы придать им постоянный характер и сохранить достигнутое (этап «воздействие»).
      - Кроме того, следует изучить, нельзя ли применить данное усовершенствование где-нибудь еще в качестве образца передового опыта.
  8. Признание достижений команды.
    - Публичное признание достижений демонстрирует всей организации действенность данной методологии проведения усовершенствований и поощряет ее расширенное применение, что представляет собой важную составляющую управления изменениями.

На рис. 4.11 показана схема применения приведенных восьми правил в качестве составной части системы обеспечения качества, действующей в компании Fairchild Semiconductor.

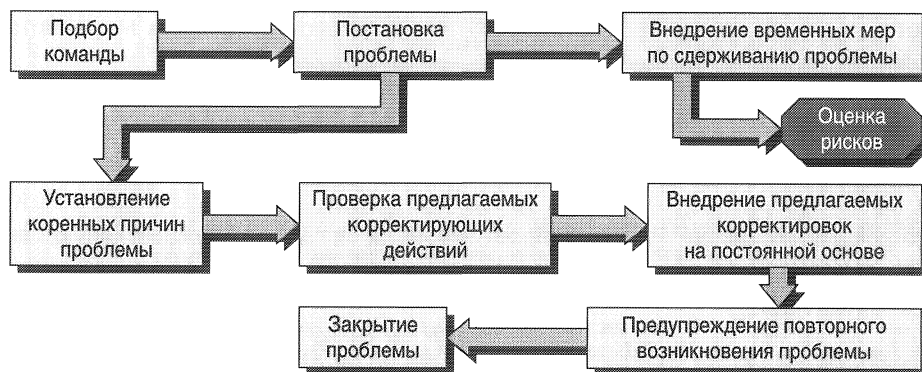


Рис. 4.11. Схема применения восьми правил

## Процедура «пять почему» и ее применение для поиска причин проблемы

Для поиска причин решаемых проблем система TOPS-8D включает в себя применение процедуры, известной в литературе под названием «пять почему», которая заключается в последовательных вопросах о возможных причинах проблемы и поиске ответов на них до тех пор, пока эта причина не будет окончательно выяснена\*. В книге Оно (Ohno, 1988) приведен следующий пример использования этой процедуры для выяснения причин остановок станка.

1. Остановка станка происходит из-за перегрузки электромотора и, как следствие, перегорания плавких предохранителей. (Простейшей реакцией при этом является замена предохранителей всякий раз, когда они перегорают, что фактически служит именно той «ловлей мух», против которой высказывался генерал ЛиМей.)
2. Перегрузка электромотора является следствием повышенного трения в подшипниках из-за недостатка смазки.
3. Нехватка смазки вызвана недостаточным поступлением масла, подаваемого смазочным насосом.
4. Насос не подает достаточного количества смазки из-за износа вала.
5. Повышенный износ вала насоса является следствием отсутствия сетчатого фильтра, задерживающего металлическую стружку, попадающую в масло.

Таким образом, в данном случае «уборка кучи навоза» (согласно примеру, приведенному генералом ЛиМеем) заключается в том, чтобы обеспечить постоянное наличие фильтра очистки масла, отсутствие которого, как выяснилось, является коренной причиной возникшей проблемы.

В приведенном примере сами вопросы «почему» только подразумевались. Но можно привести примеры, когда эти вопросы ставятся напрямую и, отвечая на них, мы возвращаемся к исходному пункту, с которого начинали поиск причин. Характерный в этом отношении пример описан в книге Голдратта и Кокса «Цель» (1992).

*«Почему мы не можем обеспечить быстрое исполнение поступившего заказа? Потому что на складе нет нужных деталей или в складских запасах встречаются дефектные детали.*

*Почему нет нужных деталей на складе или имеющиеся детали оказались дефектными?* Нужных деталей нет потому, что мы производим продукцию по принципу «точно вовремя» и не храним не пользующиеся спросом детали в соответствии с изменением технологии производства. Дефектные же детали встречаются потому, что после изготовления они поступают прямо на склад, а не на следующую операцию, и никто не замечает их дефектов до тех пор, пока детали не покидают места хранения.

\* Как отмечено в книге Дж. Ривелла «Качество от А до Я» (М.: РИА «Стандарты и качество», 2006), «название этой процедуры является достаточно условным, так как никогда заранее неизвестно, сколько потребуется вопросов, чтобы добраться до самых корней проблемы». — *Прим. пер.*

*Почему же тогда, применяя на производстве принцип «точно вовремя», мы тем не менее отправляем изготовленные детали на склад? Потому что мы стремимся обеспечить скорейшее выполнение поступивших заказов, имея возможность быстро изготовить заказанные изделия».*

Итак, круг замкнулся, и серия вопросов привела нас к исходному пункту рассуждений. Возникновение подобного замкнутого цикла вопросов и ответов свидетельствует о наличии очевидных проблем на предприятии. Накапливая запасы, оно уподобляется алкоголику, для которого каждая выпитая бутылка виски не облегчает, а лишь усугубляет состояние\*.

### Процесс повышения качества

Процесс повышения качества (QIP), принятый в компании Fairchild Semiconductor, представляет собой систему упреждающих действий, каждое из которых включает восемь последовательных шагов (рис. 4.12). Эта система напоминает описанную выше TOPS-8D, но в ней, естественно, отсутствует этап «сдерживание», поскольку она относится к совершенствованию процессов, в которых отсутствуют явно выраженные проблемы. В этом проявляется различие между процедурами устранения существующих недостатков и совершенствования. Любая проблема, подобная выпуску дефектной продукции, требует исправления, которое включает сдерживание (предупреждение последствий проблемы) и устранение порождающих ее коренных причин. Но процесс, даже не выдающий на выходе недопустимого количества дефектной продукции, может быть усовершенствован, и именно в этом заключается сущность методологии создания бережливого производства.



Рис. 4.12. Процесс повышения качества

\* В сказке Антуана де Сент-Экзюпери «Маленький принц» есть персонаж, который каждый раз напивается, чтобы забыть, что он стыдится своего пьянства.

В данном разделе была рассмотрена восьмишаговая процедура, которая может быть применена к решению широкого круга разнообразных проблем вплоть до проведения опережающих усовершенствований, предупреждающих их появление. В частности, уже упоминавшийся завод компании Fairchild Semiconductor применяет подобную систему для выполнения требований стандартов ИСО 9000 по проведению корректирующих и предупреждающих действий, направленных на поддержание и повышение уровня качества продукции. Процесс повышения качества применяется Fairchild как инструмент проведения упреждающих усовершенствований.

## МЕТОДОЛОГИЯ «ШЕСТЬ СИГМ»

Как отмечают Харри и Шредер (Harry and Schroeder, 2000), термином «шесть сигм» сейчас обозначают не только технические возможности процесса\*, но также программу повышения производительности производства и качества продукции, подводя, таким образом, под общее наименование комплекс методов и средств повышения качества и решения проблем. В этой методологии все мероприятия по повышению качества проводят в рамках цикла DMAIC (определение — измерение — анализ — совершенствование — управление — контроль), представляющего собой разновидность известного цикла PDCA Деминга — Шухарта.

В свою очередь, Харри и Шредер дополняют цикл DMAIC еще тремя этапами, превращая его в уже упоминавшуюся выше восьмишаговую процедуру, обозначаемую аббревиатурой RDMAICSI (признание — определение — измерение — анализ — совершенствование — управление — стандартизация — интеграция) и представляющую собой приблизительную аналогию фордовской системы TOPS-8D. Но на самом деле последняя является более гибкой по сравнению с методологией «Шесть сигм», нацеленной исключительно на снижении вариаций параметров продукции и процессов, и позволяет наряду с этими решать многие другие проблемы. В системе TOPS-8D упор делается на решение проблем многопрофильными командами специалистов (подход, заимствованный из системы кайдзен блиц), поиск коренных причин проблем, проверку и внедрение долгосрочных коррекций или усовершенствований.

В методологии «Шесть сигм» принято следующее распределение ролей между участниками процесса ее применения:

- *высшее руководство компании* осуществляет лидирующую роль в реализации любых инициатив по повышению качества продукции и производительности

\* Индексы воспроизводимости процесса характеризуют его способность стабильно обеспечивать выполнение предъявленных к нему технических требований. Эти характеристики являются функциями среднего значения параметра процесса и вариации процесса. Центрированный шестисигмовый процесс обладает уровнем номинальной воспроизводимости 2,0, т. е. способен производить не более двух дефектных изделий на миллиард. Если считать справедливым введенное Motorola предположение, что сдвиг среднего процесса от середины поля допуска обычно не превышает 1,5σ, то на выходе такого процесса будет наблюдаться не более 3,4 дефекта на миллион возможных (DPMO).



предприятия, что служит обязательной предпосылкой для их успешного осуществления;

- *чемпионы*, чья роль в методологии «Шесть сигм» несколько шире, нежели упоминавшихся ранее чемпионов по применению системы TOPS-8D. Они не только распоряжаются ресурсами, которые могут потребоваться для внедрения разработанных усовершенствований, но также определяют, какие шестисигмовые проекты подлежат выполнению, проводят бенчмаркинг и анализ отставаний, вырабатывают оперативное видение проблем организации, осуществляют административное и техническое управление всеми работами. В методологии «Шесть сигм» различают:
  - *чемпионов по развертыванию* самой методологии, к числу которых относятся высшие руководители организации, занимающие должности ее генерального директора, президента или исполнительного вице-президента;
  - *чемпионов по проектам* из числа руководителей уровня начальников подразделений компании. В строительных фирмах чемпионами по проектам могут быть начальники строительства;
- «*черные пояса*» отвечают за применение методологии «Шесть сигм» в конкретных проектах, используя при этом преимущественно традиционные методы решения проблем и совершенствуя такие способы, как статистические методы и методы планирования эксперимента. Они также осуществляют преподавательские и наставнические функции по отношению к другим работникам, отвечают за поиск возможных усовершенствований внутри компании и за ее пределами. Обучением самих «черных поясов», планированием экспериментов, требующих участия нескольких подразделений, проведением совещаний, сбором и систематизацией информации занимаются так называемые «мастера черного пояса». Специалисты обеих этих категорий являются проводниками изменений в компании;
- «*зеленые пояса*» являются менее подготовленными по сравнению с «черными поясами» специалистами, владеющими статистическими и иными методами решения проблем на уровне, достаточном для их приложения к повседневной работе или для участия в шестисигмовых проектах.

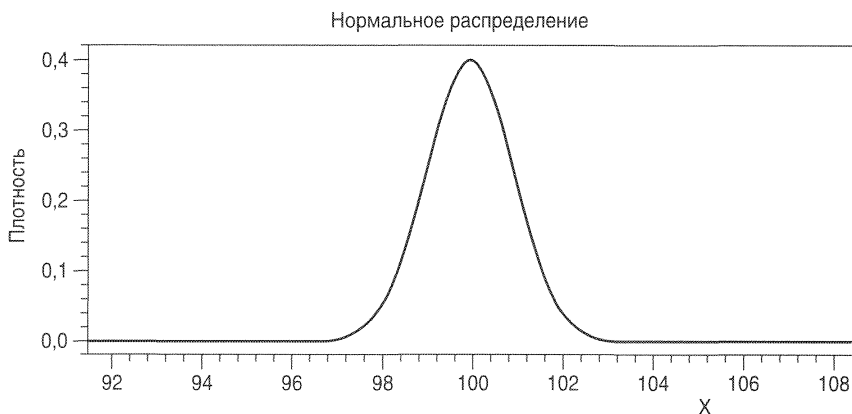
Методология «Шесть сигм» часто служит средством распространения и внедрения передового опыта. Как пишут Харри и Шредер (Harry and Schroeder, 2000), «...задачи применения методологии «Шесть сигм» не исчерпываются выполнением отдельных, успешных проектов... С ее помощью организации вырабатывают и стандартизуют самые совершенные методы работы». Сказанное хорошо согласуется с идеями Тейлора (Taylor, 1911) относительно применения разработанных им основ научной организации труда. По существу, методология «Шесть сигм» не представляет собой ничего принципиально нового или новаторского, а лишь объединяет и обеспечивает комплексное применение хорошо известных и давно проверенных на практике методов.

## Воспроизводимость шестисигмовых процессов

Само название методологии «Шесть сигм» относится к шести стандартным отклонениям между средним значением параметра процесса и его предельными значениями (рис. 4.13).

Если такой процесс остается статистически контролируемым, то контролируемый параметр не более одного из миллиона изготовленных изделий выходит за пределы допуска. Если возможен дрейф среднего значения контролируемого параметра относительно середины поля допуска в пределах  $1,5\sigma$ , то в худшем случае на выходе такого процесса может наблюдаться не более 3,4 дефектного изделия на миллион (рис. 4.14). В методологии «Шесть сигм» уровни дефектности принято измерять числом дефектов на миллион возможных (DPMO), имея в виду, что в любом изделии возможно несколько видов дефектов, определяемых, например, количеством контролируемых параметров, каждый из которых имеет свое распределение.

Способность процесса стабильно обеспечивать разброс выходных характеристик производимых изделий в пределах установленных допусков принято называть его воспроизводимостью. Для оценки воспроизводимости процесса применяют показатель, называемый индексом воспроизводимости\*. Его вычис-



Плотность на «хвостах» распределения, соответствующая значениям наблюдаемой переменной выше 106 (верхний предел допуска) и менее 94 (нижний его предел), составляет одну миллиардную долю плотности распределения

Рис. 4.13. Шестисигмовый процесс. Установленные в ТУ требования: среднее  $\mu=100$ , стандартное отклонение  $\sigma=1$ , нижние и верхние предельно допустимые значения [94; 106]

\* Формулы для расчета индексов воспроизводимости процессов имеют вид:  $C_p = (USL - LSL) / 6\sigma$ ,  $CPU = (USL - \mu) / 3\sigma$ ,  $CPL = (\mu - LSL) / 3\sigma$ ,  $C_{pk} = \min\{CPL, CPU\}$ . Величины CPU и CPL характеризуют способности процесса выдерживать верхнюю и нижнюю границы установленного допуска соответственно. Приведенные формулы основаны на гипотезе о нормальности распределения контролируемого параметра процесса. Расчеты индексов воспроизводимости процессов в случаях гамма-распределения или распределения Вейбулла контролируемого параметра рассмотрены в работе Левинсона (Levinson, 2000a).



Число наблюдений значений контролируемого параметра, превышающих 106 (верхнюю границу допуска), составляет 3,4 на миллион. Вероятность выхода значений параметра за 94 (нижний предел допуска) незначительна и не принимается в расчет

Рис. 4.14. Шестисигмовый процесс со сдвигом среднего от середины поля допуска, равным  $1,5\sigma$ . Допуск на параметр, заданный в ТУ, составляет [94;106]

ляют как отношение ширины поля допуска на некоторый параметр процесса к мере возможности процесса. Ширину поля допуска и естественный разброс измеряют в величинах стандартного отклонения ( $\sigma$ ) рассматриваемого параметра. Чем меньше вариации параметров на выходе процесса, тем выше его воспроизводимость. В частности, для статистически управляемого шестисигмового процесса индекс воспроизводимости равен 2,0, в то время как в промышленности в настоящее время считают минимально допустимым уровень воспроизводимости производственных процессов, равный 1,33.

Методология «Шесть сигм» заставляет конструкторов учитывать при назначении допусков на параметры изделий возможности производственного оборудования предприятия, связывая между собой задачи проектного обеспечения технологичности и выполнение требований ИСО 9000 по управлению проектированием изделий. Поэтому конструкторы должны работать в тесном контакте с производителями, чтобы хорошо представлять возможности установленного в цехах оборудования. Предположим, используя рис. 4.13 и 4.14 в качестве примера, что существующий производственный процесс обеспечивает стандартное отклонение контролируемого параметра изделий  $\sigma=1$ . В этом случае, чтобы придать процессу шестисигмовый характер с номинальным индексом воспроизводимости  $C_p=2,0$ , конструктор должен знать, что ширина допуска должна составлять по крайней мере 12, т. е.  $\pm 6\sigma$ .

Вместе с тем необходимо проявлять известную осторожность в отношении предположения о нормальности распределения параметров процессов (Levinson, 2000a). Все расчеты уровня дефектности на выходе процесса как функции числа стандартных

отклонений, укладываемых в поле допуска на контролируемый параметр, обычно выполнены с учетом допущения о нормальном распределении этого параметра. Нарушения этого предположения могут привести к отклонениям фактического уровня дефектности от расчетного на несколько порядков, например, будет наблюдаться 1000 дефектов на миллион изделий (ppm) вместо планируемых 10 ppm.

Впрочем, всегда имеется возможность рассчитать уровень дефектности, исходя из реального распределения контролируемого параметра. Обычно не вызывает сложностей применение логарифмически нормального распределения, при котором логарифмы измеренных значений случайной величины распределены нормально. К числу других часто используемых на практике распределений можно отнести распределение Вейбулла и гамма-распределение. Задание в ТУ одностороннего допуска на контролируемый параметр (например, допустимого уровня примесей или числа посторонних включений) служит косвенным предупреждением о том, что распределение этого параметра может отличаться от нормального. Применение нормального распределения особенно нецелесообразно в случаях, когда оно допускает достаточно большую вероятность отрицательных значений контролируемого параметра, невозможных по физическим соображениям, как в случае с уровнем примесей, который может принимать только положительные значения. Поэтому всегда следует строить гистограмму наблюдаемых значений контролируемого параметра и сравнивать ее с графиком плотности нормального распределения, чтобы проверить обоснованность допущения о нормальности его распределения.

Подводя итог, отметим, что шестисигмовый процесс обеспечивает пренебрежимо малый уровень дефектности продукции только в случаях, когда контролируемые параметры процесса имеют нормальное распределение, а процесс остается статистически контролируемым. Сама методология «Шесть сигм» представляет собой набор хорошо известных и проверенных на практике способов повышения качества и производительности, применение которых в пределах соответствующих допущений и предположений позволяет добиваться существенных усовершенствований производственных процессов. Вместе с тем эта методология не содержит в себе принципиальной новизны, а применяемый при реализации шестисигмовых проектов цикл RDMAICSI не отличается такой же гибкостью, как рассмотренная выше система TOPS-8D.

## УСКОРЕННОЕ НЕПРЕРЫВНОЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ, ИЛИ KAIZEN BLITZ (КАЙДЗЕН БЛИЦ)

Кокс и Блэкстоун (Cox and Blackstone, 1998) определяют кайдзен блиц как:

«...быстрое локальное усовершенствование ограниченного масштаба, например, отдельно взятого производственного участка или рабочего места, выполняемое командой, в составе которой обязательно представлены работники этого участка. Целью такого усовершенствования является применение инноваций, способных устранить лишние, не создающие добавленной стоимости операции с немедленным

внедрением выработанных предложений в сроки, не превышающие одной недели. Преимуществами такого подхода являются заинтересованное участие в проведении усовершенствований работников, непосредственно занятых на данном производственном участке, и развитие у них навыков коллективного решения проблем».

Ларайя, Муди и Холл (Laraia, Moody and Hall, 1999) дополняют приведенное определение рядом соображений.

«Кайдзен следует считать средством концентрации ресурсов предприятия, для того чтобы поднять на небывалую высоту уровень его совершенства. Кайдзен служит идеальным способом полезного применения тех знаний и опыта, которыми уже обладают организация в целом и отдельные ее сотрудники, реализуя их таким образом, чтобы добиться получения немедленного результата».

Цель любого проекта в конечном счете должна состоять в том, чтобы *подтолкнуть организацию к дальнейшим действиям* в избранном направлении, продемонстрировав на примере его выполнения возможность достижения *быстрых, видимых всем и устойчивых результатов*.

Базовая концепция, из которой вытекает роль кайдзен блиц в управлении изменениями и в трансформациях корпоративной культуры компаний, отнюдь не является новой. Еще Тейлор подчеркивал значение видимых результатов применения научных методов организации труда для изменения корпоративной культуры:

«Для того чтобы новые инструкции были приняты рабочими, последние должны получить серию предметных уроков. Их следует убедить в возможности значительного ускорения работы, продемонстрировав, что их коллеги уже сумели значительно увеличить темпы работы, удвоить или утроить производительность труда... Только на основе подобных наглядных, предметных уроков можно добиться внедрения новых теорий» (Taylor, 1911a).

На самом деле, имеется немало доказательств того, что кайдзен блиц и другие подобные подходы непосредственно вытекают из идей Тейлора о научной организации труда.

«На одном заводе рабочие самостоятельно модернизировали почти все имевшиеся станки, добившись выдающихся результатов в изменении способов производства, повышении качества продукции и снижения отпускных цен на нее при соответствующем повышении собственных заработков и прибылей компании. На другом предприятии работники, *получив право голоса в управлении, настаивали на установке более совершенного станочного оборудования, которое было известно в отрасли по крайней мере 20 лет, но почему-то не применялось в их компании*» (Basset, 1919).

В той же работе Бассета приводится пример, когда рабочие завода провозгласили, что каждый из них должен быть специалистом по повышению эффективности. В результате предприятие удвоило выпуск продукции без увеличения численности работников и количества установленного оборудования.

Приведенные примеры служат серьезными аргументами в пользу создания самоуправляемых рабочих групп (Levinson, 1998), подобных тем, что существуют на предприятии компании Fairchild Semiconductor. В этих командах распределение обязанностей и ответственности между участниками во многом напоминает то,

что существует, например, в профессиональных обществах или в сервисных организациях. В частности, в них происходит ротация ответственных за проведение совещаний по вопросам безопасности, качества и производительности. Наделение работников дополнительными полномочиями требует соответствующего обучения методам коллективной работы и изучения технологии производства. Подобное обучение должно включать изучение общих принципов бережливой организации производства.

Кайдзен блиц дополняет тейлоровскую теорию научной организации труда повышенным вниманием, уделяемым вопросам участия самих работников в этом процессе. Если рабочие занимаются повышением производительности своего труда, то культурные изменения в компании происходят намного быстрее. Но обе эти системы объединяет признание роли видимых результатов предпринимаемых усилий в ускорении культурных трансформаций предприятий.

Отметим следующие основные особенности кайдзен блиц.

1. Этот подход не является принципиально новым. Он основывается на использовании таких известных методов и приемов повышения производительности и качества, как:
  - командная работа;
  - система 5S-CANDO;
  - методы перепланировки предприятий и производственных участков;
  - методы создания производственных систем, основанных на спросе: канбан, или синхронизация производственных потоков;
  - функционально-стоимостный анализ с выявлением и сравнением по объемам работ, создающих добавленную ценность и не создающих ее;
  - система быстрой переналадки производства (SMED);
  - замена поточного крупносерийного производства мелкосерийным или единичным изготовлением продукции на заказ.
2. Повышенное внимание к достижению быстрых, получаемых в течение одной недели или менее, и заметных результатов.
  - Больше конкретики — не следует увлекаться планированием в кабинетах и обсуждениями в конференц-залах. Нужно спускаться в цеха и там заниматься усовершенствованиями.
  - Следует установить на производственных участках стенды, на которых каждый сможет ознакомиться с предполагаемыми перепланировками и переоснащением оборудования\*.

---

\* Перепланировки предполагают возможность простого передвижения оборудования с места на место. Этому допущению не отвечают жестко зафиксированные производственные установки или оборудование для производства полупроводниковых приборов из-за привязки последнего к коммунальным системам (водопроводу, канализации и т. д.). Если оборудование установлено на мощных бетонных фундаментах, для его перемещения необходим подъемный кран либо ему требуются специальные средства улавливания вредных химических веществ или большие расходы воды, то изменения планировки предприятий, оснащенных таким оборудованием, могут быть нецелесообразными.

- Немедленное поощрение участников усовершенствований улучшает моральный климат и способствует расширенному применению данного подхода.
  - Рабочие изучают методы совершенствования работы на практике.
3. Кайдзен блиц одновременно является инструментом управления изменениями, способствующим требуемым трансформациям корпоративной культуры.
- Наглядность получаемых с его помощью результатов позволяет преодолевать догматические подходы, основанные на сложившихся традициях и привычках.

В идеале первый проект, реализуемый с использованием подхода кайдзен блиц, должен служить эталоном для всех работников предприятия. У него должны быть четко очерченные цели и ясно видимые результаты, отвечающие насущным потребностям предприятия, в его выполнении должны участвовать работники, непосредственно занятые на производстве и имеющие возможность применить свои знания для совершенствования собственной работы. При выполнении проекта должны подтвердить свое значение такие методы совершенствования работы предприятия, как применение системы 5S-CANDO, перепланировка, сокращение объемов материальных запасов.

Для сохранения достигнутого результата новым методам работы должен быть придан обязательный, постоянный характер путем их стандартизации, т. е. документального оформления и включения в соответствующие рабочие или производственные инструкции. По возможности следует выяснить, нельзя ли применить выработанные усовершенствования в других областях работы предприятия в качестве образцов передового опыта.

Подход, называемый кайдзен блиц, требует понимания концепции трения, причем работники, занятые на производстве, способны скорее выявлять факторы, мешающие им трудиться более эффективно. *Кайдзен блиц, применение которого позволяет быстро получать ощутимые результаты, представляет собой один из мощных инструментов управления изменениями в организациях.* Одной из неизменных составляющих этого метода является реконструкция предприятия, сопровождаемая его перепланировками и модернизацией оборудования. В следующем разделе будет показано, как планировка может влиять на производительность.

## СТРАТЕГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Хайзер и Рендер (Heizer and Render, 1991) выделили следующие виды размещения оборудования на предприятии.

1. *Фиксированный*, при котором конечный продукт, представляющий собой крупный технический объект (речное или морское судно, автостраду, здание), постоянно находится на месте, а работа организована так, что персонал

и оборудование перемещаются вокруг и внутри объекта. Этот вид планировки не представляет особого интереса с точки зрения организации бережливого производства и в книге подробно не рассматривается. К примерам фиксированного вида относятся:

- сборка автомобиля на одном месте. Такой способ использовали на заводе Форда в самом начале 1900-х гг.;
- судовая верфь. В книге Варда (Ward, 1999) описано, как в годы Второй мировой войны в США удалось значительно ускорить постройку эсминцев для сопровождения морских конвоев благодаря тому, что крупные секции кораблей изготавливались и собирались в г. Денвере (штат Колорадо), после чего направлялись для окончательной обработки в г. Мэр-Айленд (штат Калифорния). Такая передовая для своего времени технология постройки судов заслуживает того, чтобы быть отмеченной, поскольку представляет собой образец творческой мысли, нацеленной на более бережливую организацию производства;
- сборка корпуса судна на суше в доке. Сварщикам всегда удобнее работать, имея крышу над головой и пол, а не качающуюся палубу под ногами. Когда сборка завершена, требуются считанные минуты, чтобы спустить его из дока на воду. Приведенный пример модульной сборки эсминцев лишний раз доказывает справедливость мысли, *что не следует воспринимать ни один аспект любой работы, как нечто раз и навсегда данное*.

2. *Групповой (цеховой)*, при котором цеха предприятия группируются по видам работ и применяемого для их выполнения оборудования. Такая планировка подходит для мелкосерийного производства большой и изменяемой номенклатуры изделий.

- Если на предприятии изготавливается огромное количество разнообразных изделий (и одной из задач организации бережливого производства служит сокращение их номенклатуры), что не позволяет применять групповые технологии, то такой вид планировки может оказаться наиболее подходящим. К сожалению, она всегда сопряжена со значительными внутренними транспортными расходами, которые относятся к разряду непроизводительных затрат.

3. *Гибкое производство*, которому соответствует сотовая планировка предприятий (Хайзер и Рендер считают ее одной из разновидностей *цеховой планировки*). Но отдельные ячейки гибкого производства формируют для изготовления семейств деталей, близких по конфигурации и способам изготовления, а не по видам применяемого оборудования. Такой подход скорее характерен для продуктоориентированной планировки предприятий. Поэтому, возможно, правильнее считать сотовую планировку гибких производств комбинацией последней и цеховой планировок. Применение гибко перенастраиваемых



производственных ячеек имеет особое значение для создания бережливых производств.

- Сотовая планировка позволяет заметно сократить расстояния перемещения заготовок и деталей между ячейками и придать большую ритмичность всему производственному процессу.
  - Хайзер и Рендер называют автором идеи сотовой планировки предприятий\* Р.Е. Фландерса (Flanders, 1925), хотя эта концепция отчетливо сформулирована в более ранних работах Форда (Ford, 1922).
4. *Продуктоориентированная планировка*, которая больше всего подходит для непрерывного или массового производства однотипной продукции.
- В эту категорию попадают общеизвестные сборочные линии, состоящие из фиксированных рабочих постов, оснащенных необходимым оборудованием, и конвейера, на котором собираемая продукция перемещается между ними. Зачастую на такой линии собирается продукция только одной марки или несколько ее вариантов с заказными характеристиками.

Соренсен (Sorensen, 1956) доказал преимущества одноуровневой планировки, которую он применил на заводе River Rouge Ford Motor Company. Она сокращает потребность предприятия в конвейерах и лифтах, одновременно экономя рабочее время и устраняя необходимость хождений работников по этажам здания.

### Групповая (цеховая) планировка

Другим заголовком этого раздела мог бы стать совет: избегайте такой планировки во всех случаях, когда имеется возможность выбора. При подобном способе планировки создают цеха и участки, оснащенные однотипным оборудованием, например сверлильными, шлифовальными, токарными, фрезерными и иными одинаковыми по назначению станками.

Такой способ применяют также на предприятиях, занятых производством полупроводниковых приборов, где существуют отдельные участки нанесения покрытий, литографии, химического травления, ионного напыления, диффузионного обжига и т. д., оснащенные соответствующим оборудованием. Применение при изготовлении полупроводниковых приборов узкоспециализированного оборудования, вероятно, служит основной причиной применения цеховой планировки предприятий. Например, размещение участков химического травления в разных местах вызвало бы необходимость оснащения специальными средствами удаления применяемых на них опасных химических веществ, в частности, плавиковой кислоты. Экспонирующие устройства для литографии требуют очень тщательной защиты от вибраций, которую проще обеспечить, сосредоточив все подобные устройства в одном месте. Наконец, высокая стоимость применяемых технологических про-

---

\* Р.Е. Фландерс (не путать с Вальтером И. Фландерсом из Ford Motor Company). Согласно Соренсену (Sorensen, 1956), Вальтер Фландерс занимался исследованиями влияния планировки на возможность сокращения расстояний внутренних перемещений материалов и заготовок на предприятии.

цессов и малая масса перемещаемых между участками заготовок позволяют пренебречь внутренними транспортными затратами.

Схема на рис. 4.15 демонстрирует, как цеховая планировка способствует увеличению объемов транспортных и погрузочно-разгрузочных работ и соответствующих непроизводительных расходов. Для выявления и графического отражения потоков материалов на предприятиях часто оказываются полезными так называемые «макаронные» диаграммы (Laraia, Moody and Hall, 1999)

В работе Хайзера и Рендера (Heizer and Render, 1991) перечислены основные преимущества и недостатки цеховой планировки предприятий. В ее пользу говорит высокая адаптируемость производства, поскольку на специализированных участках всегда можно найти свободный станок для выполнения любых требуемых операций. В гибких производственных ячейках необходимо для этого оснастить каждую из них полным набором оборудования, которое может потребоваться. При цеховой планировке остановка любого станка в результате поломки не приводит к срыву производственного процесса, поскольку требуемая операция всегда может быть выполнена на другом станке того же типа, в то время как на гибких производственных участках неисправность одного станка может привести к остановке всего участка. Впрочем, согласно теории ограничений, эта проблема не представляет серьезной опасности, если только не происходит полной остановки при выполнении операции, представляющей собой ограничивающий фактор для всего процесса.

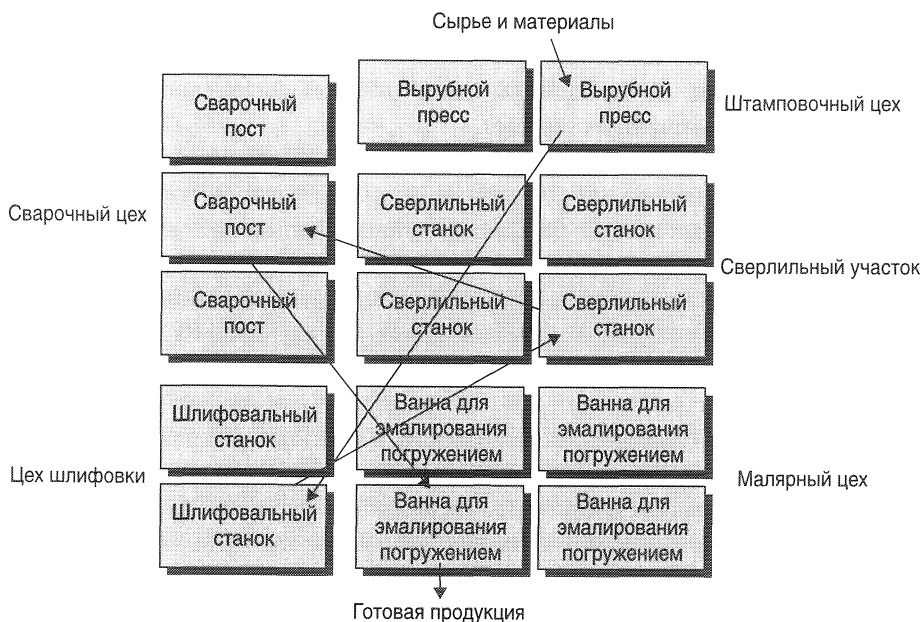


Рис. 4.15. Пример «макаронной» диаграммы для цеховой планировки предприятия

К недостаткам цеховой планировки следует отнести пониженную производительность труда, более сложное планирование производства, увеличенные материальные запасы и, безусловно, повышенные транспортные расходы. *Цеховая планировка больше всего подходит для организации мелкосерийного производства широкой номенклатуры продукции.* В этом случае предприятие производит разнообразные изделия, при изготовлении которых сложно применить групповые технологии, так как для каждого вида номенклатуры требуются собственные набор и последовательность операций, что затрудняет создание гибких производственных участков.

Правильная цеховая планировка предприятия должна минимизировать суммарные затраты на транспортировку материалов и незавершенной продукции между цехами и участками, рассчитываемые как:

где  $X_{ij}$  — количество грузов, перемещаемых между участками  $i$  и  $j$ ;  
 $C_{ij}$  — стоимость одного такого перемещения.

Эти затраты, конечно, составляют сотые доли процента от общего объема непроизводительных расходов, устраняемых при создании бережливого производства.

Сейчас известно немало теоретических подходов к проблеме цеховой планировки, но их применение не всегда приводит к получению наилучших планировок. Например, компьютерная программа CRAFT для поиска оптимального размещения производственных мощностей нацелена на минимизацию суммарных затрат

$$Cost = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij} C_{ij} ,$$

на внутренние транспортные и погрузочно-разгрузочные операции. Однако даже современные компьютеры не всегда находят правильные решения этой задачи, поскольку при числе цехов и участков, равном  $n$ , возможно  $n!$  различных вариантов размещения, которые требуется рассмотреть. Кроме того, любые изменения транспортных потоков между цехами и участками лишают оптимальности ранее выбранное решение при других исходных значениях  $X_{ij}$ .

В работе Хайзера и Рендера (Heizer and Render, 1991) упоминается компьютерная программа SPACECRAFT, предназначенная для оптимизации размещения цехов и производственных участков в многоэтажном заводском здании.

### Гибкое производство и групповые технологии

Размещение оборудования в той последовательности, в которой должны выполняться операции в производственном процессе, позволяет уменьшить непроизводительные затраты времени на перемещение материалов и сократить объемы всех видов запасов. При цеховой планировке предприятий для перемещения заготовок и готовых деталей между станками и производственными участками применяют ручные тележки, погрузчики и кары. Все это стимулирует

организацию перевозок партиями, а не единичными изделиями, чтобы избежать явления, называемого в управлении перевозками недоиспользованием грузоподъемности применяемых транспортных средств. Когда станки расположены согласно последовательности выполнения операций, рабочие могут либо вручную переносить заготовки от одного станка к другому, либо использовать конвейеры или наклонные желоба. Американским промышленникам подобный принцип организации поточного производства был известен задолго до 1911 г., когда Тейлор опубликовал свою первую работу, посвященную научной организации труда.

«Только расположив станки один за другим, так, чтобы продукция могла беспрепятственно перемещаться между ними кратчайшим прямым путем, можно добиться высокой экономичности работы предприятия... Достаточно взглянуть на рисунок, на котором изображен правильно организованный механический цех компании Mueller Machine Tool Company, где все станки расположены в логической последовательности, вытекающей из производственных потребностей» (The System Company, 1991a).

Генри Форд еще в 1922 г. описывал предприятие, построенное по принципам планировки современных гибких производств.

«Мы приступили к сборке автомобильных двигателей на специализированном моторном заводе. Затем, решив выпускать на том же заводе детали, из которых эти двигатели собирались, мы приступили к разделению предприятия на отдельные производственные участки, каждый из которых специализировался на производстве конкретной детали. Сейчас весь завод организован так, что на каждом его участке или в цехе изготавливается один вид детали или осуществляется сборка определенного узла двигателя. *На каждый участок поступают необходимое сырье или отлитые заготовки, которые проходят установленную последовательность операций механической и термической обработки и покидают участок в виде готовых деталей*».

Отметим, что в приведенном примере производство сгруппировано по видам деталей, а не по типам станков, что является характерным признаком современных гибких производств.

Сейчас многие предприятия вынуждены производить разнообразную продукцию, что требует, в свою очередь, быстрого переключения с одного вида продукции на другой. Это способствует постепенному переходу на мелкосерийное или даже единичное производство, обеспечивающее компании конкурентные преимущества. В этом смысле гибкая организация производства и применение групповых технологий служат взаимодополняющими друг друга подходами.

Кабберли и Бейкерьян (Cubberly and Bakerjian, 1989) считают ориентацию на применение групповых технологий одним из способов конструктивного обеспечения технологичности продукции. «Групповая технология представляет собой такой подход к разработке и изготовлению изделий, который нацелен на поиск путей сокращения информационной насыщенности производственных систем и основан на сходстве и (или) подобии геометрических форм деталей и

процессов их изготовления». Применение групповых технологий не только упрощает процессы изготовления деталей, но также облегчает работу конструкторов. Далее они отмечают, что:

«...систематизация деталей и их объединение в семейства является ключевым моментом при создании групповых технологий. Оно обеспечивает конструкторов необходимой информацией не только для проектирования деталей с использованием поэтапных или модульных принципов, но также для разработки производственных процессов и формирования групп станочного оборудования, требующегося для изготовления определенных семейств изделий».

Групповая технология предусматривает присваивание сходных обозначений всем деталям одного семейства, причем чем меньше знаков в этих обозначениях, тем лучше. Все детали, относящиеся к одному семейству, проходят одинаковые производственные операции, например вырубку заготовок на штампе, шлифование, сверление, сварку, окрашивание (Schonberger, 1986). Производственный участок или ячейка, предназначенные для изготовления данного семейства деталей, должны быть оснащены всем необходимым оборудованием, требующимся для изготовления любой из них (рис. 4.16).

При создании таких ячеек следует руководствоваться некоторыми важными рекомендациями, приведенными ниже:

- движение заготовок и обрабатываемых деталей против часовой стрелки и слева направо обычно дает лучшие результаты с точки зрения эргономики;
- расстояния между станками должно быть минимально возможным, чтобы рабочим не приходилось далеко носить детали и заготовки. Рядом со станками не должно быть никаких запасов заготовок или незавершенной продукции, кроме того, на котором выполняется операция, являющаяся ограничением для всего процесса (при наличии таковой);
- ячейка должна быть способна производить детали любых наименований, относящихся к данному семейству, причем в его состав могут входить такие детали, при изготовлении которых некоторые операции могут быть пропущены.

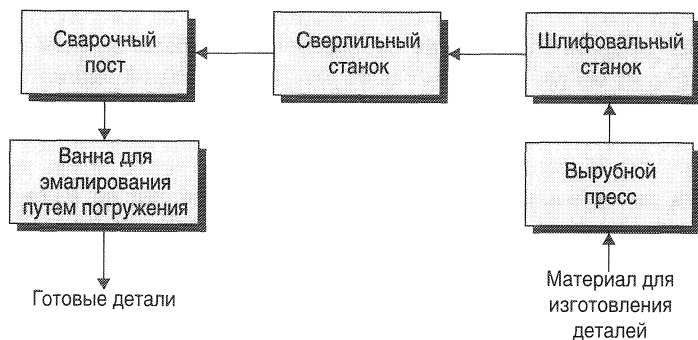


Рис. 4.16. Производственная ячейка

## Обрабатывающие центры

Применение обрабатывающих центров позволяет поднять принцип создания производственных ячеек на новый качественный уровень, когда один станок выполняет все операции, требующиеся для изготовления детали. Благодаря этому устраняется потребность в погрузочно-разгрузочных работах, сопровождающихся увеличением непроизводительных затрат и риском повреждения деталей при их переустановке с одного станка на другой. В результате сокращается общая продолжительность изготовления деталей и ее себестоимость. Еще Форд указывал (Ford, 1930), что многие операции механической обработки деталей могут быть совмещены на токарно-револьверных станках, заменяющих от восьми до девяти обычных, требующихся для сверления и растачивания отверстий в деталях, нарезания резьбы, обточки наружных поверхностей и подрезки торцов. При этом требуется только одна операция, связанная с установкой заготовки на станок и снятием с него готовой детали, вместо семи-восьми таких действий при обычной обработке, что снижает риск повреждения деталей в ходе их передачи с одного станка на другой. «Таким образом, исключаются лишние движения и потери времени в ходе обработки деталей. Требуется всего один раз установить штампованную заготовку на станок и снять с него готовую деталь». Форд отмечал также, что применение подобных станков позволяет сократить время обработки деталей, ранее исчислявшееся часами и сутками, до считанных минут с одновременным удвоением точности обработки и сокращением ее себестоимости на 50%.

Отметим, что применение универсальных станков таит в себе гигантские возможности для сокращения продолжительности цикла обработки деталей. Это подтверждает, в частности, Марк Лизер, генеральный менеджер компании Hitachi Seki USA в г. Конджерсе (штат Нью-Йорк) (Olexa, 2001).

«Современные тенденции развития машиностроения нацелены на принцип обработки деталей на одном станке, что значительно сокращает потребности предприятия в производственных площадях, а также ведет к сокращению численности работников, поскольку один оператор имеет возможность одновременно обслуживать несколько таких универсальных станков. Когда не требуется перемещать заготовки с одного станка на другой, обеспечивается более высокая точность обработки, которая производится с одного раза, и отпадает необходимость в подсобных рабочих для их перемещения. Исключение из технологического цикла лишних операций по установке и зажиму заготовок на разных станках позволяет также сократить потребность в дополнительной оснастке, которую теперь не нужно заказывать, расходуя лишнее время и средства на ее изготовление и освоение».

Обрабатывающие центры с числовым программным управлением являются следующим шагом в развитии универсальных металлорежущих станков. Как указывает Шенбергер (Schonberger, 1986), предприятия, применяющие подобное оборудование, добиваются наилучших результатов при выполнении следующих условий:

- обрабатывающий центр расположен на максимально близком расстоянии от оборудования, на котором выполняются предшествующая и последующая операции технологического цикла;
- предприятие располагает более чем одним обрабатывающим центром, что обеспечивает резервирование оборудования и большую гибкость производства;
- все настройки и наладки обрабатывающих центров происходят достаточно быстро, для чего должны применяться принципы создания быстро перенастраиваемых систем (SMED);
- обрабатывающий центр должен быть по возможности портативным;
- он должен быть максимально надежным.

### Групповые технологии с использованием неподвижного оборудования

В обрабатывающей промышленности часто применяют оборудование, которое сложно или вообще невозможно перемещать с места на место (W. Smith, 1998). Примерами такого оборудования могут служить нефтеперегонные установки или абсорбционные аппараты, надежно закрепленные на фундаментах. Сложно бывает переместить на другое место относительно малогабаритное оборудование для производства полупроводниковых приборов в связи с его привязкой к коммунальным системам. У. Смит отмечает, что применение групповых технологий позволяет предприятиям минимизировать число маршрутов, по которым в процессе изготовления проходит по предприятию определенный продукт или семейство продуктов. В данном случае каждый маршрут можно рассматривать как своеобразную производственную ячейку для изготовления определенной детали или семейства деталей.

Другая проблема, связанная с процессно-ориентированной планировкой предприятия, заключается в том, что при ее создании предполагается полная идентичность всех станков, которая на самом деле отсутствует. В этой связи Смит подметил, что наличие, допустим, 24 возможных маршрутов прохождения продукции по предприятию в ходе ее изготовления фактически означает, что предприятие производит 24 отличающихся друг от друга вида изделий. Представим себе, что для производства полупроводниковых приборов имеется три установки для металлизации, четыре печи и две установки ионной имплантации. Соответственно возможны 24 разных маршрута прохождения прибора через все эти установки, что существенно затрудняет применение методов статистического управления процессами\*. Именно этим объясняются столь существенные разбросы параметров полупроводниковых приборов от одной партии к другой.

\* Контрольные  $z$ -карты применяют для контроля работы станка, обрабатывающего детали в соответствии с разными техническими условиями. Для группы из  $n$ -измерений продукта типа  $k$  стандартное нормальное отклонение выглядит так:  $z = (\bar{x} - \mu_k) / (\sigma_k / n)$ . Контрольные пределы  $z$ -карты в таком случае равны просто  $\pm 3$ . Здесь  $\mu_k$  и  $\sigma_k$  — математическое ожидание и стандартное отклонение распределения параметра для продуктов типа  $k$ ,  $\bar{x}$  — выборочное среднее значение.

Смит, чьи работы были написаны преимущественно на примере предприятий химической промышленности (корпорации DuPont, в частности), рекомендует придерживаться определенных маршрутов прохождения продукции, называя их «суперхайвеи для критически важных продуктов», что способствует снижению вариаций их параметров и повышению индексов воспроизводимости процессов.

Применение данного подхода должно учитывать связанные с ним ограничения пропускной способности производств. Предприятие не может привязать некоторую операцию, являющуюся ограничением процесса, к определенному маршруту без снижения общей его пропускной способности. Тем не менее этот подход позволяет предприятиям с цеховыми планировками воспользоваться некоторыми преимуществами групповых технологий.

### Автономная сборка

Аналогичную концепцию организации сборочных работ, согласно которой один рабочий или бригада полностью собирает некоторый узел или изделие целиком, принято называть автономной сборкой. Примером может быть сборка одной бригадой целого агрегата вместо соединения двух его составных частей. Благодаря этому происходит усиление внутренней мотивации рабочих, для которых ценен конечный результат работы, что заставляет их трудиться с большей интенсивностью. Проблема снижения внутренней мотивации работников отмечалась Бассетом в 1919 г. Он писал, что:

«...фабричный рабочий часто не представляет себе, чем он реально занимается, он монотонно выполняет некоторую работу просто потому, что ему было приказано, не понимая своей роли в создании конечного продукта, не зная, насколько ценно и важно для предприятия то, чем он ежедневно занимается. Он не ощущает личной ответственности перед предприятием помимо той, что связана с обслуживанием конкретного станка, ничто не способствует проявлению работником естественного и фундаментального человеческого инстинкта — стремления к творчеству».

Преимущество автономной сборки заключается и в том, что она содержит в себе следующие элементы, способствующие усилению внутренней мотивации рабочих, отсутствие которых совершенно отчетливо подмечено автором приведенной выше цитаты:

- *самоидентификацию с выполняемой работой* — работники видят конечные результаты своего труда в виде завершеного изделия, а не полуфабриката неизвестного назначения;
- *осознание значимости выполняемой работы* — они понимают, какое значение для предприятия имеет собираемая ими продукция;
- *автономность*;
- *разнообразие* — рабочим приходится применять разные приемы и навыки при выполнении задания.



Автономная сборка не лишена определенных недостатков, связанных с тем, что участвующим в ней работникам приходится совершать немало лишних, не создающих добавленной ценности трудовых движений, к числу которых могут быть отнесены смена инструмента, подноски и поднятие устанавливаемых деталей и т. д. Поначалу Форд применял автономную сборку автомобилей и их узлов на своих предприятиях, но он сам и его помощники быстро убедились в том, что разделение процесса сборки на отдельные простые операции позволяет существенно увеличить производительность труда выполняющих их работников. Один человек должен насаживать гайку на болт, а другой — окончательно завинчивать и затягивать соединение. Именно эту ситуацию пародийно обыгрывает Чарли Чаплин в своем фильме «Новые времена». Для того чтобы затянуть болт, человеку требуется взять в руки гаечный ключ, что нельзя считать продуктивным движением. Если бы он выполнял всю работу от начала до конца, ему пришлось бы снова отложить ключ, взять болт, вставить его в отверстие, накинуть на него гайку, опять взять ключ, чтобы затянуть ее и т. д. Разделение сложной, большой по объему работы на множество простейших операций и движений ощутимо повышает производительность труда. Вместе с тем монотонное выполнение таких операций десятки и сотни раз за день мало способствует повышению внутренней мотивации исполнителя и является к тому же более утомительным и низкооплачиваемым трудом по сравнению с выполнением одной сложной работы. В любом случае компании ищут пути механизации таких рутинных операций, как завертывание болтов и гаек.

Шенбергер (Schonberger, 1986) на основе изучения опыта разных компаний также убедился в том, что автономная сборка ведет к увеличению продолжительности производственного цикла. Современные автоматизированные станки и роботы способны выполнять скучные, повторяющиеся операции, оставляя человеку более интеллектуальные обязанности по управлению ими. Тем не менее специалисты по организации производства обязаны постоянно искать пути дальнейшего повышения внутренней мотивации работников к производительному труду и его эффективности.

### Продуктоориентированные планировки предприятий

Хайзер и Рендер (Heizer and Render, 1991) утверждают, что «продуктоориентированные планировки применяют для предприятий, занятых объемным производством одного вида или нескольких семейств однотипной продукции, конструктивное исполнение которой меняется сравнительно редко». Соответственно такая планировка прямо противоположна концепции цеховой планировки, которая в наибольшей степени подходит для мелкосерийного выпуска часто сменяемой продукции. Подобие различных видов продукции стимулирует при этом применение групповых технологий.

Упомянутые авторы также проводят четкое различие между производственными линиями, на которых изготавливают детали, и сборочными линиями, на которых

из этих деталей собирают конечную продукцию. Легко представить себе производственные ячейки, в которых изготавливаются отдельные детали, поступающие затем на линию сборки. Основная идея при этом состоит в параллельной сборке изделий, заменяющей собой последовательную сборку.

Продуктоориентированную планировку предприятий считают наиболее подходящей в следующих условиях:

- продукция производится в больших объемах;
- спрос на нее достаточно устойчив, что оправдывает применение при ее изготовлении узкоспециализированного и стационарно установленного оборудования;
- продукция является стандартизированной, что оправдывает инвестиции в ее производство, описанные выше. (Напомним, что групповые технологии представляют собой способ стандартизации деталей, благодаря которой один и тот же набор операций может применяться при изготовлении целого семейства изделий);
- качество материалов и заготовок достаточно однородно для надежной работы узкоспециализированного оборудования. Например, еще Форд применял различные автоматические сортировочные устройства, предупреждающие любые отклонения от установленных требований, создавая производственные системы, которые позднее Синго назовет самопроверяемыми (self-check).

Итак, в данном разделе рассмотрены преимущества и недостатки различных видов планировки предприятий. При выборе наиболее подходящей планировки целесообразно помнить, что любые операции по перемещению заготовок и деталей в процессе производства являются непроизводительными и таят в себе риск повреждений продукции. Необходимость транспортирования влечет за собой стремление обрабатывать и перемещать заготовки и детали партиями, увеличивая продолжительность цикла изготовления продукции.

## УСЛОВИЯ ТРУДА

Выше уже отмечалось, что на производстве не следует рассматривать ни инструменты и оборудование, ни используемые материалы, ни методы труда как нечто неприкосновенное, раз и навсегда заданное. То же относится и к условиям труда, которые сами по себе могут существенно влиять на производительность, способствуя как ее повышению, так и падению. Многие полезные наблюдения на этот счет содержатся в работах Джилбрета, доказавшего, что отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, освещение, даже музыка и общий вид помещений влияют на производительность труда. Необходимо помнить, что создание условий труда, пригодных для качественной работы, является одним из требований ИСО 9000. Кроме того, температура и влажность, поддержание

которых также относится к числу обязательных требований этого стандарта, влияют на точность измерительных приборов и калибровку эталонных средств.

### Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха

Изготовление некоторых видов продукции требует поддержания в заданных пределах температуры и влажности воздуха в производственных помещениях. Но даже в случаях, когда такие требования не установлены, создание комфортных условий на рабочих местах способствует повышению производительности труда работников.

«Поддержание желаемой температуры в рабочих помещениях как зимой, так и летом путем пропуска подаваемого в них вентиляцией воздуха через специальные нагреватели или охладители ощутимо сказывается на работе персонала. На многих предприятиях, в частности на шоколадных фабриках, опытным путем было доказано, что охлаждение приточного воздуха не только обеспечивает лучшее функционирование производственных процессов, но также способствует увеличению выпуска продукции, причем в объемах, намного превосходящих затраты на вентиляцию с охлаждением воздуха» (Gilbreth, 1911).

В книге The System Company (1911a) приводится пример обоснования директором швейной фабрики целесообразности установки вентиляции в цехах. Он сумел доказать, что затраты на вентиляторы не только не увеличили производственные расходы предприятия, но, напротив, сопровождались экономией, поскольку производительность труда в результате выросла на 16%. Далее в этой же книге утверждается, что:

«...хорошие вентиляция, отопление и освещение быстро окупаются. Менеджеру этой фабрики удалось даже поднять настроение работников, окрасив стены производственных помещений в светло-кремовые цвета. Результаты подобного мероприятия трудно измерить количественно, но, по личным ощущениям менеджера, оно имело благоприятные последствия с точки зрения улучшения эффективности работы персонала».

### Освещение

Освещение рабочих мест в равной степени влияет на качество продукции и производительность труда. Стандарт ИСО 9000 специально обращает внимание на необходимость надлежащего освещения рабочих мест, что является еще одним подтверждением наличия синергии между менеджментом качества и бережливой организацией производства. Хотя известные исследования Хортна доказали, что эксперименты с освещенностью рабочих мест способствовали повышению производительности труда главным образом потому, что рабочие ощутили внимание к себе со стороны руководства, тем не менее некоторые приводимые ниже наблюдения Джилбрета не утратили актуальности до настоящего времени.

«Условия освещенности прямо или косвенно, но существенно влияют на производительность труда и движения работников, от них зависят комфортные условия не только для зрения, но и в определенном смысле для всего организма. Казалось бы, что освещение в типовом офисе, на предприятии или в доме обычно сводится к установке минимально необходимого числа светильников, размещаемых в том порядке, который считается оптимальным для того, чтобы хорошо видеть все вокруг. Но это не так. Как правило, полагают, что наилучшим освещением является наиболее дешевое. Достаточно посетить любое предприятие, чтобы убедиться: свет там установлен неправильно. Надлежащее освещение на производстве должно отвечать следующим пяти требованиям:

1. Оно должно давать достаточно света, чтобы человеку были хорошо видны окружающие его предметы.
2. Светильники должны быть расположены так, чтобы рабочему не приходилось щуриться, пользуясь ими.
3. Уровень освещенности должен быть стабильным.
4. Вокруг рабочего места не должно быть никаких полированных поверхностей, отражающих свет и пускающих световые блики в глаза или на любые предметы в поле зрения рабочего.
5. Светильники должны быть прикрыты абажурами или колпаками, чтобы свет от них не падал в глаза и не слепил работников по соседству.

На рабочих местах недопустимо наличие полированных медных или никелированных предметов, отраженный свет от которых способен ослепить рабочего. При выполнении любых работ на плоской поверхности, например, при чтении книг за столом, источник света должен быть расположен так, чтобы лучи прямого света от него не попадали в глаза. При выполнении тонких операций, например проверки состояния отдельных ниток резьбы, цвет и рисунок поверхности, на фоне которой они производятся, не менее важен, чем уровень освещенности.

Все приведенные рекомендации и требования очевидны. Но достаточно побывать в помещениях, где работают и учатся рабочие, студенты или ученые, чтобы убедиться, как редко эти правила соблюдаются. Дело не в том, что следует экономить на освещении, которое является самым дешевым из всего имеющегося на предприятии оборудования. Главная проблема заключена в борьбе с утомляемостью работников. При более совершенном освещении требуется меньше времени на восстановление сил и преодоление усталости. *«Все различия в стоимости самого лучшего и самого худшего освещения — ничто по сравнению с экономией, которая достигается в связи с тем, что рабочим требуется меньше перерывов в работе, чтобы дать отдых утомленным глазам»* (Gilbreth, 1911).

Промышленники того времени были полностью согласны с Джилбретом.

«Создание хорошего освещения относится к тем инвестициям, которые нечасто встретишь на предприятиях. По сравнению со стоимостью рабочей силы затраты на искусственное освещение рабочих мест пренебрежимо малы, но тысячи квалифицированных механиков ежедневно работают недостаточно эффективно из-за отсутствия надлежащей освещенности» (The System Company, 1911a).

Автор приведенного высказывания добавляет, что грязные лампы в светильниках дают на 20% меньше света по сравнению с чистыми.

Применение люминесцентных светильников служит примером ложной экономии, несмотря на то что они потребляют меньше электроэнергии и дешевле в эксплуатации. Такие светильники не дают настоящего *белого* света. Именно поэтому многие фотографии, сделанные в офисах или на предприятиях, где применяют подобные светильники, имеют зеленоватый оттенок даже при использовании светофильтров, предназначенных для съемок при дневном освещении. Спектральный анализ света, излучаемого люминесцентными лампами, показывает, что его спектр не сплошной, а состоит из нескольких полос, положение которых зависит от вида газа, которым заполнена лампа. Настоящий спектр белого света, к которому привычен человеческий глаз, является непрерывным и напоминает радугу. Это было известно владельцам текстильных фабрик более 90 лет назад.

«На текстильных предприятиях этот тип освещения (дуговыми лампами) представляется наиболее подходящим, поскольку он делает зримыми цветовые различия. Спектр излучения таких ламп ближе всего к естественному солнечному свету» (The System Company, 1991a).

Из всего сказанного можно сделать вывод, что создание комфортабельных для работников условий труда и подходящего освещения рабочих мест обходится достаточно дешево, особенно по сравнению с возможными отрицательными последствиями для пренебрегающих ими предприятий. Наличие надлежащего освещения является одним из требований управления качеством, контролируемым различными проверяющими органами. Поддержание требуемых температуры и влажности в производственных помещениях необходимо не только для создания комфортных условий труда, но и для обеспечения надлежащей работы контрольно-измерительной аппаратуры.

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЫЕ ОТРАСЛЕВЫЕ МЕТОДИКИ

В данном разделе рассмотрены некоторые специальные подходы к повышению эффективности работы, которые наряду с повышением качества нацелены на устранение причин случайных вариаций, присущих соответствующим производственным процессам, и сокращение числа дефектов. Применение этих подходов приносит значительную экономию и сокращает продолжительность исполнения заказов благодаря реальному удалению некоторых лишних операций из маршрутных карт технологических процессов\*. *Основное назначение приведенных ниже примеров состоит в том, чтобы привлечь внимание читателей к той общей идеологии, на основе которой они созданы и которая может быть распространена на другие отрасли.*

\* В маршрутной карте (route sheet) перечислены все операции, выполнение которых необходимо для изготовления изделия, включая как создающие добавленную стоимость (например, сборочные), так и не увеличивающие ее изделия, например контрольно-проверочные операции. Маршрутная карта, в которой установлены также методы выполнения операций и нормы трудоемкости их выполнения, обычно называют технологическими картами (process sheet) (Heizer and Render, 1991).

Основными во всех приведенных примерах служат признаки, по которым те или иные работы или действия в процессе функционально-стоимостного анализа относят к категории необходимых, создающих добавленную ценность. При анализе затрат, связанных с качеством, расходы на такие работы принято называть обязательными в отличие от издержек, связанных с предупреждением дефектов, контролем и подтверждением качества и наличием брака. Напомним, что Форд и Синго утверждали: большинство непроизводительных затрат способно хорошо маскироваться. Поэтому очень важно выявлять их, чтобы предпринимать соответствующие меры для их устранения. Часто непроизводительные затраты скрываются за такими невинными словами, как «перемещение», «хранение», «перегрузка», «сортировка», или привычными указаниями типа «отрихтовать деталь» или «выровнять кирпич, уложенный на раствор». Они только на первый взгляд обозначают необходимые, создающие добавленную ценность работы, но на самом деле скрывают значительные непроизводительные затраты. Начнем описание примеров выявления таких затрат с процесса термической обработки, который в этом контексте недобрым словом поминается во многих работах, например в главе «Ограничение номер два» книги Голдратта и Кокса «Цель»<sup>\*</sup>.

### Термическая обработка

В свое время необходимость термической обработки стала главной причиной отсутствия взаимозаменяемости многих деталей машин. Основы американской системы взаимозаменяемости деталей, сборка которых не требует подгонки их друг к другу вручную, были разработаны С. Кольтом совместно с Ф. Праттом и А. Уитни. В то время в Европе большинство деталей изготавливалось и подгонялось друг к другу вручную, что характерно для ремесленного производства. Металлорежущие станки, существовавшие в середине XIX в., могли обрабатывать детали только в незакаленном состоянии. Поэтому следующими обязательными этапами были термическая обработка и закалка деталей, приводившие к существенным искажениям их формы и размеров. Возникла необходимость последующей подгонки, притирки деталей вручную, после чего нарушалась их взаимозаменяемость (Womack and Jones, 1996).

Ford Motor Company столкнулась с проблемами, возникающими при термической обработке деталей, в самом начале XX в. Ей не удавалось обеспечить равномерное охлаждение после термической обработки полуосей автомобилей, что приводило к их деформациям и к необходимости последующей рихтовки.

<sup>\*</sup> В книге «Цель» для иллюстрации основных положений теории ограничений авторы используют пример с маршем бойскаутов. Один скаут по имени Херби несет на себе большую часть снаряжения, что делает его самым медленным холоком, скорость передвижения которого ограничивает подвижность всего отряда. Единственный способ ускорения темпов передвижения заключается в том, чтобы перераспределить поклажу, которую несет на себе Херби, более равномерно между остальными скаутами, ослабив тем самым существующее ограничение скорости.

При этом казалось, что такая операция является обязательной продуктивной составляющей процесса изготовления полуосей. Вместе с тем, в соответствии с общепризнанной моделью цены качества рихтовку ни в коем случае нельзя отнести к операциям, нацеленным на повышение или подтверждение качества продукции. Этот этап целиком и полностью относился к категории работ, связанных с переделками готовой продукции и исправлением ее дефектов. Стоит напомнить, что так называемое «трение» очень часто становится привычным для работников и считается неотъемлемой составляющей их повседневного труда. Однако персонал фордовской компании сумел понять, что операция рихтовки полуосей представляет собой одну из разновидностей работ, которые не создают добавленной ценности и направлены на устранение брака продукции. В компании была разработана и внедрена установка для центробежной закалки полуосей в растворе едкой щелочи, обеспечивавшая их равномерное и почти мгновенное охлаждение. Это позволило избавиться от операции по рихтовке полуосей после термической обработки и сэкономить за четыре года более 36 млн долл. (в ценах 1920-х гг.).

В разделе шестой главы, посвященном организации штучного поточного производства, приведен пример канадской компании Omark, занимающейся изготовлением цепных пил. Она столкнулась с проблемой, выходящей за рамки задачи обеспечения взаимозаменяемости деталей, которую решали в свое время Кольт и Форд. Основная сложность заключалась в отсутствии нагревательных печей достаточной производительности для термообработки очень крупных партий деталей. Компания испытала различные способы решения этой проблемы, включая возможности применения термообработки деталей малыми партиями в печах меньшего размера или их лазерной индивидуальной закалки, пока не обнаружила поставщика, готового поставлять ей специальный сплав. Изготовленные из него детали вообще не нуждались в термической обработке. Такое решение оказалось наиболее предпочтительным, поскольку позволило избавиться от целой операции.

Калпакьян (Kalpakjian, 1984) предлагает другое решение подобных проблем, исключающее потребность в больших нагревательных печах, применяемых в крупносерийном производстве (помимо применения малых печей или использования лазерного нагрева). Предлагаемая им закалка с индукционным нагревом позволяет проводить индивидуальную термообработку деталей в считанные секунды. Применяемое для этого оборудование дает возможность осуществлять только поверхностную закалку или термическую обработку всего объема детали.

«Глубина нагрева может быть отрегулирована так, что термообработка захватывает только поверхностные слои материала или все поперечное сечение детали... Важными преимуществами индукционного нагрева служат повышение производительности термической обработки, снижение затрат на ее проведение и улучшение качества продукции. Точное регулирование режимов термообработки сокраща-

ет количество брака или полностью его устраняет, минимизирует деформации и порой позволяет использовать менее дорогие марки сталей для изготовления деталей, требующих термической обработки» (Cubberly and Bakerjian, 1989).

Установки для индукционной закалки малогабаритны и занимают меньшую площадь по сравнению с обычными нагревательными печами, их можно расположить практически в любом месте цеха, что позволяет включать их в состав производственных ячеек.

Кубберли и Бейкерьян описывают также метод закалки токами высокой частоты, позволяющий проводить местную термическую обработку отдельных участков поверхности деталей. Если такой метод подходит для термообработки определенной детали, то его применение позволяет сократить энергозатраты, исключить деформирование деталей и сократить продолжительность производственного цикла их изготовления. Это происходит в связи с возможностью ускоренного охлаждения деталей после интенсивного, но местного нагревания. Закаливание происходит в основном за счет быстрого отвода тепла из тонкого поверхностного слоя в основную массу металла детали, остающейся холодной.

Еще одним способом поверхностной термической обработки малых партий деталей может служить пламенная закалка. Ее применяют для изделий, размеры которых слишком велики для помещения их в установки индукционного нагрева. Кроме того, упомянутые авторы описывают методы лазерной (испытанной компанией Omark) и электронно-лучевой закалки.

### Кладка кирпича

Выше уже приводилось наблюдение Ф. Джилбрета, как правильное размещение поддонов с кирпичами на подмостках позволяет каменщикам работать быстрее, не совершая при этом лишних движений. Еще одним примером операции, кажущейся необходимой, но на самом деле являющейся лишней и непродуктивной, может служить пристукивание каждого кирпича рукояткой мастерка после укладки на раствор, чтобы обеспечить равномерную толщину швов.

«Г-н Джилбрет установил, что при правильном замешивании раствора кирпич может быть вдавлен при кладке на нужную глубину простым нажатием руки каменщика. Он настаивает на том, что люди, занятые приготовлением раствора, обязаны обращать особое внимание на его тщательное перемешивание, благодаря которому удастся сэкономить время на кладке, поскольку отпадает необходимость в пристукивании кирпичей» (Taylor, 1911).

Здесь уместна аналогия с приведенным выше примером компании Omark, сумевшей полностью избавиться от термообработки деталей, приобретя для их изготовления сплав, не требующий закаливания. Эти примеры лишний раз доказывают, что правильный выбор материалов, пусть даже более дорогих по сравнению с используемыми, способен привести к экономии и повысить эффективность производственного процесса за счет исключения из него лишних операций (табл. 4.4).



Таблица 4.4

**Исключение лишних операций из производственного процесса**

Автор примера	Действие	Исключенная операция
Г. Форд	Применение установки для центробежного закаливания	Рихтовка полуосей после термообработки
Компания Omark	Подбор сплава, не требующего термической обработки	Термообработка
Ф. Джилбрет	Установление технических требований по качеству перемешивания строительного раствора	Пристукивание кирпичей для обеспечения равномерной толщины швов

**Все ли кирпичи одинаковы?**

Джилбрет приводит еще один пример, иллюстрирующий важность правильного подбора материалов или, точнее, установления технических требований к ним.

«Подбор наиболее подходящих размеров единичных деталей часто представляет собой достаточно сложную задачу, на решение которой могут влиять некоторые посторонние факторы. Например, наиболее оптимальные размеры кирпичей были в свое время выбраны, исходя из ограничений по стоимости и других условий, относящихся к их формовке и обжигу, а не из условий, облегчающих их последующую погрузку, выгрузку и кладку. После применения современных научных подходов к изучению процесса каменной кладки выяснилось, что наибольшую экономию сулят отказ от привычных размеров кирпичей и их существенное изменение по сравнению с применяемыми ныне в Америке» (Gilbreth, 1991).

Приведенный пример лишний раз доказывает, насколько легко упустить из виду источники лишних непроизводительных затрат, находящиеся прямо перед носом. Размеры кирпичей считались раз навсегда заданными, и вся работа по их кладке строилась на основе этого убеждения. Рассмотрим теперь два крайних случая. Предположим, что для увеличения площади, закрываемой каждым кирпичом, его размеры увеличат настолько, что каменщик будет быстро уставать во время кладки или, наоборот, кирпичи станут настолько малыми и легкими, что их поднятие не потребует заметных усилий от каменщика, но с их использованием кладка будет расти крайне медленно. Очевидно, что правильное решение находится где-то посередине между этими крайностями. Кирпичи должны закрывать максимально большую площадь, не вызывая при этом быстрого утомления каменщика при кладке.

Фактически основная цель родоначальников научной организации труда как раз и заключалась в поиске, образно говоря, «идеального размера кирпичей», а точнее — в определении оптимального уровня загруженности работников.

**Лопата есть лопата или это не так?**

Все зависит от того, для каких материалов ее использовать. Например, в старину на заводе компании Bethlehem Steel рабочие приходили на работу с собственными лопатами, которыми выполняли самые разные работы. Наблюдая за ними,

Тейлор (Taylor, 1911) установил, что одной и той же лопатой рабочий за один раз перебрасывает 30 фунтов (13,6 кг) тяжелой железной руды или 4 фунта (1,8 кг) значительно более легкого, но объемного угольного шлака. В первом случае работа была слишком утомительной, а во втором — малоэффективной. Тейлор определил, что оптимальной является нагрузка на одну лопату, равная 21 фунту (9,5 кг), но для ее поддержания на заводе потребуется иметь от 8 до 10 разных видов лопат. Этот пример еще раз подчеркивает необходимость всякий раз задаваться вопросом, насколько выбранный инструмент или материал подходит для того, чтобы сделать работу легче и эффективнее. Ни в коем случае нельзя относиться к применяемым инструментам, материалам или методам работы как к неизменному образцу.

## ГЛАВА 5

### ТЕОРИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ

По теории ограничений ни одна производственная система не может работать быстрее самой медленной своей составляющей. Иными словами, производственный участок, работающий с минимальной скоростью, или наименее производительный рабочий пост задают темп всему производственному процессу, являясь для него «ограничением» (constraint). На этом базовом положении основано управление поточным производством, обеспечивающее синхронизацию работы всех цехов и участков предприятия. Синхронизированное поточное производство (SFM) представляет собой систему, основанную на спросе, в которой элемент, являющийся ограничением, задает скорость производственного процесса. Одной из разновидностей подобных систем является известная система канбан. Таким образом, для понимания принципов синхронизированного производства необходимо прежде всего изучить теорию ограничений.

Рассмотрим в качестве примера производственную систему, состоящую из трех рабочих постов: А, В и С (рис. 5.1). Операции, выполняемые на каждом из них при изготовлении одного изделия, занимают 2, 4 и 3 мин соответственно. Итак, рабочий пост В способен за один час выполнить 15 операций и служит, таким образом, *ограничением* для всего процесса, определяя его производительность, составляющую, соответственно, 15 изделий в час. Предположим, что мы, руководствуясь идеей о максимально полной загрузке производственных мощностей, заставим рабочий пост А работать с полной нагрузкой. В результате перед рабочим постом В будет быстро расти гора заготовок, которые он не сможет обработать с той же скоростью, что и пост А. Между тем рабочий пост С, способный пропустить 20 заготовок в час, останется недозагруженным и будет работать с производительностью, составляющей всего 75% от номинальной.

К сожалению, современные системы оценки работы подразделений и отдельных работников во многих компаниях фактически поощряют максимальную загрузку оборудования на всех операциях, включая рабочий пост А.

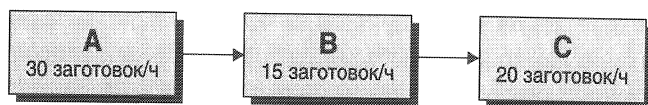


Рис. 5.1. Производственный процесс с ограничением

В следующем разделе теория ограничений и порождаемая ею идеология синхронизированного поточного производства сравниваются с организацией производства по принципу «точно вовремя». Производительность синхронизированного производственного потока не может превышать производительности той операции, которая служит для него ограничением и задает ритм всему процессу. В системе, организованной по принципу «точно вовремя», каждая последующая операция определяет темп выполнения предыдущей посредством использования карточек канбан и других подобных средств управления.

## ТЕОРИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ И ПРИНЦИП «ТОЧНО ВОВРЕМЯ»

Как утверждают Шрагенхайм и Деттмер (Schrageheim and Dettmer, 2001), теория ограничений и вытекающие из нее принципы синхронизации поточного производства очень близки и хорошо совместимы с идеями организации производства по принципу «точно вовремя». Но между этими двумя подходами имеются некоторые семантические различия. Если принцип «точно вовремя» традиционно связывают с применением карточек канбан, с помощью которых каждый последующий производственный участок устанавливает спрос на продукцию предыдущего, то в синхронизированном производственном потоке темп задается одной-единственной операцией, служащей для него ограничением. В современную эпоху широкого распространения компьютеризированных систем управления производством данное различие приобретает существенное значение. Основная идея синхронизированного поточного производства заключается в том, что ритм всего процесса определяет операция, служащая для него ограничением, а менеджеры, отвечающие за управление производством, не имеют права произвольно повышать темпы выполнения остальных операций, т. е. переходить к системе, основанной на предложении.

В отличие от принципа «точно вовремя» теория ограничений бросает вызов традиционным представлениям о себестоимости продукции. В разделе главы, посвященном модели затрат, будет показано, что обычные данные, применяемые в бухгалтерском учете, могут часто вводить в заблуждение, когда речь идет о реальном управлении производственными процессами. В бухгалтерском учете не принимаются во внимание так называемые предельные, или маргинальные затраты на производство и доходы от продажи единицы дополнительно произведенной продукции. Поэтому не удастся распознать размеры упущенной выгоды от неиспользованных возможностей для реализации всей произведенной продукции, что ведет к таким нерациональным решениям, как накопление излишних запасов или распределение накладных расходов.

Шрагенхайм и Деттмер подчеркивают, что при использовании принципа «точно вовремя» не учитывается необходимость резервирования производственных участков, служащих ограничением для всего процесса (посредством создания резервных производственных мощностей или запасов продукции на них). Главный

закон теории ограничений гласит, что потери времени на участке, служащем ограничением, являются необратимыми, и в этой связи возникает концепция так называемых «скрытых издержек» (opportunity costs), рассматриваемая далее в этой главе. В то же время теория ограничений и принцип «точно вовремя» сходятся в том, что недостаточное использование производственных мощностей на операциях, не являющихся ограничениями для процесса, не представляет собой важной проблемы. Нет никакой необходимости использовать оборудование на этих операциях на полную мощность исключительно ради его загрузки, поскольку в результате происходит лишь накопление избыточных запасов незавершенной продукции внутри процесса.

Согласно теории ограничений, на практике редко удастся реализовать концепцию сбалансированных производственных мощностей всех участков, к чему стремятся многие предприятия, в результате случайных колебаний ритма производственных процессов. Напротив, основное внимание должно быть уделено повышению пропускной способности наименее производительного участка или, иными словами, ослаблению ограничения производственного процесса.

Шрагенхайм и Деттмер приходят к выводу о «большом количестве совпадений между теорией ограничений и принципом “точно вовремя” и немногочисленных различиях между этими подходами». Среди последних ключевыми можно считать некоторые положения, которые учитываются теорией ограничений, но игнорируются при организации производства по принципу «точно вовремя», что обусловлено природой этих подходов. В отличие от принципа «точно вовремя» теория ограничений обеспечивает широту взглядов на общие принципы управления производственными системами.

### Резервирование — главное преимущество теории ограничений

Голдратт и Фокс (Goldratt and Fox, 1986) утверждают, что для сведения к минимуму объемов незавершенного производства внутри процесса Форд и Оно применяли производственные системы, в которых следующие друг за другом операции жестко взаимосвязаны по времени или с помощью карточек канбан. Для обозначения таких систем ими был введен специальный термин: «веревка» (rope system). Сборочные линии на заводах Форда работали ритмично, как часы, благодаря тому, что производительность каждой операции была отрегулирована для изготовления такого количества продукции за единицу времени, которое требуется для поддержания заданной скорости сборочного конвейера. Они представляли собой, по крайней мере теоретически, полностью сбалансированные системы, что позволило Форду с гордостью заявлять: на его заводах не существует ни одного склада. На заводах Toyota каждый производственный участок контролирует темпы работы предыдущего, который не имеет права начать изготавливать очередную партию деталей до тех пор, пока не будет опустошен контейнер с этими деталями на последующем участке или

не будет получен заказ на изготовление очередной партии деталей с помощью карточки канбан. Оно предусматривает возможность остановки всей производственной линии при возникновении неполадок на каком-то одном производственном участке\*. Синхронизированное поточное производство, в котором ритм производственного процесса задает операция, служащая для него ограничением, сводя к минимуму объемы незавершенного производства, является практическим воплощением идей теории ограничений и обладает двумя важными преимуществами перед производственными системами, созданными в свое время Фордом и Оно.

1. *Приостановка производственного процесса не происходит при возникновении задержек или сбоев на любых операциях кроме той, которая служит его ограничением.* Выполнение последней продолжается с использованием резервного запаса, а поскольку ограничением служит самая медленная операция, то остановки на предыдущих или последующих операциях не влияют на скорость всего процесса. (Слишком длительные задержки на предыдущих операциях, безусловно, способны остановить выполнение ограничивающей операции после того, как на ней будет израсходован весь резервный запас. При определении объема этого запаса нужно учитывать все возможные неблагоприятные стечения обстоятельств на предыдущих операциях, причем сокращение времени цикла их выполнения позволяет уменьшать объем резервного запаса.) После того как будут устранены причины приостановки производства на тех операциях, которые не являются ограничениями для всего процесса, имеющиеся резервы их производительности могут быть использованы для наверстывания упущенного.
2. *Упрощается управление производственным процессом, поскольку требуется учитывать единственную связь между его первой и ограничивающей операциями.* Отпадает необходимость в карточках или контейнерах канбан между другими парами операций, следующих друг за другом.

Интересно отметить, что концепция создания резервных запасов на ограничивающих операциях появилась более 80 лет назад. Бассет (Basset, 1919) писал:

«...На заводе, изготавливавшем автомобильные детали, недозагрузка всех станков, кроме тех, что представляли собой узкое место производственного процесса, достигала 30%. До того как я обнаружил это, владельцы завода планировали приобрести дополнительное количество всех станков». (Заметим, что инстинктивное желание руководителей увеличивать производственные мощности предприятий путем приобретения дополнительного оборудования хорошо известно всем, кто читал книгу Голдратта и Фокса «Цель».)

\* Норвуд (Norwood, 1931) сообщает, что рабочие на фордовском заводе River Rouge имели право остановить конвейер в случае возникновения любых непредвиденных обстоятельств или неполадок. Обязательным условием любой остановки было составление отчета с анализом ее причин и принятие соответствующих корректирующих мер длительного характера.

Ниже перечислены основные причины недозагрузки производственных мощностей, выявленные Бассетом, а в скобках указаны современные методы борьбы с этими явлениями.

- Смена оснастки — 14% (применение систем быстрой переналадки оборудования SMED).
- Отсутствие материалов и заготовок — 10% (создание резервных запасов на ограничивающих операциях).
- Поломки оборудования — 7% (внедрение концепции всеобщего технического обслуживания оборудования (TPM)).
- Отсутствие работников на рабочих местах — 3% (применение ступенчатого графика перерывов на обед и отдых, описанного в 1992 г. Голдраттом и Фоксом).
- Прочие причины — 2%.

Бассет также сообщает, что, во-первых, ему удалось выявить узкие места в производственном процессе (его ограничения), а во-вторых, он предложил создать резервные запасы заготовок в этих местах. Он пишет: «...Предложенные мною усовершенствования оказались чрезвычайно простыми. Оказалось, что следовало просто изменить привычную точку зрения и рассматривать станки и выполняемые на них операции в комплексе. Для этого необходимо было разместить заготовки и оснастку таким образом, чтобы они всегда находились в поле зрения рабочего в полной готовности к использованию».

Теория ограничений представляет собой простой и логичный подход к организации производства. В этой связи возникает естественный вопрос: почему компании редко применяют его на практике? Далее мы постараемся обосновать одну из возможных причин, которая заключается в использовании нерациональных систем оценки работы предприятий и их сотрудников.

## ИЗМЕРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ: МОДЕЛЬ ЗАТРАТ

Всякий менеджер обязан уяснить две простые вещи. Во-первых, к системе бухгалтерского учета не следует относиться как к священной корове, а во-вторых, что потребуешь, то и получишь. Традиционные системы бухгалтерского учета нацелены на решение определенных, законодательно установленных задач, а именно на составление налоговых деклараций, финансовых отчетов для акционеров, квартальных и годовых отчетов о работе предприятия в соответствии с требованиями Комиссии по ценным бумагам и биржам. Инвесторам, полагающимся при покупке акций компаний на подобные отчеты, всегда следует помнить высказывание Форда относительно того, что «...закон требует денежной оценки предприятий и оборудования в соответствии с методами бухгалтерского учета, которые бессмысленны для принятия практических деловых решений. Реальная ценность предприятия определяется тем, что мы собираемся с ним делать».

*Никогда не следует доверять бухгалтерам управление предприятиями.* Это приводит к самым плачевным последствиям. Предприятием должны управлять инженеры-экономисты и специалисты по менеджменту. В теории ограничений различают две модели управления производством: модель затрат и модель производительности. Первая проистекает из традиционных систем бухгалтерского учета, а вторая исходит из предпосылки о том, что цель любой производственной системы — обеспечить доход от продажи произведенной продукции. На первый взгляд последнее утверждение выглядит тривиально и совпадает с задачами бухгалтерского учета. В то же время между этими двумя моделями имеются существенные различия, о которых речь пойдет ниже.

### Модель затрат и управление производством

В этой модели главным объектом внимания служат текущие расходы предприятия и лишь затем рассматриваются его производительность и размеры запасов, поэтому в системе управления предприятием именно под таким углом зрения оцениваются любые усовершенствования на уровне отдельных подразделений, которые почти всегда можно считать синонимами такого понятия, как *субоптимизация*. Естественно, ни один высший руководитель компании не станет призывать к субоптимизации производственных процессов, но показатели, применяемые им для оценки работы подразделений, фактически подталкивают именно к принятию подобных псевдооптимальных решений.

Чем же чревато сокращение текущих операционных расходов? Ведь именно таким способом действовал Форд, когда увеличивал заработную плату рабочим и снижал цены на продукцию, одновременно расширяя свои предприятия за счет нераспределенной прибыли. Безусловно, уменьшение материалоемкости продукции или сокращение производственных отходов ведет к реальному уменьшению текущих затрат, но многие другие сокращения расходов являются мнимыми и существуют только на бумаге. Именно этим опасна ситуация, когда система бухгалтерского учета становится главным инструментом управления предприятием.

В бухгалтерском учете запасы готовой продукции и незавершенное производство рассматриваются в качестве текущих активов предприятия. Но эти запасы можно считать реальным активом только при условии, что они когда-нибудь будут реализованы. Главная опасность управления предприятиями на основе бухгалтерского учета состоит в том, что применяемые в нем показатели поощряют к созданию бесполезных запасов готовой продукции ради увеличения коэффициентов загрузки оборудования и сокращения расчетной себестоимости изготовления единицы продукции. Результатами подобной «бумажной» экономии становятся местное повышение эффективности и снижение затрат на изготовление единицы продукции, но реальным следствием подобной политики является переполнение складов ненужными запасами готовой продукции.



Рассмотрим следующий конкретный пример.

- Каждый рабочий способен изготавливать 25 деталей в час. При этом:
  - заработная плата рабочих составляет 15 долл./ч;
  - общее количество рабочих на предприятии — 6 человек.
- На изготовление одной детали расходуются материалы общей стоимостью 6 долл.
- Согласно данным бухгалтерского учета, суммарные накладные расходы предприятия составляют 1500 долл. в день.
- Ежедневно предприятие может продавать 1000 деталей по цене 10 долл. за штуку.

Если управлять предприятием, используя модель затрат, то рабочим необходимо работать с максимальной отдачей и ежедневно производить по 1200 деталей ( $6 \text{ рабочих} \times 25 \text{ шт./ч} \times 8 \text{ ч} = 1200 \text{ шт.}$ ). При этом, учитывая распределение накладных расходов, достигается минимальная себестоимость изготовления одной детали, но если вспомнить о том, что на рынке ежедневно реализуется всего 1000 деталей, то в запасах каждый день оседает готовой продукции на сумму 1570 долл. Соответственно денежные доходы предприятия, работающего на полную мощность, оказываются меньше, чем в случае, когда оно ежедневно производит только востребованную 1000 деталей (табл. 5.1).

Расходы на заработную плату при почасовой системе оплаты труда представляют собой фиксированные, необратимые издержки. Компания обязана заплатить каждому рабочему за 8 ч, проведенные на рабочем месте, независимо от того, сколько продукции он изготовил. Таким образом, доля затрат на оплату труда в себестоимости продукции фактически является постоянной, хотя нередко в системах бухгалтерского учета ее считают переменной величиной. Но менеджеры имеют право ввести сверхурочные работы, расходы по оплате которых, очевидно, являются переменной величиной.

Таблица 5.1

**Результаты различных решений по объемам производства продукции**

Количество изготовленных деталей	800	1000	1200
Расходы на заработную плату, долл.	720	720	720
Стоимость материалов, долл.	4800	6000	7200
Накладные расходы, долл.	1500	1500	1500
Суммарные издержки, долл.	7020	8220	9420
Себестоимость единицы продукции, долл./шт.	8,775	8,220	7,850
Объем продаж, шт.	800	1000	1000
Денежные поступления (доход) от продаж, долл.	8000	10 000	10 000
Прибыль от продаж, долл.	980	1780	580
Стоимость запасов нереализованной продукции, долл.	0	0	$200 \times 7,85 = 1570$

Накладные расходы предприятия также относятся к числу фиксированных, безвозвратных издержек, которые бухгалтерия относит на единицу произведенной продукции, причем их целевое назначение не имеет значения.

«Мастера и бригады в цехах пустую тратят время, заполняя и сохраняя чеки на все расходы. Имеются определенные виды затрат, например, ставки заработной платы и накладных расходов, цены материалов и т. п., на которые они не могут повлиять и которые, следовательно, не должны их беспокоить» (Ford, 1922).

### Предельные затраты и доход

Величины предельных (маргинальных) или дифференцированных затрат и доходов представляют собой крайне важные понятия, используемые в инженерной или управленческой экономике, основной задачей которой является не бухгалтерский учет всех расходов и доходов и представление прилично выглядящих отчетов, а *практический экономический анализ работы предприятия в целях обоснования принимаемых оперативных решений*. Экономика управления должна давать ответы на такие вопросы, как, например, стоит ли предприятию производить ту или иную продукцию или принесет ли реализация определенного проекта реальную прибыль. При этом учитываются так называемые издержки упущенных возможностей, которые не отражены в традиционной бухгалтерской отчетности.

Под предельными (маргинальными) затратами понимают изменение общих затрат предприятия в связи с производством единицы продукции дополнительного выпуска, а под предельным (маргинальным) доходом — прирост выручки, получаемой от продажи добавочной единицы продукции. В связи с введением указанных понятий появляется возможность применить в расчетах дифференциальное исчисление. Если предприятие выпускает переменное число  $n$  изделий в день, а текущее значение  $n = N$  (например, 1000 изделий в день), то обычно актуальны следующие соотношения\*:

$$\text{Предельные затраты} = \left. \frac{d\text{Затраты}}{dn} \right|_{n=N} = \text{материальные затраты};$$

$$\text{Предельный доход} = \left. \frac{d\text{Доход}}{dn} \right|_{n=N} = \text{цена продажи};$$

$$\text{Предельная прибыль} = \left. \frac{d\text{Прибыль}}{dn} \right|_{n=N} = \text{цена продажи минус материальные затраты};$$

Вернемся к примеру, приведенному в табл. 5.1, и предположим, что появился новый покупатель, желающий ежедневно приобретать 200 изделий по цене 7 долл. за штуку. В табл. 5.2 показано, как в этом случае изменятся доходы и затраты предприятия.

\* Если для выпуска дополнительного количества продукции необходимо, чтобы рабочие, находящиеся на почасовой оплате труда, работали сверхурочно, то в предельные затраты должны быть включены дифференцированные затраты на оплату труда, причем эта величина является переменной, поскольку руководство предприятия имеет право изменять условия оплаты сверхурочных работ (с учетом их продолжительности, времени суток, дней недели и т. д.)

Таблица 5.2  
Пример расчета предельных затрат и дохода

	В соответствии с данными бухгал- терского учета	Первоначальная ситуация	Предельные затраты и доход
Количество изготовленных деталей	1200	1000	+200
Расходы на заработную плату, долл.	720	720	0
Стоимость материалов, долл.	7200	6000	+1200
Накладные расходы, долл.	1500	1500	0
Суммарные издержки, долл.	9420	8220	+1200
Себестоимость единицы продукции, долл./шт.	7,850	N/A	N/A
Объем продаж, шт.	1200	1000	+200
Денежные поступления (доход) от продаж, долл.	11 400	10 000	+1400
Прибыль от продаж, долл.	1980	1780	+200
Стоимость запасов нереализованной продукции, долл.	0	0	0

Поскольку себестоимость изготовления единицы продукции предположительно составит 7,85 долл. (при объеме выпуска 1200 шт. в день), то согласно традиционной модели затрат можно ожидать, что предприятие будет терять 85 центов с каждой дополнительной единицы продукции, поставляемой новому покупателю. Но, теряя в цене продажи, оно наверстывает потери за счет увеличения объема продаж. Это происходит потому, что затраты на оплату труда и накладные расходы являются фиксированными, безвозвратными издержками. Единственной реальной переменной является стоимость материалов, расходуемых на изготовление единицы продукции, которая составляет 6 долл. за штуку, т. е. меньше цены 7 долл. за штуку, предлагаемой новым покупателем.

Допустим, что этот покупатель согласен приобретать 350 изделий в день по той же цене. Но для выполнения такого заказа потребуются сверхурочные работы, оплачиваемые из расчета 22,5 долл./ч. Возникает вопрос: что выгоднее для предприятия — принять дополнительный заказ или ограничить поставки этому покупателю до 200 изделий по предлагаемой им цене? Для ответа проанализируем табл. 5.3.

Выполнение дополнительного заказа по-прежнему остается выгодным для предприятия, хотя предельная прибыль составляет всего 15 долл. Так или иначе, при этом выигрывают все стороны: каждый рабочий получает возможность получить 22,5 долл. в день за час сверхурочной работы, а компания зарабатывает дополнительно 15 долл. в день. Это не слишком значительная сумма для предприятия, но, выполняя дополнительный заказ и привлекая нового покупателя, оно получает другие, нематериальные выгоды, например оттесняет конкурентов. Зачем позволять новому покупателю испытывать продукцию другой марки, приобретая необходимые

Таблица 5.3

**Эффект сверхурочных работ (дифференцированной оплаты труда)**

	В соответствии с данными бухгалтерского учета	Первоначальная ситуация	Предельные затраты и доход при дополнительных продажах изделия в количестве 200 шт.	Предельные затраты и доход при дополнительных продажах изделия в количестве 150 шт.
Количество изготовленных деталей	1350	1000	+200	+150
Расходы на заработную плату, долл.	855	720	0	+135
Стоимость материалов, долл.	8100	6000	+1200	+900
Накладные расходы, долл.	1500	1500	0	0
Суммарные издержки, долл.	10455	8220	+1200	+1035
Себестоимость единицы продукции, долл./шт.	7,740	N/A	N/A	N/A
Объем продаж, шт.	1350	1000	+200	+150
Денежные поступления (доход) от продаж, долл.	12450	10 000	+1400	+1050
Прибыль от продаж, долл.	1995	1780	+200	+15
Стоимость запасов нереализованной продукции, долл.	0	0	0	0

ему 150 изделий у другой компании? В то же время этот покупатель, вероятно, получит собственную выгоду от приобретения дополнительных 150 изделий, которые нужны ему для удовлетворения своих клиентов, выплаты заработной платы работникам и части прибыли в виде дивидендов акционерам. Тем временем традиционная система бухгалтерского учета не рассматривает перечисленные обстоятельства, целиком сосредоточившись только на изучении вопроса, сколько денег принесет компании данная сделка, при которой ее продукция продается по заниженной цене (Goldratt and Fox, 1992).

### Другие недостатки модели затрат

В книге Голдратта и Фокса (Goldratt and Fox, 1986) рассказывается, каким образом система бухгалтерского учета может препятствовать повышению качества продукции. Модель затрат учитывает стоимость производственных отходов, включая стоимость неисправимого брака. В эту стоимость входят затраты на оплату труда и накладные расходы, хотя эти величины в действительности не являются управляемыми переменными. Таким образом, модель затрат на первый взгляд приветствует любые инициативы по снижению количества отходов, но по мере их снижения

любые усовершенствования в этой области становятся все более дорогостоящими. Например, намного дешевле сократить объем отходов с 2 до 1%, чем с 1 до 0,5%. Поэтому в модели затрат всегда существует определенный уровень, ниже которого дальнейшее сокращение количества отходов признается нецелесообразным. Этот уровень принято называть точкой отсечения. *Проблема заключается в том, что конкуренты могут не обращать внимания на эту точку и продолжить совершенствовать свое производство.*

Предположим, что каждый процент брака, списываемого в отходы, ежегодно обходится компании в 10 тыс. долл. с учетом стоимости материалов, израсходованных на изготовление бракованной продукции, и оплаты труда. Допустим, что при отборе реализуемых проектов компания применяет модель окупаемости затрат, причем нормативный срок окупаемости должен составлять два года\*. Проект, имеющий своей целью снижение уровня отходов с 1 до 0,5% и стоящий 20 тыс. долл., ежегодно будет экономить компании 5 тыс. долл., т. е. в соответствии с моделью затрат будет признан экономически неоправданным. Но эта модель не принимает во внимание такие нематериальные факторы, как, например, повышение уровня удовлетворенности потребителей и предотвращение их перехода к конкурентам. Введение сплошного контроля и испытаний готовой продукции, затраты на которые, в соответствии с моделью формирования «цены качества», относят к расходам на оценку и подтверждение качества, не решает проблемы, поскольку не дает 100%-ной гарантии в том, что дефектные изделия не попадут к потребителям.

Голдратт и Фокс (Goldratt and Fox, 1986) приводят и другие примеры того, как существующие системы бухгалтерского учета торпедируют усилия по ускорению оборота запасов готовой продукции. Хотя модель затрат признает необходимость учета затрат на содержание этих запасов и определенным образом стимулирует их сокращение, тем не менее, как и в случае со снижением количества отходов производства, усилия по сокращению объема запасов постепенно становятся все более дорогостоящими, и рано или поздно здесь также может быть достигнута точка отсечения, после которой модель затрат определяет дальнейшие усилия в этой области как экономически неоправданные. Но сокращение объема запасов готовой продукции влечет за собой иные выгоды, например, ускорение производственного цикла, которые эта модель не учитывает.

Итак, в данном разделе была проанализирована модель затрат и выявлены ее недостатки, а также введены такие важные экономические понятия, как предельные затраты, доходы и прибыли. В следующем разделе рассматривается модель оценки эффективности предприятий, применяемая в теории ограничений, значительно отличающаяся от рассмотренной модели затрат.

\* Модель окупаемости проектов существенно упрощена. В современном экономическом анализе эффективность проектов оценивают с учетом чистых приведенных затрат и, как следствие, рисков, связанных с возможными изменениями «цены денег» за срок окупаемости проекта. В простейшем случае срок окупаемости проекта стоимостью 20 тыс. долл., ежегодно приносящего компании 10 тыс. долл., составляет два года.

## МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Модель производительности также ориентирована на три основные характеристики работы компании, иначе расставляя приоритеты между ними:

- 1) *производительность (throughput), или выручка от продаж*. Этот показатель характеризует предельный доход от каждой операции, чем отличается от выручки в бухгалтерском понимании этого слова. Его определяют как цену продаж за вычетом стоимости сырья и материалов, если для изготовления продукции не требуется оплата сверхурочных работ. При оценке производительности определенную роль играет время выполнения заказа (lead time), представляющее собой промежуток времени между размещением заказа и его выполнением (и оплатой). Голдратт и Фокс ввели понятие «отрицательная оборачиваемость запасов». Их основная идея заключается в получении оплаты за выполненный заказ раньше, чем компания оплатит использованные на его выполнение сырье и материалы. Как уже упоминалось выше, компания Harley-Davidson сумела реализовать эту идею на практике;
- 2) *запасы (inventory)* — денежные средства, которые предприятие инвестирует в изделия, предназначенные для продажи. «Время выполнения заказа и запасы незавершенной продукции — фактически однозначные понятия. Одно служит зеркальным отражением другого», — пишут Голдратт и Фокс (Goldratt and Fox, 1986). Сокращение времени выполнения заказа с использованием различных приемов, предлагаемых методологией организации бережливого производства, влечет за собой уменьшение размеров запасов;
- 3) *операционные расходы* — денежные средства, расходуемые предприятием на преобразование запасов в реализованную продукцию. Любая деятельность, не связанная с подобным преобразованием, представляет собой источник непроизводительных расходов.

### Теория ограничений и затраты, связанные с качеством

Переделки дефектной продукции и неисправимый брак, списываемый в отходы производства, в равной степени нежелательны. Усилия по совершенствованию работы предприятия должны быть нацелены на их устранение. В общем случае неисправимый брак считают опаснее дефектов, которые могут быть устранены посредством переделок готовой продукции. В то же время, как следует из модели предельных затрат, необходимость переделок выполненной работы на той операции, которая служит ограничением всего производственного процесса, страшнее неисправимого брака, возникающего на операциях, предшествующих ограничению. Для того чтобы проиллюстрировать высказанное положение, обратимся снова к примеру, приведенному на рис. 5.1.

Напомним, что изготовление продукции требует выполнения трех последовательных операций: А, В и С продолжительностью 2, 4 и 3 мин соответственно.

Допустим, что на изготовление одного изделия расходуются исходные материалы стоимостью 5 долл., а на каждой операции к стоимости изделия добавляется по 2 долл. в виде прямых производственных затрат. Готовые изделия отпускаются покупателям по цене 20 долл. за штуку. Напомним также, что рабочий пост В способен обрабатывать только 15 изделий в час. Данные, приведенные в табл. 5.4, указывают на наличие существенных различий между затратами в бухгалтерском понимании и предельными затратами. Величина  $\Delta$  представляет собой величину недополученной прибыли в связи с проблемами качества. Прибыль компании при отсутствии брака составляет 135 долл./ч.

Таблица 5.4  
**Затраты с учетом переделок и неисправимого брака  
при производственном процессе с ограничением (в расчете на 1 ч)**

	Бездефектное производство	Рабочий пост А		Рабочий пост В		Рабочий пост С	
		переделки	отходы	переделки	отходы	переделки	отходы
Стоимость материалов, долл.	75	75	75+5	70	70+5	75	70+5
Стоимость обработки, долл.	90	90+2	90+2	84+2	84+4	90+2	84+6
Себестоимость изготовления, долл.	165	167	172	156	163	167	165
Выручка от продаж, долл.	300	300	300	280	280	300	280
Прибыль, долл.	135	133	128	124	117	133	115
$\Delta$	0	2	7	11	18	2	20

- На операции А все достаточно просто: исправимый брак снижает прибыль на 2 долл. (стоимость переделки), а неисправимый — на 7 долл., из которых 5 долл. составляет стоимость впустую потраченных материалов, а 2 долл. — стоимость обработки изделия, списанного в отходы.
- Затраты на переделку одного изделия на рабочем посту В, согласно данным бухгалтерского учета, составляет те же 2 долл. *Но здесь возникают так называемые издержки упущенных возможностей (opportunity costs), равные 11 долл.* Эта сумма складывается из 2 долл., затраченных на переделку, и 9 долл. упущенной выгоды в результате того, что предприятие сможет изготовить на одно изделие меньше. *Поскольку переделки занимают примерно 4 мин, а рабочий пост В не располагает лишними производственными мощностями, то он сможет обработать за час только 14 изделий вместо 15.* Тем самым лишний раз подтверждается основной вывод теории ограничений: «Любые потери времени на операции, ограничивающей процесс, являются необратимыми». Таким образом, *оказывается, что исправление дефектов, внесенных на этой опера-*

ции, опаснее по своим последствиям, чем неисправимый брак, допущенный на предшествующих операциях.

- При традиционном бухгалтерском учете неисправимый брак, допущенный на рабочем посту В, обходится в 9 долл. (5 долл. — стоимость материалов и 4 долл. — добавленная обработкой стоимость на операциях А и В). С учетом предельных затрат к этим потерям следует добавить 9 долл. упущенной выгоды, поскольку рабочий пост В не может произвести еще одно изделие взамен списанного в отходы. Следовательно, неисправимый брак, допущенный на операции, служащей ограничением процесса, опаснее, чем переделки продукции.
- Переделки одного изделия на рабочем посту С также стоят 2 долл., но поскольку этот рабочий пост обладает избыточной мощностью, то все потери сводятся только к прямым затратам на исправление брака.
- При обычном бухгалтерском учете неисправимый брак, допущенный на рабочем посту С, обходится компании в 11 долл. (5 долл. — стоимость материалов и 6 долл. — добавленная обработкой стоимость на операциях А, В и С). Но к этой сумме следует добавить еще 9 долл. упущенной выгоды из-за невозможности изготовить и продать 15-е изделие, поскольку рабочий пост В не способен изготовить лишнее изделие, чтобы компенсировать потери от неисправимого брака на последующей операции.

### Направления деятельности по повышению качества на основе теории ограничений

Сформулируем выводы предыдущего раздела.

1. Исправимый брак, допущенный на операции, служащей ограничением процесса, может быть столь же или даже более опасен по своим последствиям, чем неисправимый брак, допущенный на предшествующих операциях.
2. Неисправимый брак, допущенный на операции, ограничивающей процесс, или последующих операциях, влечет за собой упущенную выгоду. Потери времени при выполнении ограничивающей операции являются необратимыми. *Современные системы бухгалтерского учета не распознают упущенную выгоду.*

В этой связи основные усилия по повышению качества должны быть сосредоточены:

- на сокращении количества неисправимых дефектов, допускаемых на операции, ограничивающей процесс, и последующих операциях;
- на исключении необходимости исправления дефектов, допускаемых на операции, ограничивающей процесс. Может оказаться, что экономические последствия такого решения будут более весомыми, чем уменьшение неисправимого брака на предшествующих операциях.

В настоящем разделе были сформулированы основные характеристики работы предприятия — производительность, запасы и операционные расходы, и с использованием ранее введенных представлений о предельных затратах, доходах и



прибыли доказано, что исправимые дефекты, внесенные при выполнении операции, являющейся ограничением производственного процесса, опаснее неисправимого брака, допущенного на предшествующих операциях. Из этого следует, что ограничивающие процесс операции требуют к себе особого внимания, и в следующем разделе с помощью теории ограничений будет показано, на чем требуется сосредоточить усилия по совершенствованию работы предприятия.

## ТЕОРИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ И ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

В предыдущей главе было описано несколько программ повышения качества и производительности работы предприятий, включая такие, как SMED, кайдзен блиц или применение средств защиты от оплошностей. Но разрозненное осуществление подобных программ вместо применения комплексного подхода к совершенствованию предприятия может оказаться неэффективным. В данном разделе показано, каким образом с помощью теории ограничений можно увязать между собой эти программы.

*Основная идея теории ограничений состоит в том, что единственный способ расширения производственных возможностей предприятия заключается в ослаблении ограничений. Любые меры, направленные на ускорение ограничивающей процесс операции, сокращение простоев в ходе ее выполнения или повышение качества ее продукции, немедленно повышают производительность предприятия в целом. Достаточно выполнять эту операцию на 5% быстрее, чтобы, не затратив более ни одной копейки, обеспечить увеличение выпуска готовой продукции на те же 5%. Безусловно, со временем ограничения могут меняться, и, соответственно, нужно будет сконцентрироваться на ослаблении вновь возникшего ограничения.*

Любые усовершенствования других составляющих процесса также могут приносить выгоду предприятию. Например, применение системы быстрой переналадки оборудования SMED на операциях, не являющихся ограничениями процесса, позволяют сократить общую продолжительность цикла изготовления продукции и уменьшить объемы запасов, облегчив тем самым переход к единичному или мелкосерийному производству продукции на заказ. Но производственные возможности предприятия при этом остаются прежними. Полезны также и другие меры, нацеленные на удешевление таких операций или уменьшение производственных отходов на них. Но все же наиболее эффективно совершенствование операции, являющейся ограничением для всего производственного процесса.

### Система всеобщего технического обслуживания (TPM)

Эта система нацелена на сведение к минимуму простоев оборудования и повышение коэффициентов его технического использования (Caravaggio в кн.: Levinson, 1998). Профилактическое обслуживание оборудования предупреждает его износ

и отказы, что также способствует уменьшению количества исправимых и неисправимых дефектов продукции, вносимых при ее изготовлении на неисправном или изношенном оборудовании.

Гарднер и Нэппи (Gardner and Nappi, 2001) настоятельно подчеркивают необходимость устранения причин даже самых незначительных остановок оборудования, включая остановки, которые:

- длятся всего несколько минут;
- устраняет сам оператор (небольшие неисправности) путем перенастройки. Иногда такие действия предусмотрены установленным регламентом выполнения работы;
- не требуют ремонта оборудования и использования запасных частей.

Подобные незначительные, кратковременные остановки оборудования как нельзя лучше подходят под определение того понятия, которое мы ранее обозначили термином «трение». Они постоянно раздражают работников, но для их устранения не предпринимается никаких серьезных корректирующих действий, поскольку человеку свойственно мириться с мелкими недостатками, вместо того чтобы тратить время и силы на их устранение. До поры до времени эти проблемы не имеют значимых последствий, а ситуацию с оборудованием можно охарактеризовать притчей, в которой мальчик столь часто беспричинно кричал «Волк!», что ему не поверили, когда волк действительно появился.

На самом деле мелкие неисправности оборудования и его краткосрочные остановки являются сигналом о наличии более серьезных проблем, которые могут стать причинами неисправимого брака продукции, полного отказа оборудования или аварии с человеческими жертвами. В лучшем случае они приводят к появлению работ, не создающих добавленной ценности, и снижению трудовой дисциплины на производстве. Их кумулятивный эффект может быть достаточно серьезным, особенно если такие проблемы возникают на операциях, являющихся ограничением производственного процесса. Например, 300 остановок оборудования по две минуты каждая за шесть недель выливаются в суммарные потери рабочего времени, равные 10 ч. Именно поэтому политика корпорации National Semiconductor нацелена на выявление и устранение причин любых, даже самых незначительных остановок и простоев оборудования.

Норвуд (Norwood, 1931) описывает способы борьбы с остановками конвейера, применявшиеся на заводе River Rouge компании Ford Motor. Известно, что на предприятиях этой компании рабочий имел право остановить конвейер в случае, когда он не справлялся с темпом поступления материалов на сборку или при возникновении других обстоятельств, нарушавших плавное течение процесса сборки. Заметим, что позднее право рабочих останавливать производственный процесс стало общепринятой практикой на современных японских предприятиях. При остановке конвейера загорался световой сигнал на пульте управления, показывающий, на каком рабочем месте произошла остановка. Если остановка конвейера длилась больше двух

минут, требовалось вмешательство дежурного механика. Если же рабочему удавалось справиться с причинами задержки быстрее, то движение конвейера возобновлялось. *Но в любом случае составлялся отчет с описанием причин остановки и с указанием ее продолжительности.* Таким образом, работники завода не просто фиксировали факты остановок, но старались предупредить их повторное появление.

Обобщенной характеристикой системы всеобщего технического обслуживания служит показатель, называемый общей эффективностью оборудования (OEE), определяемый как:

$$OEE = (\text{коэффициент готовности}) \times (\text{коэффициент эффективности использования}) \times (\text{коэффициент загрузки}) \times (\text{уровень качества}),$$

или

$$OEE = \frac{\text{Время работы}}{\text{Общее время}} \times \frac{\text{Число годных изделий}}{\text{Номинальная производительность}}.$$

Ранее уже демонстрировались возможные отрицательные последствия применения для оценки работы подразделений предприятия и отдельных работников показателей, характеризующих полноту загрузки и интенсивность использования оборудования. Стремясь к улучшению таких показателей, исполнители производят как можно больше продукции даже в тех случаях, когда в этом нет необходимости. Кроме того, они заставляют работников начинать работу, только дождавшись полной загрузки оборудования. Таким образом, подобные показатели применимы исключительно для операций, являющихся ограничением процесса.

В то же время нужно стремиться к достижению оптимального уровня качества продукции, поскольку любые переделки дефектных изделий или списание в отходы неисправимого брака всегда имеют негативные последствия. В предыдущем разделе говорилось о том, что основные усилия по повышению качества должны быть сосредоточены на совершенствовании операций, ограничивающих процесс в целом. Следовательно, необходимо прежде всего стремиться к повышению коэффициента готовности оборудования, применяемого именно на этих операциях, поскольку *его простой в неисправном состоянии практически эквивалентны остановке предприятия в целом.*

В книге The System Company (1911a) приведен наглядный пример, иллюстрирующий возможные способы поддержания высокой технической готовности оборудования посредством объединения системы быстрой переналадки с профилактическим обслуживанием. Вращающиеся обжиговые печи, установленные на цементном заводе, были снабжены вентиляторами с электромоторами, обеспечивающими непрерывную подачу распыленного угля и воздуха. Эти вентиляторы требовали частого обслуживания и замен в связи с большими рабочими скоростями и нагрузками. Любая незапланированная остановка вентилятора приводила к необходимости полной разгрузки печи, причем испорченные материалы

могли быть извлечены только после остывания, для чего требовалось около 36 ч. Эту проблему удалось решить, смонтировав на грузовике осевой вентилятор, который подключался к любой печи, если ее основной вентилятор требовал обслуживания или ремонта. Благодаря этому удалось решить сразу две проблемы: сохранить очередную партию цемента в случае остановки основного вентилятора и обеспечить перезагрузку печей без временных затрат.

Кроме того, не нужно было оборудовать все печи запасными электродвигателями, поскольку требовался всего один передвижной вентилятор. Такой подход полностью отвечает известной в теории надежности модели скользящего ненагруженного резервирования, при котором резервный элемент включается в работу при отказе или в случае необходимости технического обслуживания любого из основных элементов. В данном случае несколько основных элементов системы резервируются одним дополнительным.

Авторы не настаивают на обязательном применении принципов всеобщего технического обслуживания или заимствовании конкретных примеров его использования. Компания, в которой работает читатель, не обязательно должна заниматься производством цемента, но приведенная выше стратегия обеспечения высокой технической готовности оборудования пригодна для предприятий разнообразного профиля. Например, при производстве полупроводниковых приборов широко применяется оборудование, снабженное вакуумными насосами. Для его проектирования вполне подойдут общие идеи быстрой переналадки оборудования. Конструктор обязан найти ответы на следующие вопросы. Какая часть оборудования реально создает добавленную стоимость — вакуумная камера или вакуумный насос? Как соотносятся между собой стоимости насосов и остального оборудования? Нельзя ли с помощью одного резервного вакуумного насоса обеспечить техническое обслуживание и ремонт целой группы вакуумного оборудования и повысить тем самым коэффициент его готовности?

### Система быстрой переналадки оборудования SMED и теория ограничений

Расширить производственные возможности предприятия с помощью системы SMED возможно только при условии ее приложения к операциям, являющимся ограничениями производственных процессов.

«С точки зрения теории ограничений нет никакого смысла концентрировать внимание на сокращении времени наладки оборудования до тех пор, пока оно не становится фактором, реально сдерживающим рост производительности предприятия. Безусловно, сокращение времени наладки оборудования, ограничивающего производительность процесса, значительно важнее аналогичных усилий по ускорению переналадки любого другого оборудования, обладающего избыточной мощностью и не являющегося ограничением процесса. Затрачивая силы и время на совершенствование такого оборудования, мы отвлекаемся от выявления тех факторов, которые реально блокируют развитие предприятия» (Schrageheim and Dettmer, 2001).

В шестой главе, посвященной единичному производству, будет показано, что применение системы SMED способно сократить время выполнения заказа за счет уменьшения объема партии. Это время не всегда зависит исключительно от производственной мощности предприятия: если начало выполнения некоторой работы, например термической обработки, откладывается до получения необходимого объема партии обрабатываемых изделий, то при этом задерживается выполнение последующих работ, хотя номинальная производительность предприятия при этом остается неизменной.

### Качество и теория ограничений

Если предприятие работает на полную мощность, то недостаточно не допускать отгрузки дефектных изделий потребителям. Нужно помнить о том, что невозможно возместить потери производительности в связи с любыми переделками или неисправимыми дефектами, допущенными на ограничивающей процесс операции, или последующих операций. Таким образом, всякое отклонение уровня качества на этих операциях от идеального может сопровождаться гигантскими издержками упущенных возможностей. Поэтому необходимо не только своевременно выявлять возникающие дефекты, но и предотвращать их появление.

Как уже говорилось, единственный способ расширения производственных возможностей предприятия заключается в ослаблении существующих ограничений, т. е. в повышении производительности операций, ограничивающих производительность процессов в целом. Профилактическое обслуживание оборудования полезно для всех операций. Оно позволяет снизить количество незапланированных простоев оборудования в неисправном состоянии и избежать накопления больших объемов незавершенного производства, а также сократить продолжительность производственного цикла. При проведении профилактического обслуживания серьезное внимание должно уделяться оборудованию, применяемому на ограничивающих процесс операциях. Применение систем быстрой переналадки оборудования способствует сокращению продолжительности производственного цикла и переходу на изготовление изделий малыми партиями, но реальный эффект повышения общей производительности предприятий достигается только при применении этих систем к ограничивающим операциям.

## СПОСОБЫ ПРИЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ОГРАНИЧЕНИЙ К РАЗРАБОТКЕ ПРОДУКЦИИ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Теория ограничений содержит ряд положений, которые должны учитываться в ходе разработки новой продукции и производственных процессов. Голдратт и Фокс (Goldratt and Fox, 1986) показали, каким образом отсутствие на предприятии больших запасов готовой продукции и незавершенного производства способствует ускоренной

постановке на производство новых товаров и, соответственно, сокращению количества времени, необходимого для создания новой продукции. Предположим, что на предприятии, обладающем столь значительными запасами, происходит модернизация выпускаемой продукции или конструкторам требуется изготовить опытные образцы новой продукции для проведения ее испытаний. В этом случае руководители производства должны отдать распоряжение об изготовлении партии доработанных или опытных образцов изделий. При этом возможны два варианта продвижения этой партии.

1. Составляется специальный график изготовления опытной партии, или ее изготовление должно быть пушено в обход всех запасов готовой и незавершенной продукции, имеющихся на производстве.
2. Опытная партия дожидается завершения всех начатых работ, вследствие чего происходит *замедление процесса модернизации или разработки новой продукции в целом*. Основное правило любых разработок гласит, что преимуществами перед конкурентами обладает то предприятие, которое способно реализовать максимальное число циклов PDCA (планируй — делай — проверяй — действуй) за единицу времени. Если опытные образцы новой продукции ожидают своей очереди на изготовление при длительном цикле производства серийной продукции, предприятие утрачивает свои конкурентные преимущества.

Авторы книги также хотели бы подчеркнуть, что в случаях, когда модернизация приводит к значительному усовершенствованию выпускаемой продукции, предприятие сталкивается с непростым выбором: следует ли ему завершить изготовление устаревших изделий, уже запущенных в производство, и отгрузить их потребителям, или отправить в отходы все незавершенное производство. Естественно, подобная проблема не возникает при отсутствии больших запасов готовой продукции и незавершенного производства.

### Теория ограничений и планирование экспериментов

Методы планирования экспериментов служат мощным инструментом совершенствования продукции и производственных процессов. Но при их применении необходимо следить за тем, чтобы план эксперимента не перегружал операции, являющиеся ограничением всего существующего производственного процесса, изготовлением опытных образцов изделий, не предназначенных для продажи потребителям. Подобная перегрузка дает тот же отрицательный эффект, что исправление брака или возникновение неисправимых дефектов на этих операциях. Поэтому лучшим временем для проведения запланированных экспериментов могут быть периоды пониженного спроса на продукцию предприятия. В этом случае рынок выступает в качестве ограничения при планировании экспериментов.

## ГЛАВА 6

### ЕДИНИЧНОЕ ПОТОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Непрерывные производственные процессы хорошо знакомы химикам-технологам. Любые текучие или газообразные продукты как нельзя лучше подходят для производства с использованием таких процессов. Например, пробковый поточный реактор представляет собой трубу с катализатором внутри, с одного конца которой подается жидкое или газообразное сырье, а с другого конца выходит конечный продукт. Производственный процесс протекает непрерывно по мере продвижения исходных материалов через трубу реактора. Управлять такими процессами просто с применением автоматического оборудования, которое поддерживают параметры процесса в заданных пределах, обеспечивающих оптимальное качество конечного продукта.

На химических предприятиях применяют также реакторы резервуарного типа с непрерывным перемешиванием продуктов. Аналогом таких реакторов для переработки газообразных материалов могут служить установки с псевдосжиженным слоем катализатора. Производственный процесс в подобных реакторах протекает непрерывно, так же, как течет вода по трубам водопровода. Такие реакторы (рис. 6.1)

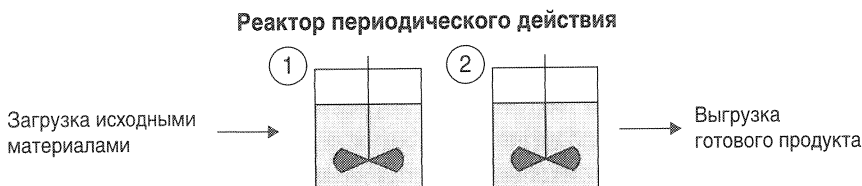
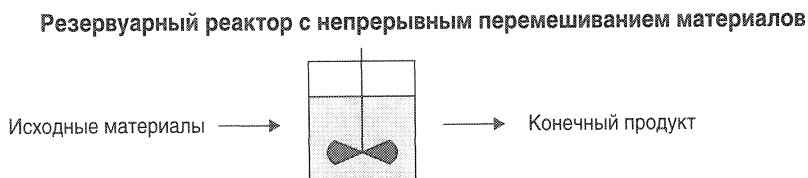
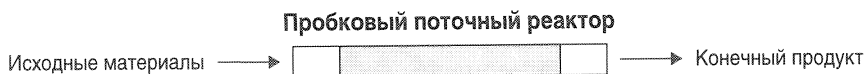


Рис. 6.1. Разновидности производственных установок, применяемых в химической промышленности

больше подходят для крупнотоннажных химических производств, чем реакторы периодического действия. Они также более приспособлены для автоматизации управления процессами с использованием аналоговых контроллеров (пропорционального, интегрального или дифференциального действия), применявшихся до появления цифровых, компьютеризированных систем управления.

В традиционном машиностроении и приборостроении производство, при котором изготавливаются отдельные механические узлы и детали, блоки аппаратуры на печатных платах или твердотельные полупроводниковые приборы, является дискретным. Для таких дискретных производственных процессов статистические методы управления играют ту же роль, что системы автоматического управления непрерывными процессами.

Можно догадаться, что управлять дискретным процессом проще, если он по своим параметрам приближается к непрерывному, поэтому единичный поточный процесс обработки деталей является более совершенным по сравнению с процессом, в котором обработка производится партиями. Шенбергер (Schonberger, 1982) указывает на целесообразность максимального приближения дискретного производства к непрерывному. Он также отмечает изобилие имеющихся в непрерывных производствах средств автоматического контроля качества и мониторинга процессов, подчеркивая необходимость внедрения автоматических проверок в дискретные производственные процессы.

Единичное поточное производство также способствует сокращению всех видов запасов. «Применение так называемых единичных поточных производственных процессов ведет к радикальному сокращению времени выполнения заказов. Они также служат основным средством, позволяющим минимизировать потребность предприятия в запасах», — пишет Синго (Shingo, 1986). Сборочные конвейеры на заводах Форда служат характерным примером единичного поточного производства, доказывающим, что машиностроительные дискретные процессы могут быть приближены к истинно непрерывным.

«Мы начинаем производственный процесс с выплавки металла в доменной печи и завершаем его погрузкой собранных двигателей в грузовые вагоны. Отливки [блоков двигателей] в литейном цехе грузятся на подвижные платформы или на конвейеры, которые доставляют их на линию сборки, где их обрабатывают, дополняют всеми необходимыми деталями по мере продвижения на конвейере, и на выходе получают окончательно собранный и испытанный мотор. Все это происходит непрерывно, без единой остановки» (Ford, 1926).

Отметим в приведенной цитате слова «без единой остановки». Собираемые двигатели работают непрерывно, подобно течению воды по трубам, а сам процесс изготовления и сборки максимально приближен к непрерывным процессам химического производства. Шенбергер высказывает ту же мысль, когда пишет, что «...производство, основанное на принципе “точно вовремя”, идеально подходит для того, чтобы все используемые на производстве материалы находились в непрерывном движении, служа объектами различных работ, а не



собирались в накопителях или контейнерах для последующей их транспортировки партиями».

Сузаки (Suzaki, 1987) утверждает, что, «если мы сумеем связать все производственные операции, на которых одновременно обрабатывается по одной детали, невидимым конвейером доставляющим также поштучно заготовки для следующей операции, то мы получим идеальную производственную систему. Если считать все виды запасов источником непроизводительных расходов, то любые внутренние перевозки следует рассматривать как один из способов накопления запасов, только находящихся в движении, что всегда нежелательно».

Именно такую цель преследовал Форд, создавая свои сборочные линии. Вновь отметим, что материалы, находящиеся в процессе перевозки, также относятся к числу запасов, которые обозначают термином «флоут».

На рис. 6.2 приведен пример единичного поточного производства, где методом центрифугирования на поверхность круглых кремниевых пластин наносят фоточувствительные и иные покрытия. Одновременно в процессе обработки находится по одной пластине.



Рис. 6.2. Установка кремниевых пластин для нанесения покрытий методом центрифугирования  
Источник: Levinson, *Leading the Way to Competitive Excellence*. Milwaukee: ASQ Quality Press, 1998

Единичное поточное производство приближается по своим характеристикам к непрерывным процессам, применяемым в химической промышленности. При этом значительно упрощается управление такими процессами, которое становится максимально близким по применяемым методам и средствам к системам контроля непрерывных процессов. В следующем разделе мы рассмотрим органические недостатки, присущие производству продукции партиями, при котором часто удлиняется продолжительность производственного цикла и усложняется применение методов статистического управления процессами.

## Пороки серийного производства

Голдратт и Кокс (Goldratt and Cox, 1992) открыли ряд серьезных недостатков, органически присущих серийному производству. С одной стороны, загрузка оборудования неполными партиями обрабатываемых заготовок ведет к недоиспользованию его производственных мощностей, но, с другой стороны, ожидание формирования полной партии заготовок означает непроизводительное расходование рабочего времени. Теория ограничений определяет, что необходимость полной загрузки оборудования и недопущения перерывов между партиями присутствует только на операциях, служащих ограничениями процесса. Некоторые примеры процессов, на которых обработка происходит партиями, приведены на рис. 6.3—6.5.

На рис. 6.3 изображены кремниевые пластины, помещенные в вакуумную камеру жидкого или газового напыления металлов, которые становятся впоследствии выводами полупроводниковых приборов (чипов или интегральных схем)\*. Пластины размещают на держателях куполовидной формы, на каждом из которых помещается по 12 пластин. Всего в вакуумную камеру входят одновременно три таких держателя. Если на держателях остаются свободные места, то камера не используется на полную мощность, но если ожидать накопления полной партии пластин для напыления, то камера простаивает без работы. Предположим, что для напыления поступило всего 20 готовых к напылению пластин вместо 36 (размер полной партии), и возникает вопрос, как поступить. Если начать напыление немедленно, то камера будет использована почти на половину своей мощности.

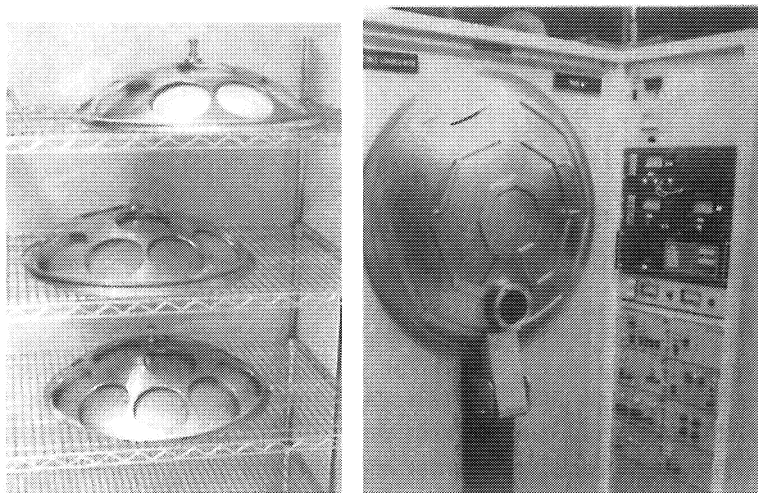


Рис. 6.3. Куполовидные держатели кремниевых пластин и камера вакуумного напыления  
Источник: Levinson, *Leading the Way to Competitive Excellence*. Milwaukee: ASQ Quality Press, 1998

\* Кремниевые пластины нарезают на чипы или ИС после завершения всего технологического процесса.

Если подождать 4 ч, через которые ожидается поступление 16 недостающих пластин, то это будет означать потерю, равную 80 пластинам в час. Проблема усугубляется тем, что пластины одной серии должны быть идеально однородными, что очень сложно обеспечить, когда они поступают на обработку партиями разного размера. Все высказанные выше соображения полностью применимы к примерам, приведенным на рис. 6.4 и 6.5.



Рис. 6.4. Кремниевые пластины перед загрузкой в установку

Источник: Levinson, *Leading the Way to Competitive Excellence*. Milwaukee: ASQ Quality Press, 1998

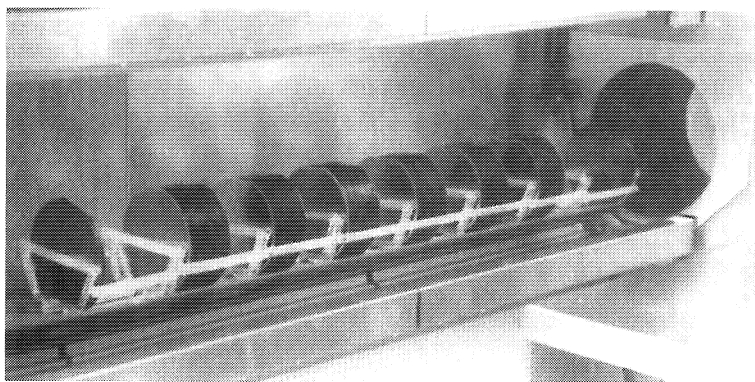


Рис. 6.5. Кремниевые пластины перед загрузкой в диффузионную печь

Источник: Levinson, *Leading the Way to Competitive Excellence*. Milwaukee: ASQ Quality Press, 1998

На рис. 6.4 изображена установка для ионно-плазменного травления, на которой формируется проводящая структура полупроводниковых приборов, а на рис. 6.5 — диффузионная печь для нагрева кремниевых пластин, в которой при обдуве их паром происходит окисление кремния с образованием диоксида кремния, а только при нагревании происходит диффундирование в пластины легирующих примесей, придающих кремнию требуемые электрические свойства.

### Обработка партиями и эффективность ограничивающей операции

Предположим, что ограничением некоторого процесса служит термическая обработка деталей в печи, которая может одновременно вместить только 10 деталей. На рис. 6.6 показана очередь из трех партий деталей, ожидающих загрузки в печь. При этом партия под номером 3 не может быть смешана с партией 2, чтобы полностью загрузить печь, поскольку требует иного температурного режима при термообработке. Партия 1 может быть разделена пополам, чтобы дополнить четверть деталей партией 2, но это не решает проблемы, поскольку все равно партии 1 и 2 не удастся обработать менее чем за две загрузки печи. Теоретическая пропускная способность печи за три загрузки составляет 30 деталей, но фактически в ней будет обработано только 18 деталей, т. е. печь будет использована лишь на 60% своей мощности. Такой уровень загрузки печи, служащей ограничением процесса, эквивалентен простоему всего предприятия в течение 40% рабочего времени! В книге Голдратта (Goldratt and Cox, 1992) рассматривается аналогичная проблема.

Ограничивающая операция всегда должна работать с полной нагрузкой. Чтобы выполнить это требование в условиях приведенного примера, можно, например, обработать десять деталей из партий 1 и 2 в надежде на то, что за время их обработки поступит еще 6 новых деталей, требующих для своей обработки температурных режимов А или Б. Таким образом, необходимо разбивать партии обрабатываемых деталей или спланировать производство так, чтобы в каждой поступающей на термообработку партии содержалось точно по 10 деталей. В любом случае обработка партиями явно усложняет производственное планирование.

Потери времени или неполная загрузка оборудования на любых других операциях, не являющихся ограничениями процесса, не составляют особых проблем до тех пор, пока не достигают того уровня, при котором возникает новое ограничение.

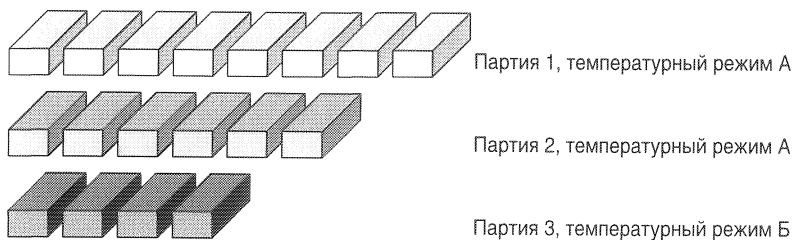


Рис. 6.6. Накопление заготовок перед ограничивающей операцией

Предположим, что процесс состоит из двух операций — обработки деталей на обрабатывающем центре, пропускная способность которого составляет 24 детали в час, и термической обработки в печи, описанной выше, имеющей производительность 30 деталей в час. В данном случае ограничением процесса, очевидно, служит обрабатывающий центр, но операция термической обработки может превратиться в ограничение, если особенности режимов термической обработки партий деталей снижают ее пропускную способность до уровня менее 80% от номинального.

Если термическая обработка деталей происходит после их механической обработки, то эта проблема не является долговременной, поскольку накопление деталей перед ней позволяет перераспределять детали между партиями таким образом, чтобы обеспечить полную загрузку печи в каждом цикле. Если же термообработку требуется проводить до механической обработки, то кратковременные отклонения от максимальной эффективности способны сократить объем работ обрабатывающего центра, что превратит его в реальное ограничение процесса. Вот почему теория ограничений рекомендует создавать резервный запас заготовок (буфер) перед ограничивающей операцией, благодаря которому применяемое на ней оборудование имеет возможность постоянно работать с полной нагрузкой и без потерь времени между очередными перезагрузками. Этот прием гораздо проще применить в условиях единичного поточного производства, чем при обработке деталей партиями.

### Обработка деталей партиями и бережливое производство

Итак, наличие даже одного резервного запаса заготовок перед ограничивающей операцией позволяет решить проблему недозагрузки производственных мощностей, свойственную серийному производству. В то же время *достаточно всего одной операции, требующей обработки заготовок партиями, чтобы вызвать образование запаса незавершенной продукции внутри производственной системы, организованной по принципу единичного поточного изготовления продукции* (рис. 6.7).

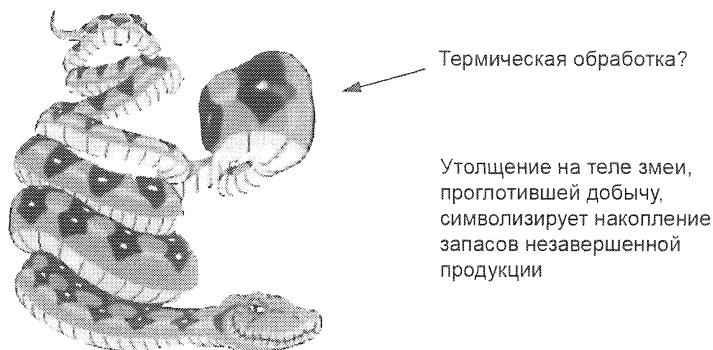


Рис. 6.7. Даже одна операция, выполняемая партиями, способна нарушить плавное течение штучного поточного производства

В этом отношении характерный пример приводит Шенбергер (Schonberger, 1986), описывая производство цепных пил на заводе компании Omark's Guelph (штат Он-тарио), где такой ограничивающей операцией стала термическая обработка. В этой компании использовались общие принципы организации бережливого производства, она входила в число лидеров среди североамериканских предприятий по применению принципа «точно вовремя», благодаря чему ее сотрудникам удалось в течение полугода сократить время выполнения заказов на цепные пилы с 21 до трех дней. Но добиться дальнейшего прогресса в этом направлении оказалось намного сложнее.

Вся проблема заключалась в централизованной термической обработке деталей пил с использованием большой нагревательной печи, требовавшей загрузки больших партий изделий. При этом если печь вмещала в себя 1000 режущих лезвий пилы, то все они должны были поступать на термообработку одновременно. Но поскольку предшествующая обработка лезвий была организована по принципу единичного поточного производства, то обработанные лезвия лежали перед загрузкой в печь до тех пор, пока не накопится 1000 шт., необходимых для одной загрузки. Вероятно, это не влияло существенным образом на общую производительность предприятия, поскольку благодаря правильному управлению ограничениями ее менеджменту удавалось поддерживать непрерывность выполнения последующих операций. Проблема заключалась в том, что на этих операциях приходилось обрабатывать детали, изготовленные три дня назад вместо изготовленных в тот же день.

Когда очередная тысяча лезвий, прошедших термическую обработку, выгружалась из печи, они поступали на дальнейшую обработку, также организованную как единичное поточное производство, при котором на каждой операции одновременно находилось строго по одной детали. В результате они ожидали своей очереди на обработку не только перед печью, но и на выходе из нее.

Компания Omark изучила несколько возможных вариантов решения возникшей проблемы. Первый из них заключался в применении лазерной закалки лезвий, позволяющей обрабатывать их поточным образом по одному. Другая идея состояла в замене одной большой печи 20 малыми. Но в конце концов отделу снабжения компании удалось найти поставщика стали с предварительной закалкой, не требующей термообработки изготавливаемых из нее деталей. Это позволило компании сократить продолжительность исполнения заказов на пилы с трех дней до одного.

### Обработка деталей партиями и время цикла

Наличие связи между временем цикла, т. е. промежутком времени между моментами начала изготовления заказанной продукции и его завершением, и производительностью представляется очевидным. Если предприятие не обладает достаточной мощностью, то вновь поступившие заказы должны ожидать своей очереди на выполнение, а выполнение срочных заказов без очереди задерживает

начало выполнения всех остальных заказов. Наличие очередей приводит к потере заказов или к задержкам с поставками продукции потребителям. Можно предположить, что время цикла напрямую зависит от времени изготовления единицы продукции, характеризующей производственную мощность. Но *наличие в единичном поточном производстве всего одной операции, на которой обработка изделий происходит партиями, способно увеличить время цикла независимо от производственной мощности.*

Чтобы проиллюстрировать высказанное положение, обратимся снова к рассмотренному выше примеру обработки деталей, которая включает операцию термической обработки, осуществляемую партиями (рис. 6.8). Введем для простоты рассуждений следующие предположения.

- Механическая обработка деталей занимает 2 мин.
- Термическая обработка производится партиями по пять деталей и занимает 10 мин. Печь для термической обработки является ограничением для всего процесса, и поэтому требуется ее постоянная полная загрузка, чтобы избежать снижения производительности предприятия в целом, и именно это становится пресловутой «ложкой дегтя». Казалось бы, что с точки зрения производственной мощности предприятия обработка пяти деталей за 10 мин эквивалентна обработке одной детали за две минуты, но эта равнозначность нарушается, когда речь заходит о продолжительности выполнения заказов.
- Сборка одного изделия занимает 1 мин.

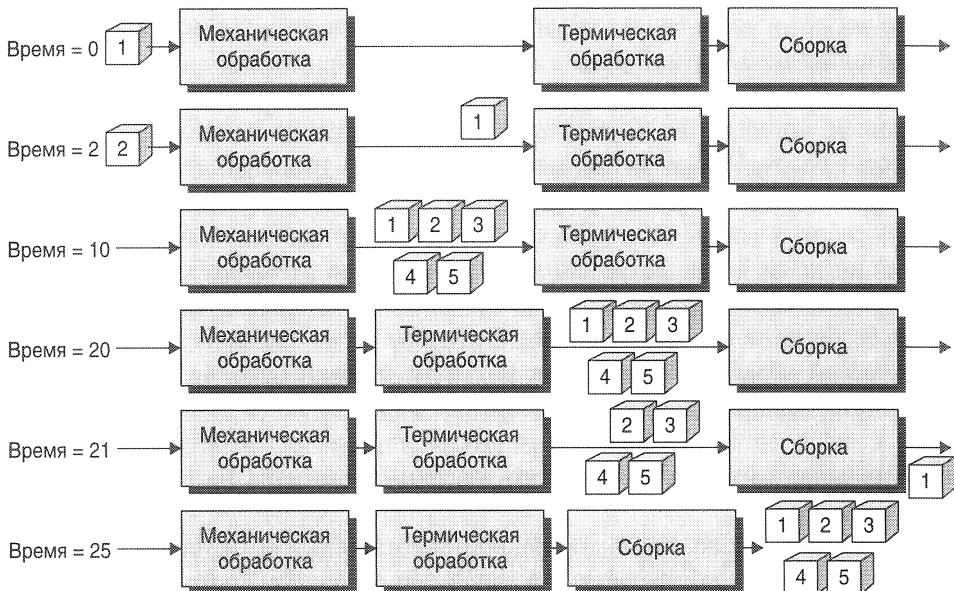


Рис. 6.8. Влияние операции, требующей обработки партиями, на протекание процесса единичного поточного производства

Предприятие должно производить одно изделие каждые 5 мин, и оно справляется со своей задачей, хотя это отнюдь не означает, что требуется ровно 5 мин для прохождения каждой детали по всему производственному циклу. Простое суммирование продолжительности всех операций показывает, что каждое изделие должно проходить весь производственный цикл за 13 мин, из которых 2 мин занимает механическая обработка, 10 — термическая и 1 — сборка. Рассматриваемое предприятие является достаточно прогрессивным, и менеджмент хотел бы наладить единичное поточное производство.

Рассмотрим теперь фактическое время прохождения пяти изделий по всему производственному процессу (рис. 6.8). На первый взгляд в нем все организовано правильно, и изготовление пяти изделий занимает 25 мин, т. е. обеспечена требуемая производительность процесса — 5 мин/шт. Но между утверждениями «предприятие производит по одному изделию каждые пять минут» и «изготовление одного изделия занимает пять минут» существует принципиальное различие. Если первое из них безусловно справедливо, то второе является ложным. Покажем, почему это реально происходит. Изготовление первого изделия из пяти начинается в момент времени  $t=0$  и завершается в момент времени  $t=21$ , т. е. занимает 21 мин. Изготовление второго изделия начинается в момент времени  $t=2$  и заканчивается в момент времени  $t=22$ , т. е. занимает 20 мин. Наконец, пятое изделие поступает на обработку в момент времени  $t=8$  и выходит в готовом виде в момент времени  $t=25$ , т. е. его изготовление занимает 17 мин. Среднее время изготовления одного изделия составляет 19 мин (это время совпадает с продолжительностью изготовления третьего по порядку изделия), т. е. на 6 мин превышает ожидаемые 13 мин.

Таким образом, необходимость термической обработки изделий партиями с ожиданием в очередях до и после этой операции нарушает плавное течение всего процесса в целом. Печь может быть включена в работу только после того, как сформируется партия из пяти изделий. Поэтому первое изделие, будучи готовым для термообработки через 2 мин, вынуждено ожидать поступления остальных четырех деталей в течение 8 мин. Время ожидания в очереди на термообработку второго изделия составляет 6 мин и т. д., причем пятому изделию ждать своей очереди на термообработку не приходится вообще. В среднем время ожидания в очереди перед термической обработкой составляет для пяти изделий  $(8+6+4+2+0) \div 5 = 4$  мин. Кроме того, всем изделиям приходится также в среднем по  $(4+3+2+1+0) \div 5 = 2$  мин ждать своей очереди на сборку после выхода из печи. Вот почему средняя продолжительность изготовления одного изделия оказывается на 6 мин большей ожидаемых 13 мин.

Замена печи установкой индукционного нагрева или другим устройством, способным термически обрабатывать по одной детали каждые 2 мин, т. е. с той же номинальной производительностью, позволит довести фактическое время обработки одного изделия до 5 мин. При этом производительность всего процесса останется



прежней, но в результате избавления от незавершенного производства внутри него удастся существенно сократить продолжительность производственного цикла.

### Обработка деталей партиями и статистическое управление процессами

Серийное производство значительно усложняет применение методов статистического управления процессами и расчеты индексов их воспроизводимости. Оно способно настолько понизить уровень надежности вычислений индексов воспроизводимости, что лишает смысла само применение методологии «Шесть сигм». (Читатель, не знакомый с методами статистического регулирования процессов, может пропустить данный раздел без ущерба для полноты понимания содержания данной книги.)

Допустим, что  $x$  — некоторый контролируемый параметр процесса или размер изготавливаемой детали. Традиционно полагают, что  $x \sim N(\mu, \sigma^2)$ , т. е. он представляет собой нормально распределенную случайную величину с математическим ожиданием  $\mu$  и дисперсией  $\sigma^2$ , где  $\sigma$  — стандартное отклонение. Предельные значения для  $x$  на контрольных картах, применяемых при статистическом управлении процессами, являются функциями его математического ожидания и дисперсии, а индексы воспроизводимости процесса, характеризующие его способность устойчиво производить продукцию, отвечающую техническим требованиям, представляют собой функции среднего, дисперсии и установленных пределов допуска на контролируемый параметр  $x$ . Расчет указанных величин достаточно прост, когда распределение контролируемого параметра является нормальным.

Индекс воспроизводимости процесса  $C_p$  представляет собой отношение ширины допуска на контролируемый параметр к мере его возможности. Индекс воспроизводимости  $C_{pk} = \min\{CPL; CPU\}$ , где величины  $CPL$  и  $CPU$  характеризуют способность процесса выдерживать нижнюю и верхнюю границы допуска на контролируемый параметр. Процесс, отвечающий требованиям методологии «Шесть сигм», должен обеспечивать столь малую дисперсию контролируемого параметра, что до тех пор, пока процесс находится в состоянии статистической управляемости, параметр  $x$  не более чем одного из миллиарда изготовленных изделий может выйти за пределы допуска на него\*.

В процессах, показанных на рис. 6.3 и 6.4, возможны источники вариаций, связанных с группированием (nested variation sources), т. е. разброс параметров изделий возможен как внутри партии, так и между партиями. Математически это выражается следующим образом. Среднее партии:

$$\mu_{\text{batch}} \sim N(\mu_{\text{process}}, \sigma_{\text{within\_batch}}^2).$$

\* Термин «статистически контролируемый процесс» означает поддержание стабильности математического ожидания и дисперсии его контролируемого параметра. Процесс выходит из-под контроля в случаях, когда происходит сдвиг математического ожидания в ту или иную сторону или при изменении (обычно увеличении, что также нежелательно) его дисперсии. Если сдвиг среднего шестисигмового процесса находится в пределах  $\pm 1,5\sigma$ , то уровень дефектности продукции на его выходе не превышает 3,4 ppm.

Распределение параметра

$$x \approx N(\mu_{process}, \sigma^2_{within\_batch}) \Rightarrow x \approx N(\mu_{process}, \sigma^2_{within\_batch} + \sigma^2_{betwin\_batch}).$$

Выборочное среднее параметра  $x$  для выборки из партии объемом  $n$  имеет нормальное распределение:

$$\bar{x} \approx N(\mu_{process}, (\sigma^2_{within\_batch}/n) + \sigma^2_{betwin\_batch}).$$

Точное значение дисперсии параметра  $x$ , применяемое для расчета индексов воспроизводимости процессов:

$$\sigma^2 \approx \sigma^2_{within\_batch} + \sigma^2_{betwin\_batch}.$$

Например:

$$C_p = (USL - LSL) / \sqrt[6]{\sigma^2},$$

$$CPU = (USL - \mu_{process}) / \sqrt[3]{\sigma^2},$$

где  $USL$  и  $LSL$  — верхняя и нижняя границы допуска на параметр  $x$ , установленные в технической документации.

Компания Fairchild накопила богатый опыт обращения с данными, имеющими групповые источники вариаций. Для обработки таких данных хорошо подходят известные пакеты программных средств типа SoftGraghics и им подобные. К сожалению, существует не так много литературных источников, анализирующих данную проблему, поэтому очень часто результаты статистической обработки данных без учета наличия нескольких источников вариаций оказываются ошибочными\*. Кроме того, обычно маленькое количество партий не позволяет с достаточной точностью оценить дисперсию между партиями, а если учесть, что количество источников групповых вариаций обычно более двух, то очень часто расчеты контрольных границ и индексов воспроизводимости строятся на основе грубо приближенных оценок среднего и дисперсии.

На заводе уже упоминавшейся компании Fairchild Semiconductor разработаны и применяются методы статистического управления процессами, распределение параметров которых отличается от нормального\*\*. Но пока непонятно, как поступать в случае наличия групповых источников вариаций, когда, например, выборочное среднее для партии следует нормальному распределению, а параметры изделий, входящих в эту партию, имеют, скажем, распределение Вейбулла.

\* Эта проблема подробно рассматривается в книге Левинсона и Тамбелти (Levinson and Tumbelty, 1997) SPC Essentials and Productivity Improvement: A Manufacturing Approach, изданной Американским обществом качества (ASQ Quality Press).

\*\* Если распределение контролируемого параметра аппроксимируется одномерным гамма-распределением или распределением Вейбулла, то центральная линия контрольной карты для него соответствует медиане распределения (квантиль, соответствующий 50% вероятности). Верхняя контрольная граница карты соответствует квантили порядка 0,99865, т. е. той же квантили нормального распределения, которая соответствует среднему плюс три сигмы, используемой в качестве верхней контрольной границы карт Шухарта. Аналогично нижняя контрольная граница карты соответствует квантили распределения порядка 0,00135. Индексы воспроизводимости процесса выводятся из долей распределения, находящихся за пределами установленных допусков (Levinson, 2000a).

Наконец, серийное производство существенно усложняет интерпретацию результатов контроля процессов с использованием карт стандартных отклонений или размахов. Выборочная дисперсия, оцененная для одной партии, служит только мерой однородности входящих в эту партию изделий, но *не дает представления о поведении дисперсии процесса в целом*. Возьмем, к примеру, нагревательную печь, температура в которой в процессе термической обработки партии изделий может колебаться в пределах одного градуса. Качество изделий одной партии при этом окажется достаточно однородным. Допустим теперь, что контроллер печи устроен таким образом, что допускает вдвое большие отклонения температуры между последовательными партиями. Контрольная карта для дисперсии, рассматривающая каждую партию как независимую выборку из одной генеральной совокупности, никогда не выявит подобных отклонений до тех пор, пока не нарушится однородность изделий внутри партии.

Диффузионная печь, изображенная на рис. 6.5, вносит еще большие осложнения. Состав газа или пара, продуваемого через печь для окисления кремниевых платин, не остается постоянным по длине трубы, меняясь от ее начала к концу. В результате возникают систематические отклонения дисперсии параметров обрабатываемых кремниевых пластин в зависимости от их положения внутри печи, что порождает многомерное нормальное распределение их параметров (рис 6.9)\*. Современные методы статистического управления процессами рекомендуют применять в подобных случаях  $T^2$ -карты, предложенные Хотеллингом. Вопросы расчета индексов воспроизводимости подобных процессов пока еще остаются предметом обсуждения в журналах по прикладной статистике.

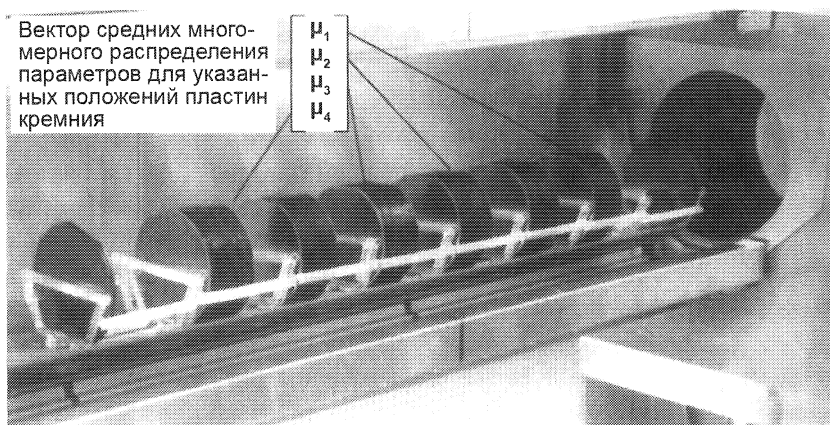


Рис. 6.9. Формирование многомерного распределения при обработке деталей партиями  
Источник: Levinson, *Leading the Way to Competitive Excellence*. Milwaukee: ASQ Quality Press, 1998

\* Экспериментальные данные подтверждают высказанную гипотезу о многомерности нормального распределения параметров изделий, обрабатываемых с использованием данного процесса, которое характеризуется вектором средних для различных сечений трубы и ковариационной матрицей.

В разделе было показано, каким образом изготовление деталей партиями и связанные с ним очереди внутри процесса увеличивают продолжительность производственного цикла, усложняют применение методов статистического управления процессами и даже в некоторых случаях служат источниками дополнительных вариаций параметров изделий между партиями помимо дисперсии, связанной непосредственно с процессами их изготовления. Следующий раздел посвящен управлению производственными системами, организованными с использованием принципов канбан и «точно вовремя», которые помогают избежать накопления запасов незавершенной продукции внутри процесса, но не способны полностью преодолеть органические недостатки серийного производства.

### ПРИНЦИПЫ КАНБАН И «ТОЧНО ВОВРЕМЯ» (JIT)

В результате применения принципов канбан, JIT и методов синхронизированного поточного производства (SFM), рассматриваемых в следующей главе, создаются производственные системы, основанные на спросе (вытягивающая система — pull systems). Особенностью таких систем является то, что запросы на исходные сырье, материалы и заготовки поступают только при возникновении спроса на них, т. е. когда высвобождаются мощности для их переработки на очередном рабочем посту производственной линии. Таким образом, действуют производственные системы, в которых реализованы принципы канбан, JIT и SFM. На практике в таких системах всегда должен существовать запас материалов, или буфер перед ограничивающей операцией, которая всегда должна быть загружена полностью, но никаких других запасов незавершенного производства быть не должно. По-другому работают системы, основанные на предложении («выталкивающая» система, push systems), где очередная порция исходных материалов запускается в производство в ответ на поступление заказа или в соответствии с прогнозами спроса на продукцию. Такие системы можно уподобить изображенному на рис. 6.10 боа-констриктору (змея семейства удавов), проглатывающему пищу впрок и неспешно ее переваривающему.

Подобно удаву, проглотившему слишком крупную добычу, системы, основанные

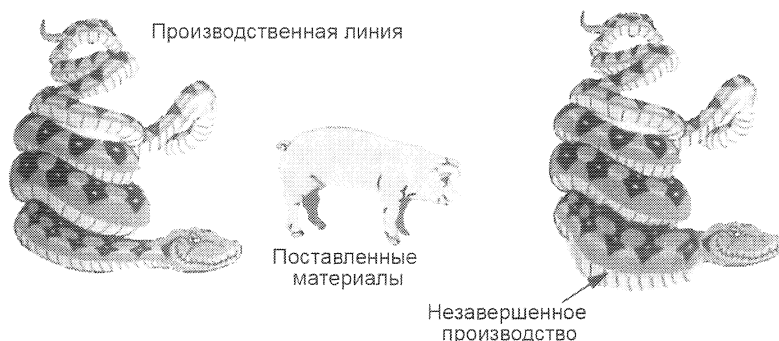


Рис. 6.10. «Выталкивающая» производственная система

на предложении, также могут испытывать серьезные «расстройства пищеварения». Как утверждали Голдратт и Кокс (Goldratt and Cox, 1992), необходимость срочного «проталкивания» заказа через подобную систему, чтобы выполнить его в назначенный срок, приводит к еще большему ее закупориванию и задержкам с исполнением остальных заказов. Показанное на рис. 6.10 утолщение на теле змеи иллюстрирует подобную закупорку системы большими объемами незавершенного производства, которое требуется протолкнуть через нее, что занимает немало времени. Удав, проглотив добычу, потом спит неделями и месяцами, переваривая ее, но предприятие не может себе этого позволить. Системы, организованные по принципу «точно вовремя», и особенно единичное поточное производство обеспечивают непрерывное, плавное движение перерабатываемых материалов по производственной линии, не допуская возникновения эффекта «удава, переваривающего добычу».

### Канбан

Термин «канбан» в переводе с японского обозначает карточку, с помощью которой рабочий пост заказывает очередную порцию требуемых ей заготовок или деталей. Когда этот рабочий пост освобождается, или, продолжая аналогию с удавом, «испытывает голод», он отправляет такие карточки назад по производственной линии, запрашивая требуемое количество исходных материалов. При наличии компьютеризированной системы управления производством такие запросы формируются автоматически. Заменителем карточек может служить также флажок, прикрепляемый к одному или двум контейнерам или поддонам с заготовками. До тех пор пока остальные контейнеры или поддоны прикрывают флажок, делая его невидимым предыдущим рабочим постам, они не приступают к изготовлению следующей порции заготовок. Когда флажок оказывается на поверхности, это означает, что запас заготовок подходит к концу, и работники водружают его в качестве сигнала к началу работы для предыдущих рабочих постов (Heizer and Render, 1991).

Тайити Оно в своей книге (1988) перечисляет следующие основные правила системы канбан.

1. Канбан — «вытягивающий» заказ на поставку материалов или выполнение некоторой работы.
2. Никто не имеет права изготавливать детали без получения соответствующего заказа на них. Это означает невозможность изготовления чего-либо без необходимости.
3. Карточка канбан должна прикрепляться к каждой детали или партии деталей.
4. Во всех деталях, изготовленных по такому заказу, должны отсутствовать дефекты.
5. Сокращение количества канбан способствует совершенствованию производства.

В системах канбан производство организовано малыми партиями, требующими для изготовления считанных часов работы оборудования и частых его переналадок. Необходимость частых переналадок служит сдерживающим фактором для организа-

ции мелкосерийного или единичного производства. Голдратт и Кокс в книге «Цель» пишут о том, что в таких условиях предприятию часто приходится выбирать, следует ли ему отложить выполнение срочной работы, чтобы сохранить настройки оборудования, нацеленные на выполнение предыдущего, менее важного заказа. Внедрению принципа «точно вовремя» способствует применение систем быстрой переналадки оборудования SMED.

Между системами канбан и SFM имеется всего одно небольшое различие. В синхронизированной производственной системе операция, являющаяся ограничением всего процесса, имеет право на отправку большего количества заказов по сравнению с остальными. Только перед этой операцией допускается образование резервного запаса материалов, необходимого для того, чтобы избежать ее простоев.

### Пример ранней системы, основанной на спросе

Как следует из приведенного ниже примера, управление производством, основанное на спросе, было известно и применялось еще в самом начале XX в.

«Один крупный кузнечный цех очень грамотно подошел к решению проблемы подачи заготовок, обеспечив отсутствие простоев кузнецов без дела, расположив около каждой механической ножницы или каждого отрезного прессы специальную кнопку, соединенную с индикатором в управлении цехом. За несколько минут до окончания переработки очередной партии материалов оператор ножниц или прессы нажимает эту кнопку, уведомляя мастера о том, что, например, ножницы № 12 скоро освободятся для обработки следующей партии. Увидев сигнал, мастер нажимает другую кнопку, вызывая рабочего, отвечающего за доставку материалов со склада металлопроката, и вручает тому заказ-наряд на доставку партии материалов к ножницам № 12 в кратчайший срок, чтобы не допустить их простоя без дела в ожидании работы» (The System Company, 1911a).

В описанном примере на складе металлопроката всегда имелся определенный запас стального прутка, но система обеспечивала доставку прутков на переработку по принципу «точно вовремя». Эта система очень напоминает канбан, лишь с тем отличием, что рабочий уведомлял о своей потребности в новой порции заготовок с помощью электрического сигнала, заменявшего собой карточки канбан.

### Изготовление продукции малыми партиями способствует повышению качества и производительности

Изготовление продукции крупными партиями и большие запасы скрывают многие производственные проблемы. Доказывая это положение, Хайзер и Рендер (Heizer and Render, 1991) используют аналогию с водяным потоком, глубина которого символизирует объемы запасов, а камни и пороги, препятствующие его плавному течению, — проблемы качества. Проблемы, связанные с недостаточной производительностью отдельных операций, подобны запруде, перегораживающей поток, которая, повышая уровень воды, скрывает подводные камни. Сокращение

объемов запасов обнажает верхушки камней, позволяя убирать самые крупные из них. Течение потока становится плавным, и обнажаются новые, более мелкие препятствия на его пути. Непрерывное совершенствование процесса продолжается до тех пор, пока в идеале не будут убраны все камни и пороги.

Основной принцип управления процессами с обратными связями гласит, что длина петель обратной связи должна быть по возможности минимальной, а любые задержки в передаче информации по ним должны быть устранены. Накопление запасов внутри процесса увеличивает время прохождения сигналов по каналам обратной связи, поскольку замедляет время достижения изделиями той операции, на которой могут быть выявлены присутствующие в них дефекты. Идеальным подходом к поиску дефектов изделий могла бы служить самопроверка продукции на каждой операции, но такой контроль не всегда возможен в связи с физическими особенностями изготавливаемой продукции. Например, при производстве полупроводниковых приборов многие электрические цепи в них не могут быть проверены до тех пор, пока их изготовление не будет завершено полностью.

Компания Western Electric (1956) настаивает на необходимости повышения быстродействия каналов обратной связи как средства сокращения времени исполнения заказов, мотивируя это следующими соображениями:

1. Любые задержки означают изготовление лишних объемов продукции, не отвечающей установленным требованиям, что ведет к сокращению объемов выхода годных изделий, увеличению объемов производственных отходов и количества изделий, забракованных выходным контролем.
2. Эти задержки могут затруднять выявление причин возникающих дефектов, а порой совсем не позволяют их выявить. Аксиомой контроля качества является то, что причину любого дефекта можно выявить только в течение того промежутка времени, пока она еще продолжает действовать.

Сузаки (Suzaki, 1987) доказал, что уменьшение объемов партий продукции также способствует совершенствованию коммуникаций внутри предприятия. Избыточные запасы разъединяют рабочие посты и занятых на них работников, которые просто берут очередную заготовку из груды запасов перед постом и, обработав ее, помещают в такую же грудку деталей на выходе, практически не общаясь с соседями. Если же работник изготавливает такое количество деталей, которое требуется его коллеге на следующем посту (потребителю его продукции), им приходится чаще контактировать между собой, что также способствует скорейшему выявлению возникающих дефектов.

В разделе, посвященном системе 5S-CANDO, рассказывалось, как важно поддерживать чистоту и порядок на рабочих местах, поскольку, например, на грязном оборудовании намного сложнее заметить вовремя проблемы вроде подтекания масла и других рабочих жидкостей. Точно так же большие запасы незавершенной продукции способны скрывать проблемы качества и производительности, что исключается при создании бережливого производства. В мелкосерийном и

единичном поточном производствах невозможно скрыть подобные проблемы. Кроме того, как уже говорилось, единичное производство намного упрощает применение методов статистического управления процессами.

### Сокращение запасов и повышение качества при изготовлении полупроводниковых приборов

При изготовлении полупроводниковых приборов часто возникают описанные выше проблемы, поскольку применяемое в производственных процессах оборудование изначально было ориентировано на обработку заготовок партиями. Хотя в этих процессах также применяется большое количество оборудования, рассчитанного на единичную поточную обработку кремниевых пластин, тем не менее наличие в процессе хотя бы одной установки, предназначенной для обработки партий пластин, неизбежно приводит к возникновению очередей и запасов незавершенного производства внутри процесса. На заводе полупроводниковых приборов компании Fairchild (г. Маунтинтоп) удалось справиться с этой проблемой посредством создания синхронизированного поточного производства, в котором выполнение предшествующей работы не начинается до поступления заказа на ее продукцию со стороны операции, служащей ограничением всего процесса.

В полупроводниковом производстве очень важно не допускать скопления заготовок в начале выполнения очередной операции. Шенбергер (Shonberger, 1986) подчеркивает, что такие задержки создают предпосылки для повреждения заготовок механическими и химическими загрязнениями или разрядами статистического электричества. Поддержание чистоты в производственных помещениях при изготовлении полупроводниковых приборов значительно сокращает их загрязнение посторонними примесями, но не устраняет эту проблему полностью. Чем меньше времени кремниевая пластина пребывает в уязвимом состоянии, пока не будет изъята из держателя для нанесения на нее окончательного защитного покрытия, предупреждающего попадание в прибор пыли и посторонних примесей, тем меньше вероятность возникновения дефектов. То же самое справедливо в отношении любых изделий, в процессе временного хранения которых возможны повреждения и ухудшения их характеристик, например, в отношении скоропортящихся продуктов.

Опыт химической промышленности показывает, что непрерывные производственные процессы обладают повышенной контролепригодностью. В данной главе говорится о целесообразности приближения дискретных производственных процессов, применяемых в машиностроении и приборостроении, к непрерывным химическим процессам. Изготовление продукции партиями увеличивает продолжительность производственного цикла и размеры незавершенного производства, затрудняет применение методов статистического управления процессами. В следующей главе будет описано синхронизированное поточное производство (SFM) — проверенный подход к решению названных проблем, который нашел применение при управлении производством на упомянутом заводе компании Fairchild Semiconductor.



## ГЛАВА 7

### **СИНХРОНИЗИРОВАННОЕ ПОТОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО**

Внедрение на заводе компании Fairchild Semiconductor (г. Маунтинтоп) в 1991 г. синхронизированного поточного производства (SFM) наглядно продемонстрировало все его преимущества. За шесть месяцев применения этого подхода, основанного на теории ограничений, удалось сократить запасы незавершенного производства на 42% и повысить производительность завода на 28%. Таким образом, только за счет изменения принципов управления производством без дополнительных капитальных затрат эффективность предприятия повысилась более чем на одну четверть. Этот завод, относившийся ранее к числу убыточных предприятий корпорации Harris Corporation, ныне вышел в лидеры по своей доходности (Murphy and Saxena, 1997). В данной главе описываются основные принципы SFM, а также опыт их применения на заводе в г. Маунтинтопе.

#### ЧТО ТАКОЕ SFM?

Голдратт определяет синхронизированное поточное производство (SFM) как «любой систематизированный подход, направленный на быстрое и плавное продвижение материалов через различные производственные ресурсы предприятия в гармонии с рыночными требованиями на его продукцию». SFM предусматривает создание страховочного запаса материалов (буфера) перед так называемым *ресурсом, ограничивающим производственную мощность предприятия (CCR)*, или перед операцией, оказывающей существенное влияние на производительность всего производственного процесса, возникновение любых проблем, способных отрицательным образом повлиять на его текущую производительность. Создание буферов только на таких стратегически важных операциях противоречит традиционным представлениям об устройстве производственных процессов. Вместо того чтобы формировать подобные резервные запасы материалов на всех операциях, придерживаясь закона Мерфи, согласно которому «если неприятность где-то может случиться, то она обязательно произойдет», SFM требует наличия таких буферов только на операциях, способных реально повлиять на итоговую производительность всей производственной системы.

## Синхронизация процессов: немного истории

Синхронизация действий означает их строгое согласование по срокам и координированное выполнение. В юности Форд часто занимался тем, что разбирал и собирал заново часы, которые после этого продолжали ходить. Из этого занятия он почерпнул для себя важный урок, поняв, по словам Гурли (Gourly, 1997), что «...время, подобно любому механизму, можно разобрать на составляющие и сложить их обратно».

«Внутри часового механизма находится заводная пружина, которая, медленно раскручиваясь, приводит в движение колесики часов. Часовое колесо совершает один оборот в час, а минутное колесо вращается быстрее, делая по шестьдесят оборотов каждый час. Генри понял, что его завод должен быть устроен по такому же принципу.

...Скорости выполнения всех работ нужно тщательно синхронизировать, чтобы сборочный конвейер двигался не быстрее и не медленнее, чем необходимо. Например, при установке агрегатов шасси конвейер должен двигаться со скоростью 6 футов (2 м) в минуту, но во время затяжки рабочими болтов, крепящих переднюю ось на шасси, скорость конвейера может быть большей, составляя 15 футов (4,5 м) в мин. Во многом это напоминает настройку часового механизма, и Генри удалось создать гигантские работающие часы» (Gourly, 1987).

Сузаки (Suzaki, 1987) пишет:

«В музыке ритм заставляет весь оркестр синхронизировать свое звучание, подчиняясь задающим его взмахам дирижерской палочки. Точно так же продолжительность производственного цикла регулирует плавность и непрерывность потока товаров, движущихся по производственной линии. Недаром японцы часто обозначают продолжительность этого цикла европейским термином «время такта», подчеркивая его ритмизирующую по отношению к производственному процессу природу».

Описывая муштровку солдат при обучении их заряжать ружья и стрелять залпами, фон Штройбер в своей книге *Regulations for the Order and Discipline of the Troops of the United States (1779)*\* подчеркивает необходимость того, чтобы каждый солдат с точностью до секунды отсчитывал время, отводимое на каждый прием обращения с оружием. Стрельба залпами немыслима, если все солдаты будут двигаться с разными скоростями. Барабанный бой задает ритм, позволяющий войскам двигаться ровными шеренгами. В отсутствие подобной синхронизации отдельные солдаты будут забегать вперед, а другие — отставать, ломая стройность шеренг. Этот пример перекликается с описанным в книге «Цель» Голдратта и Кокса случаем похода отряда скаутов, передвигающихся цепочкой, когда члены отряда переднего фланга убегают далеко вперед, в то время как тяжело нагруженный скаут,двигающийся медленнее всех (ограничение), задерживает движение членов отряда, идущих позади него. Концепция «времени такта» сравнима с приведенными примерами.

\* «Наставления по поддержанию порядка и дисциплины в войсках Соединенных Штатов».

Несложно заметить наличие аналогий между работой часового механизма, синхронизацией и системой управления производством, обозначаемой Голдратом и Коксом термином «барабан-буфер-веревка» (drum-buffer-rope). Синхронизация системы означает, что все ее элементы работают в согласованном ритме, не допуская заторов (запасов незавершенного производства) и остановок из-за отсутствия материалов.

### Три системы организации производства: фордовская, канбан и SFM

Настало время сравнить оригинальную систему управления производством, созданную Фордом, с базирующейся на ней системой, существующей в компании Toyota, а также с системами синхронизированного поточного производства. Система Toyota служит типовым примером систем, основанных на спросе, в которых карточки канбан или другие подобные средства служат сигналами для поступления на данную операцию заготовок с предыдущей. Система SFM применяет подобный прием «вытягивания» только на ограничивающей процесс операции, которая с помощью сигнальной «веревки» запускает предыдущие операции.

Сборочные конвейеры на заводах Форда нельзя однозначно назвать системами, основанными на спросе, но они также не были системами, базирующимися на «выталкивании» в буквальном смысле этого термина. Скорее всего, предприятия Форда следует назвать сбалансированными, так как на них производительность всех операций поддерживается примерно одинаковой. Эти операции были спланированы таким образом, чтобы рабочему было предоставлено не больше, но и не меньше того времени, которое необходимо для выполнения порученной работы. Если, например, удавалось сократить время выполнения некоторой операции с 200 до 100 с, то скорость сборочного конвейера на таких операциях, соответственно, удваивалась. Если такое ускорение касалось первой операции, то скорость конвейера, безусловно, оставалась прежней, поскольку ее удвоение приводило бы к выполнению последующих операций удвоенным количеством заготовок.

Было бы очень полезно более тщательно изучить фордовскую систему организации производства, поскольку, согласно модели со спичками и игральными костями, описанной в книге «Цель» Голдратта и Кокса, подобные системы в принципе неработоспособны. Необходимо понять, как этой системе удавалось достаточно эффективно функционировать, невзирая на все теоретические рассуждения относительно ее неработоспособности. Голдратт и Кокс утверждали, что система со сбалансированными по производительности операциями непредсказуема, поскольку случайные колебания скорости выполнения отдельных операций создают излишки запасов незавершенной продукции между ними, которые тормозят скорость всего процесса. Если, допустим, теоретическая продолжительность всех операций составляет 100 единиц продукции в час, то крайне редко удастся обеспечить подобную производительность предприятия в целом. Случайное замедление темпов выполнения одной операции останавливает

производственный процесс на последующих операциях (если только перед ними нет соответствующих резервных запасов заготовок), причем система не способна компенсировать возникший дефицит.

В своих книгах Форд не пишет о том, что происходит на его предприятиях в случаях задержки выполнения операции, поломки станка или его остановки для проведения обслуживания. Имелся ли уже запас заготовок перед этой операцией и продолжает ли он накапливаться в связи с тем, что предшествующие операции не перестают выполняться? Голдратт настаивает на том, что подобные системы не в состоянии работать должным образом, но на самом деле производство на фордовских заводах эффективно функционировало. Вероятно, это объясняется перечисленными ниже причинами, и читатели могут воспользоваться опытом Форда при организации производства на собственных предприятиях.

- Была отлажена система непрерывного профилактического обслуживания оборудования, и даже самые незначительные его остановки никогда не считались не заслуживающими внимания — всегда устранялись их причины. Как говорилось в разделе главы, посвященном всеобщему техническому обслуживанию производственного оборудования, Гарднер и Нэппи из National Semiconductor (2001) заново открыли этот подход.
- Автоматизация и разделение работ на мелкие операции, вероятно, снижают вариации продолжительности их выполнения, значительно ослабляя эффект «ждать и догонять», возникающий в нестабильных производственных процессах.

Напомним, что, как следует из уравнения 4.1 на с. 93, вариации продолжительности выполнения операций и параметров входящих потоков материалов служат основными движущими силами, порождающими увеличение объемов незавершенного производства внутри процесса. Теоретически сведение этих вариаций к нулю обеспечивает использование производственного оборудования с полной загрузкой без образования запасов материалов между операциями. Фордовская система была отлажена, как часовой механизм, что лишний раз подчеркивает важность современной концепции тактового времени. Механизация выполнения работ и исключение человеческого фактора, служащего главным источником вариаций времени выполнения операций, безусловно, могут способствовать доведению коэффициентов технического использования оборудования до значений, близких к единице.

Напомним также, что рабочие на заводе River Rouge *имели право остановить конвейер в случаях, когда его скорость была для них слишком велика, или при возникновении любых неисправностей*, т. е. обладали теми полномочиями, которые стали обычными на современных японских предприятиях. Одна из задач, решению которых посвящена данная книга, состоит также в доведении производственных процессов до предельного уровня производительности, при котором

обнажаются проблемы, обычно скрытые излишним количеством рабочей силы или запасами материалов внутри них. Согласно Шенбергеру (Schonberger, 1982), на японских предприятиях этого добиваются, удаляя с производства лишних рабочих или уменьшая число карточек канбан (и, соответственно, объемы резервных запасов незавершенного производства). Аналогичные результаты на заводе River Rouge достигались путем увеличения скорости конвейера до тех пор, пока не раздавались предупреждающие сигналы.

Наконец, сборочная линия на заводе Форда представляла собой не единственную цепочку последовательных операций, а скорее совокупность параллельных цепочек. Вероятно, наилучшей моделью, описывающей процесс сборки автомобиля модели Т, может служить аналогия с образованием рек, когда множество тонких ручейков исходных материалов и комплектующих изделий, сливаясь между собой, образуют потоки узлов и агрегатов, объединение которых, в свою очередь, формирует полноводный поток готовой продукции. Параллельная сборка, вероятно, является наилучшим способом организации производства любых изделий (рис. 7.1). Такой подход также является предпочтительным для синтеза сложных химических продуктов, а главный недостаток современных технологий производства полупроводниковых приборов заключается в невозможности разбивки всего производственного процесса на параллельные цепочки операций.

Сравним теперь фордовскую систему с системами канбан и SFM. Как уже говорилось, система канбан представляет собой систему, основанную на спросе, в которой каждая последующая операция регулирует («вытягивает») предыдущую. Работы на предшествующей станции не начинают, пока не поступит карточка канбан с последующей или пока рабочие, занятые на этой станции, не обнаружат, что опустела площадка канбан, где на последующей станции хранятся потребляемые ею материалы.

В синхронизированном поточном производстве темп, в котором запускаются все остальные операции, задает операция, служащая ограничением всего процесса. Остальные операции могут при этом выполняться в собственном темпе, не дожидаясь сигналов от последующих рабочих станций. Внутри процесса не происходит



Рис 7.1. Преимущества параллельной сборки (или параллельного химического синтеза)

накопления запасов материалов, потому что его темп задает ограничивающая операция. В результате можно сделать следующие выводы:

1. Система Форда не являлась системой «вытягивания» в буквальном смысле этого понятия. Темп, в котором начиналось изготовление деталей, тем не менее диктовался скоростью сборочного конвейера. Вероятно, идея поддержания времени такта или скорости изготовления деталей играла определенную роль. Проведение профилактического обслуживания оборудования, разбиение работ на элементарные операции и настойчивые действия по исключению человеческого фактора как источника вариаций продолжительности выполнения отдельных операций, очевидно, служили эффективными средствами борьбы с вариациями продолжительности операций и их отрицательными последствиями.
2. В системе канбан каждая последующая операция «вытягивает» необходимые для ее выполнения материалы и детали из непосредственно предшествующих ей операций. Рабочие имеют право останавливать всю производственную линию при обнаружении любых неполадок. Это не позволяет бракованным изделиям проникать дальше, на последующие операции, выполнение которых также приостанавливается. Если предшествующие рабочие станции продолжают работать, то это приводит к увеличению запаса заготовок перед той операцией, на которой произошла остановка.
3. В синхронизированном поточном производстве его темп задается ограничивающей операцией. SFM обладает следующими двумя важными преимуществами перед системой канбан:
  - эта система проще в управлении, поскольку в ней присутствует всего одна связь — между ограничением и моментом запуска всего процесса;
  - наличие буфера перед ограничивающей операцией позволяет продолжать ее выполнение независимо от остановок на предшествующих операциях. Благодаря этому производительность всего процесса не снижается, как в системах канбан.

Сравнение систем SFM с производственной системой, созданной Фордом, демонстрирует возможные способы преодоления препятствий для максимального использования мощностей оборудования. (Заметим, что обеспечение максимальной загрузки всего оборудования не должно быть самоцелью. Оно имеет смысл только для ограничивающей операции.)

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИНХРОНИЗИРОВАННОГО ПОТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Обратимся к рис. 5.1 (с. 137). Производство некоторого продукта требует выполнения трех операций: А, В и С продолжительностью 2, 4 и 3 мин соответственно. Таким образом, операция В служит ограничением всего процесса, позволяя

изготавливать всего 15 изделий в час. Голдратт и Кокс доказали, что в таком случае бессмысленно пытаться сбалансировать мощности отдельных операций. В своей книге на примере модели со спичками и игральными костями они показали, что сбалансированные системы не работают ожидаемым образом в связи со случайными вариациями производительности операций. Как следует из уравнения 4.1 на с. 93, время ожидания в очередях перед операциями быстро увеличивается по мере приближения загрузки оборудования к 100% от номинальной мощности. Единственным способом борьбы с этим неприятным явлением может быть подавление вариаций производительности операций, и фордовская система отлично справлялась с решением этой задачи.

### Устранение CCR в производственных системах посредством управления ограничениями

Если считать главным направлением совершенствования производственных процессов не выравнивание производительностей отдельных операций, а обеспечение ритмичности самого процесса, то управление ограничениями процесса должно осуществляться в следующем порядке, предложенном Голдраттом.

1. Выявление ограничения процесса.
2. Принятие решений в отношении того, как следует обращаться с выявленным ограничением.
3. Подчинение всех остальных действий реализации решений, принятых на этапе 2.
4. Ослабление выявленного ограничения.
5. Если в результате принятых четырех мер удалось поднять производительность ограничивающей операции до уровня, при котором она перестает быть ограничением процесса, то возвращение к этапу 1. (Ни в коем случае не следует допускать сохранения нового ограничения только в результате инерционности мышления.)

Выявление ограничений процесса может представлять достаточно сложную задачу. Если эта задача решена неверно, то обязательно следует выявить действительное ограничение процесса и продолжить действовать по описанной выше схеме. Исходные данные, на основе которых было выявлено существующее ограничение процесса, могут устаревать и терять свою точность по мере того, как мы воздействуем на это ограничение. Изменение уровней запасов внутри процесса или появление узких мест должно привлечь внимание к другим процессам, следствием которых являются эти явления, возникшие в результате уже принятых решений.

В девятой главе, посвященной методам линейного программирования, будет рассказано, каким образом этот мощный инструмент исследования операций применяется для выявления существующих на предприятии ограничений. Его использование предполагает наличие точных данных относительно производственных мощностей всех рабочих постов и времени, которое требуется каждому из

них для изготовления единицы продукции. С помощью линейного программирования можно также показать влияние изменений в номенклатуре выпускаемой продукции на перемещения узких мест в производственных процессах.

### «БАРАБАН-БУФЕР-ВЕРЕВКА»

На рис. 5.1 изображено, что в соответствии с принципами синхронизированного поточного производства операция, выполняемая на станке Б, служит для рассматриваемого процесса ограничением, задающим ритм, в котором заготовки должны поступать на обработку. Образно говоря, операция Б выступает в роли барабана, задающего темп движения шеренги солдат. Если же продолжить аналогию с часовым механизмом, то эта операция служит тем маятником, который диктует скорость вращения всех его шестеренок.

Под «веревкой» понимают ту связь, с помощью которой операция Б запускает весь процесс. Как утверждают Голдратт и Фокс (Goldratt and Fox, 1986), на сборочных линиях Форда эта «веревка» имела вполне материальную природу — в ее качестве выступала лента сборочного конвейера. В производственных системах канбан «веревками» служат информационные связи.

Любые простои на ограничивающей операции из-за отсутствия заготовок в дальнейшем не могут быть компенсированы, и для их предупреждения перед операцией В создают резервный запас заготовок, или буфер. Этот запас материалов является единственным плановым запасом во всем процессе, имеющим своей целью предупредить пребывание станка Б на «голодном пайке». Наличие этого буфера делает ограничивающую операцию независимой от любых отклонений или проблем, возникающих на предшествующих ей операциях. Например, непредвиденные простои или появление неисправимого брака на операции А при наличии буфера не приводит к остановке операции Б. После решения возникших на операции А проблем она благодаря имеющемуся запасу производительности может достаточно быстро пополнить израсходованный буфер перед операцией Б. В теории ограничений запас материалов перед ограничивающей операцией принято называть *внутренним буфером перед ограничением*.

### Применение систем «барабан-буфер-веревка» (DBR)

Выявив ресурсы, ограничивающие производственную мощность предприятия, или ССР, мы получаем возможность бороться с неизбежными флуктуациями\* производственных процессов или ежедневно возникающими неполадками, которые Голдратт классифицирует следующим образом:

\* Авторы книги используют близкие по смыслу термины «флуктуация и вариация». Слово «флуктуации» обычно используется для характеристики случайных отклонений в физике, а «вариации» — в технике (механике). Используя термин «флуктуация», авторы хотели подчеркнуть широкий аспект факторов влияния на результаты производственной деятельности. — *Прим. науч. ред.*



1. *Зависимые события.* Для наступления зависимого события должны предварительно произойти другое, предшествующее ему событие или серия событий.
2. *Статистические флуктуации.* Под ними понимают любые случайные отклонения в исходных данных, препятствующие точному прогнозированию важнейших факторов, влияющих на производственные характеристики предприятия. Ранее уже говорилось о том, каким образом вариации производительности операций могут изменить привычные представления о сбалансированном производстве.

Зависимые события и статистические флуктуации являются неизбежными спутниками повседневной жизни. Система DBR служит не просто одной из разновидностей систем управления производством, но представляет собой процесс его непрерывного совершенствования, нацеливающий все управленческие решения на повышение производительности и управление уровнями запасов предприятия. Концепция, обозначаемая термином «веревка» (gore), заключается в увязке моментов начала производства с производительностью ограничивающей операции. При этом *ни при каких обстоятельствах исполнение нового задания не запускается в производственный процесс просто ради того, чтобы обеспечить постоянную занятость оборудования и рабочей силы.* Напомним, что любая работа представляет собой силу, умноженную на расстояние. Поэтому всякое усилие, не имеющее полезного результата в виде продаж готовой продукции потребителям, объем которых служит показателем производительности, нельзя считать полезной работой. По большому счету такие усилия следует рассматривать как *разрешенную симуляцию полезной деятельности* (рис. 7.2). (Об этом следует всегда помнить тем, кто занимается проведением изменений, направленных на



Рис. 7.2. Различные формы стимуляции деятельности

преодоление сложившихся на предприятии нерациональных систем оценки деятельности подразделений или отдельных работников, например, по уровню загрузки установленного оборудования.) Подобная симуляция означает пустую трату времени на создание запасов продукции, что в лучшем случае ведет к увеличению затрат, а в худшем — означает расход материалов на изготовление продукции, которая никогда не будет реализована.

В реальном производстве системное ограничение может находиться в любой точке процесса, причем очень мало шансов на то, что оно связано с его первым этапом. Признавая этот факт, система DBR предлагает обращаться с ограничениями так, как это показано на рис. 7.3. Системное ограничение, или контрольная точка, диктует, когда очередная заготовка должна поступить в процесс на обработку. Все ограничения, существующие до этой контрольной точки, должны быть выявлены, и производительность соответствующих операций доведена до такого уровня, при котором поддерживается требуемая производительность ограничивающей процесс операции. Контрольная точка служит тем *барабаном*, удары которого задают ритм всей системе и устанавливают уровень производительности производственного процесса в целом.



Рис. 7.3. Система «барабан-буфер-веревка» (DBR)

«Веревка» связывает начальную операцию с производительностью процесса в контрольной точке. Уровень запасов в той части процесса, которая обозначена термином «веревка», определяется производительностью «барабана» и наблюдаемой продолжительностью производственного цикла. Если, например, производительность операции, служащей «барабаном» для всего процесса, составляет 100 изделий в день, а продолжительность производственного цикла равна 10 дням, то «веревка» содержит запас, равный 1000 изделий.

Таким образом, подтверждается ранее высказанное предположение относительно того, что повышение производительности вовсе не обязательно сопровождается сокращением уровня запасов незавершенного производства или продолжительности цикла времени. Применение синхронизированного поточного производства и системы DBR может служить хорошей отправной точкой для сокращения объемов незавершенного производства и зачастую продолжительности времени цикла, ограничивая темпы поступления заготовок на обработку в зависимости от производительности ограничивающей операции. В то же время эти системы не в состоянии преодолеть многие проблемы увеличения продолжительности цикла, обусловленные изготовлением изделий партиями и сопряженными

с ним очередями и длительными переналадками оборудования. Хотя применение специальных приемов, например системы SMED, увеличивает общую производительность процесса только при условии их использования для увеличения производительности ограничивающей операции, такие системы тем не менее полезны для сокращения продолжительности остальных операций и снижения таким образом общих объемов незавершенного производства в процессе.

Система DBR обеспечивает высокую точность контроля уровня запасов на участке процесса от его начала до ограничения («веревка»). *Ни при каких обстоятельствах новая работа не должна начинаться без соответствующего сигнала с выхода ограничивающей операции (контрольной точки).* Не следует вмешиваться в работу системы DBR, и она самостоятельно будет поддерживать минимальный уровень запасов.

Буфер, или тот запас материалов, который предприятие сознательно размещает перед контрольной точкой процесса во избежание его остановок, поддерживает равномерный темп ударов «барабана» (производительность ограничивающей процесс операции или его контрольной точки). Буфер может находиться как непосредственно перед контрольной точкой процесса, так и быть равномерно распределенным по всем предшествующим операциям. Демпфирующую способность буфера устанавливают во время бесперебойной работы производственного процесса и определяют в зависимости от продолжительности производственного цикла от начала процесса до контрольной точки. Например, если требуется создать трехдневный буфер для контрольной точки, установленная производительность которой составляет 100 изделий в день, то его общий объем, буфера, распределенного по предшествующим операциям, должен быть равен 300 изделиям. Размещение этого буфера диктуется наблюдаемыми продолжительностями времени цикла: *чем короче время цикла на операциях, предшествующих контрольной точке, тем меньше может быть допустимый объем буфера.*

### Отгрузочный буфер

Поскольку производительность операции С в рассматриваемом примере выше, чем производительность операции В, то всегда остается возможность наверстать потери времени, допущенные на предшествующей операции. В то же время остановки на операции С могут вызывать временные перерывы с выходом готовой продукции и задержки с ее отгрузкой потребителям. Если соблюдение сроков отгрузки является критичным для предприятия, то ему следует иметь определенный запас готовой продукции на выходе процесса, который принято называть *отгрузочным буфером*. Этот запас обеспечивает бесперебойную отгрузку продукции потребителям при возникновении любых перебоев с выполнением операций, следующих за ограничением. Таким образом, система DBR требует наличия по крайней мере двух буферов — запаса материалов перед ограничивающей операцией и запаса готовой продукции на выходе процесса.

Как и в случае с запасом перед ограничением, отгрузочный буфер может быть распределен между операциями, не являющимися ограничениями для процесса. Высказанное соображение особенно справедливо в случае высокой надежности операций, следующих за ограничением. Если на этих операциях мало вероятны остановки, то изделия, вышедшие с ограничивающей операции, быстро проходят оставшуюся часть процесса. Например, на заводе компании Fairchild Semiconductor поступают именно таким образом, распределяя отгрузочный запас готовой продукции между завершающими операциями.

### Управление резервными запасами

*Управление резервными запасами (буферами)* заключается в подборе и поддержании объемов запасов в буферах, обеспечивающих требуемую пропускную способность всего процесса. Голдратт установил три уровня объема буфера в зависимости от срочности его пополнения — нормальный (ОК), наблюдай и планируй (требующий наблюдения и планового пополнения), действуй (требующий немедленных действий) (рис. 7.4). Такая классификация применима как к буферу, находящемуся внутри процесса перед ограничением, так и к отгрузочным буферам\*.

На схеме, представленной на рис. 7.4, потоки работ направлены справа налево, а ось времени — слева направо. Возможно альтернативное изображение процесса, когда поток изделий движется слева направо, а ось времени направлена в противоположную сторону. До тех пор пока уровень запасов в буфере находится в зоне ОК, он считается приемлемым и не требующим пополнения. При таком объеме буфер способен справляться с естественными вариациями производительности операций. Снижение уровня запасов в буфере, при котором его объем попадает в среднюю зону, служит предупреждением о необходимости разработки плана пополнения буфера, чтобы перевести его в зону ОК. Дальнейшее уменьшение объема буфера до уровня, находящегося в третьей зоне — крайней слева, угрожает нормальному выполнению ограничивающей операции или нарушению сроков отгрузки готовой продукции.

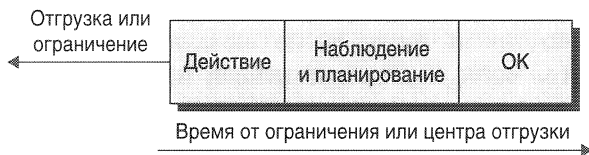


Рис. 7.4. Статус буфера

Голдратт и Фокс (Goldratt and Fox, 1986) обосновывают деление объема буфера на три зоны. Необходимо всегда планировать работу для зоны «действие»,

\* Предполагается, что буфер является распределенным между операциями, предшествующими ограничению или отгрузке. Соответственно, зона ОК находится дальше всего от ограничения, а зона, требующая немедленного пополнения, непосредственно перед ним. — Прим. пер.

которая ближе всего находится к ограничению. В непосредственной близости от ограничивающей операции всегда должен присутствовать некоторый запас, защищающий ее от остановки из-за отсутствия материалов для обработки. Приемлемо или даже желательно, чтобы какая-то часть запасов уходила из зоны ОК, которая находится дальше всего от зоны ограничения. Если буфер всегда наполнен, то предприятие имеет слишком большой запас для обеспечения функционирования без вынужденных остановок операции, ограничивающей процесс.

Пополнение внутреннего буфера перед ограничением может обеспечиваться за счет ускоренного выполнения предшествующих операций. Срочный заказ может быть также проведен через последующие операции в обход всех остальных работ, но потери времени на ограничивающей операции никогда не могут быть компенсированы.

### Планирование производства

Напомним, что запуском на изготовление очередного изделия управляет ограничивающая процесс операция, и органы управления производством не имеют права принудительно корректировать его темпы, проталкивая очередной заказ. Номенклатура изготавливаемой продукции определяется поступившими заказами от потребителей. Когда очередной заказ поступает в производство, органы управления назначают дату его поступления на ограничивающую процесс операцию, исходя из статистических данных о продолжительности производственного цикла (Rerick and Klusewitz, 1996). Правильное планирование сроков поступления заказов на ограничивающую операцию очень важно, поскольку в случаях, когда слишком много изделий поступает на эту операцию с опозданием, соответствующий участок простаивает без дела. Кроме того, заказы могут ожидать своей очереди на исполнение исключительно перед ограничивающей операцией. При этом заказы с ранними плановыми датами исполнения имеют преимущественное право на первоочередное исполнение перед другими заказами.

### График прохождения изделий через буфер перед ограничением

На этом графике, обозначаемом в теории ограничений термином *constraint buffer graph*, отображают число изделий, находящихся в зоне ограничения, и число изделий, находящихся на расстоянии  $n$  дней от зоны ограничения. На нем также указывают количество изделий,двигающихся по производственному процессу в соответствии с графиком, с его опережением или опозданием.

Партии изделий, находящихся в процессе изготовления, также группируют по трем зонам в зависимости от их положения по отношению к ограничивающей операции. Ближайшую к ограничению зону называют зоной экспедирования. Зона экспедирования включает партии, находящиеся на расстоянии одной трети временного пути, ближайшего к зоне ограничения. Партии, попадающие в эту зону с опозданием, способны пробить брешь в буфере перед ограничением и

должны быть экспедированы. Зона наблюдения и планирования включает среднюю треть от зоны ограничений. Работы, выполненные с опозданием, могут создать опасную ситуацию в отношении соблюдения графика, если на последующих операциях произойдут задержки. Самая удаленная от ограничения третья часть является зоной ОК. Потери времени при обработке партий, находящихся в этой зоне, могут быть впоследствии компенсированы, и эти партии, находящиеся на ранних этапах производственного процесса, как правило, не требуют экспедирования. В реальности персонал, занятый в управлении производством, должен беспокоиться только по поводу отстающих от графика партий, находящихся в зоне экспедирования (Rerick and Klusewitz, 1996).

### Управление резервными запасами и система канбан

Схема управления резервными запасами мало чем отличается от системы канбан. Хайзер и Рендер (Heizer and Render, 1991) описывают два возможных подхода к управлению запасами. В первом из них, изображенном на рис. 7.5, не применяют карточки канбан для заказа очередной партии заготовок или деталей. Контейнеры с деталями каждого наименования размещают на полу цеха рядами, причем поперечная линия, нанесенная на полу, обозначает момент заказа следующего контейнера. Положение этой линии зависит от интенсивности расходования соответствующих деталей или заготовок. Например, когда контейнер с деталями W покидает зону хранения и становится видна соответствующая поперечная линия, то это означает необходимость пополнения запаса этих деталей. То же самое происходит, когда зону хранения покинет следующий контейнер с деталями X.

Возможна другая система, при которой контейнеры с одноименными деталями ставят один на другой, т. е. происходит поворот на 90 градусов (рис. 7.5). Эту систему называют «контейнерным хранением заготовок с сигнальными маркерами». Точку заказа в этом случае отмечают флажком, помещаемым на соответствующий контейнер. В рассматриваемом примере этот флажок должен находиться на верхушке второго контейнера с деталями W и третьего контейнера с деталями X. Когда после снятия очередного контейнера флажок становится виден, то это означает необходимость пополнения запаса соответствующих деталей.

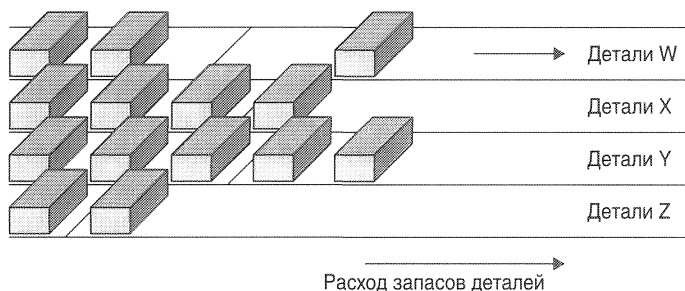


Рис. 7.5. Управление резервными запасами и система канбан

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЯМИ, РЕАЛИЗУЮЩИХ СИСТЕМУ DBR

Программный продукт DBR Constraint Management Tool был создан Голдратом в качестве инструмента планирования на основе теории ограничений резервных запасов в двух точках производственного процесса, а именно резервных запасов перед ограничением и отгрузочных буферов. Этот программный продукт позволяет решить две основные задачи.

1. Поддержание заданной производительности производственного процесса посредством регулирования резервного запаса перед ограничением, обеспечивающего отсутствие простоев при выполнении ограничивающей процесс операции.
2. Определение очередности выполнения отдельных заказов, обеспечивающей своевременную поставку заказанной продукции потребителям. Операторы производственного процесса имеют возможность видеть на экране компьютера дату исполнения заказа, относящуюся к каждой партии изделий.

Как отмечалось выше, теория ограничений исходит из предпосылки, что в производственном процессе должно быть единственное ограничение, определяющее его производительность. Таким образом, надлежащее управление этим единственным ограничением дает немедленный эффект, положительно влияя на эффективность производственной системы в целом. Выделение в общем потоке производимой продукции двух резервных запасов — буферов — может служить средством управления ограничением.

Выше уже говорилось, что наличие буфера перед ограничением предупреждает остановки ограничивающей операции в связи с возможными задержками на предшествующих операциях. Второй буфер принято называть *отгрузочным*. Оба буфера являются распределенными. При этом буфер перед ограничением включает весь запас незавершенной продукции, находящийся перед всеми предшествующими операциями и непосредственно перед ограничивающей, а отгрузочный буфер — весь запас, распределенный между последующими операциями до конца производственного процесса. Управляя уровнями запасов в обоих буферах, можно оптимизировать производительность ограничивающей операции и добиться ритмичной, бесперебойной работы всего производственного процесса, приносящего прибыли предприятию и обеспечивающего выполнение требований в отношении своевременной отгрузки готовой продукции потребителям. DBR Constraint Management Tool служит средством, помогающим менеджерам управлять запасами незавершенной продукции и движением изделий по производственному процессу, оптимизировать производительность ограничивающей операции и процесса в целом.

Программа DBR Constraint Management Tool разделяет производственный поток на две части — до и после ограничивающей операции, а затем приме-

няет алгоритм диспетчеризации с учетом приоритетности заказов ко всем партиям продукции, находящимся в процессе изготовления. Этот алгоритм прилагается как к конечной точке процесса, так и к его ограничению. Этим данная программа отличается от традиционных алгоритмов диспетчеризации с приоритетами, которую начинают с конца производственного процесса. В результате каждая партия изделий приобретает два ранжирующих признака, первый из которых определяет порядок достижения партиями продукции конечной точки процесса, а второй — очередность, с которой каждая партия должна достигать контрольной точки процесса. В результате достигается лучшая управляемость поступлением партий изделий на ограничивающую операцию, обеспечивающая ее постоянную загрузку. Тем самым устраняются отмечавшиеся выше скрытые издержки упущенных возможностей, обусловленные простоями участка, на котором должна выполняться ограничивающая операция. Поддержание постоянной загрузки ограничивающей операции приносит предприятию существенные выгоды за счет повышения общей производительности производственного процесса и более совершенного управления сроками отгрузки готовой продукции потребителям.

В DBR Constraint Management Tool для отображения состояния буфера перед ограничением и отгрузочного буфера применен графический пользовательский интерфейс (GUI), применяемый в программном пакете PowerBuilder. Интерфейс графически отображает положение запасов незавершенного производства по отношению к контрольной точке процесса, используя для этого данные, получаемые из программы управления производственными потоками Workstream и хранящиеся в таблицах СУБД Oracle. При этом с помощью разноцветных столбиков показано, какие изделия поступают на каждую операцию производственного процесса в установленный срок, с опережением или опозданием, что позволяет пользователю быстро определять текущее состояние интересующей его партии изделий. Приоритетность изготовления каждой партии зависит от ее положения по отношению к ограничению. Благодаря графическому представлению запасов незавершенной продукции внутри процесса, двойной классификации партий продукции по приоритетности их прохождения через процесс и возможности быстрого нахождения интересующей партии для определения ее текущего положения в процессе DBR Constraint Management Tool следует считать уникальным и очень полезным для оперативного управления производством программным продуктом.

DBR Constraint Management Tool отображает две так называемые штабельные диаграммы\*, на которых составными столбиками представлено состояние буфера перед ограничением и отгрузочного буфера на каждый день, отсчитываемый от ограничения или от конца процесса (рис. 7.6 и 7.7). Любой из столбиков со-

\* Разновидность столбиковой диаграммы, состоящей из составных столбиков. — Прим. пер.



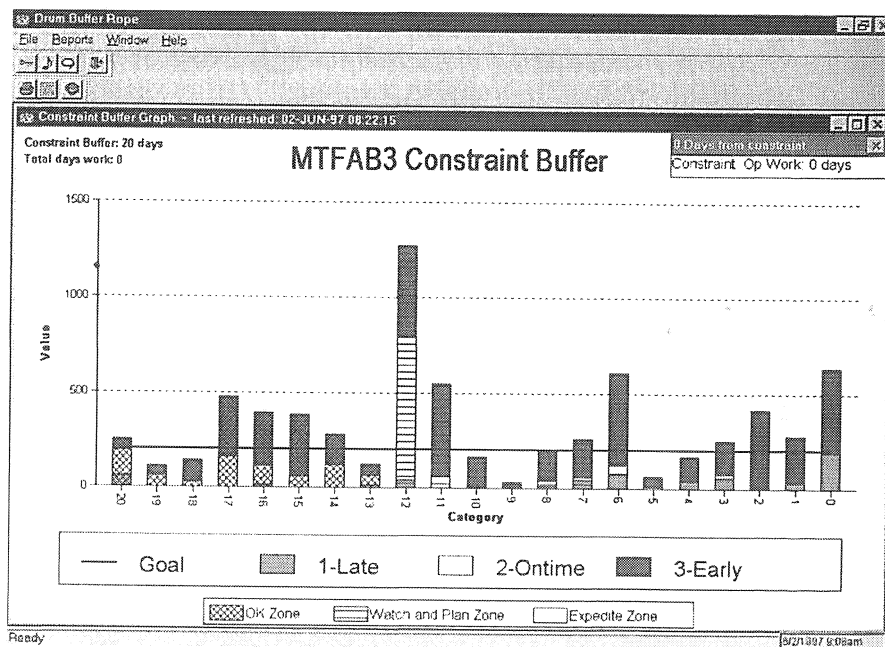


Рис. 7.6. Окно DBR, отражающее состояние буфера перед ограничением

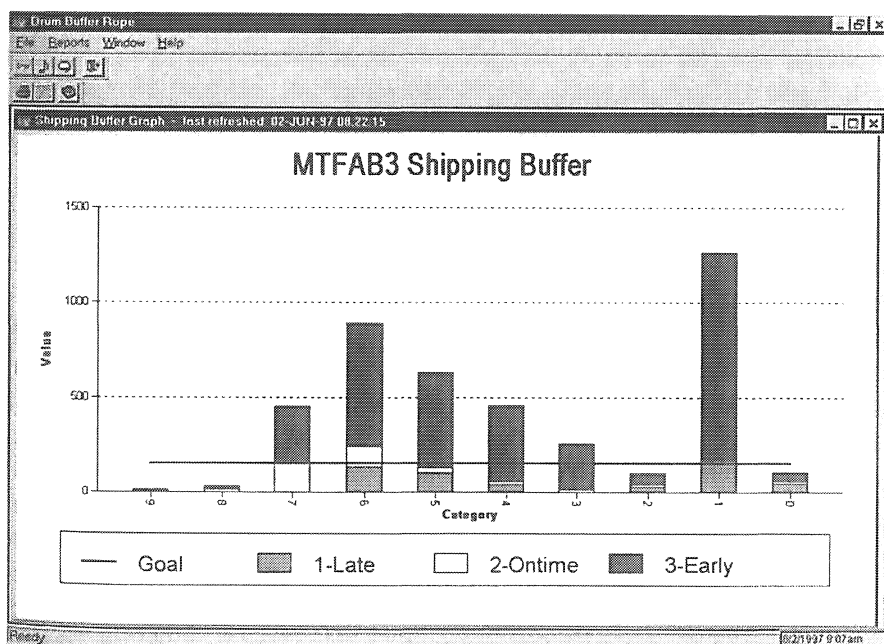


Рис. 7.7. Окно DBR, отражающее состояние отгрузочного буфера

ответствует общему количеству изделий, находящихся в каждой точке процесса, удаленной на определенное число дней от известной ограничивающей операции или от конца потока. Это расстояние программа вычисляет на основании прогнозируемых продолжительностей времени циклов всех операций, из которых состоит данный процесс.

Все изделия, находящиеся перед ограничивающей операцией, образуют соответствующий буфер, штабельная диаграмма которого (рис. 7.6) отображает количество изделий, находящихся в производственном потоке на удалении определенного числа дней от его ограничения. Это расстояние может колебаться в пределах от 20 до 0 дней, причем интервал от 20 до 13 дней считается зоной ОК, интервал от 12 до 7 дней — зоной, требующей внимания и планирования пополнения запаса, а интервал от 6 до 0 дней — зоной, требующей немедленного реагирования.

Каждые столбики диаграммы разбиты на три части, окрашенные в разные цвета, каждая из которых отражает приоритетность обработки включенных в нее изделий, определенную с помощью алгоритма диспетчеризации. Красным цветом обозначено количество изделий, отстающих от установленного графиком срока поступления на ограничивающую операцию, зеленым — количество изделий,двигающихся по графику, а синим — количество изделий, опережающих график поступления на ограничивающую операцию. Цель управления процессом заключается в том, чтобы свести к минимуму красные части каждого столбика, обеспечивая тем самым соблюдение графика прихода изделий на ограничивающую операцию. Кроме того, буфер перед ограничением разбит на три зоны: ОК, наблюдение и планирование, экспедирование (действие), которые обозначены соответствующей штриховкой столбиков. Зона экспедирования охватывает все изделия, находящиеся на расстоянии шести дней от ограничения, и ее появление на соответствующем столбике диаграммы указывает оператору на необходимость принятия незамедлительных мер против попадания изделий в красную часть столбика.

Окно, отображающее штабельную диаграмму, соответствующую отгрузочному буферу, устроено аналогичным образом с тем отличием, что положение каждого столбика определяется количеством дней, отсчитываемых от окончания процесса в целом. Разными цветами обозначены количества изделий, изготавливаемых по графику отгрузки потребителям, с его опережением или опозданием.

Обе диаграммы (рис. 7.6 и 7.7) позволяют пользователю получить более подробные сведения о каждой партии изделий, входящих в число отображаемых разными столбиками. Для этого достаточно дважды щелкнуть мышью по соответствующему столбику, чтобы окно приобрело вид, показанный на рис. 7.8. Отображаемая в таком окне информация позволяет операторам быстро перераспределить партии изделий в соответствии с очередностью их изготовления и

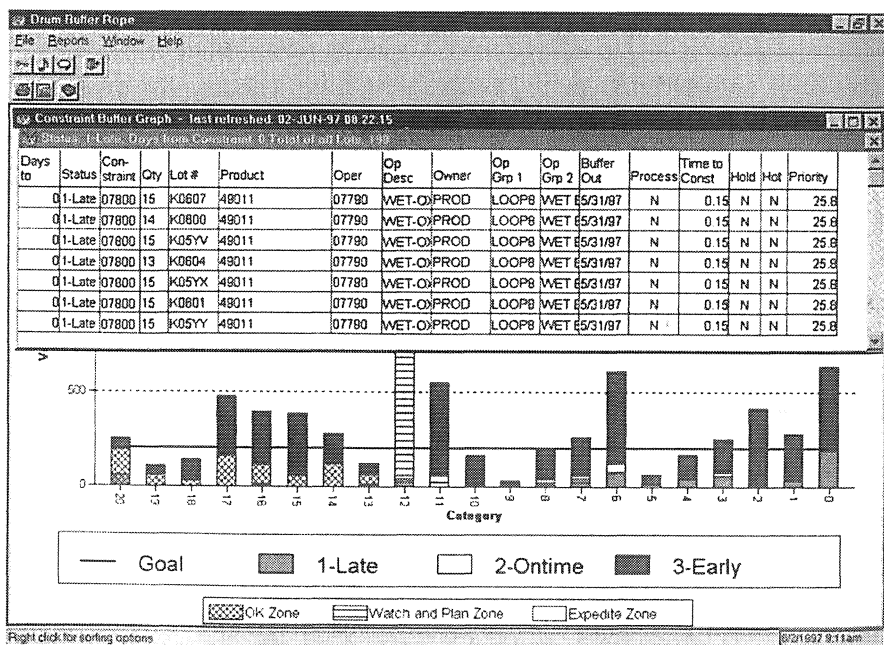


Рис. 7.8. Детальная информация о партиях продукции

принять все необходимые меры для соблюдения графика их отгрузки потребителям. Содержание выводимой на экран информации может регулироваться пользователем, позволяя ему настроить программу таким образом, чтобы получать требуемый ему объем сведений.

Данная глава посвящена изложению основ организации синхронизированного поточного производства (SFM) и соответствующей ему системы управления с использованием концепции «барабан-буфер-веревка». SFM, подобно канбан, представляет собой систему, основанную на спросе, но обладает по сравнению с последней двумя важными преимуществами. Во-первых, в SFM остановка на любой операции за исключением той, что является ограничением процесса, не влияет на общую производительность предприятия, а во-вторых, упрощается управление производством, поскольку ограничение контролирует моменты начала изготовления очередных изделий. Наличие буфера перед ограничением защищает эту операцию от любых остановок и задержек на предшествующих операциях, и этот буфер содержит только запас незавершенной продукции.

Эта книга посвящена преимущественно вопросам создания бережливого производства на одном, отдельно взятом предприятии. Но даже самое бережливое предприятие не в состоянии полностью раскрыть свой потенциал, если его поставщики и субподрядчики поставляют или изготавливают материалы, ком-

плектующие детали, узлы и агрегаты партиями. Продолжительное время транспортирования увеличивает общую продолжительность выполнения заказов и способствует образованию партий поставляемой продукции, что только усугубляет отмеченную проблему. В следующей главе, посвященной управлению цепочками поставок, говорится о возможных способах ее решения.

## ГЛАВА 8

### УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПОЧКАМИ ПОСТАВОК

Управление цепочками поставок предполагает распространение теории ограничений, метода «точно вовремя» и философии бережливого производства в целом на деятельность каждой организации-участника. Уолкер (Walker, 2001) определяет цепочку поставок как «глобальную сеть продвижения товаров и услуг потребителям, начиная с сырья и материалов для их производства, объединяющую организованные потоки информации, физических объектов и денег». В этой модели все потребители и поставщики предприятия рассматриваются в качестве торговых партнеров, чье благополучие зависит от эффективности функционирования цепочки поставок в целом. Управление цепочками поставок служит средством предупреждения так называемой субоптимизации, когда каждая организация стремится только к повышению собственной эффективности и прибыльности, не задумываясь о конечных результатах своих действий для всех остальных звеньев цепи.

Всякие деловые отношения между поставщиком и потребителем должны быть взаимовыгодными. В противном случае эти отношения будут непродолжительными. Шенбергер (Schonberger, 1986) писал:

«Вы стремитесь получить максимум услуг от своих поставщиков и перевозчиков материалов по самым низким ценам, предоставляя при этом своим потребителям минимум услуг по самым высоким ценам. Это звучит чудовищно. Можно ли такой бизнес считать эффективным? Вероятно, в прошлом так и было, но только не сейчас».

Ошибочность подобных взглядов доказал еще Форд в своей книге *Today and Tomorrow*. Он решительно осуждал практику ведения бизнеса, при которой предприниматели стремились как можно меньше заплатить рабочим и поставщикам и одновременно установить максимальные цены покупателям своей продукции. По его мнению, единственный способ сокращения затрат на оплату труда заключается в повышении его эффективности, а стремление уменьшить затраты на закупки материалов должно выражаться в обучении поставщиков методам бережливой организации производства.

Кроме того, самая бережливая производственная система, организованная по принципу «точно вовремя», не сможет функционировать надлежащим образом, если поставщики способны поставлять нужные ей материалы и комплектующие только крупными партиями. Напомним пример с удавом, проглотившим слишком

крупную добычу. Точно так же слишком большая партия заготовок, поступившая на производственную линию, способна закупорить ее, не позволяя произвести что-либо еще (рис. 8.1\*). Вспомним, что продолжительность выполнения заказа представляет собой промежуток времени между моментами его размещения и поставки заказанной продукции потребителям. Большая продолжительность

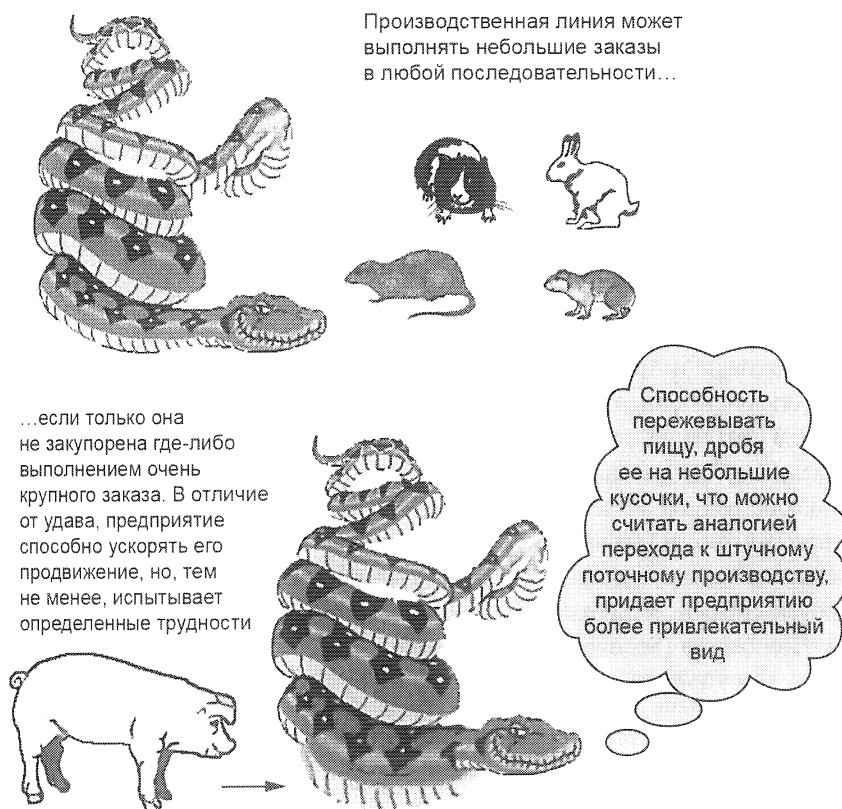


Рис. 8.1. Большие партии продукции нарушают функционирование даже самых лучших систем, организованных по принципу «точно вовремя»

\* Стэндрд и Дэвис (Standard and Davis, 1999) также применили аналогию между питоном, проглотившим свинью, и закупоркой производственного процесса большими запасами исходных материалов и незавершенной продукции, которые ему требуется «переварить». «Часто поступающие, но небольшие по объему заказы позволяют проще обеспечить более полное использование всех ресурсов предприятия. Здесь уместна аналогия с частым кормлением питона поросятами, вместо того чтобы давать ему заглотить одну большую свинью. Как это ни удивительно, но многие компании, образно говоря, стремятся «расправить свернувшегося питона, чтобы скормить ему свинью побольше». Авторы цитируют одного исследователя, которому довелось наблюдать в перуанском тропическом лесу, как анаконда сумела проглотить взрослого борова. (Один из авторов цитируемой книги, Дейл Дэвис, в молодости изучал антропологию и специализировался на культуре майя.) Левинсон (Levinson, 1998) ввел в обращение сравнение производственных процессов с «удавом, проглотившим свинью» и поместил в своей книге две фотографии боа-констриктора, на теле которого видно утолщение от еще непереваренной пищи.

изготовления комплектующих изделий у субподрядчика (например, занимающегося хромированием автомобильных бамперов) сводит на нет все усилия головного предприятия по ускоренному выполнению заказов. Шенбергер (Schonberger, 1986) предупреждает, что «...производство большого количества продукции, чем можно реализовать, бесполезно и дорого обходится предприятию, причем его расходы и потери многократно возрастают, когда неравномерные колебания спроса на его продукцию распространяются по всей цепочке предшествующих стадий ее изготовления, включая внешних поставщиков».

Таким образом, становится очевидной важность надлежащего управления цепочками поставок, без которого самое бережливое предприятие оказывается не в состоянии раскрыть весь потенциал. При этом главным препятствием к эффективному управлению цепочками поставок следует считать стремление отдельных ее звеньев к субоптимизации собственных показателей. Когда каждое предприятие, входящее в цепочку поставок, пытается оптимизировать собственную прибыль, не заботясь об интересах остальных звеньев цепи, это ведет к денежным потерям для всех.

## НЕРАЦИОНАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ УЧАСТНИКОВ ЦЕПОЧКИ ПОСТАВОК

Уолкер (Walker, 2001) предупреждает, что самым большим препятствием к успешному управлению цепочками поставок служит *отсутствие взаимного доверия между деловыми партнерами*. Нетрудно перечислить возможные причины подобного недоверия. Одной из них является стремление отдела снабжения любыми способами получить уступки со стороны поставщиков (и наоборот), что вызывает неадекватную реакцию с их стороны и разрушает доверие между партнерами. Например, поставщик может заявить, что готов дать 5%-ную скидку, но при условии, что предприятие закупит 1000 комплектующих изделий вместо требующихся ему 500. В ответ на это предложение снабженец предприятия-потребителя будет рассуждать следующим образом: «Эти лишние изделия мы можем подержать у себя на складе, чтобы со временем пустить в дело. Между тем, я буду выглядеть лучше в глазах руководства, если мне удастся добиться 5%-ной скидки». Его не волнует, что такая политика неизбежно ведет к необоснованному увеличению запасов предприятия.

Характерным примером отсутствия доверия между покупателями и розничными продавцами может служить торговля автомобилями, где дилеры всеми способами пытаются навязать покупателю ненужные ему, но дорогостоящие опции: антикоррозионные покрытия по цене, в два-три раза превышающей их фактическую стоимость, защитные чехлы на сиденья стоимостью 10 долл., продаваемые по 100 долл., различные дилерские наценки. Со своей стороны, покупатели стараются не упустить своих выгод, приносящих убытки автомобильным дилерам. Им, в частности, известно, что при ежегодной смене производителями модельного ряда

новые автомобили существенно теряют в своей привлекательности (но, естественно, не в технических характеристиках). Покупатель, дождавшийся конца года, может рассчитывать получить серьезные скидки со стороны дилера и производителя на приобретаемый «устаревший» автомобиль. Между тем длительное, в течение полу-года и более хранение нераспроданных автомобилей дорого обходится дилерам.

Вумек и Джонс (Womack and Jones, 1986) по этому поводу пишут: «Когда мы приходим к автомобильному дилеру, нас посещает одна и та же мысль: “Взгляните на весь этот хлам. Спрашивается, кому нужно это множество машин, которые никто не желает покупать?.. Зачем дилеры заказывают, а заводы производят автомобили и запасные части к ним, которые никогда не будут проданы? Почему бы не выпускать автомобили и комплектующие строго в соответствии с количеством заказов?”» Производство автомобилей на заказ, как рекомендует в своих книгах Левинсон (Levinson, 1994, 1998 и 2002), позволит исключить из цепочки поставок дилеров, не создающих добавленной ценности, сократить затраты клиентов на приобретение машин и увеличить прибыли производителей, гарантируя при этом, что каждый автомобиль, сошедший с конвейера, будет продан. Вся проблема для покупателя состоит в необходимости подождать выполнения заказа: многие не желают ждать несколько недель, пока завод изготовит заказанный автомобиль. Но система бережливой организации производства, созданная Toyota, уже сейчас позволяет сократить продолжительность выполнения заказа до одной недели.

### Отсутствие надлежащих коммуникаций

В книге Вумека и Джонса (Womack and Jones, 1996) описан пример сокращения производственных отходов в аэрокосмической промышленности. Компания Pratt & Whitney обнаружила, что при механической обработке литых заготовок в стружку уходит до 90% дорогих спецматериалов, а масса обработанных деталей составляет всего 10% от массы заготовок. Литейщики отливали массивные заготовки, считая такой подход эффективным, и не обращали внимания на форму конечной детали, получаемую после механической обработки. Идея придания литым или штампованным заготовкам очертаний, повторяющих форму получаемых из них деталей, сама по себе не нова и не является изобретением специалистов по ракетной промышленности. Еще Форд писал: «...наша цель всегда состоит в минимизации объемов механической обработки заготовок» (Ford, 1926).

Между тем Pratt & Whitney сумели уговорить литейщиков поставлять им заготовки из разных сплавов с незначительно различающимися свойствами, что увеличивало стоимость изготавливаемых из них конечных продуктов. Технические требования к деталям разных семейств двигателей, получаемым из этих сплавов, мало различались, но конструкторы, по-видимому, никогда не задумывались о возможности применения для заготовок одного и того же материала. *Групповые технологии* предусматривают, в частности, унификацию деталей в целях сокращения их общей номенклатуры. В изделиях разной конструкции при этом



удается применять уже существующие детали и обеспечивать их взаимозаменяемость, вместо того чтобы всякий раз разрабатывать новые, различающиеся между собой комплектующие. Например, Pratt & Whitney удалось в конце концов унифицировать свои потребности в материалах и применить один и тот же сплав для изготовления составных частей нескольких семейств двигателей. Хайзер и Рендер (Heizer and Render, 1991) отмечают и другие преимущества групповых технологий:

- совершенствование конструкций благодаря рационализации процесса проектирования и устранения дублирования при разработке деталей. (Иными словами, обеспечение взаимозаменяемости деталей разных изделий — то, к чему И. Уитни призывал еще два века назад.);
- сокращение расходов на приобретение материалов;
- упрощение процессов планирования и управления производством благодаря тому, что возникает возможность обрабатывать на тех же станках целые семейства похожих деталей, образующих одну группу, сокращая при этом время переналадок оборудования, устраняя перевозки и перегрузки материалов и заготовок;
- совершенствование маршрутов движения продукции по предприятию и увеличение загрузки оборудования;
- сокращение потребности оборудования в переналадках, уменьшение объемов незавершенного производства и ускорение обработки деталей.

Большие объемы производственных отходов оставались в Pratt & Whitney незамеченными в течение нескольких десятилетий только потому, что каждая из четырех независимых компаний в цепочке поставок, занимавшихся литьем и штамповкой заготовок, механической обработкой деталей и окончательной сборкой двигателей, не могла найти времени для детального ознакомления с деятельностью остальных предприятий. Каждая из них уделяла много времени совершенствованию собственных операций, но не обращала внимания на последствия своих действий для остальных участников цепочки создания конечной продукции (Womack and Jones, 1996).

### «Пивная игра» — длинные петли обратной связи

Компьютерная деловая игра, известная под названием The Beer Game («Пивная игра»), хорошо иллюстрирует ситуацию отсутствия управления цепочкой поставок продукции. Ссылки на эту игру имеются во многих литературных источниках и в Интернете\*, а соответствующая схема цепочки поставок показана на рис. 8.2.

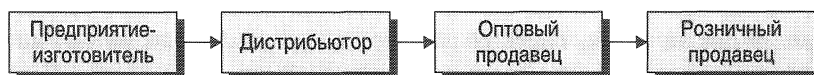


Рис. 8.2. Цепь поставок пива

\* См., например, <http://www.syslab.ceu.hu/-workshop/BeerGame/sld001.htm> по состоянию на 18.04.01.

Каждое звено этой цепи стремится удовлетворить собственных потребителей и заработать при этом как можно больше денег. Безусловно, для решения этих задач было бы полезным сокращать объемы запасов в каждом звене. Единственным средством связи между звеньями служат заказы на поставку продукции. При такой организации дела нетрудно представить, какие объемы нереализованной продукции скапливаются внутри цепочки поставок, какое количество заказов остается невыполненным, а также уровень недовольства конечных потребителей.

Перечисленные проблемы служат характерным признаком систем управления любыми физическими или деловыми процессами со слишком длинными обратными информационными связями\*. Система в целом при этом начинает реагировать не на изменения истинных внешних условий (потребительского спроса), а на сигналы, возникающие в ее собственных неустойчивых обратных связях. Например, розничный торговец пивом в рассматриваемом примере может желать поддерживать у себя запас товара, достаточный для торговли в течение недели. Допустим теперь, что однажды ему удалось реализовать за неделю большее, чем обычно, количество напитка, причем это может быть следствием случайного колебания спроса, а не результатом реального изменения усредненной потребности покупателей в этом товаре. Продавец посылает увеличенный по сравнению с обычным заказ на пиво оптовому торговцу. Тому потребуется определенное время на обработку поступившего заказа. За это время розничный продавец, проверив сокращающиеся запасы товара, успел выслать еще один заказ (напомним, что бланки заказов в этой системе служат единственным средством связи между звеньями цепочки поставок).

Представим теперь, что объемы продаж пива розничным торговцем неожиданно сократились, что также может быть следствием случайных колебаний спроса, а не результатом действия долговременной тенденции изменения средних объемов продаж. Причем такое падение спроса пришлось на момент поступления ранее заказанного товара. Теперь у розничного торговца возникает проблема затоваривания, и на какое-то время он перестает заказывать напиток вообще. Вспомним, что эти неустойчивые сигналы в виде увеличенных по объему заказов или полного их отсутствия проходят по всей цепочки поставок, включая дистрибьютора и предприятие-изготовитель. Несложно представить себе тот хаос, который при этом возникает.

### Субоптимизация

Шрагенхайм (Schrageheim, 2000) приводит типичный пример субоптимизации, когда предприятия, представляющие два звена одной цепочки поставок, имеют разные устремления в части создания прибыли. Одно из них, Giant Elec-

\* С подобными ситуациями нередко приходится сталкиваться химикам-технологам при создании систем управления химическими процессами. Длинные цепи обратной связи затрудняют управление процессами и порой приводят к их неустойчивости, а иногда к их выходу из-под контроля.

tronics Inc., приобретает комплектующие изделия у другого, Tiny Inc., по цене 500 долл. за штуку и устанавливает их в собственную продукцию, которую продает по цене 20 млн долл. за одно изделие. Всего за год Giant реализует 50 подобных изделий, получая доход 1 млрд долл., в то время как поставки 500 комплектующих изделий в год приносят Tiny всего 25 тыс. долл.

Если Tiny сумеет модернизировать свою продукцию, то со временем объемы ее закупок со стороны Giant могут утроиться, но Tiny не желает тратить время на усовершенствования, поскольку предпочитает сосредоточиться на создании другого вида продукции, способной приносить ежегодный доход, равный 6 млн долл. Таким образом, между компаниями возник конфликт интересов. Если руководство Giant хочет получить новые комплектующие немедленно или по крайней мере несколько месяцев спустя, то Tiny больше заинтересована в выходе на рынок с новой продукцией. В цитируемой статье предполагается, что модификация комплектующих изделий, поставляемых Giant, займет всего месяц и тем самым на такой же период задержит выход Tiny Inc. на рынок с новой продукцией. Возникает вопрос: существует ли приемлемое для обеих сторон решение конфликта, которое может быть достигнуто на встрече руководителей компаний?

Отвечая на этот вопрос, Шрагенхайм (и его поддерживают Холт и Баттон в опубликованной там же статье) утверждает, что:

- для максимизации суммарных доходов всех звеньев каждое из них обязано принимать решения, отвечающие интересам цепочки в целом;
- для защиты интересов каждого звена цепочки поставок принимаемые решения в отношении цепочки в целом должны учитывать интересы отдельных ее звеньев.

Поэтому основная проблема управления цепочками поставок заключается в поиске компромисса между решениями двух противоречащих друг другу задач. В девятой главе будет рассмотрено применение методов линейного программирования для выбора такой номенклатуры и объемов выпуска продукции, которая обеспечивает наиболее прибыльное использование производственных мощностей всех звеньев цепочки поставок с учетом других имеющихся ограничений. Постановка задачи линейного программирования применительно к управлению цепочками поставок должна охватывать несколько предприятий, являющихся ее звеньями. При этом может оказаться целесообразным изменить ценообразование на продукцию, реализуемую внутри цепочки, чтобы увеличить суммарную прибыль всех звеньев. (Проблема установления *трансфертных цен*\* часто служит источником конфликтов в вертикально интегрированных организациях, деятельность отдельных подразделений которых оценивают по величине получаемой прибыли).

---

\* Под трансфертной ценой понимают внутреннюю цену на продукцию подразделения компании, по которой оноставляет ее другим подразделениям. При назначении этой цены убытки подразделения от снижения стоимости его продукции компенсируются за счет увеличения прибыли организации в целом. — *Прим. пер.*

Простой пример, приведенный ниже, не требует применения методов линейного программирования для поиска оптимального решения поставленной задачи. Целевой функцией при этом служит предельная (маргинальная) прибыль, получаемая от продажи дополнительной единицы продукции.

Постановка задачи выглядит следующим образом.

- Поставщик узлов А и В располагает резервом производственных мощностей, позволяющим ему изготовить дополнительно, в любом сочетании 100 единиц деталей, применяемых в этих узлах. При этом:
  - в узле А применяют по 5 комплектующих деталей, что позволяет его изготовителю получить предельную прибыль, равную 100 долл.;
  - в узле В применяют по 1 детали, а каждый дополнительно проданный узел этого типа приносит производителю прибыль, равную 25 долл.
- У изготовителя конечной продукции имеется два варианта решения:
  - установить узел А в конечный продукт, приносящий маргинальную прибыль в размере 500 долл.;
  - установить узел В в конечный продукт, каждая дополнительно проданная единица которого приносит изготовителю прибыль в 50 долл.

Очевидно, что поставщику комплектующих оптимальным представляется решение изготовить 100 деталей, применяемых в узле В, и заработать дополнительно 2500 долл. прибыли. Но такое решение позволит изготовителю конечной продукции заработать лишь 5 тыс. долл. прибыли, в то время как изготовление всего 20 добавочных изделий с использованием узлов А принесет ему 10 тыс. долл. Однако поставщик комплектующих вряд ли будет в восторге от такого решения, поскольку оно принесет ему всего 2000 долл. вместо возможных 2500.

Предположим теперь, что предприятия, образующие рассматриваемую цепочку поставок, решили изучить общую картину создания прибыли и найти обоим выгодное решение. Изготовление 100 узлов В приносит обоим предприятиям суммарную предельную прибыль, равную 7500 долл., а изготовление только 20 узлов А может принести дополнительно 12 тыс. долл. суммарной прибыли. Ясно, что 12 тыс. долл. лучше 7500, но такое решение возможно только в случае, когда изготовитель конечной продукции компенсирует поставщику узлов по крайней мере 500 долл. упущенной выгоды от дополнительных поставок узлов А вместо узлов В. Предположим теперь, что размеры согласованной компенсации составят 1000 долл., и повторим расчеты, результаты которых представлены в табл. 8.1\*, где левая цифра каждой дроби соответствует прибыли поставщика комплектующих,

---

\* Авторы книги приводят простые примеры для пояснения важности выводов о согласованности действий партнеров в бизнесе (имеются в виду как внешние партнеры — организации, так и внутренние — подразделения компании). Если один из партнеров начинает проводить какие-то изменения по оптимизации своей деятельности (даже важные для него и ведущие к росту прибыли) и при этом не учитывает интересы других компаньонов, или делает это за счет ущемления их интересов, то может быть потерян сам бизнес. Учет и согласованность действий партнеров является незыблемым правилом для успешного и долгосрочного бизнеса. — *Прим. науч. ред.*

а правая — прибыли изготовителя конечной продукции. Заметим, что аналогичные решения могут быть найдены при разрешении двух известных дилемм: узника и «пушки вместо масла», каждая из которых при учете интересов только одной из сторон ведет к субоптимальным решениям. Ключевая проблема во всех случаях заключается в том, что обе стороны не в состоянии общаться и договариваться друг с другом (или, даже имея возможность общения, просто не доверяют друг другу). Здесь мы вновь возвращаемся к приведенному выше высказыванию Уолкера (Walker, 2001), согласно которому «взаимное доверие сторон служит жизненно важным условием для успешного управления цепями поставок».

Важность наличия четких коммуникаций внутри цепочек поставок очевидна как в случае размещения заказов на товары (например, в рассмотренной «Пивной игре»), так и при установлении требований в отношении количества и номенклатуры заказываемых заготовок или комплектующих. Принятие субоптимальных

Таблица 8.1  
Сотрудничество или конкуренция — что лучше?

Цепочка поставок			
		Поставщик комплектующих	
		Сотрудничество	Субоптимизация
Изготовитель конечной продукции	Сотрудничество	3000 долл./9000 долл.	2500 долл./5000 долл.
	Субоптимизация	2000 долл./10 000 долл.	0/0 (сделка не состоялась)
Дилемма узника			
		Узник А	
		Не сознается	Сознается в преступлении и дает показания против узника Б
Узник Б	Не сознается	Оправданы оба в связи с отсутствием доказательств	1 год/10 лет тюрьмы (узник А получает снисхождение за показания против узника Б)
	Сознается в преступлении и дает показания против узника В	10 лет/1 год тюрьмы (узник Б получает снисхождение за показания против узника А)	3 года/3 года тюрьмы (наказание смягчено обоим узникам за чистосердечное признание)
Дилемма «пушки вместо масла»			
		Страна А предпочитает тратить средства	
		на масло	на пушки
Страна Б предпочитает тратить средства	на масло	+3/+3 (граждане обеих стран имеют масло в избытке и живут в мире)	+4/-4 (страна А побеждает Б и забирает ее масло)
	на пушки	-4/+4 (страна Б побеждает А и забирает ее масло)	0/0 (обе страны живут в мире из-за равенства вооружений, но без масла)

решений ведет к сокращению возможных прибылей всех звеньев цепочки (в том числе и тех, которые убеждены, что сумели наилучшим образом оградить собственные интересы. В следующем разделе будет показано, что управление цепочками поставок требует также изучения потоков создания ценности и умения различать действия, создающие добавленную ценность продукции, и те, в результате которых увеличение добавленной ценности не происходит.

## ИЗУЧЕНИЕ ПОТОКОВ СОЗДАНИЯ СТОИМОСТИ

Вумек и Джонс (Womack and Jones, 1996) рассматривают основные этапы процесса изготовления и продажи алюминиевых банок с прохладительными напитками в сети продуктовых магазинов British Tesco, при котором *стоимость упаковки достигает половины стоимости всей продукции*. Таким образом, половина стоимости товара оказывается бесполезной для потребителя (он просто выбрасывает банку, выпив ее содержимое). В высокой стоимости алюминиевой банки нет ничего удивительного, если вспомнить, что процесс ее изготовления начинается с добычи в Австралии бокситов (служащих сырьем для производства алюминия), которые затем переправляют на переработку в Скандинавию. При этом возникают непроизводительные транспортные расходы, или муда. Естественно, возникает вопрос, нельзя ли перерабатывать сырье в Австралии и не тратить средства на перевозку кислорода, на долю которого приходится около половины массы бокситов\*. Но дело в том, что экономичность производства алюминия зависит от доступности дешевой электроэнергии. В Скандинавии имеется избыток электричества, вырабатываемого на гидроэлектростанциях, которых нет в Австралии. Доступность энергоресурсов перевешивают опасения по поводу больших транспортных расходов на перевозку сырья. Из полученного таким образом алюминия затем изготавливают банки для напитков.

В то же время для изготовления самого напитка требуется собрать зерно и переработать его, вырастить свеклу и добыть из нее сахар, затем все это смешать с водой, разлить полученный напиток по банкам и упаковать запечатанные банки в картонные коробки. Как пишут далее Вумек и Джонс, «...банки со склада их изготовителя доставляют грузовиками на склад производителя напитка, где они хранятся до момента использования по назначению. При этом тот, кто оплачивает транспортировку пустых банок, фактически платит за перевозку воздуха. Производитель напитков также хранит на складе преимущественно воздух в банках. Как отмечает Шенбергер (Schonberger, 1982), компания Anheuser-Burch, например, почти непрерывно получает и использует алюминиевые банки, доставляемые на

---

\* Окись алюминия  $Al_2O_3$  содержит по весу 53% алюминия и 47% кислорода. Но бокситы могут быть также насыщены водой, в результате чего весовое содержание алюминия в них может падать ниже 50%. Некоторые подробности относительно технологии извлечения алюминия из бокситовой руды можно найти в книге Сиенко и Плейна (Sienko and Plane, 1974).

грузовиках. В рассмотренном примере достаточно просто предложить следующие решения по рационализации всего процесса:

- доставлять цистернами напиток на место изготовления банок, чтобы разливать его там;
- заменить банки пластиковыми бутылками, выдуваемыми на месте изготовления и розлива напитка.

Последняя рекомендация актуальна также для случаев применения упаковочных материалов типа вспененного полиуретана, которые состоят преимущественно из воздуха. Их перевозка означает пустую трату средств на транспортные расходы. Исключить эти непроизводительные затраты можно, организовав производство упаковки на местах ее использования.

Приведенные примеры иллюстрируют, какое количество непроизводительных расходов может присутствовать в цепочках поставок товаров. Исключение или сокращение до минимума этих затрат приносит прибыли всем звеньям цепочки и выгодно покупателям, которые смогут приобретать товары по более низким ценам. В следующем разделе будет доказано, что идеальной цепочкой поставок является та, все звенья которой работают по принципу «точно вовремя». Ни одно звено не сможет раскрыть весь потенциал, которым обладает вся цепочка, если его поставщики не способны поставлять требуемые материалы точно в то время, когда в них возникает потребность.

## ПРЕВРАЩЕНИЕ ПОСТАВЩИКОВ В ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

Предприятие, реализующее методы синхронизированного поточного производства или принцип «точно вовремя», способно работать еще эффективнее при условии частого получения от поставщиков материалов и комплектующих малыми партиями. «В области снабжения необходимо стремиться к частым, своевременным поставкам материалов и комплектующих изделий малыми партиями, укрепляющим взаимные связи между их поставщиками и производителями готовой продукции» (Suzaki, 1987). Эта рекомендация вступает в противоречие с традиционными подходами, при которых поставщики стремятся отгружать свою продукцию большими партиями, чтобы полностью заполнить грузовик или железнодорожный вагон. Вместе с тем поставки малыми партиями обладают следующими преимуществами для потребителей:

- сокращаются объемы флота или оплаченного имущества, находящегося на стадии транспортирования;
- уменьшается потребность в складских площадях для хранения запасов материалов и комплектующих изделий;
- удастся раньше выявлять проблемы с качеством покупных изделий и устанавливать необходимые контакты с поставщиками в целях их устранения.

Сузаки (Suzaki, 1987) призывает производителей «относиться к поставщикам как к продолжению собственного предприятия». При этом корпоративные или объединенные компьютерные сети могут служить эффективными средствами взаимной увязки систем производственного планирования поставщиков и клиентов. Таким примером является сеть компании Weyerhaeuser, описанная во второй главе.

Операция, служащая ограничением производственного процесса у потребителя, способна не только определять моменты начала изготовления очередного конечного изделия, но также задавать ритм поставок покупных изделий поставщиками, т. е. выступать в роли «барабана» системы DBR (рис. 8.3). Эффективнее всего увязать между собой ограничивающие операции производственных процессов потребителя и поставщиков, поскольку последние определяют ритмичность и темпы поставок комплектующих изделий и материалов. В результате ограничение, существующее у поставщика, становится стартовой операцией производственного процесса у потребителя.

На схеме, приведенной на рис. 8.4, система комплексного управления производством на нескольких взаимосвязанных предприятиях рассматривается как система канбан. При этом предполагается, что период времени (lead time) между ограничивающими операциями производственных процессов поставщика и потребителя невелик и позволяет поддерживать отгрузочный буфер очень небольшого объема. Для выполнения ограничивающей операции потребителя требуется 3 и 1 шт. комплектующих изделий типа X и Z соответственно. В этой связи ограничивающая операция поставщика должна начинать работу с изготовления трех сборочных единиц типа X и одной типа Z. Две из трех единиц узлов X пойдут на пополнение отгрузочного буфера, а третья будет отгружена непосредственно потребителю одновременно или через некоторое время после отгрузки двух изделий X из буфера. Одно изготовленное ограничивающей операцией изделие Z заменит собой аналогичное изделие, поставленное потребителю из отгрузочного буфера.

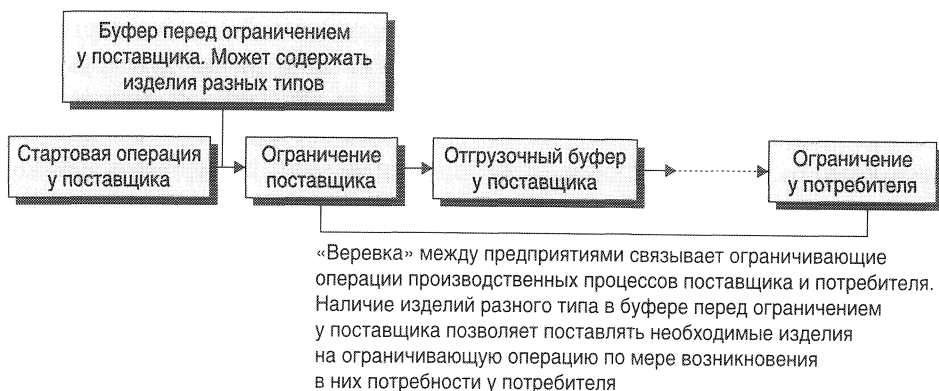


Рис. 8.3. «Веревка», связывающая ограничивающие операции производственных процессов поставщика и потребителя



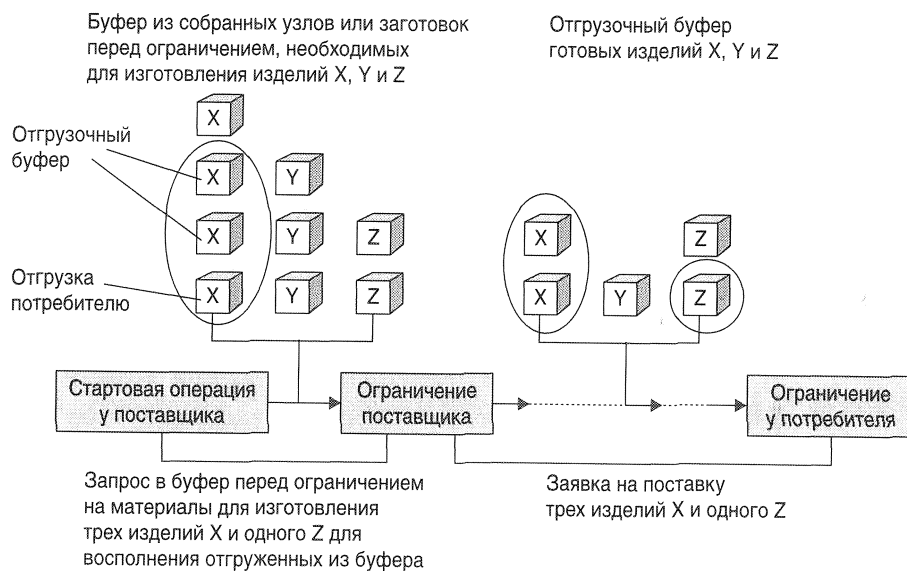


Рис. 8.4. Представление комплексного управления предприятиями как системы канбан

Запуск ограничивающей операции у поставщика указывает органам управления производством на возможность отгрузки потребителям из отгрузочного буфера трех изделий X и одного Z. Материалы, израсходованные из буфера перед ограничением для производства указанных изделий, будут восполнены предшествующими операциями. Приведенный пример служит всего одной из многих возможных иллюстраций к способам управления подобными системами.

### Цепочка поставок и производительность

Базовый принцип теории ограничений гласит, что предприятие зарабатывает доход, только продав произведенный продукт, а не просто изготовив его. Эта концепция должна быть распространена на всю цепочку поставок продукции. Нет никаких оснований для того, чтобы изготавливать комплектующие изделия и тем более закупать материалы для их изготовления, если они не предназначены для изготовления конечного продукта, на который имеется оформленный заказ. Высказанное положение служит еще одним аргументом в пользу распространения принципов построения систем, основанных на спросе, на всю цепочку поставок продукции.

### Сокращение объемов запасов снижает зависимость предприятия от прогнозов рыночного спроса

Необходимым предварительным условием для обеспечения ритмичности производства является наличие надежных прогнозов спроса на продукцию предприятия. Тем временем потребители предпочитают размещать заказы на нужную им продукцию всего за два-три месяца до возникновения потребности

в ней. Наличие у предприятия больших запасов готовой продукции заставляет его планировать производство на более отдаленную перспективу, когда основой для него становятся скорее догадки о будущем спросе, нежели его точные прогнозы.

Сокращение объемов запасов уменьшает время выполнения заказа на изготовление продукции. При этом также снижается вероятность изготовления ненужной продукции. Собственные заказы предприятия на поставки комплектующих изделий и материалов становятся более надежными и менее обременительными для поставщиков. Как утверждают Голдратт и Фокс (Goldratt and Fox, 1986),

«...главная причина ненадежности поставок комплектующих изделий и материалов нашими поставщиками заключается в том, что мы постоянно меняем свои требования к ним, точно так же, как мы сами страдаем от переменчивости требований собственных покупателей». Напротив, согласование между собой ограничений, существующих в производственных системах поставщиков и заказчиков, придает прогнозам спроса абсолютную надежность».

Итак, мы доказали необходимость взаимной увязки систем управления производством у поставщиков и потребителей, причем применение современных информационных систем значительно упрощает решение этой задачи. В следующем разделе будут рассмотрены различные проблемы, присущие сложным цепочкам поставок. При их создании следует различать такие понятия, как «простота» и «легкость». Сама концепция управления цепочками поставок проста, но ее воплощение в жизнь очень часто оказывается нелегкой задачей.

## НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ПРАКТИЧЕСКОМ ПОСТРОЕНИИ СЛОЖНЫХ ЦЕПОЧЕК ПОСТАВОК

Стремление иметь в идеальной цепочке поставок единственное ограничение, задающее ритм работы для всех партнеров, может на практике оказаться навязчивым кошмаром.

Упрощенные модели предусматривают распространение синхронизации на всю цепочку поставок. Но если это требование вполне справедливо и практически реализуемо при массовом производстве простой продукции, то при изготовлении сложных изделий в небольшом количестве его выполнение становится малореальным. Последнее обусловлено сложностью самих цепочек поставок, определяемой размерами и структурой перечня потребляемых при изготовлении такой продукции комплектующих и материалов, большим количеством их поставщиков и продолжительным выполнением заказов.

Схема на рис. 8.5 иллюстрирует высказанное положение. Представленный на ней развернутый перечень комплектующих и материалов (bill of materials, или BOM), требующихся для изготовления некоторого сложного изделия, определяет потребности предприятия в каждом из них для изготовления единицы конечной продукции. Изображенный на рисунке BOM прост по структуре, хотя легко себе представить

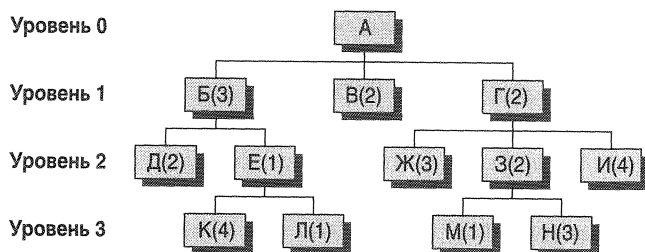


Рис. 8.5. Развернутый перечень комплектующих изделий и материалов (BOM)

перечни, в которых содержится значительно больше уровней разукрупнения продукции и большее число элементов («детей»), входящих в каждый узел определенного уровня («родителей»). Например узел Б на схеме является родительским по отношению к деталям Д и Е.

Для сборки изделия А требуется три узла Б и по два узла В и Г, причем все они могут поставляться разными предприятиями. В этом нет ничего плохого, поскольку ограничивающая операция у изготовителя конечной продукции может быть надежно связана с системами управления производством каждого из этих трех поставщиков. (Напомним о том, как основной план-график работы завода по производству бумаги Valley Forge компании Weyerhaeuser связан с помощью компьютерной сети с информацией о реализации продукции потребителям.)

Для изготовления узла Б его производителю требуется две детали Д и одна деталь Е. Если он производит эти детали самостоятельно, то его собственные системы управления производством, основанные на принципах «точно вовремя» или синхронизированного поточного производства, способны самостоятельно справиться с возникающими при комплектовании этого узла проблемами. Если же он вынужден приобретать эти детали на стороне у производителей, действующих постаринке, т. е. изготавливающих детали партиями с очередями внутри процесса или основываясь на прогнозируемом спросе, то неизбежно образование запасов деталей либо на складе предприятия, изготавливающего узлы Б, либо на складах готовой продукции его поставщиков. Еще хуже, когда эти детали приходится закупать у зарубежных производителей, выбранных в связи с меньшими ценами на их продукцию, обусловленными дешевизной рабочей силы в соответствующих странах. В этом случае удлиняется время доставки, причем перевозчики обычно предпочитают подождать, пока наберется количество изделий, достаточное для полной загрузки транспортных средств (судна, грузовика, вагона и т. д.).

Каждый поставщик, представленный в перечне комплектующих изделий и материалов, должен быть надежен. В этой связи полезно вспомнить о последовательных системах, рассматриваемых в теории надежности, в которых отказ любого элемента ведет к отказу системы в целом. Например, перебои в поставках деталей М или Н делают невозможной сборку изделия З, что, в свою очередь, останавливает производство узлов Г и не позволяет завершить сборку конечного

изделия А. Вот почему многие производители предпочитают создавать у себя страховочные запасы комплектующих изделий, чтобы не зависеть от сбоев в цепочке поставок. По тем же причинам целесообразно иметь более одного поставщика комплектующих каждого наименования.

Теория синхронизированного поточного производства утверждает: наличия буфера перед ограничением процесса достаточно для предотвращения потерь, обусловленных перебоями в работе любой части производственной системы. Вместе с тем ни одна система не обладает иммунитетом против длительных простоев в звеньях цепочки поставок, поскольку невозможно держать на складах предприятия все, что может ему когда-либо потребоваться. Рано или поздно наступает момент, когда там не окажется деталей, остро необходимых для продолжения работы. Абсолютной безопасности предприятие может достичь только при условии, что будет вести себя подобно средневековым баронам, державшим у себя в замках полугодовой запас продуктов на случай осады неприятелем (рис. 8.6).

Современным эквивалентом такой осады можно считать стихийное бедствие или экономический коллапс, не позволяющие поставщикам продолжать снабжать заказчиков материалами и комплектующими изделиями. Например, в середине 1993 г. пожар уничтожил завод в г. Сумитомо. На его долю приходилось 60% мирового производства смол, применяемых для герметизации полупроводниковых приборов («Пластиковый кризис преодолен», 1993). В 1992 г. забастовка на заводе GM в г. Лордстоун (штат Огайо), производящем штампованные детали, уже через четыре часа привела к полной остановке производства на сборочном предприятии компании Saturn (штат Теннесси). Оно было организовано по принципу «точно вовремя», поэтому там отсутствовал резервный запас нужных деталей. Простой более 40 тыс. работников завода в течение девяти дней обошелся компании в 50 млн долл. в день, причем, вероятно, в эту сумму не вошли потери от упущенной выгоды в связи с отсутствием продаж произведенной продукции (Courtney, 1992).



Рис. 8.6. Средневековые взгляды на необходимость создания и хранения запасов

Уолкер (Walker, 2001a) приводит пример производства мощных резисторов со сверхнизким коэффициентом теплового расширения, требующих применения специальных сплавов. Эти сплавы доставлялись на предприятие в чушках массой 4000 фунтов (1818 кг), причем одной чушки хватало на двухлетнюю программу выпуска резисторов.

Ведомость материалов и комплектующих изделий, требующихся для изготовления легкового автомобиля, может состоять из 10 тыс. позиций. Электронные приборы могут содержать 1800 наименований комплектующих и до 16 уровней их разукрупнения. У предприятий, производящих подобные сложные изделия, бывают сотни поставщиков, причем далеко не все из них осознают преимущества, которые приносит сокращение продолжительности выполнения заказов. Это замечание предваряет раздел главы, посвященный вопросам обучения поставщиков. Наличие даже одного из них, который шагает не в ногу с остальными, способно сбить с нормального ритма всю до того исправно функционировавшую цепочку поставок. Присутствие такого слабого звена во многом идентично появлению в штучном поточном производстве всего одной операции, например термообработки, на которой отделка деталей может происходить только партиями и возможно возникновение очередей.

### Сокращение числа поставщиков

Главное преимущество вертикальной интеграции компаний, которую практиковал Форд, состоит в сохранении контроля всей цепочки поставок. Полезно для компании и сокращение количества поставщиков комплектующих изделий и материалов, обеспечивающее поддержание регулярных связей с ними и координацию деятельности, но не требующее владения соответствующими предприятиями.

Компания Nohon Chukuko, производящая детали для грузовых автомобилей, почти 90% своей продукции поставляет фирме Isuzu, которая, в свою очередь, приложила немало усилий для совершенствования работы своего поставщика. Chukuko поставляет Isuzu детали, строго придерживаясь графика с периодичностью  $1 \pm 30$  мин, и все эти детали устанавливаются на собираемые грузовики в течение 2 ч с момента их поступления.

Как сообщает Шенбергер (Schonberger, 1986), отделение корпорации Xerox, занимающееся производством копировально-множительного оборудования, сумело сократить количество поставщиков комплектующих изделий и материалов с 5000 до 300, а отделение IBM по производству принтеров довело количество своих поставщиков до 32 (вместо 640). Предприятиям, продающим свою продукцию в больших объемах малому количеству потребителей, реже приходится сталкиваться с противоречивыми требованиями заказчиков. Сокращение поставщиков означает одновременное ослабление проблем с надежностью, характерных для сложных перечней комплектующих изделий. Компании проще заниматься совершенствованием работы своих поставщиков при уменьшении их численности.

В разделе рассмотрены только некоторые проблемы, которые могут возникать в сложных цепочках поставок. Зачастую общее представление о сложности таких цепочек дает изучение перечня комплектующих и материалов, требующихся для изготовления определенной продукции. Остановка в любом звене цепочки поставок может иметь катастрофические последствия для предприятия. Они наступают после того, как израсходован весь резервный запас соответствующих материалов. Единственным способом их предотвращения является наличие на складах всего, что может потребоваться компании исходя из перечня материалов и комплектующих. Но такой подход, применявшийся средневековыми феодалами, абсолютно непригоден для современного бережливого предприятия. Минимизация числа поставщиков служит средством борьбы с ненадежностью поставок, а совершенствование работы каждого из них с помощью заказчика способствует повышению их надежности и эффективности. В следующем разделе вопросы развития поставщиков будут рассмотрены подробнее.

## РАЗВИТИЕ ПОСТАВЩИКОВ

Поставщики и субподрядчики не могут быть эффективными партнерами компаний по цепочке поставок, сформированной на принципах бережливого производства, до тех пор, пока они сами не освоят эти принципы. Шенбергер (Schonberger, 1982) сравнивает работу предприятия по развитию своих поставщиков, в ходе которой оно обучает их принципам бережливой организации производства, например применению принципа «точно вовремя», с деятельностью миссионеров.

Генри Форд (Ford, 1926) приводит пример подобных усилий по воспитанию поставщиков, предпринимавшихся им в начале XX в. Одна компания, изготавливавшая кузова для автомобилей, выпускавшихся Ford Motor Company, постоянно сетовала на низкую прибыльность своих поставок. Но Форд, вместо того чтобы платить более высокую цену за приобретаемые кузова, внимательно изучил работу этого предприятия и установил: себестоимость производства кузовов может быть снижена почти вдвое. В конце концов компания согласилась с его выводами и решила сократить собственные затраты, сохранив неизменными отпускные цены на продукцию. Для этого ей пришлось пересмотреть сложившуюся практику ведения бизнеса. В частности, она подняла размеры заработной платы, чтобы привлечь более квалифицированных рабочих из числа тех, которых Тейлор называл «высокооплачиваемыми людьми», сократила затраты, которые можно было уменьшить. В результате компании удалось зарабатывать больше денег, даже снизив цены на свою продукцию, а ее работники стали получать более высокую заработную плату.

Система ценообразования «с чистого листа» (zero-based pricing, ZBP), применяемая в отношениях с поставщиками компанией Polaroid, основана на тех же принципах (Schonberger, 1986). Согласно этой системе, увеличение себестоимости продукции у поставщика не может служить достаточным основанием для повышения

цен на поставляемую им продукцию. Напротив, Polaroid учит своих поставщиков способам сдерживания производственных расходов. Основная цель системы ZBP состоит в том, чтобы установить предельные цены на приобретаемые компанией материалы и комплектующие и научить поставщиков методам сдерживания собственных расходов, позволяющим поставлять изделия по этим ценам и получать при этом прибыль.

Компания Porsche согласовала со своими поставщиками переход на поставки по принципу «точно вовремя», избавив их от необходимости содержания больших запасов продукции на складах. При этом фирма осознала необходимость просвещения своих поставщиков, у которых она приобретала комплектующие стоимостью, составлявшей почти 80% от цены собираемых ею автомобилей (Womack and Jones, 1996).

Компания Shalid Khan's Bumper Works, поставляющая бамперы для автомобилей Toyota, обучилась принципам поставок «точно вовремя», пригласив наставника (sensei) из числа работников предприятия-заказчика. Но она продолжала испытывать трудности, поскольку ей приходилось отправлять отштампованные бамперы для хромирования в другую фирму, Chrome Craft, где они «исчезали на несколько недель» (Womack and Jones, 1996). Bumper Works была вынуждена с помощью наставника от Toyota заняться обучением Chrome Craft принципу исполнения заказов «точно вовремя». В результате оборачиваемость запасов бамперов для автомобилей Toyota, находящихся у этого субподрядчика, выросла на 2500% (с 20 до 500 шт. в день). Поскольку Chrome Craft имеет и других заказчиков, приобретенные ею знания, безусловно, способствовали повышению производительности компании при выполнении прочих заказов.

### Команды взаимодействия с поставщиками

Создаваемые на предприятиях команды взаимодействия с поставщиками (ССТ) состоят из работников, занятых непосредственно на производстве и контактирующих со своими коллегами-производственниками из компаний — поставщиков комплектующих изделий и материалов. Главное преимущество подобных команд заключено в том, что их члены лучше кого-либо знают производство, включая особенности и недостатки покупных материалов. Сандс (цит. по кн.: Levinson, 1998)) так описывает деятельность ССТ на заводе компании Fairchild Semiconductor в г. Маунтинтоп:

«...ССТ (команды взаимодействия с поставщиками) обеспечивают поддержание связей между заказчиком и поставщиками на цеховом уровне. Большинство участников этих команд составляют рабочие, непосредственно занятые на производстве, которые напрямую общаются со своими коллегами, работающими у поставщиков. ССТ оперативно решают возникающие проблемы и обеспечивают решение специфических задач повышения качества покупных материалов. К преимуществам таких команд можно отнести то, что они:

- 1) опираются на знания, опыт и навыки, которыми обладают производственные рабочие;
- 2) обеспечивают прямые, открытые контакты между людьми, производящими покупные изделия, и теми, кому предстоит их использовать;
- 3) более чувствительны ко всем проблемам с покупными изделиями, существующими внутри компании».

Аналогичный подход к взаимодействию с поставщиками применяет также компания Rolm Telecommunications. Вот что сообщает по этому поводу Уейн Мил, ее бывший вице-президент и генеральный менеджер: «Мы отправили к нашим поставщикам своих людей, чтобы они на месте изучили проблемы, существующие на их сборочных линиях. Мы также пригласили их работников к себе, чтобы они смогли поработать на наших сборочных линиях, монтируя поставляемые ими комплектующие в наши изделия» (Schonberger, 1986). На рис. 8.7 приведены некоторые дополнительные соображения относительно неэффективности контактов только на уровне «отдел снабжения заказчика — отдел сбыта поставщика».



Рис. 8.7. Сравнение традиционных связей между поставщиками и заказчиками с работой команд взаимодействия с поставщиком



## Воспитание заказчиков

Эту задачу можно считать зеркальным отражением ранее рассмотренной темы развития поставщиков. В этой связи уместно напомнить притчу о человеке, поставившем себя на место головки молотка и на собственном опыте ощутившем, как хорошо тому становится, когда им перестают стучать по наковальне. Дж. Джуран (Juran, 1992) приводит следующий пример того, как поставщик может способствовать улучшению работы заказчика.

«...Еще один пример того, как поставщик может воспитать заказчика, связан со случаем, когда компания была вынуждена поставлять отливки определенного размера только одному из своих заказчиков. При посещении ее представителями предприятия-заказчика возник естественный вопрос, почему оно не заказывает отливки того же размера, что и все остальные. Оказалось, что стандартные отливки просто не помещались в контейнеры, имевшиеся на складе, и поставщик был вынужден изготовить и поставить заказчику контейнеры нужного размера».

Развитие поставщиков или их обучение принципам бережливой организации производства, как отмечалось выше, имеет чрезвычайно большое значение, поскольку самое бережливое предприятие не в силах раскрыть весь свой потенциал, имея дело с поставщиками и субподрядчиками, не придерживающимися этих принципов. В то же время поставщики порой также обязаны заниматься образованием своих заказчиков, поскольку их собственное благополучие напрямую зависит от того, насколько успешно действуют потребители их продукции.

Еще одной составляющей управления цепочками поставок является управление грузовыми перевозками. Японские и европейские производители обладают тем преимуществом перед американскими или российскими, что в их странах расстояния между предприятиями-заказчиками и поставщиками значительно короче. Применение новейших систем управления грузовыми перевозками и передача логистики третьей стороне (3PL systems) помогают решать многие проблемы удаленного географического положения отдельных звеньев цепочки поставок.

## ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ В ЦЕПОЧКАХ ПОСТАВОК

Необходимость перевозок изделий значительно усложняет управление цепочками поставок. Транспортирование увеличивает продолжительность выполнения заказов, особенно в тех случаях, когда перевозки осуществляют морским транспортом. Кроме того, материалы, находящиеся на стадии транспортирования (флоут), увеличивают размеры запасов предприятий.

В идеале для организации производства по принципу «точно вовремя» поставщик должен находиться «дверь в дверь» с заказчиком, а их системы управления производством должны быть тесно интегрированы. При высокой плотности населения, имеющей место в Европе или в Японии, поставщика и потребителя могут разделять всего несколько часов езды на грузовике или на поезде. В Северной

Америке расстояния перевозок значительно длиннее, что создает многие проблемы, которые приходится преодолевать при создании цепочек поставок. Российским компаниям, стремящимся работать по принципу «точно вовремя», также приходится сталкиваться с проблемами транспортировок на большие расстояния.

### Не следует искать поставщиков по всему миру без крайней необходимости

Шенбергер (Schonberger, 1986) считает преходящим увлечением поиск предприятиями источников снабжения по всему миру в целях приобретения материалов по самым низким ценам. (Такой подход к снабжению принято обозначать термином *world sourcing*). Дело в том, что наиболее выгодные цены часто оказываются следствием текущих курсов обмена валют, не отличающихся стабильностью. В разделе будут рассмотрены и другие проблемы, связанные с переводом производства в офшоры.

Выше уже была отмечена опасность утраты производственных мощностей для процветания страны и ее национальной безопасности. Уолкер (Walker, 2001a) приводит еще один удачный с точки зрения эффективного управления цепями поставок аргумент против продолжающейся практики перевода производства в офшоры в поисках более дешевой рабочей силы. Такие решения способствуют производству изделий партиями и образованию сопутствующих ему очередей внутри производственных систем, которые в противном случае могли бы быть организованы по принципу «точно вовремя». Морские контейнерные перевозки служат, вероятно, самыми значительными источниками очередей, так как владельцы судов-контейнеровозов всегда стремятся эксплуатировать их с полной загрузкой.

Форд решал эту проблему, приобретая в собственность компании как сами суда, так и предприятия, поставлявшие ему покупные изделия. Благодаря этому ему удавалось всегда иметь в портах запас материалов, ожидающих погрузки, и простой судов под загрузкой редко превышал 24 ч. Но даже при такой организации погрузочно-разгрузочных работ и грузовых перевозок Форду не удавалось избавиться от больших запасов, поскольку перевозка материалов судами возможна только большими партиями. Усугубляет дело и наличие в производственной системе многих поставщиков, которые могут быть одновременно звеньями различных цепочек поставок. Все они обязаны доставить свою продукцию в порт к моменту прибытия судна-перевозчика, а это означает, что какой-то части отгружаемых изделий неизбежно придется подождать своей очереди на погрузку либо в порту, либо на складе предприятия-изготовителя. Если заказчику требуется прибытие партии покупных изделий к определенному сроку, а у каждого поставщика может быть по несколько заказчиков, устанавливающих собственные сроки поставок, то судно должно прибыть в порт назначения до самой ранней из назначенных дат (табл. 8.2).

Например, расстояние от Лос-Анджелеса до Манилы (Филиппины) составляет 7295 миль (11 740 км), до Шанхая (КНР) — 6490 миль (10 440 км) и до Токио (Япония) — 5480 миль (8820 км)\*. Если допустить, что грузовое судно способно устойчиво двигаться со скоростью 25 узлов (45,7 км/ч), то, для того чтобы покрыть кратчайшее из указанных расстояний, ему потребуется не менее 8 сут. В рассматриваемом примере только заказчик С получит покупные изделия точно вовремя, и то при условии, что их транспортирование не займет более 8 сут.

Время выполнения остальных заказов оказывается намного продолжительнее. Например, потребителю А необходимо получить свой заказ на 12-й день. Это означает, что заказанная им продукция должна своевременно прибыть на погрузку в порт, а чтобы определить дату размещения заказа, из нее следует вычесть промежуток времени, который требуется поставщику на изготовление этой продукции и доставку ее в порт. Транспортировка добавляет к времени выполнения заказа еще 9 дней. В настоящее время, как показывает приведенный выше пример компании Omark, вполне реально выполнение заказов на поставки комплектующих изделий в течение одного дня, но необходимость их перевозок морскими судами способно свести на нет все усилия по созданию систем поставок, организованных по принципу «точно вовремя», максимально быстро реагирующих на запросы заказчиков.

Таблица 8.2

**Проблемы снабжения при размещении производства в офшорах  
(грузовое судно выступает в роли замаскированного склада)**

Расписание движения судов			
Отправление из Азии (дни месяца)		Прибытие в США (дни месяца)	
3		11	
9		17	
15		23	
Вид изделий	Должен быть поставлен на (день месяца)	Время выполнения заказа, дни	Время ожидания в США, дни
А	12-й	9+	1
Б	16-й	13+	5
В	17-й	8+	0
Г	21-й	12+	4

Ситуация может оказаться еще более неблагоприятной, если транспортировка удваивает время выполнения заказов

«Например, в случае доставки океанским грузовым судном время транспортировки заказанной продукции из Азии в США “от двери до двери” может превышать 25 сут. В таких случаях качество продукции должно обеспечиваться с очень

\* Источник: <http://www.indo.com/distance/>.

высокой надежностью, поскольку возвращение изделий для исправления любых дефектов после того, как они попали в цепь логистики, становится чрезвычайно сложной задачей. Операции, организованные по принципу "точно вовремя", не должны допускать попадания в транспортные цепочки бракованной продукции, особенно той, чьи дефекты являются скрытыми и могут быть обнаружены только по прибытии в порт назначения» (Gardner, 2001).

Отмеченная проблема полностью идентична той, которую мы уже наблюдали применительно к отдельным предприятиям, где большие запасы незавершенной продукции, долгое время ожидающей своей очереди на последующую обработку, скрывают возможные ее дефекты. Голдратт и Фокс (Goldratt and Fox, 1986) также доказывают целесообразность размещения заказов на комплектующие изделия у местных производителей, аргументируя это следующим образом:

«В некоторых случаях поставщики могут получать премию в виде надбавки к цене, если сумели обеспечить намного меньшее время выполнения заказа, чем у остальных конкурентов. Способность быстро поставлять заказанную продукцию может оказаться заметным конкурентным преимуществом западных компаний, поскольку им не требуется тратить время на доставку своей продукции через океан».

Вумек и Джонс (Womack and Jones, 1996) отмечают, что географическое положение Японии создает конкурентам местных компаний определенные преимущества, поскольку им не требуется переправлять свою продукцию потребителям морским путем. Когда у Toyota еще не было собственных предприятий в США, она была вынуждена доставлять туда морскими судами собранные в Японии автомобили, что увеличивало их себестоимость, а также добавляла несколько дней флота, т. е. нахождения материалов и комплектующих изделия в процессе транспортировки.

Привлечение заморских источников снабжения комплектующими и материалами оказывается менее обременительным, есликупаемые изделия обладают выгодными объемно-весовыми характеристиками, позволяющими доставлять их авиационным транспортом буквально на следующий день после изготовления. Полупроводниковые интегральные схемы и чипы очень часто переправляют самолетами на Дальний Восток (на Филиппины, в Малайзию или Сингапур), где их монтируют на печатные платы, которые затем отправляют воздушным путем обратно на предприятия — изготовители электронной аппаратуры. Например, президент компании Menlo Tool Company, изготавливающей мелкий твердосплавный инструмент и продающей его по цене около 100 долл. за фунт (220 долл./кг), рассказывает: «Мы имеем возможность поместить 60 фунтов продукции (27,3 кг) стоимостью 6000 долл. в обычный ящик для посылок размерами 14x12x8 дюймов (35,6x30,5x20,3 см), передать любому авиаперевозчику, который быстро доставит его куда угодно за одну ночь... Если при этом мы, в отличие от конкурентов, располагаем запасом готовой продукции, которую можем срочно отправить потребителям, то всегда одерживаем над ними верх» (Kastelic, 1993). Безусловно, в системах, организованных по принципу «точно вовремя», буферный запас готовой продукции

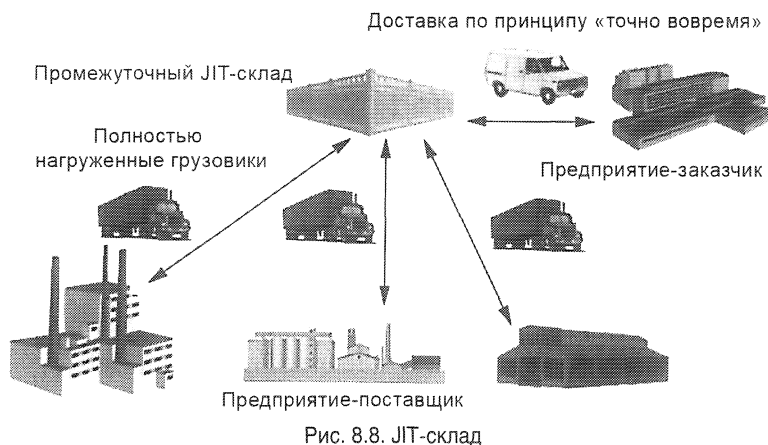
должен поддерживаться в небольших объемах, а большая часть изделий изготавливаться только на заказ.

### Доставка материалов грузовиками от местных производителей по принципу «точно вовремя»

Большие расстояния между предприятиями служат основным препятствием для организации доставки покупных изделий и материалов в течение одного дня или одних суток, требуемых для реализации принципа снабжения «точно вовремя». В этом смысле Япония и Европа благодаря более высокой плотности населения обладают определенными преимуществами, но данная проблема не является непреодолимой.

Шенбергер указывает (Schonberger, 1986), что одно из возможных ее решений — создание специальных промежуточных складов или баз снабжения (JIT warehouse), с которых осуществляются поставки по принципу «точно вовремя». Поставщики отгружают продукцию на склады большими партиями, обеспечивающими полную загрузку транспорта и достаточными для удовлетворения недельной или месячной потребности заказчиков. Затем эти изделия в нужном количестве доставляются со склада в течение дня или суток с момента поступления заказа от покупателя. Заметим при этом, что понятия «точно вовремя» и «склад» являются взаимоисключающими (рис. 8.8).

При этом вряд ли можно считать экономически оправданным решение гонять каждый день от поставщика к заказчику грузовик с покупными изделиями, нагруженный всего на 10% своей грузоподъемности (рис. 8.9). Впрочем, существует немало компаний, доверху набивающих грузовики пустыми алюминиевыми банками или бутылками и считающих это «полной загрузкой». Морской и автомобильный транспорт, безусловно, подталкивает производителей к отгрузке продукции большими партиями, поскольку перевозчики всегда стремятся минимизировать удельную стоимость перемещения единицы массы грузов.



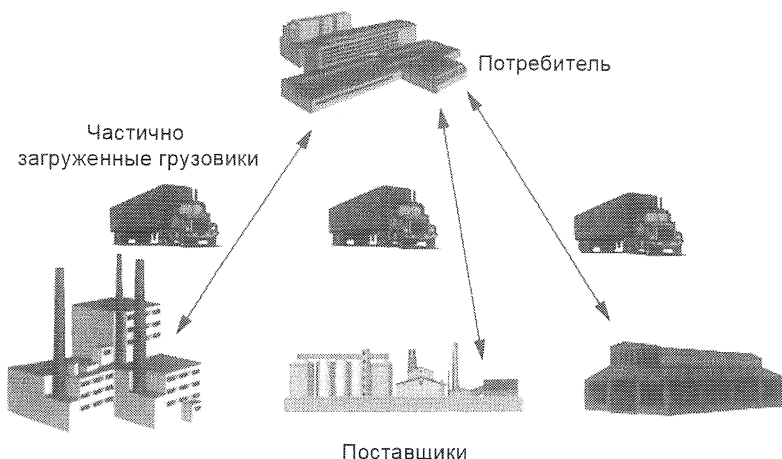


Рис. 8.9. Данная схема транспортировки не действует надлежащим образом

Более очевидным, чем создание промежуточных складов, решением можно считать так называемые «распределенные перевозки», при которых один и тот же грузовик ежесуточно или ежедневно циркулирует между несколькими поставщиками и потребителями подобно рейсовому автобусу (рис. 8.10). Сейчас в теории исследования операций имеется немало хорошо отработанных алгоритмов поиска оптимальных маршрутов подобных перевозок. Постановка рассматриваемой транспортной задачи выглядит следующим образом. Пусть имеется  $N$  источников грузов с известной производительностью (пунктов отправления) и  $M$  получателей грузов с известными потребностями (пунктов назначения). Известны также стоимости  $C_{ij}$  перевозки грузов от пункта отправления  $i$  до пункта назначения  $j$  и требуется найти такой обеспечивающий удовлетворение потребностей всех сторон маршрут, при котором общие транспортные расходы минимальны. Симплексный

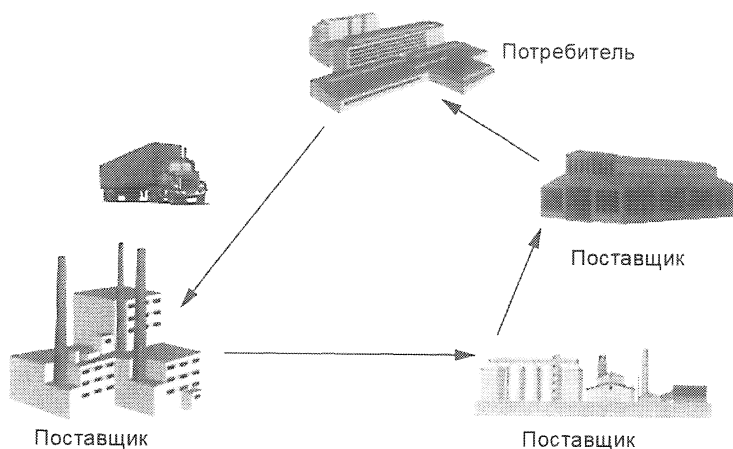


Рис. 8.10. Распределение перевозки общим транспортом

алгоритм решения данной задачи описан, например, в работе Хильера и Либермана (Hillier and Liberman, 1980). Более сложной является постановка общей задачи о перевозках, где учитывается наличие промежуточных перегрузочных пунктов, в качестве которых могут выступать точки слияния маршрутов, пункты отправления и назначения. Задача о перевозках, для которых имеются хорошо отработанные алгоритмы оптимизации, может быть также распространена на систему, состоящую из  $N$  поставщиков и  $M$  заказчиков комплектующих изделий и материалов.

Шенбергер (Schonberger, 1986) описывает пример снабжения автомобильного завода, расположенного в Детройте (штат Мичиган), комплектующими, производимыми в г. Керни и г. Линкольн (штат Небраска) и в г. Дес-Мойнес (штат Айова), удаленных от Детройта на расстояния 923, 793 и 604 мили (1485, 1276 и 972 км) соответственно. Нет никаких препятствий к тому, чтобы один и тот же грузовик в 5 утра забрал поршни двигателей, изготовленные Eaton Corporation в Керни, затем в 8:30 загрузил клиновидные ремни и шланги на заводе компании Goodyear в Линкольне, в 13:00 взял на борт другие детали в Дес-Мойнесе и доставил все это в Детройт «точно вовремя», т. е. к началу утренней смены. Можно легко подсчитать продолжительность нахождения машины в пути, если определять время по 24-часовой шкале, которой пользуются военные.

Существует также проблема выбора оптимальной последовательности загрузки и разгрузки машины, но она имеет существенное значение только при использовании грузовиков с одним задним откидывающимся бортом. Фройхауф разработал, например, конструкцию трейлера с двумя откидными боковыми бортами, позволяющими полностью разгрузить его всего за 15 мин. При обычной конструкции на подобную операцию потребовалось бы около 2 ч (Shonberger, 1986).

На рис. 8.11 показана иная схема организации перевозок, обеспечивающая соблюдение принципа доставки грузов «точно вовремя» с одновременным полным использованием номинальной грузоподъемности автомобилей. Несколько

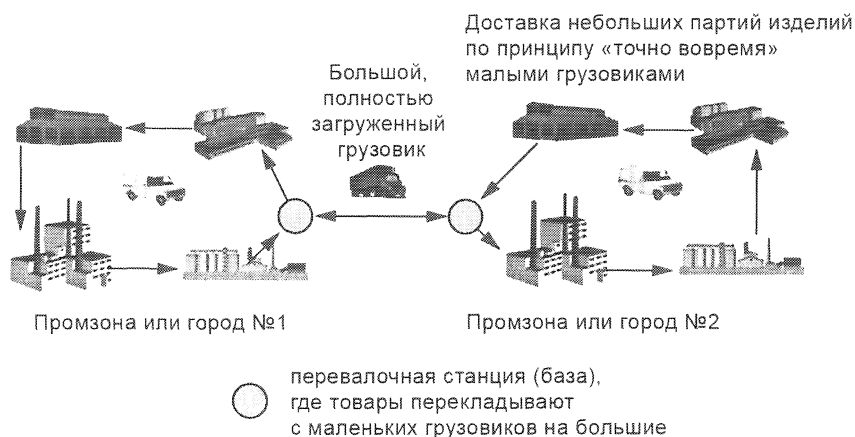


Рис. 8.11. Схема перевозок

предприятий, расположенных в одной промышленной зоне или в одном городе, совместно используют небольшой грузовичок для доставки малой партии продукции, отгружаемой в соответствии с принципом «точно вовремя» на перевалочную станцию, где формируется общая партия, достаточная для полной загрузки большого грузовика, доставляющего ее в другой город или в другую промзону. Такой же небольшой грузовик развозит по предприятиям грузы, прибывшие на перевалочную станцию. На этой схеме показаны только две промзоны и две перевалочные станции, но вполне возможным является такая организация перевозок, при которой большой грузовик по пути подвозит грузы на другие станции или забирает с них новые отправления. Единственным реальным препятствием может быть только несовместимость перевозимых грузов (которая обычно возникает при перевозках химических веществ). Но нет никаких ограничений на транспортировку между изготовителями и потребителями одним и тем же грузовиком различных изделий из металлов, пластика или керамики либо заготовок для производства полупроводниковых приборов.

### Системы управления грузовыми перевозками (FMS) и привлечение сторонних организаций для решения задач по снабжению (3PL)

Изложенные в предыдущем разделе идеи относительно организации перевозок комплектующих изделий и материалов между поставщиками и заказчиками не отличаются новизной. Аналогичные или похожие стратегии применяют в *системах управления грузовыми перевозками* (freight management services, FMS). «Под управлением грузовыми перевозками понимают системный подход к удовлетворению транспортных потребностей предприятия, обеспечивающий высокую технико-экономическую эффективность перевозок грузов» (Carter, 2001). Применение FMS снижает расходы и повышает прибыльность перевозок для транспортных предприятий, например за счет организации сквозных маршрутов доставки грузов. Последнее означает, что машина, доставившая груз в пункт назначения, забирает там новую партию изделий и отвозит их в следующую точку и т. д. При этом исключаются холостые пробеги грузовиков.

Современные компьютерные системы управления грузовыми перевозками дороги. Приобретение, отладка в соответствии с требованиями заказчика и запуск в эксплуатацию такой системы стоит около 2,5 млн долл. Поэтому многие предприятия поручают решение логистических задач специализированным организациям. Такой подход принято называть «передачей логистики третьей стороне» (third party logistics, 3PL). Относительно преимуществ систем управления грузовыми перевозками Картер добавляет, что «...наиболее заметной выгодой от их применения служит возможность оптимизации перевозок посредством анализа и консолидации отгружаемых партий грузов и использования всех существующих возможностей для их перевозки наиболее грузоподъемными и, соответственно, дешевыми транспортными средствами». Это предполагает



использование разнообразных транспортных средств, от небольших пикапов типа тех, что применяет компания UPS, до огромных трейлеров и даже железнодорожных вагонов.

Компании, владеющие FMS или выступающие в качестве третьей стороны при организации перевозок, не обязательно обладают собственными транспортными средствами. Чаще они выступают в роли координаторов работы многих предприятий-перевозчиков, обеспечивая максимальную эффективность использования их транспорта. Одной из подобных диспетчерских компаний является С.Н. Robinson Worldwide Inc., которая заявляет о себе следующее:

«CHRW является провайдером транспортных услуг, не обладающим собственными транспортными активами. Благодаря этому мы имеем возможность проявлять максимальную гибкость в подборе для наших клиентов наиболее подходящих способов перевозок грузов и соответствующих транспортных предприятий. Для этого мы наладили прочные связи с разнообразными фирмами, осуществляющими перевозки грузов автомобильным, воздушным, железнодорожным и морским транспортом, а также смешанные перевозки разными видами транспорта. Фактически нами создана крупнейшая сеть грузовых перевозок в Северной Америке»\*.

На сайте компании в Интернете подчеркивается именно эта ее роль в создании цепочек поставок. Она также предлагает своим клиентам услуги так называемого кросс-докинга (т. е. перемещения грузов внутри перевалочной станции для формирования крупных партий, обеспечивающих полную загрузку транспортных средств) и объединенной доставки грузов нескольким компаниям одним транспортным средством (pool delivery).

Картер (Carter, 2001) рекомендует применять для оптимизации перевозок программные средства, распространяемые компаниями i2 и Manugistics. На сайте [www.i2.com](http://www.i2.com), в частности, сообщается: «Пакет FreightMatrix служит средством, помогающим грузоотправителям, перевозчикам и провайдерам логистических услуг более эффективно приобретать и продавать транспортные услуги, надлежащим образом формулировать свои требования в отношении перевозок грузов и осуществлять их доставку». Программный продукт Manugistics'NetWork поддерживает такие функции, как «одновременная оптимизация входящих, исходящих внутренних потоков перевозимых грузов» наряду с отслеживанием отгрузки и доставки товаров\*\*.

Поиск в Интернете по ключевым словам freight management service и third party logistics позволяет обнаружить большое число фирм, занимающихся управлением грузовыми перевозками. Например, компания British Freightwatch сообщает о себе следующее:

«...мы стремимся по возможности объединять заказы на перевозки по одним и тем же или близким маршрутам, поступающие от разных клиентов, решая при этом всевозможные проблемы конфиденциальности или иные возникающие на

\* Источник: [http://www.chrobinson.com/cust\\_serv.asp](http://www.chrobinson.com/cust_serv.asp) (08/05/01).

\*\* [http://www.manugistics.com/solutions/networks\\_transport.asp](http://www.manugistics.com/solutions/networks_transport.asp) (08/05/01).

практике. Наши услуги не ограничиваются только перевозками грузов, но включают также сбор, хранение и упаковку отправок. Мы используем любые открывающиеся возможности для создания разнообразных выгод своим клиентам»\*.

На веб-сайтах часто встречается аббревиатура LTL, обозначающая выражение *less than load* (количество груза, меньшее номинальной грузоподъемности транспортного средства). Это означает, что современные системы FMS и 3PL справляются с решением задач отгрузки продукции мелкими партиями, не обеспечивая полную загрузку применяемого транспортного средства.

В данном разделе было доказано, что необходимость транспортировки продукции влечет за собой ее изготовление партиями, чтобы обеспечить, например, полную загрузку транспортных средств, применяемых для перевозок. Осложняет данную проблему и использование зарубежных источников снабжения материалами и комплектующими, поскольку в этом случае размеры партий должны быть достаточными для полной загрузки если не всего судна, то по крайней мере одного морского контейнера. Кроме того, доставка комплектующих изделий и материалов морем может на целые недели удлинять продолжительность выполнения заказов. Вместе с тем применение современных транспортных систем позволяет преодолевать отмеченные трудности, которые Форд умел побеждать еще в начале прошлого века. Привлечение специализированных компаний, использующих современные информационные системы для управления грузовыми перевозками или для решения всего комплекса логистических задач предприятия, позволяет реализовать на практике совет Форда «включать свои мозги, занимаясь бизнесом». Сейчас в США удалось эффективно наладить перевозки грузов между предприятиями, реализующими принцип доставки «точно вовремя», невзирая на их удаленность друг от друга.

---

\* <http://www.freightwatch.co.uk/freightsave> (08/05/01).

## ГЛАВА 9

### **МАКСИМИЗАЦИЯ ПРИБЫЛИ В ПРОЦЕССАХ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ**

В этой главе рассмотрены способы подбора номенклатуры и объемов выпуска продукции, которые позволяют максимизировать прибыли предприятия при его работе на полную мощность. Для решения подобных задач оптимизации при наличии ограничений хорошо подходят методы линейного программирования, применяемые в следующей последовательности.

1. Выбирают номенклатуру продукции, которая приносит предприятию максимальный возврат вложенных в производство средств при наличии рабочего поста (операции), служащего ограничением для всего производственного процесса. При этом используют алгоритм «что, если» для анализа возможных вариантов решений, таких как увеличение пропускной способности ограничивающего рабочего поста или исключение его из производственного процесса.
2. Повторяют этап (1), вводя ограничение в отношении необходимости удовлетворения минимального спроса на продукцию определенного наименования, определяемого уже имеющимися контрактами или обязательствами изготовителя по поставкам этих изделий. Эффективно работающая организация обязана подчинять свою деятельность задачам удовлетворения потребителей и соблюдения принятых на себя обязательств.
3. Повторяют этапы (1) или (2) с учетом рыночных ограничений по объемам выпуска определенных видов продукции. Например, ситуация, когда рынок может потребить только ограниченное количество изделий одного или нескольких видов.

Применение методов линейного программирования также может выявить ограничения, существующие на предприятиях, выпускающих разные виды продукции, указав при этом, где им следует привлечь дополнительные ресурсы для получения максимальной прибыли. Для определения целесообразности изменений потребности в ресурсном обеспечении или продаж продукции компании со скидками также подходит алгоритм оптимизации «что, если». Оптимизация прибыли предприятия с учетом только ограничений, наложенных на его производительность, является наиболее простым случаем применения методов линейного программирования.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИБЫЛИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ НАЛИЧИИ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО ЕГО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Рассмотрим предприятие, выпускающее продукцию трех видов: Р, Q и R. Оборудование, применяемое для их изготовления, может работать по 20 ч/сут (1200 мин). Основные характеристики продукции (необходимое время загрузки применяемого оборудования (станка) при изготовлении единицы каждого вида продукции и маргинальная прибыль от выпуска одной дополнительной ее единицы) приведены в табл. 9.1.

Приведенная таблица фактически является электронной таблицей MS Excel, легко распознаваемой программой VisualBasic LP, реализующей симплекс-метод линейного программирования. Колонка «Тип ограничения» введена для условного обозначения ограничений, налагаемых на способ применения того или иного вида оборудования. Значок «<» показывает, что данное оборудование может использоваться на протяжении любого времени вплоть до максимально допустимого, а значок «=» — что данное оборудование должно использоваться в течение всего допустимого времени. Возможно также применение значка «>», указывающего, что данное оборудование должно использоваться больше суток, но в нашем случае его применение неактуально.

Приведенный пример является достаточно простым. Данные таблицы показывают, что продукция Р обеспечивает максимальную маргинальную прибыль, а операция термической обработки является ограничением при производстве этой продукции, позволяя производить максимум 120 единиц продукции Р в день и получать при этом прибыль в размере 960 долл. Постановка задачи оптимизации выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned}
 Z - 8x_1 - 4x_2 - 5x_3 &= 0 \\
 4x_1 + 6x_2 + 8x_3 + x_4 &= 1200 \text{ Вырубка} \\
 8x_1 + 4x_2 + 6x_3 + x_5 &= 1200 \text{ Сверление} \\
 4x_1 + 8x_2 + 4x_3 + x_6 &= 1200 \text{ Шлифовка} \\
 10x_1 + 5x_2 + 8x_3 + x_7 &= 1200 \text{ Термообработка}
 \end{aligned}$$

Таблица 9.1  
Характеристики продукции трех видов

Наименование продукции			Р	Q	R
Маргинальная прибыль, долл.			8	4	5
Оборудование	Тип ограничения	Предельное время использования, мин/сут	Необходимое время загрузки оборудования при изготовлении единицы продукции, мин		
Вырубной пресс	<	1200	4	6	8
Сверлильный станок	<	1200	8	4	6
Шлифовальный станок	<	1200	4	8	4
Печь для термической обработки	<	1200	10	5	8

где  $Z$  — прибыль,  $x_1, x_2, x_3$  — количество произведенных изделий видов P, Q, R соответственно, а  $x_4, x_5, x_6, x_7$  — искусственные переменные для каждой из четырех операций, обозначающие резерв времени при их выполнении в связи с избытками производственной мощности соответствующих рабочих постов. Рабочий пост, для которого эта искусственная переменная равна нулю, является ограничением процесса. (Заметим, что в случае планирования проектов последовательность работ, для которых нет запаса времени выполнения, представляет собой критический путь сетевого графика этого проекта.)

### Решение задачи симплекс-методом линейного программирования

Составим теперь симплекс-таблицу для приведенной выше системы уравнений, скопировав в нее числовые коэффициенты при всех переменных. Столбец RHS содержит текущие значения базисных (ненулевых) переменных в правых частях уравнений. Небазисные переменные, отсутствующие в таблице, равны нулю.

Исходные значения базисных переменных (при  $x_1=x_2=x_3=0$ ) равны значениям соответствующих искусственных переменных. Из приведенной системы уравнений следует, что в момент, когда производство еще не начато, каждый станок обладает запасом мощности, равным 1200 мин/сут. RHS для  $Z$  равно полученной прибыли, и поскольку производство начинается с нулевых значений  $x_1, x_2$  и  $x_3$ , то в исходной таблице значение  $Z$  в столбце RHS=0.

Процедура линейного программирования заключается в таком распределении имеющихся производственных ресурсов, при котором обеспечивается максимально возможная прибыль от продаж произведенной продукции. Эта процедура включает следующие этапы (Hillier and Liberman, 1980):

1. Определить *входящую базисную переменную*, выбрав переменную (которая не является базисной), имеющую наибольший по модулю отрицательный коэффициент в уравнении для прибыли  $Z$ . Эта небазисная переменная максимально влияет на прибыль, а коэффициент при ней есть не что иное, как  $dZ/dx$ . Соответствующий этой переменной столбец таблицы будем называть *разрешающим столбцом* (pivot column).
2. Определить *исключаемую базисную переменную* — ту, которую заменит входящая базисная переменная, поделив правый столбец (RHS) на соответствующие коэффициенты в разрешающем столбце. Эту операцию производят только для положительных коэффициентов. Строка (разрешающая строка) с наименьшим результатом содержит исключаемую базисную переменную. Если в столбце RHS будет указано несколько одинаковых наименьших значений, то для определения исключаемой переменной может быть использована любая из этих строк. В табл. 9.2 исключаемой является искусственная переменная  $x_7$  (ФП 4), поскольку она находится в строке с RHS=1200:10=120 меньшим, чем RHS=1200:8=150 или RHS=1200:4=300 для других строк.

3. Разделить разрешающую строку таблицы на коэффициент разрешающего элемента (на пересечении разрешающих столбца и строки), чтобы сделать этот коэффициент равным единице (табл. 9.2а). Затем из каждой строки матрицы следует вычесть разрешающую строку столько раз, сколько требуется, чтобы все остальные элементы разрешающего столбца стали равными нулю. В результате получаем матрицу, приведенную в табл. 9.2б.
4. Повторять для полученной матрицы операции (1) и (2) до тех пор, пока все коэффициенты в уравнении (0) не станут положительными. Поскольку эти

Таблица 9.2

Симплекс-таблица для системы уравнений (выделены разрешающие столбец и строка)

Исходная таблица										
Базисная переменная	Номер уравнения	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	ФП 1	ФП 2	ФП 3	ФП 4	RHS
Z	0	1	-8	-4	-5	0	0	0	0	0
ФП 1	1	0	4	6	8	1	0	0	0	1200
ФП 2	2	0	8	4	6	0	1	0	0	1200
ФП 3	3	0	4	8	4	0	0	1	0	1200
ФП 4	4	0	10	5	8	0	0	0	1	1200

Таблица 9.2а

Результаты деления разрешающей строки на коэффициент разрешающего элемента

Исходная таблица										
Базисная переменная	Номер уравнения	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	ФП 1	ФП 2	ФП 3	ФП 4	RHS
Z	0	1	-8	-4	-5	0	0	0	0	0
ФП 1	1	0	4	6	8	1	0	0	0	1200
ФП 2	2	0	8	4	6	0	1	0	0	1200
ФП 3	3	0	4	8	4	0	0	1	0	1200
ФП 4	4	0	1	0,5	0,8	0	0	0	1	120

Таблица 9.2б

Результаты преобразования исходной матрицы, обращая в нуль остальные коэффициенты элементов в разрешающем столбце

Таблица 1										
Базисная переменная	Номер уравнения	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	ФП 1	ФП 2	ФП 3	ФП 4	RHS
Z	0	1	0	0	1,4	0	0	0	0,8	960
ФП 1	1	0	0	4	4,8	1	0	0	-0,4	720
ФП 2	2	0	0	0	-0,4	0	1	0	-0,8	240
ФП 3	3	0	0	6	0,8	0	0	1	-0,4	720
$x_1$	4	0	1	0,5	0,8	0	0	0	0,1	120

коэффициенты представляют  $dZ/dx$ , то переход производной через нуль означает, что дальнейшие итерации не будут сопровождаться увеличением целевой функции  $Z$ .

В приведенном примере можно остановиться на этапе, отраженном в табл. 9.26, поскольку все коэффициенты уравнения (0) стали неотрицательными. Результаты оптимизации можно увидеть в столбце RHS, из которого следует, что оптимальным вариантом для предприятия является производство только продукции Р в количестве 120 ед. При этом:

- прибыль предприятия  $Z$  составит 960 долл.;
- резервы загрузки составят для:
  - вырубного пресса 720 мин ( $\Phi\text{П } 1 = x_4$ );
  - сверлильного станка 240 мин ( $\Phi\text{П } 2 = x_5$ );
  - шлифовального станка 720 мин ( $\Phi\text{П } 3 = x_6$ );
- печь для термической обработки является ограничением всего процесса и не имеет резерва загрузки (коэффициент при  $\Phi\text{П } 4 = x_7 \approx 0$ ). Отметим, что  $x_7$  не является базисной переменной и отсутствует в левом столбце таблицы 9.26.

### Теневые цены, или

Где первоначально следует наращивать производственные мощности

Теневой ценой (shadow price) некоторого ресурса, используемого в производственном процессе, принято называть коэффициент при соответствующей ему искусственной переменной в итоговом уравнении для прибыли  $Z$ . Теневая цена представляет собой маргинальную стоимость данного ресурса или, иными словами, возможную выгоду от его наращивания. *В теории ограничений под теневой ценой понимают маргинальную или дифференцированную выгоду от ослабления ограничения, достигаемого, в общем случае, наращиванием соответствующего ресурса* (например, увеличением производительности ограничивающей процесс операции). Если соответствующая данному ресурсу искусственная переменная положительна, то его теневая цена равна нулю, поскольку он уже является избыточным.

Например, в рассматриваемом случае нет смысла наращивать производительность таких операций, как рубка заготовок, сверление или шлифование, поскольку они характеризуются избытком производственных мощностей. Между тем увеличение резерва времени при использовании печи для термической обработки всего на 10 мин немедленно увеличивает прибыль предприятия на 8 долл. *Теневая цена определенного ресурса подсказывает, совершенствованию каких операций следует уделить повышенное внимание, применяя такие методы, как всеобщее техническое обслуживание оборудования, системы быстрой переналадки и т. д.*

Напомним, что ослабление существующего ограничения способно привести к возникновению нового ограничения процесса, но в другой его части. Следует также иметь в виду, что теневая цена представляет собой характеристику текущего состояния процесса, указывая на маргинальную или дифференцированную

выгоду от его совершенствования. Тот факт, что увеличение резерва времени для термообработки на 10 мин дает увеличение прибыли на 8 долл., вовсе не означает, что, увеличив этот резерв на 1000 мин, мы получим 800 долл. прибыли. На самом деле расчеты показывают, что при увеличении этого резерва на 301 мин ограничением процесса становится уже операция сверления, а не термической обработки.

Таблица 9.2в\*  
Теневые цены

Таблица 1										
Базисная переменная	Номер уравнения	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	ФП 1	ФП 2	ФП 3	ФП 4	RHS
Z	0	1	0	0	1,4	0	0	0	0,8	960
ФП 1	1	0	0	4	4,8	1	0	0	-0,4	720
ФП 2	2	0	0	0	-0,4	0	1	0	-0,8	240
ФП 3	3	0	0	6	0,8	0	0	1	-0,4	720
$x_1$	4	0	1	0,5	0,8	0	0	0	0,1	120

В каком случае оптимальная прибыль достигается при изготовлении определенного набора изделий разных типов

Приведенный выше пример не представляет особого интереса, поскольку позволяет получить лишь общее представление о симплекс-методе и содержании таблиц, используемых при его применении. В табл. 9.3 приведены исходные данные, описывающие более сложную ситуацию, когда максимальную прибыль предприятию приносит производство некоторого набора изделий разных типов.

Данные табл. 9.3 и 9.1 различаются лишь тем, что увеличилась маргинальная прибыль от выпуска каждой дополнительной единицы продукции типов Q и R.

Таблица 9.3  
Новые исходные данные. Производство изделий Q и R является более выгодным, чем прежде

Наименование продукции			P	Q	R
Маргинальная прибыль, долл.			8	6	6
Оборудование	Тип ограничения	Предельное время использования, мин/сут	Необходимое время загрузки оборудования при изготовлении единицы продукции, мин		
Вырубной пресс	<	1200	4	6	8
Сверлильный станок	<	1200	8	4	6
Шлифовальный станок	<	1200	4	8	4
Печь для термической обработки	<	1200	10	5	8

\* Между таблицами 9.2б и 9.2в разница все же есть — в последней выделена тенью разрешающая строка. — *Прим. науч. ред.*



В этом случае система уравнений для решения задачи оптимизации приобретает следующий вид.

$$\begin{aligned}
 Z - 8x_1 - 6x_2 - 6x_3 &= 0 \\
 4x_1 + 6x_2 + 8x_3 + x_4 &= 1200 \text{ Вырубка} \\
 8x_1 + 4x_2 + 6x_3 + x_5 &= 1200 \text{ Сверление} \\
 4x_1 + 8x_2 + 4x_3 + x_6 &= 1200 \text{ Шлифовка} \\
 10x_1 + 5x_2 + 8x_3 + x_7 &= 1200 \text{ Термообработка}
 \end{aligned}$$

Соответственно, исходная симплекс-таблица и ее преобразования отражены в табл. 9.3а.

Из таблицы следует, что лучшие результаты дает производство 60 единиц продукции Р ( $x_1$ ) и 120 единиц продукции Q ( $x_2$ ). Получаемая при этом прибыль

Таблица 9.3а

**Решение системы уравнений симплекс-методом линейного программирования (разрешающие столбцы и строки выделены цветом)**

Исходная таблица										
Базисная переменная	Номер уравнения	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	ФП 1	ФП 2	ФП 3	ФП 4	RHS
Z	0	1	-8	-6	-6	0	0	0	0	0
ФП 1	1	0	4	6	8	1	0	0	0	1200
ФП 2	2	0	8	4	6	0	1	0	0	1200
ФП 3	3	0	4	8	4	0	0	1	0	1200
ФП 4	4	0	10	5	8	0	0	0	1	1200

Таблица 1										
Базисная переменная	Номер уравнения	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	ФП 1	ФП 2	ФП 3	ФП 4	RHS
Z	0	1	0	-2	0,4	0	0	0	0,8	960
ФП 1	1	0	0	4	4,8	1	0	0	-0,4	720
ФП 2	2	0	0	0	-0,4	0	1	0	-0,8	240
ФП 3	3	0	0	6	0,8	0	0	1	-0,4	720
$x_1$	4	0	1	0,5	0,8	0	0	0	0,1	120

Таблица 2										
Базисная переменная	Номер уравнения	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	ФП 1	ФП 2	ФП 3	ФП 4	RHS
Z	0	1	0	0	0,67	0	0	0,33	0,67	1200
ФП 1	1	0	0	0	4,27	1	0	-0,67	-0,13	240
ФП 2	2	0	0	0	-0,4	0	1	0	-0,8	240
$x_2$	3	0	0	1	0,13	0	0	0,17	-0,07	120
$x_1$	4	0	1	0	0,73	0	0	-0,08	0,13	60

составит 1200 долл. Ограничениями процесса в данном случае служат операции шлифования и термической обработки, а на вырубку заготовок и сверление существуют резервы времени по 240 мин для каждой (ФП 1 и ФП 2).

Рассмотрим, какой эффект может дать наличие резерва времени на операции термической обработки (ФП 4), равного 10 мин. Теоретически (поскольку предприятие не может выпускать дробное количество изделий) это позволит производить 61,33 изделия Р и 119,33 изделия Q, что принесет предприятию прибыль в размере 1206,67 долл., т. е. увеличит прибыль на 6,67 долл. Иными словами, теневая цена или изменение маргинальной прибыли на единицу увеличения производственной мощности операции термической обработки составят:

$$\frac{dZ}{d(\text{термообработка})} = \frac{6,67 \text{ долл.}}{10 \text{ мин}} = 0,67 \text{ долл.}$$

Обратимся теперь к теневой цене операции шлифования (ФП 3). Увеличение резерва времени на этой операции на те же 10 мин позволит произвести 59,17 изделия Р и 121,67 изделия Q, получив при этом прибыль, равную 1203,33 долл., т. е. увеличение прибыли составит 3,33 долл. Иными словами:

$$\frac{dZ}{d(\text{шлифование})} = \frac{3,33 \text{ долл.}}{10 \text{ мин}} = 0,33 \text{ долл.}$$

### Последствия совершенствования процесса

Симплекс—метод линейного программирования позволяет с легкостью анализировать ситуации «что, если», включая возможные последствия различных вариантов совершенствования производственных процессов. Как следует из табл. 9.1, продукция Р обладает наибольшей маргинальной прибылью для предприятия, но ее изготовление также максимально загружает участок термической обработки. Применение специального сплава для изготовления продукции Р (например, в компании Omark) позволяет избавиться от термообработки этих изделий, но одновременно увеличивает стоимость каждого из них на 1 долл. В условиях, отраженных в табл. 9.1, предприятие ежедневно могло получать 960 долл. прибыли, выпуская по 120 изделий Р. Возникает вопрос, как переход на новый сплав при ее изготовлении повлияет на прибыли? Чтобы получить ответ, достаточно изменить величину маргинальной прибыли от производства единицы продукции Р с 8 долл. на 7 долл., чтобы отразить последствия применения более дорогого материала, одновременно установив коэффициент при  $x_4$  в уравнении (0), равным нулю (отсутствие потребности в термообработке).

Решение новой системы уравнений при новых исходных данных (табл. 9.4) дает следующие результаты (табл. 9.4а). Изготовление по 100 ед. продукции Р и Q принесет предприятию 1100 долл. прибыли, т. е. переход на новый сплав является экономически выгодным для предприятия, позволяя ему получать большую прибыль по сравнению с предыдущей ситуацией (табл. 9.1). Изменилось также распределение резервов времени по операциям, составляющих для вырубki заготовок

Таблица 9.4

**Применение нового сплава при изготовлении продукции Р**

Наименование продукции			Р	Q	Р
Маргинальная прибыль, долл.			7	4	5
Оборудование	Тип ограничения	Предельное время использования, мин/сут	Необходимое время загрузки оборудования при изготовлении единицы продукции, мин		
Вырубной пресс	<	1200	4	6	8
Сверлильный станок	<	1200	8	4	6
Шлифовальный станок	<	1200	4	8	4
Печь для термической обработки	<	1200	0	5	8

Таблица 9.4а

**Решение системы уравнений для случая перехода на новый сплав при изготовлении продукции Р симплекс-методом линейного программирования**

Исходная таблица										
Базисная переменная	Номер уравнения	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	ФП 1	ФП 2	ФП 3	ФП 4	RHS
Z	0	1	-7	-4	-5	0	0	0	0	0
ФП 1	1	0	4	6	8	1	0	0	0	1200
ФП 2	2	0	8	4	6	0	1	0	0	1200
ФП 3	3	0	4	8	4	0	0	1	0	1200
ФП 4	4	0	0	5	8	0	0	0	1	1200

Таблица 1										
Базисная переменная	Номер уравнения	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	ФП 1	ФП 2	ФП 3	ФП 4	RHS
Z	0	1	0	-0,5	0,25	0	0,88	0	0	1050
ФП 1	1	0	0	4	5	1	-0,5	0	0	600
$x_1$	2	0	1	0,5	0,75	0	0,13	0	0	150
ФП 3	3	0	0	6	1	0	-0,5	1	0	600
ФП 4	4	0	0	5	8	0	0	0	1	1200

Таблица 2										
Базисная переменная	Номер уравнения	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	ФП 1	ФП 2	ФП 3	ФП 4	RHS
Z	0	1	0	0	0,33	0	0,83	0,08	0	1100
ФП 1	1	0	0	0	4,33	1	-0,17	-0,67	0	200
$x_1$	2	0	1	0	0,67	0	0,17	-0,08	0	100
$x_2$	3	0	0	1	0,17	0	-0,08	0,17	0	100
ФП 4	4	0	0	0	7,17	0	0,42	-0,83	1	700

(ФП1) 200 мин и для термической обработки (ФП4) 700 мин, а ограничениями процесса стали операции сверления и шлифования.

Теневая цена операции сверления (ФП2) составляет 83 цента в минуту. Поэтому теперь имеет смысл увеличить резерв времени на этой операции. Если добавить к этой операции лишние 10 мин, то это позволит произвести 101,67 изделия Р и 99,17 изделия Q, что принесет прибыль 1108,33 долл., т. е. повлечет за собой увеличение прибыли на 8,33 долл., или на 83 цента в минуту.

В следующем разделе будет рассмотрен случай, когда предприятие вынуждено производить менее выгодную для себя продукцию, чтобы выполнить принятые на себя контрактные обязательства. Симплекс-метод позволяет учесть возникшую ситуацию путем включения дополнительного ограничения на номенклатуру продукции в исходную систему уравнений.

## МАКСИМИЗАЦИЯ ПРИБЫЛИ В УСЛОВИЯХ НАЛИЧИЯ КОНТРАКТНЫХ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ

Предыдущее решение не предусматривает изготовления продукции R, менее выгодной для предприятия по сравнению с другими видами изделий. Предположим теперь, что это предприятие обязано выпускать по 60 изделий R в день, поскольку оно связано ранее заключенным контрактом на их поставку определенному потребителю или не желает потерять этого потребителя, хотя контракт с ним еще не подписан. Теперь в постановку задачи необходимо включить дополнительное ограничение: «выпуск изделий R должен неизменно составлять 60 шт. в день» (табл. 9.5).

Линейное программирование в случае введения ограничений типа «точно равно» или «больше, чем» требует введения искусственных переменных, отражающих эти ограничения, и параметра «значимое M», характеризующего величину штрафа (убытков) за (в результате) их нарушение(я). Обычно величину M полага-

Таблица 9.5

**Характеристики продукции с учетом имеющихся контрактных обязательств**

Наименование продукции			P	Q	R
Маргинальная прибыль, долл.			8	4	5
Оборудование	Тип ограничения	Предельное время использования, мин/сут	Необходимое время загрузки оборудования при изготовлении единицы продукции, мин		
Вырубной пресс	<	1200	4	6	8
Сверлильный станок	<	1200	8	4	6
Шлифовальный станок	<	1200	4	8	4
Печь для термической обработки	<	1200	10	5	8
Обязательство	=	60	0	0	1

ют бесконечно большой, чтобы принудить к обязательному соблюдению нового ограничения в процессе поиска оптимального решения.

Система уравнений, описывающая данные, представленные в табл. 9.5, приобретает следующий вид:

$$\begin{aligned}
 Z - 8x_1 - 4x_2 - 5x_3 &+ \bar{M}x_8 = 0 \\
 4x_1 + 6x_2 + 8x_3 + x_4 &= 1200 \text{ Вырубка} \\
 8x_1 + 4x_2 + 6x_3 + x_5 &= 1200 \text{ Сверление} \\
 4x_1 + 8x_2 + 4x_3 + x_6 &= 1200 \text{ Шлифовка} \\
 10x_1 + 5x_2 + 8x_3 + x_7 &= 1200 \text{ Термообработка} \\
 0x_1 + 0x_2 + x_3 + \bar{x}_8 &= 60 \text{ Контрактное обязательство,}
 \end{aligned}$$

где  $x_8$  — искусственная переменная.

В этом случае первым шагом должно быть приведение к нулю всех коэффициентов при разрешающих переменных в уравнении (0) для прибыли  $Z$  в исходной симплекс-таблице. Для этого следует умножить уравнение (5) на  $M$ , после чего вычесть преобразованное уравнение (5) из уравнения (0).

Отметим появление величины очень большого штрафа —  $60M$  в уравнении для прибыли, который заставляет принудительно включить в итоговое решение выпуск 60 единиц продукции  $R$  при любых обстоятельствах. Поскольку величина  $M$  намного больше всех остальных коэффициентов при переменных, то столбец  $x_3$  табл. 9.5б, безусловно, является разрешающим.

Таблица 9.5а  
Симплекс-таблица при наличии ограничения «точно равно»

Исходная таблица											
Разрешающие переменные	№ ур.	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	Artif.	RHS
Z	0	1	-8	-4	-5	0	0	0	0	M	0
$x_4$	1	0	4	6	8	1	0	0	0	0	1200
$x_5$	2	0	8	4	6	0	1	0	0	0	1200
$x_6$	3	0	4	8	4	0	0	1	0	0	1200
$x_7$	4	0	10	5	8	0	0	0	1	0	1200
Artif.	5	0	0	0	1	0	0	0	0	1	60

Таблица 9.5б  
Преобразованная симплекс-таблица

Исходная таблица											
Разрешающие переменные	№ ур.	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	Artif.	RHS
Z	0	1	-8	-4	-M-5	0	0	0	0	0	-60M
$x_4$	1	0	4	6	8	1	0	0	0	0	1200
$x_5$	2	0	8	4	6	0	1	0	0	0	1200
$x_6$	3	0	4	8	4	0	0	1	0	0	1200
$x_7$	4	0	10	5	8	0	0	0	1	0	1200
Artif.	5	0	0	0	1	0	0	0	0	1	60

Таблица 9.5в  
Оптимальное симплекс-решение

Таблица 1											
Разрешающие переменные	№ ур.	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	Artif.	RHS
Z	0	1	-8	-4	0	0	0	0	0	M+5	300
ФП <sub>1</sub>	1	0	4	6	0	1	0	0	0	-8	720
ФП <sub>2</sub>	2	0	8	4	0	0	1	0	0	-6	840
ФП <sub>3</sub>	3	0	4	8	0	0	0	1	0	-4	960
ФП <sub>4</sub>	4	0	10	5	0	0	0	0	1	-8	720
$x_3$	5	0	0	0	1	0	0	0	0	1	60

Таблица 2											
Разрешающие переменные	№ ур.	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	Artif.	RHS
Z	0	1	-8	-4	-5	0	0	0	0,8	M-1,4	876
ФП <sub>1</sub>	1	0	0	4	0	1	0	0	-0,4	-4,8	432
ФП <sub>2</sub>	2	0	0	0	0	0	1	0	-0,8	0,4	264
ФП <sub>3</sub>	3	0	0	6	0	0	0	1	-0,4	-0,8	672
$x_1$	4	0	1	0,5	0	0	0	0	0,1	-0,8	72
$x_3$	5	0	0	0	1	0	0	0	0	1	60

В условиях данного примера оптимальным решением является выпуск 72 изделий Р ( $x_1$ ) и 60 изделий R ( $x_3$ ) в день, что принесет предприятию ежедневную прибыль в размере 876 долл. При этом в процессе будут резервы времени на всех операциях, кроме термической обработки. Теневая цена для этой операции составляет 80 центов в минуту, что служит существенным резервом для повышения прибыльности работы предприятия. Поскольку на всех остальных операциях имеется достаточный запас производственных мощностей, то каждые 10 резервных минут, добавленных к операции термообработки, будут увеличивать ежедневную прибыль предприятия на 8 долл.

В этом разделе мы рассмотрели случай, когда ограничение в виде контрактных обязательств существует внутри самого предприятия. В следующем разделе будет приведен пример поиска оптимального решения при наличии внешних, рыночных ограничений.

## МАКСИМИЗАЦИЯ ПРИБЫЛИ ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ РЫНОЧНОМ СПРОСЕ НА ПРОДУКЦИЮ ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассмотрим теперь, как в процессе оптимизации могут быть учтены рыночные ограничения или, иными словами, предельное число единиц продукции каждого типа, которое предприятие в состоянии реализовать на рынке. Табл. 9.6 иллюстрирует ситуацию, при которой предприятие имеет возможность ежедневно продавать не более 40 ед. самой выгодной для него продукции Р. Таким образом,

в систему уравнений в качестве ограничения должен быть включен предельный спрос на продукцию Р:

$$\begin{aligned}
 Z - 8x_1 - 4x_2 - 5x_3 &= 0 \\
 4x_1 + 6x_2 + 8x_3 + x_4 &= 1200 \text{ Вырубка} \\
 8x_1 + 4x_2 + 6x_3 + x_5 &= 1200 \text{ Сверление} \\
 4x_1 + 8x_2 + 4x_3 + x_6 &= 1200 \text{ Шлифовка} \\
 10x_1 + 5x_2 + 8x_3 + x_7 &= 1200 \text{ Термообработка} \\
 x_1 + 0x_2 + 0x_3 + x_8 &= 60 \text{ Ограниченный спрос на Р}
 \end{aligned}$$

В данном случае оптимальным будет решение изготавливать по 40 изделий Р в день (все, что может потребить рынок), 116,36 изделия Q и 27,27 изделия R, получая при этом максимально возможную в этих условиях прибыль, равную 921,82 долл. в день. При этом резервы времени на вырубке заготовок составят 123,64 мин и на сверлении 250,91 мин (переменные  $x_4$  и  $x_5$ ).

Теневая цена продукции Р, равная в данном случае 1,91 долл., указывает на то, что каждое дополнительно проданное изделие этого типа способно принести предприятию 1,91 долл. прибыли. Поэтому при поступлении заказа на еще одно изделие Р его следует немедленно исполнить, скорректировав при этом задания по выпуску остальных изделий. При изготовлении 41 изделия Р вместо прежних 40 оптимальным решением будет изготовление 116,55 изделия Q и 25,91 изделия R, что принесет предприятию 923,73 долл. прибыли (прирост составит 1,91 долл.). Приведенный пример не может служить основанием для соответствующего планирования производства, тем более что предприятие не в состоянии производить дробное число изделий каждого типа, но предупреждает о том, что отделы маркетинга и сбыта предприятия должны искать дополнительные заказы на самую выгодную продукцию Р.

Предположим теперь, что в процессе поиска дополнительных заказов отделу маркетинга удалось обнаружить потребителя, готового приобретать еще по

Таблица 9.6

**Характеристики продукции с учетом ограниченного рыночного спроса**

Наименование продукции			Р	Q	R
Маргинальная прибыль, долл.			8	4	5
Оборудование	Тип ограничения	Предельное время использования, мин/сут	Необходимое время загрузки оборудования при изготовлении единицы продукции, мин		
Вырубной пресс	<	1200	4	6	8
Сверильный станок	<	1200	8	4	6
Шлифовальный станок	<	1200	4	8	4
Печь для термической обработки	<	1200	10	5	8
Ограничение спроса	<	40	1	0	0

Таблица 9.6а

**Симплекс-таблица при наличии рыночного ограничения**

Исходная таблица											
Разрешающие переменные	№ ур.	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	RHS
Z	0	1	-8	-4	-5	0	0	0	0	0	0
$x_4$	1	0	4	6	8	1	0	0	0	0	1200
$x_5$	2	0	8	4	6	0	1	0	0	0	1200
$x_6$	3	0	4	8	4	0	0	1	0	0	1200
$x_7$	4	0	10	5	8	0	0	0	1	0	1200
$x_8$	5	0	1	0	0	0	0	0	0	1	40

Таблица 1											
Разрешающие переменные	№ ур.	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	RHS
Z	0	1	0	-4	-5	0	0	0	0	8	320
$x_4$	1	0	0	6	8	1	0	0	0	-4	1040
$x_5$	2	0	0	4	6	0	1	0	0	-8	880
$x_6$	3	0	8	4	0	0	1	0	0	-4	1040
$x_7$	4	0	0	5	8	0	0	0	1	-10	800
$x_1$	5	0	1	0	0	0	0	0	0	1	40

Таблица 2											
Разрешающие переменные	№ ур.	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	RHS
Z	0	1	0	-0,88	0	0	0	0	0,63	1,75	820
$x_4$	1	0	0	1	0	1	0	0	-1	6	240
$x_5$	2	0	0	0,25	0	0	1	0	-0,75	-0,5	280
$x_6$	3	0	0	5,5	0	0	0	1	-0,5	1	640
$x_3$	4	0	0	0,63	1	0	0	0	0,13	-1,25	100
$x_1$	5	0	1	0	0	0	0	0	0	1	40

Таблица 3											
Разрешающие переменные	№ ур.	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	RHS
Z	0	1	0	0	0	0	0	0,16	0,55	1,91	921,82
$x_4$	1	0	0	0	0	1	0	-0,18	-0,91	5,82	123,64
$x_5$	2	0	0	0	0	0	1	-0,05	-0,73	-0,55	250,91
$x_2$	3	0	0	1	0	0	0	0,18	-0,09	0,18	116,36
$x_3$	4	0	0	0	1	0	0	-0,11	0,18	-1,36	27,27
$x_1$	5	0	1	0	0	0	0	0	0	1	40



40 изделий Р, но с однодолларовой скидкой с цены каждого изделия. (Аналогичная ситуация описана в книге: Goldratt and Cox, 1992.) Постановка задачи оптимизации для такого случая представлена в табл. 9.7 и соответствующей системой уравнений:

$$\begin{aligned}
 Z - 8x_1 - 7x_2 - 4x_3 - 5x_4 &= 0 \\
 4x_1 + 4x_2 + 6x_3 + 6x_4 + x_5 &= 1200 \text{ Вырубка} \\
 8x_1 + 8x_2 + 4x_3 + 6x_4 + x_6 &= 1200 \text{ Сверление} \\
 4x_1 + 4x_2 + 8x_3 + 4x_4 + x_7 &= 1200 \text{ Шлифование} \\
 10x_1 + 10x_2 + 5x_3 + 8x_4 + x_8 &= 1200 \text{ Термообработка} \\
 x_1 + x_2 + 0x_3 + 0x_4 + x_9 &= 40 \text{ Ограниченный спрос на Р} \\
 0x_1 + x_2 + 0x_3 + 0x_4 + x_{10} &= 60 \text{ Ограниченный спрос на Р1}
 \end{aligned}$$

В данном случае оптимальное решение заключается в изготовлении 40 изделий Р для продажи с прибылью 8 долл., 20 изделий Р1 для продажи с дисконтом по 7 долл. за штуку и 120 изделий Q, что в совокупности принесет предприятию ежедневную прибыль в размере 940 долл., что больше расчетной прибыли в предыдущем примере (921,82 долл.). При этом на операциях вырубки и сверления ( $x_5$ ,  $x_6$ ) останется резерв времени по 240 мин на каждой, а на операциях шлифования и термической обработки ( $x_7$ ,  $x_8$ ) резерв времени будет отсутствовать вообще. Останется неудовлетворенным спрос на 20 изделий Р1 ( $x_{10}$ ). Теневые цены указывают на целесообразность получения дополнительных заказов на изделия Р ( $x_9$ ), но без скидки с цены или увеличения производственной мощности оборудования для шлифования ( $x_7$ ) и (или) термической обработки ( $x_8$ ). Итак, приведенный пример доказывает, что симплекс-метод линейного программирования помогает в при-

Таблица 9.7  
Модель ограниченного рыночного спроса и продаж продукции с дисконтом

Наименование продукции			Р	Р1	Q	R
Маргинальная прибыль, долл.			8	7	4	5
Оборудование	Тип ограничения	Предельное время использования, мин/сут	Необходимое время загрузки оборудования при изготовлении единицы продукции, мин			
Вырубной пресс	<	1200	4	4	6	8
Сверлильный станок	<	1200	8	8	4	6
Шлифовальный станок	<	1200	4	4	8	4
Печь для термической обработки	<	1200	10	10	5	8
		Требуемый выпуск продукции, шт./день				
Ограничение спроса на Р	<	40	1	0	0	0
Ограничение спроса на Р1	<	40	0	1	0	0

нятии решений о целесообразности расширения объема продаж продукции за счет предложения скидок.

### Вырожденное решение

Предположим теперь, что в условиях, отображенных в табл. 9.6, ограничение рыночного спроса на продукцию Р находится на уровне 60, а не 40 единиц в день, как прежде. Соответствующее оптимальное решение дано в табл. 9.8. При этом главная проблема заключается в выборе исключаемой переменной в последней таблице. Поскольку  $75/0,625=660/5,5=120$ , то здесь имеется свобода выбора. В данном случае компьютерная программа выбрала  $x_6$  в качестве исключаемой переменной, но на следующей операции разрешающая переменная  $x_3$  (объем выпуска продукции Р) становится равной нулю. Такую разрешающую переменную в линейном программировании принято называть *вырожденной* (Hillier and Liberman, 1980).

В то же время полученное решение все еще остается оптимальным, и, очевидно, не возникает никаких проблем с интерпретацией теневой цены для  $x_1$  (операция термической обработки). Но теневая цена для  $x_8$  (спрос на продукцию Р), равная 1,91 долл., в данном случае ошибочна. Если спрос на изделия Р вырастет до 61 шт., то для получения дополнительной прибыли, равной 8 долл., допол-

Таблица 9.8  
Вырожденное решение, полученное симплекс-методом

Таблица 2											
Разрешающие переменные	№ ур.	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	RHS
Z	0	1	0	-0,88	0	0	0	0	0,63	1,75	855
$x_4$	1	0	0	1	0	1	0	0	-1	6	360
$x_5$	2	0	0	0,25	0	0	1	0	-0,75	-0,5	270
$x_6$	3	0	0	5,5	0	0	0	1	-0,5	1	660
$x_3$	4	0	0	0,63*	1	0	0	0	0,13	-1,25	75
$x$	5	0	1	0	0	0	0	0	0	1	60

Таблица 3											
Разрешающие переменные	№ ур.	Z	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	RHS
Z	0	1	0	0	0	0	0	0,16	0,55	1,91	960
$x_4$	1	0	0	0	0	1	0	-0,18	-0,91	5,82	240
$x_5$	2	0	0	0	0	0	1	-0,05	-0,73	-0,55	240
$x_2$	3	0	0	1	0	0	0	0,18	-0,09	0,18	120
$x_3$	4	0	0	0	1	0	0	-0,11	0,18	-1,36	0
$x_1$	5	0	1	0	0	0	0	0	0	1	60

\* Вероятно, 0,625.

нительное изделие этого типа может быть произведено только при условии, что не будут изготовлены два изделия Q, каждое из которых приносит прибыль, составляющую 4 долл., чтобы высвободить 10 мин на операции термической обработки. Таким образом, теневая прибыль для  $x_8$  в данных условиях должна быть равной нулю.

Вырожденные решения встречаются не так часто, и поэтому авторы не приводят алгоритма выхода из подобной ситуации. В приведенном примере проверка теневых цен проведена вручную посредством расчета прибавления прибыли за счет увеличения некоторого ресурса.

Итак, методы линейного программирования позволяют предприятиям определять состав производимой продукции, способный принести ему максимальную прибыль в рассматриваемых условиях, и выявить имеющиеся ограничения при производстве оптимально выбранного набора изделий разного типа. В процессе оптимизации учитываются ограничения, относящиеся к производственным мощностям предприятия, рыночные ограничения, лимитирующие спрос на его продукцию, и ограничения, обусловленные принятыми на себя контрактными обязательствами. Эти методы позволяют также проанализировать многие варианты решений, описываемых моделью «что, если». Анализ теневых цен в симплекс-таблицах зачастую способствует нахождению оптимальных возможностей для осуществления проектов, направленных на развитие производственных мощностей предприятия.

## ГЛАВА 10

### УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ И ПРОГРАММАМИ

В настоящее время во всем мире наблюдается небывалое обострение конкуренции между предприятиями, руководители которых требуют от менеджеров отслеживать изменения рыночных условий и гибко на них реагировать. Со своей стороны, менеджеры давно осознали неэффективность решений, вырабатываемых и принимаемых в экстренном порядке, и стараются нацеливать проекты совершенствования организаций, в которых заняты ключевые сотрудники, на выявление и устранение глубинных причин хронических проблем. Такие проекты зачастую оказываются слишком масштабными, а их результаты внедряются медленно. Это недопустимо в условиях, когда конкуренты не стоят на месте, требуются новые подходы к осуществлению проектов и реализации их результатов. Один из таких подходов — предложенный Голдраттом (Goldratt, 1997) метод *критических цепочек* для управления проектами.

Этот метод доказал свою работоспособность и принес положительные результаты при строительстве цеха обработки 8-дюймовых пластин кремния для полупроводниковых приборов, который компания Fairchild Semiconductor сумела построить и запустить на заводе в г. Маунтинтоп всего за 13 месяцев\*. Этот проект, получивший условное обозначение Project Raptor (по имени хищных динозавров velociraptor, отличавшихся умом и проворством и всегда охотившихся на дичь стаями), потребовал не только возведения цеха, создания в нем особо чистых помещений, но также его оснащения оборудованием и обучения персонала. Первую сваю в основание здания цеха забили в феврале 1996 г., а первые силиконовые пластины, отвечавшие всем установленным требованиям, были выпущены уже в феврале 1997 г. (Murphy, Lauffer and Levinson, 1997). Эти же авторы отмечают, что:

«...по современным нормам строительство предприятий подобного масштаба занимает от 24 до 30 месяцев. При реализации проекта Project Raptor были применены принципы синхронизированного поточного производства (Murphy and Saxen, 1997; эти же авт., цит. в кн. Levinson, 1998) и активная политика в области сокращения производственных запасов, что позволило новому цеху выйти на проектную мощность менее чем через полгода после ввода в строй» (Murphy, Lauffer and Levinson, 1998).

---

\* В технических условиях на кремниевые пластины применена метрическая система, и 200-мм пластины на самом деле по диаметру немного меньше 8 дюймов (203 мм).

## КРИТИЧЕСКАЯ ЦЕПОЧКА

Согласно Голдратту (Goldratt, 1997), типовые проблемы, возникающие при управлении проектами, можно подразделить на три основные группы.

1. Большинство проблем так или иначе связано с исполнением бюджета проекта. Финансовое обеспечение обычно исходит из предварительных оценок стоимости различных проектных работ на начальной стадии его выполнения. Если эти оценки неточны, то наблюдается перерасход выделенного бюджета проекта.
2. Вторая группа проблем связана с несоблюдением сроков завершения проекта. Оценки ожидаемой продолжительности работ также часто оказываются неточными, а все задержки с их выполнением накапливаются.
3. Наконец, третья группа проблем включает разнообразные компромиссы в отношении содержания проекта. Низкое качество проекта обычно является следствием недостатка времени и (или) денег, выделяемых на его выполнение.

Все перечисленные трудности — следствие неопределенностей\*, характерных для планирования большинства проектов. Присущие управлению проектами неопределенности — основные причины того, что остаются не в полной мере реализованными те цели, которые ставились при их инициировании.

Методология управления проектами на основе анализа критических цепочек учит их руководителей правилам обращения со всеми неопределенностями, имеющими место в ходе их выполнения.

Во-первых, согласно этой методологии, не все работы, входящие в состав проекта, равноценны. В отличие от многих других подходов к управлению проектами, метод критической цепочки хорошо согласуется с *методом критического пути* (CPM) и также основан на выявлении в составе проекта самой длинной цепочки взаимосвязанных работ, которую считают критической. При этом четко прослеживается взаимосвязь этого метода с теорией ограничений. Как известно, применительно к производственным процессам ограничением считают операцию, для выполнения которой на предприятии отсутствует запас производственных мощностей. Точно так же критическая цепочка представляет собой *последовательность работ, для которых отсутствует резерв времени, отводимого на их выполнение*. Метод критической цепочки принимает во внимание любые факторы, влияющие на выполнение входящих в критическую цепочку работ, и учитывает их потребности в тех или иных ресурсах. Составив график выполнения работ, входящих в эту цепочку, для исполнителей проекта не представляет труда произвести ранжирование всех операций по важности и очередности выполнения.

---

\* То есть условия разработки планов (обычно бизнес-планов). На начальном этапе подготовки и планирования реализации проекта, как правило, недостаточно нужной информации о том, например, сколько потребуется материалов, у кого и по какой цене, в какие сроки они могут быть куплены и получены, сколько потребуется других ресурсов. Достаточно ли будет своих сил или нужно привлечь другие организации за плату, которая также еще не определена, так как точно неизвестен требуемый объем работ, и т. д. — *Прим. науч. ред.*

Работы, не относящиеся к критической цепочке, принято называть *питающими* (feeding task) эту цепочку. В методе критических цепочек им не уделяют столь пристального внимания, как в обычных подходах к управлению проектами. Здесь все внимание сосредоточено на обеспечении своевременного выполнения работ, принадлежащих критической цепочке. Тем самым удается преодолеть соблазн одновременно уделять внимание всему сразу и ничему конкретному (не достигая никакого результата). *Приоритет всегда отдается работам, принадлежащим критической цепочке.* Остальные операции могут образовывать цепочки, питающие критическую цепочку. Их выполнение начинают в расчетное время, отсчитываемое от момента слияния питающей цепочки с критической (с запасом, известным под названием *питающего буфера*), чтобы они не могли повлиять на выполнение работ, принадлежащих критической цепочке.

Концепция, сходная с методом критической цепочки, была несколько веков назад изложена Тью Ю в комментариях к книге Сун Цзю «Военное искусство» (Sun Tzu, Art of War). Этот факт — характерный пример того, как военное дело (где речь идет о жизни и смерти людей) влияет на развитие методов управления, создавая такие подходы, которые позднее находят свое применение в управлении гражданскими предприятиями.

«Грамотный военный обязан знать, где и когда ему следует назначить сражение. Он должен измерить все расстояния и определить дату [прихода своих войск в назначенное место]. Он должен разделить свое войско на отдельные колонны, марширующие порознь. Первой должна отправиться в путь колонна, находящаяся на самом большом удалении от поля битвы, а все остальные начинают двигаться позднее. Благодаря этому все войско собирается в назначенном месте в одно и то же время. Все это напоминает приход людей на городской рынок» (Sun Tzu, 1963).

Анализ приведенной цитаты из древнего китайского полководца позволяет сделать следующие выводы, в которых заключено существо управления любыми проектами:

- Человек, занимающийся планированием, должен оценить продолжительность всех работ («измерить дороги и расстояния»).
- Работы должны выполняться параллельно («отдельные колонны маршируют порознь»).
- Самые продолжительные работы начинают выполнять первыми, а менее продолжительные — во вторую очередь.
- Все работы завершаются в одно время, чтобы обеспечить выполнение проекта в назначенный срок.

Второе существенное отличие метода критической цепочки от других подходов к управлению проектами заключается в том, что внимание руководителя проекта сосредоточено не на характеристиках отдельных работ, а на проекте в целом. Большинство проектов начинают с составления перечня основных работ, выполнение которых требуется для достижения целей проекта. Сотрудники, отвечающие за каждую работу из этого перечня, оценивают ее ожидаемую продолжительность.

Чтобы гарантировать выполнение работы к назначенному сроку (способность выдерживать который существенно влияет на оценку деловых качеств исполнителей), они подстраховываются и определяют длительность этих работ «с запасом», что становится причинами многих неопределенностей, мешающих впоследствии исполнителям проекта. Опыт показывает, что такие временные резервы составляют до 50% оценок продолжительности работ проекта. В методе критической цепочки все эти запасы изымают из отдельных работ, объединяют и помещают в конец критической цепочки. Этот резерв времени в критической цепочке, который в управлении проектами называют *проектным буфером* (project buffer), служит средством защиты сроков завершения проекта.

С точки зрения организационной культуры такой прием меняет отношение исполнителей к порученным работам по проекту. Прежде всего они начинают сознавать, что обязаны приступить к их выполнению немедленно. Этого требует отсутствие страховочных запасов в индивидуальных оценках продолжительности работ, поскольку все такие запасы перенесены в общий буфер проекта. Когда временной резерв присутствует, то исполнители наверняка будут откладывать начало работы до последней минуты. Голдратт называет это *студенческим синдромом*, уподобляя исполнителей проектов нерадивым студентам, имеющим привычку писать контрольную в ночь накануне ее сдачи.

Второе изменение организационной культуры заключается в следующем: исполнители лишаются возможности делать несколько работ одновременно, т. е. устраняется явление, которое в управлении проектами называют *многозадачностью* (multitasking). Последняя возникает, когда один исполнитель занят сразу в ряде проектов, что приводит к задержкам с завершением каждого из них. Наличие установленной критической цепочки ранжирует все работы по степени важности и срочности, обеспечивая надлежащий порядок их выполнения. Таким образом, движущими силами отмеченных изменений организационной культуры служат, во-первых, сокращение заданной продолжительности выполнения всех работ за счет изъятия из их оценок индивидуальных страховочных запасов, а во-вторых, изменение подходов к оценкам исполнителей, которые становятся неотъемлемой составной частью управления критическими цепочками.

Переход от традиционных методов управления проектами к методу критической цепочки переключает внимание руководителей проектов с управления вариациями индивидуальных характеристик отдельных работ на управление проектом в целом. В методе критических цепочек применяют две основные характеристики хода выполнения проекта: 1) долю завершения критической цепочки и 2) величину израсходованной части буфера проекта. Соотношение между этими характеристиками служит сигналом для принятия руководителями проекта корректирующих действий. На всех совещаниях, посвященных ходу выполнения проекта, рассматривают соблюдение установленного графика выполнения работ, относящихся к критической цепочке, которое желательно обеспечивать без преждевременного расходования

буфера. Буфер проекта принято подразделять на три части, и здесь прослеживается аналогия с упоминавшимися выше зонами, на которые принято подразделять буфер перед ограничениями в производственных системах.

1. Если буфер проекта израсходован менее чем на одну треть, это означает надлежащее выполнение проекта (зона ОК), который может быть продолжен без принятия дополнительных мер.
2. Если буфер израсходован в пределах от одной до двух третей объема, то должны быть спланированы специальные меры, реализация которых позволит наверстать упущенное время при выполнении оставшихся работ критической цепочки (зона «наблюдай и планируй»).
3. Если же буфер израсходован более чем на две трети, то требуются немедленные меры по исправлению сложившегося положения (зона немедленных действий).

Таким образом, внимание руководителя проекта при использовании данного метода не рассеивается между всеми работами проекта и сосредоточивается только на управлении принадлежащими к критической цепочке. Кроме того, необходимо следить, чтобы несвоевременное выполнение работ, относящихся к цепочкам, питающим критическую, не повлияло на возможность осуществлять работы критической цепочки. Компания Fairchild применяет для управления проектами, реализуемыми на заводе в г. Маунтинтоп, пакет программных средств ProChain, разработанный ProChain Solutions, Inc.

### Планирование критических цепочек

Планирование проектов начинают с анализа, проводимого его будущими исполнителями. Исходные данные для анализа отдельных работ, выполнение которых требуется для завершения проекта, предоставляют менеджеры, отвечающие за ресурсы предприятия, и эксперты по различным вопросам. К выполнению работ проекта привлекают людские и материальные ресурсы отделов информационных систем управления производством, безопасности и охраны окружающей среды, кадров, проектирования продукции и технологических процессов, планирования и снабжения, а также производственных служб.

Каждое подразделение представляет перечень работ, которые ему предстоит выполнить в составе всего проекта, после чего из них составляют первоначальный график его выполнения и прогнозируют ожидаемую продолжительность. График выполнения проекта должен отражать потребности в ресурсах для выполнения каждой работы, оценки их продолжительности и логические соотношения между отдельными работами.

Выполнение нескольких проектов может планироваться как последовательное или параллельное, что определяет разные требования к распределению ресурсов между ними. При последовательном выполнении проектов, когда одновременно в работе находится только один из них, не требуется распределения ресурсов



между ними. Мультипроектная среда, когда параллельно выполняется ряд проектов, например, связанных с разработкой нескольких новых изделий, зачастую требует распределения ресурсов: производственных мощностей или площадей, оборудования для испытаний на надежность и т. д.

Данные, относящиеся к отдельным работам проекта, вводят в специальный программный продукт, например ProChain Plus, который, обработав введенную информацию, выдает на выходе модифицированную диаграмму Ганта с указанием критической цепочки проекта. Прогресс в ходе выполнения проекта оценивают, суммируя продолжительности отдельных завершенных операций (и затраты на их выполнение). Но основное внимание руководителей и главных исполнителей проекта должно быть сосредоточено на работах, принадлежащих критической цепочке. *Добиться успешного продвижения проекта к установленной графиком дате его завершения можно, только воздействуя на эффективность выполнения работ, входящих в критическую цепочку, стремясь сократить их продолжительность.* Здесь опять напрашивается аналогия с использованием теории ограничений при управлении производственными процессами, где единственным способом увеличения производительности процесса является ослабление его ограничений.

Если анализ первоначального графика выполнения проекта указывает на невозможность его завершения к требуемой дате, то необходимо соответствующим образом скорректировать время отдельных работ. Например, оценки их продолжительности могут содержать необоснованные страховочные запасы времени, которые следует устранить. Другими способами сокращения продолжительности проекта могут быть поиск иных, более эффективных методов выполнения отдельных работ или обеспечение их дополнительными ресурсами, перебрасываемыми с менее важных участков. Может оказаться, что критическая цепочка первоначального графика выполнения проекта чрезмерно длинна, что часто наблюдается на начальных стадиях планирования проектов. Устранение необязательных зависимостей между работами позволяет сократить их продолжительность и уменьшить общую длину критической цепочки графика проекта.

Например, при выполнении проекта Project Raptor компания Fairchild опровергла устоявшиеся представления о последовательности работ, выполняемых при создании новых предприятий и пуске их в эксплуатацию. В частности, было доказано, что:

- полное завершение строительных работ совершенно не обязательно должно предшествовать началу монтажа оборудования. Очень часто установка последнего возможна по мере его поступления и готовности соответствующих производственных площадей;
- незавершенность монтажа оборудования не должна препятствовать началу обучения операторов, которые для этого могут быть командированы на предприятия-поставщики.

Исполнители отчитываются о ходе выполнения работ как перед руководителем проекта, так и перед руководителями своих подразделений. Получив соответствующий отчет, последние имеют возможность проконтролировать, как их подчиненные справляются с порученными работами, входящими в критическую цепочку проекта. При этом основное внимание обращается в основном не на то, что уже сделано, а на оставшийся объем работ. Как правило, такой подход позволяет намного точнее судить о реальных достижениях в работе, а получаемая таким образом информация лучше подходит для своевременного корректирования графиков работы.

Руководитель проекта на основе полученных отчетов исполнителей имеет возможность судить о текущем состоянии критической цепочки работ по проекту. Содержащиеся в отчете сведения позволяют ему видеть, какие работы выполняются в настоящий момент, какой объем работ предстоит выполнить до завершения критической цепочки, какая часть резерва времени на выполнение проекта (буфера проекта) уже израсходована. Внимание руководителя проекта также должно быть сосредоточено не столько на своевременном завершении всех работ, сколько на тех, что входят в критическую цепочку. Правильное распределение ограниченных ресурсов предприятия повышает эффективность планирования, осуществляемого данным методом.

### Обеспечение управления проектами людскими ресурсами

В зависимости от масштабов и содержания проектов управление ими требует большого количества талантливых руководителей и исполнителей, способных обеспечить неуклонное их продвижение вперед. В состав руководящей команды проекта подбирают людей, готовых отдать свои опыт и знания решению задач управления работами проекта. Они должны обладать опытом работы в таких областях, как производство, проектирование, обеспечение безопасности, управление кадрами и управление проектами, хорошо знать производственные мощности предприятия. В эту команду должны включаться специалисты разных категорий, состав которых определяется задачами управления проектом с использованием метода критических цепочек. Описание ролей и обязанностей некоторых из них перечислены ниже.

- *Руководитель (лидер) проекта* отвечает в первую очередь за своевременное завершение всего проекта. Он направляет деятельность остальных членов команды на обеспечение своевременного выполнения отдельных работ по проекту при соблюдении имеющихся бюджетных ограничений.
- *Эксперты по применению метода критических цепочек при управлении проектами* должны быть специалистами по соответствующим программным средствам. В их обязанности входит загрузка данных обо всех работах, выполнение которых необходимо для завершения проекта, и формирование на основе созданной базы данных отчетов для руководителя проекта и руководителей

подразделений, выделивших человеческие и иные ресурсы для его выполнения, содержащих сведения о соблюдении сроков выполнения работ, входящих в критическую цепочку.

- *Руководители подразделений, выделивших ресурсы для выполнения проекта*, продолжают командовать своими подчиненными в ходе выполнения ими закрепленных за подразделением работ по проекту. Круг подразделений предприятия, привлекаемых к работам, может быть самым широким и диктуется содержанием и масштабами проекта. Группы исполнителей конкретных работ по проекту отчитываются непосредственно перед руководителем своего подразделения.

### Оценка проектов

Успешность проектов оценивают с использованием следующих трех основных характеристик.

1. Главными индикаторами успешности любого проекта служат две наиболее жестко контролируемые его характеристики — продолжительность выполнения и бюджетная стоимость. Быстрота выполнения проектов имеет особое значение. Метод критических цепочек отслеживает соблюдение графика выполнения работ, входящих в критическую цепочку, и расходование выделенного резерва времени. Эти оценки дают наиболее полное представление о ходе выполнения проекта и привлекают внимание руководящей команды к имеющимся проблемам.
2. Другую группу показателей проекта образуют финансовые аспекты. Метод критических цепочек допускает привлечение дополнительных затрат на проект только в случае возникновения угрозы несоблюдения сроков его завершения. С помощью финансовых показателей контролируют все расходы на проект.
3. Третью и последнюю группу характеристик успешности проектов образуют показатели, описывающие влияние проекта на увеличение производственных мощностей предприятия, обеспечивающих расширение принадлежащей ему доли рынка и окупаемость вложенных в проект инвестиций (ROI).

### Важность временных характеристик для управления проектами

Как уже отмечалось, главное в управлении проектами — обеспечение высокой скорости их выполнения. Характерной ошибкой многих планов является подчинение скорости выполнения проектов стоимостным ограничениям. Известный русский полководец фельдмаршал А.В. Суворов (1729—1800) подчеркивал значение быстроты действий за много лет до того, как впервые заговорили об управлении проектами:

«Деньги — большая ценность, человеческая жизнь стоит еще дороже, но самое дорогое на свете — это время. Порой одна минута решает исход сражения, один час — успешность всей кампании, а один день — судьбы империй» (Mennig, 1986).

Когда успех предприятия определяется его умением выйти на рынок с новым товаром быстрее своих конкурентов, невольно вспоминаешь справедливость изречения Суворова, считавшего, что «время дороже денег». Быстрая военная победа обычно позволяет сократить человеческие и материальные потери страны. То же самое справедливо и для рыночных сражений.

В следующем разделе данной главы приведен краткий обзор некоторых специальных средств управления проектами и методов их оценки. К ним относится, в частности, метод критического пути (СРМ), тесно связанный с методологией критических цепочек и служащий средством их выявления при выполнении проектов. Близким к СРМ является метод PERT (метод оценки и анализа программ). *Анализ текущей стоимости проектов* (present value analysis) служит средством управленческого, а не бухгалтерского учета, позволяющим оценивать проекты, принимая в расчет временные факторы. При этом учитывают возможное обесценивание денежных потоков за установленный срок окупаемости проекта. Известно, что цена доллара сегодня выше, чем будет через год, а тем более через два. Это служит весомым аргументом в пользу того, что проекты, нацеленные на получение доходов в будущем (такие, например, как создание нового предприятия), должны выполняться как можно скорее, без оглядки на связанные с этим затраты. Но метод анализа текущей стоимости проектов, несмотря на всю действенность и научную обоснованность, не учитывает некоторых нематериальных последствий рекордного завершения проектов, например, выхода на рынок с новым товаром быстрее конкурентов или, наоборот, позднее их. Полное изложение методов, учитывающих эти нематериальные аспекты управления проектами, выходит за рамки настоящей книги, но читателю будет полезно ознакомиться с кратким описанием концепции, на которой они базируются.

## МЕТОД КРИТИЧЕСКОГО ПУТИ

Диаграммы Ганта служат простым и наглядным инструментом управления проектами. Но они способны отражать только простые отношения предшествования между работами проекта и взаимосвязи между ними. Средствами отражения более сложных соотношений и взаимосвязей между работами служат методы СРМ и PERT, на основе которых в настоящее время созданы мощные алгоритмы и программные средства компьютерного управления проектами.

Метод критического пути был разработан Дж.И. Келли из Remington Rand и М.Р. Уолкером из DuPont в 1957 г. Метод PERT был создан Бузом, Аленом и Хэмилтоном (Booz, Allen, Hamilton) из Управления специальных проектов ВМФ США в 1958 г. применительно к управлению программой создания системы ракетного вооружения подводных лодок Polaris. В этой программе участвовало несколько тысяч компаний-подрядчиков, что потребовало создания специальных средств управления столь сложным и масштабным проектом. Созданная система

PERT доказала на практике свою эффективность, позволив сократить продолжительность выполнения этого проекта на 18 месяцев (Heizer and Render, 1991). Эти авторы сформулировали также общий порядок применения методов СРМ, или PERT, включающий следующие этапы.

1. Определить содержание проекта и выявить полную совокупность входящих в него существенных задач и работ.
2. Установить отношения предшествования между выявленными работами. Определить, какие работы являются предшественниками для других работ.
3. Построить сетевой график, связывающий в единое целое все выявленные работы и задачи.
4. Оценить продолжительность и стоимость выполнения каждой работы или задачи.
5. Найти на сетевом графике самую длинную цепочку последовательных работ, не имеющих резервов времени для своего выполнения. Эта цепочка и представляет собой *критический путь данного сетевого графика*.
6. Построенный таким образом сетевой график может теперь служить средством планирования проекта, составления календарного графика его выполнения, мониторинга и контроля хода реализации проекта.

Как видим, между СРМ и методом критических цепочек нет принципиальных отличий. Введем специальные термины, требующие дополнительных пояснений.

- Под *событием* понимают изменение состояния проекта в результате завершения некоторой работы (решения задачи).
  - Событие обычно обозначается в узлах сетевого графика проекта в виде кружка (или прямоугольника), который имеет время начала (старта) и окончания (финиша).
  - *Работы* и их составные части (задачи) обычно изображают на сетевых графиках в виде направленных дуг, соединяющих его узлы, чтобы отразить их протяженность во времени\*.
- *Резерв времени* (slack time) представляет собой промежуток времени между самой поздней и самой ранней датами старта некоторой работы (задачи), при которых все еще обеспечено завершение всего проекта за минимальное время. Резерв времени в управлении проектами служит аналогией запаса производственных мощностей при выполнении некоторой операции в управлении производственными процессами. Задачи, для которых резерв времени отсутствует, т. е. выполнение которых всегда должно начинаться как можно раньше, образуют критический путь сетевого графика проекта.

Пример практического применения метода критического пути представлен в табл. 10.1 и на рис. 10.1.

---

\* Сетевые графики с работами на дугах характерны для метода PERT. Сейчас большее распространение получили сетевые графики с работами в узлах, которые в управлении проектами принято называть диаграммами предшествования. — *Прим. пер.*

Таблица 10.1  
События проекта

Событие	Предшествующее событие	Работа	Необходимое время
1 (старт)			—
2	2	1—2	4
3	2	2—3	6
4	1	1—4	3
5	2,4	2—5 4—5	0 (фиктивная работа) 3
6	4	4—6	4
7	5,6	5—7 6—7	0 (фиктивная работа) 2
8 (финиш)	3,7	3—8 7—8	0 (фиктивная работа) 2

Теперь перейдем к основным правилам построения сетевых графиков проектов, изложенным, например, в книге Хильера и Либермана (Hillier and Liberman, 1980).

1. Каждой работе или задаче соответствует определенная дуга сетевого графика.
2. Каждый узел сетевого графика отражает определенное событие, представляющее собой завершение всех работ (задач), соответствующие которым дуги входят в этот узел.
  - Событие должно совершиться до того, как начато выполнение любой работы; соответствующая ей дуга исходит из данного узла. Таким образом, событие всегда предшествует последующим работам.
3. Любые два узла не могут быть связаны между собой более чем одной дугой.
  - Фиктивные работы с нулевой продолжительностью, изображаемые на графике пунктиром, отображают только отношения предшествования.

Возьмем в качестве примера фиктивную работу, изображенную на рис. 10.1 пунктирной линией, соединяющей события 2 и 4, являющиеся предшественниками по отношению к событию 5. Наличие этой фиктивной работы означает, что работа 4—5 не может быть начата до того, как завершатся обе работы 2 и 4.

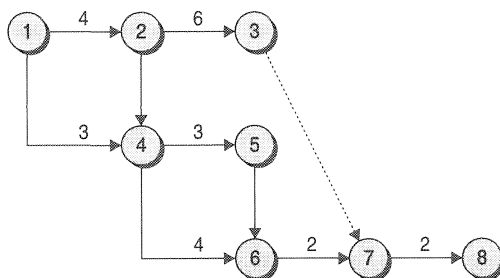


Рис. 10.1 Сетевой график проекта, содержание которого приведено в табл. 10.1

Обратимся к табл. 10.2, иллюстрирующей способы расчета дат раннего старта и финиша каждой работы по ходу выполнения проекта, т. е. по мере продвижения вдоль сетевого графика слева направо (расчет вперед). В результате подсчета оказалось, что выполнение всего проекта может занять не более 12 единиц времени. Проведем расчет назад, чтобы определить даты позднего финиша каждой работы (табл. 10.3). Начнем с события 8 (окончание проекта), которое может совершиться в момент времени  $t=12$ . Для этого требуется, чтобы предшествующее событие 7 совершилось не позднее момента времени  $t=10$ , а событие 6 — не позднее момента времени  $t=8$ . Поскольку событие 5 является предшественником события 7, то работа 6—7 не может начаться до того, как совершится событие 5. Следовательно, если событие 7 должно совершиться не позднее момента времени  $t=10$ , то событие 5, точно так же, как событие 6, должно совершиться не позднее момента времени  $t=8$ . Продвигаясь по сетевому графику справа налево вплоть до начального события 1 (старт всего проекта), аналогичным образом рассчитываем даты позднего финиша всех остальных работ. Теперь мы имеем возможность рассчитать резервы времени для каждой работы, вычитая из даты ее позднего финиша дату раннего старта плюс продолжительность работы. Результаты приведены в табл. 10.4.

Критический путь рассматриваемого сетевого графика включает все работы с нулевым резервом времени, т. е. проходит через узлы 1—2—3—8. Любая задержка при выполнении работ, относящихся к критическому пути, неизбежно удлиняет продолжительность выполнения проекта в целом. На рис. 10.2 показан тот же сетевой график, что и на рис. 10.1, но с указанием предельных дат раннего и позднего наступления всех событий.

Таблица 10.2

Расчет дат раннего финиша работ для сетевого графика, представленного на рис. 10.1

Собы- тие	Событие- предше- ственник	Необходимое время выполне- ния работы	Дата раннего старта + продолжительность работы	Дата раннего финиша работы (наступления события)
1 (старт)			0	
2	1	1—2, 4	0 + 4	4
3	2	2—3, 6	4 + 6	10
4	1	1—, 3	0 + 3	3
5	2	4—5, 3	4 + 3	7 (большее из 7 и 6)
	4		3 + 3	
6	4	4—6, 4	3 + 4	7
7	5	6—7, 2	7 + 2	9
	6		7 + 2	
8 (финиш)	3	7—8, 2	10 + 2	12 (большее из 12 и 11)
	7		9 + 2	

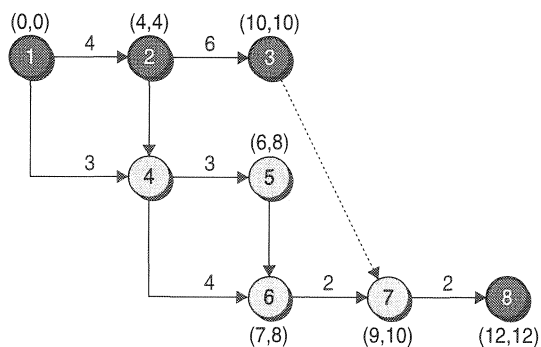


Рис. 10.2. Сетевой график проекта с указанием дат раннего и позднего завершения каждой работы

Таблица 10.3

Расчет дат позднего финиша работ для сетевого графика, представленного на рис. 10.1

Событие	Зависимое событие	Работа и необходимое время для ее выполнения	Дата позднего финиша минус продолжительность работы	Даты позднего финиша работ (наступлений событий)
8 (финиш)	—	Финиш	—	12
7	8	7—8, 2	12 — 2	10
6	7	6—7, 2	10 — 2	8
5	7	6—7, 2	10 — 2	8
4	5	4—5, 3	8 — 3	4 (меньшее из 5 и 4)
	6		8 — 4	
3	8	7—8, 2	12 — 2	10
2	3	2—3, 6	10 — 6	4 (меньшее из 4 и 5)
	5	4—5, 3	8 — 3	
1 (старт)	2	1—2, 4	4 — 4	0 (меньшее из 0 и 1)
	4	1—4, 3	4 — 3	

Таблица 10.4

Расчет резервов времени

Событие	Дата раннего финиша	Дата раннего старта	Продолжительность работы	Резерв времени
1 (старт)	0	0	—	0
2	4	0	1—2, 4	0
3	10	4	2—3, 6	
4	4	0	1—4, 3	1
5	8	3	4—5, 3	2
6	8	3	4—6, 4	1
7	10	7	6—7, 2	1
8 (финиш)	12	10	7—8, 2	0



### Ускоренное выполнение работ, принадлежащих критическому пути

Выше приведены причины, по которым применение методов повышения производительности операций — всеобщего технического обслуживания оборудования или систем быстрой его переналадки — способно увеличить производительность предприятия в целом только при условии их приложения к операциям, являющимся ограничениями процессов. Тот же принцип сохраняется при управлении проектами методом критического пути. Порой за счет принятия экстраординарных мер, например неограниченного увеличения денежных затрат, удастся ускорить выполнение работ, относящихся к критическому пути сетевого графика проекта, и тем самым сократить продолжительность выполнения проекта в целом. Но не менее очевидным является тот факт, что бессмысленно применять эти приемы для ускорения остальных работ, не затрагивая при этом критического пути.

Следует также помнить о том, что сокращение продолжительности работ, принадлежащих существующему критическому пути проекта, рано или поздно приводит к образованию нового критического пути точно так же, как ослабление существующего ограничения производственного процесса ведет к тому, что со временем ограничивающей становится другая операция.

### Метод оценки и анализа программ (PERT)

Принципиальное отличие метода PERT от метода критического пути заключается в учете неопределенности оценок продолжительности выполнения отдельных работ. В методе критического пути предполагается, что эти продолжительности не случайны и могут быть точно определены. В методе PERT их полагают случайными, оцениваемыми экспертными методами. При этом все эксперты должны дать для продолжительности каждой работы собственные оптимистическую (минимальную)  $a$ , ее наиболее вероятное (но не среднее) значение  $m$  и пессимистическую (максимальную) оценку  $b$ . В предположении бета-распределения оценок, даваемых каждым экспертом (хотя иногда его полагают нормальным), ожидаемое время выполнения работы и его дисперсию рассчитывают по следующим формулам:

$$t_e = (a + 4m + b)/6; \quad \sigma^2 = (b - a)^2/6.$$

Как отмечают Хиллер и Либерман (Hillier and Liberman, 1980) в методе PERT приняты следующие допущения.

1. Продолжительности работ являются статистически независимыми, случайными величинами.
2. Длина критического пути, рассчитанная как сумма ожидаемых значений продолжительности составляющих его работ, всегда больше любых других путей сетевого графика. При этом дисперсия длины критического пути (продолжительности выполнения проекта) представляет собой сумму дисперсий составляющих его работ.

3. Продолжительность выполнения проекта распределена нормально, что следует из центральной предельной теоремы, согласно которой сумма случайных величин, распределения которых могут отличаться от нормального (как в рассматриваемом случае), распределена приблизительно нормально (причем качество нормальной аппроксимации быстро улучшается по мере роста числа слагаемых).

С учетом перечисленных допущений становится возможным оценить вероятность завершения проекта за время, не превышающее некоторой заданной величины.

Концепция критического пути сетевого графика проекта самым тесным образом связана с концепцией ограничений при анализе производственного процесса. Если вспомнить об оценках резервов производительности операций при использовании методов линейного программирования для оптимизации номенклатуры и объемов производимой продукции, то аналогии с расчетом запасов времени при выполнении проектных работ становятся еще более очевидными.

В следующем разделе рассматривается метод анализа текущей стоимости проектов, являющийся одним из основных средств оценки их экономической эффективности.

## АНАЛИЗ ТЕКУЩЕЙ СТОИМОСТИ ПРОЕКТОВ

При анализе текущей стоимости эффективность проекта оценивают с учетом ожидаемой рентабельности вложенных в него средств  $i$ . При этом принимают в расчет так называемую *временную стоимость денег*, т. е. возможное удешевление (дисконтирование) денежных потоков в будущем. Тем самым предлагается увязать этот анализ с методом критического пути, определяя с его помощью целесообразность ускоренного выполнения работ, относящихся к критическому пути сетевого графика проекта за счет привлечения дополнительных финансовых ресурсов.

Постановка задачи обычно выглядит следующим образом: «Имеет ли смысл вложить сейчас лишние 100 тыс. долл., чтобы ускорить выполнение некоторой работы по проекту и запустить новую производственную линию на три месяца ранее?» Общая схема поиска ответа на этот вопрос включает следующие рассуждения.

1. *Чистая приведенная стоимость (NPV) любой комбинации доходов и расходов представляет простую сумму их приведенных стоимостей.*

- Все доходы и расходы, связанные с будущей сделкой, могут быть приведены к настоящему моменту времени с учетом требуемой рентабельности инвестиций, выраженной в виде десятичной дроби (т. е. уровень рентабельности 8% соответствует  $i = 0,08$ ) по формуле:

$$NPV = \sum_{k=0}^N F_k \frac{1}{(1-i)^k},$$

где  $F_k$  — доход или расход по некоторой сделке в конце  $k$ -го периода, причем деятельность начинается от настоящего ( $k = 0$ ) и проходит через

все периоды до требуемого  $N$ . Чаще всего подобное приведение производят с периодичностью в один год.

- Требуемый уровень рентабельности, который часто называют также пороговым уровнем или альтернативной стоимостью капитала, обычно назначают, исходя из условия получения некоторой прибыли от вложенных инвестиций. Для частных лиц уровень рентабельности инвестиций определяют исходя из процентов по кредиту, взятому для их осуществления. Например, предположим, что человек, выплачивающий по закладной 8% в год, получил 10 тыс. долл., которые может инвестировать, приобретая на них акции. Если он сумеет заработать на этих акциях 10% в год, то такие инвестиции будут для него рентабельны. Если же акции принесут ему только 6% годовых, то инвестиции не имеют смысла и выгоднее внести эти 10 тыс. долл. в счет погашения долга.
2. Если чистая приведенная стоимость проекта при заданном уровне рентабельности оказывается положительной, то этот проект является выгодным.

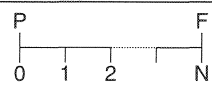

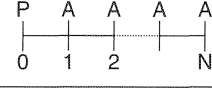
### Временная стоимость денег

Для пояснения сути данного понятия рассмотрим следующий простой пример. Предположим, что некоторые инвестиции способны принести 8% годового дохода (период, равный году, здесь выбран для простоты, но существуют формулы для расчета временной стоимости денег для случаев ежемесячного или непрерывного поступления доходов). Это означает, что вложенные сегодня 100 долл. через год будут эквивалентны сегодняшним 108, а еще через год — 108 долл.  $+0,08 \times 108 \text{ долл.} = 116,64 \text{ долл.}$  Такова будущая стоимость сегодняшних инвестиций. В то же время обещание выплатить инвестору через два года 116,64 долл. для него эквивалентно обладанию ныне 100 долл. Существуют и другие, более сложные формулы для расчета временной стоимости денег с учетом различного характера поступления дохода от инвестиций, часть которых приведена в табл. 10.5. Эти формулы можно также найти в работе Риггза (Riggs, 1977).

Принятые в табл. 10.5 условные обозначения читают следующим образом. Например, обозначение фонда погашения ( $A/F, i, N$ ) — как «ежегодную выплату  $A$  по ссуде, требующуюся для того, чтобы выплаты через  $N$  лет не превысили величины  $F$  при ставке ссудного процента  $i$ ». Годовая периодичность платежей может быть заменена ежемесячной, если принять месячную ставку ссудного процента раной  $i=0,01$  и рассчитывать величину  $A$  каждый месяц.

Информация о временной стоимости денег помогает принимать грамотные и разумные решения. Предположим, компания рассчитывает зарабатывать на вложенных средствах 20% в год. Если потратить 90 тыс. долл. на приобретение нового оборудования, которое ослабит существующее ограничение производственного процесса, то это позволит компании зарабатывать в течение шести лет дополнительно по 30 тыс. долл. в год. Изучая целесообразность подобных инвестиций

Таблица 10.5  
Временная стоимость денег

Фактор	Расчетная формула	График формирования
Сложные проценты, разовые платежи	$(F/P, i, N) = (1+i)^N$	
Текущая стоимость, разовый платеж	$(P/F, i, N) = 1/(1+i)^N$	
Сложные проценты, серия равномерных платежей	$(F/A, i, N) = ((1+i)^N - 1)/i$	
Фонд погашения	$(A/F, i, N) = i/((1+i)^N - 1)$	
Текущая стоимость, серия равномерных платежей	$(P/A, i, N) = ((1+i)^N - 1)/((i(1+i)^N))$	
Амортизация основных фондов	$(A/P, i, N) = (i(1+i)^N)/((1+i)^N - 1)$	

A — ежегодная выплата, осуществляемая в конце года.  
 F — платеж, осуществляемый в конце N-го года.  
 i — норма рентабельности, пороговая рентабельность, процентная ставка по кредиту, выраженная десятичной дробью.  
 N — количество лет.  
 P — платеж, осуществляемый немедленно (в начале года, t=0)

с использованием менее сложных методов обоснования решений, компания может прийти к следующим выводам:

- Основываясь на традиционных методах бухгалтерского учета, можно утверждать, что старое оборудование полностью амортизировано. Приобретение взамен него нового оборудования повлияет на баланс доходов и расходов компании.
- Если исходить из очень консервативного, без всякого риска расчета окупаемости затрат, то предлагаемые инвестиции полностью окупятся за три года, а современные нормы требуют, чтобы срок окупаемости инвестиций не превышал двух лет. При этом срок окупаемости рассчитывают по формуле:

$$\text{Срок окупаемости} = \frac{\text{Первоначальные затраты или инвестиции}}{\text{Суммарные годовые выгоды}}.$$

На рис. 10.3 показана схема потока доходов от вышеупомянутых инвестиций. Часто оказывается очень полезным нарисовать подобную схему. Чистый приведенный доход в этом случае составит

$$NPV = -90\,000 \text{ долл.} + 30\,000 \text{ долл.} (P/A; 0,20; 6) =$$

$$= -90\,000 \text{ долл.} + 30\,000 \times 3,3255 = 9765,30 \text{ долл.,}$$

где  $(P/A; 0,20; 6) = 3,3255$ . Поскольку  $NPV > 0$ , то данные инвестиции отвечают требованиям компании в отношении рентабельности капиталовложений. Иными словами, получение по 30 тыс. долл. в год в течение шести лет эквивалентно тому,

что компания в данный момент обладает 99 765,30 долл. Поскольку эта эквивалентная сумма превышает требуемый объем инвестиции (90 тыс. долл.), то подобные вложения выгодны для компании. Таким образом, анализ текущей стоимости проектов доказывает целесообразность предлагаемых инвестиций, в то время как обычные бухгалтерские методы и другие средства обоснования принимаемых решений их отвергают. Тем самым лишний раз подтвердилась справедливость следующих двух основных принципов предпринимательской деятельности.

1. Бездеятельность, а не ошибки принимаемых решений служит основной причиной неудач большинства предприятий.
  2. Злейшим врагом организации чаще всего является она сама, особенно в тех случаях, когда применяет ненадлежащие системы оценки собственной деятельности и средства обоснования принимаемых решений. Если доверить бухгалтерам управление предприятием, то оно развалится само собой, без помощи конкурентов.
- Как пишет Риггс (Riggs, 1977): «...срок окупаемости затрат является достаточно важным критерием, чтобы быть упомянутым в книгах, посвященных менеджменту и экономике промышленного производства, но в них всегда подчеркиваются недостатки этого показателя, который игнорирует временную стоимость денег и те выгоды, которые может получить предприятие за пределами срока окупаемости».

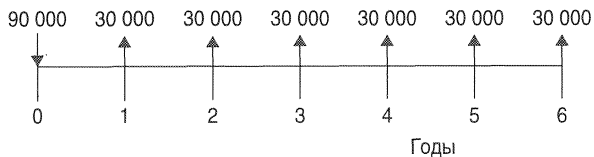


Рис. 10.3. График поступления доходов при анализе текущей стоимости проектов

### Норма рентабельности

Интуитивно применение норм рентабельности (ROR) представляется привлекательным по крайней мере по следующим двум причинам.

1. Отпадает необходимость установления требуемого уровня рентабельности инвестиций.
2. Норма рентабельности позволяет сравнивать между собой разные варианты инвестиций.

Вычислить ROR вручную сложно, но эта задача легко решается с помощью компьютера. Основная идея заключается в определении уровня рентабельности  $i$ , обращающего в нуль чистый приведенный доход от всех расходов и поступлений компании. Для этого к уравнению

$$NPV = \sum_{k=0}^N F_k \frac{1}{(1-i)^k},$$

или к другим формулам, приведенным в табл. 10.5 применяют метод половинного деления Ньютона — Рафсона или другие подобные методы в поисках величины  $i$ , при которой  $NPV=0$ .

Сравнение проектов по величинам нормы прибыли обычно (но не обязательно) приводит к тем же результатам, что и их сопоставление по величинам чистого приведенного дохода. Основным недостатком ROR является то, что при этом предполагается возможность реинвестирования полученной прибыли от проекта в течение срока действия его результатов, а такая возможность не всегда существует (Riggs, 1977).

Итак, компания Fairchild Semiconductor доказала на практике эффективность метода критических цепочек, применение которого позволило ей в рекордно короткие сроки построить и запустить новое производство на заводе в г. Маунтинтоп. С этим подходом связаны такие методы управления проектами, как метод критического пути и методика PERT, причем существуют прямые аналогии между этими способами и теорией ограничений. В частности, ограничением производственного процесса служит операция, при выполнении которой отсутствует резерв времени, т. е. избыток производственных мощностей, в то время как критический путь представляет собой совокупность работ без резерва времени.

Метод анализа текущей стоимости проекта позволяет более осознанно подходить к выбору проектов и количественно оценивать последствия вложения дополнительных средств в ускоренное выполнение работ, относящихся к критическому пути сетевого графика проекта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В книге решение задачи создания бережливого предприятия рассматривается как применение совокупности взаимно дополняющих и усиливающих друг друга подходов и методов, нацеленных на устранение любых, не создающих добавленной ценности работ или так называемого *трения*. Сама концепция трения или непроизводительных затрат (*муда*), препятствующих эффективной работе предприятия, достаточно проста, но руководителям компаний следует помнить, что на практике не всегда удастся выявить наличие трения в работе. Умение с первого взгляда видеть непроизводительные затраты было принципиально важным секретом успехов Форда, причем достижения его фирмы и экономические показатели ее работы говорят сами за себя. Авторы надеются, что содержащиеся в книге примеры способны вооружить читателей подобными навыками и они сумеют обучить своих коллег.

## КУЛЬТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Внедрение принципов бережливого производства требует коренных изменений корпоративной культуры, т. е. привычных представлений о том, как следует работать компании. Для внедрения в жизнь подобных изменений необходимо наличие трех предварительных условий: приверженности руководства компании новой идеологии, уверенности работников в сохранении рабочих мест при проведении преобразований и отказа от жесткой специализации работников. Как известно, личная заинтересованность руководителей служит обязательным условием успешности любых инициатив по повышению производительности и качества работы предприятий. Защищенность рабочих мест и способность персонала к смене места и характера работы взаимосвязаны, поскольку это служит средством сохранения работников от увольнения.

Каждый сотрудник предприятия должен понимать общую концепцию бережливого производства и поддерживать ее внедрение. Люди, на которых возложены обязанности по проведению необходимых изменений, должны уметь доказывать, что внедрение концепции бережливого производства служит необходимым средством борьбы с переводом промышленного производства за рубеж, в страны с более дешевой рабочей силой. Американские корни самой идеи бережливого производства намного облегчают ее внедрение на предприятиях США, а неоспоримые достижения компаний, сумевших внедрить у себя эту методологию, служат отличным аргументом в пользу ее применения в любых других организациях.

## ЕДИНИЧНОЕ ПОТОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Жизненно важным условием создания бережливого предприятия является единичное поточное изготовление продукции или по крайней мере переход к ее производству малыми партиями. Увеличение партионности изготовления и сопряженные с этим очереди заготовок, ожидающих обработки, внутри производственного процесса увеличивает продолжительность цикла изготовления продукции. Наличие всего одной операции, на которой обработка изделий происходит партиями, способно создавать большие запасы незавершенного производства в самом совершенном производственном процессе, управляемом по принципу «точно вовремя». Такая организация производства усложняет также применение статистических методов управления производственными процессами и оценки индексов их воспроизводимости. Применение методов береливой организации производства, например, систем быстрой переналадки оборудования, позволяет заметно сократить размеры партий одновременно обрабатываемых изделий на таких операциях.

## СОКРАЩЕНИЕ ВАРИАЦИЙ ВРЕМЕНИ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ — ЕЩЕ ОДИН СЕКРЕТ УСПЕХОВ ФОРДА

Наличие вариаций продолжительности выполнения операций порождает известный эффект «ждать и догонять», в результате которого возможно возникновение запасов незавершенной продукции даже в тех системах, которые обладают избыточной производственной мощностью. Заявление Форда о том, что «каждому рабочему должно быть отведено строго необходимое время для выполнения порученной работы и ни секундой больше», многим казалось амбициозным желанием добиться, чтобы хорошо сбалансированное предприятие постоянно было загружено на 100% своей мощности. Но сам факт того, что предприятия Форда отлично работали, а также применение концепции тактового времени и следствия уравнения 4.1 на с. 93 дают бесценные уроки. Единственным способом почти 100%-ного использования производственных мощностей предприятия, не сопровождаемого созданием гор ненужных запасов и очередей, может служить только устранение вариаций продолжительности всех операций и периодичности поступления на них заготовок.

## ТЕОРИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ

Читатели получили общие представления о теории ограничений, разработанной Голдраттом, а также об идеях синхронизированного поточного производства и системе «барабан-буфер-веревка». Как было показано, синхронизированное поточное производство представляет собой одну из разновидностей управления



производством на основе принципа «точно вовремя», которая обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными системами канбан. Во-первых, при такой организации производства наличие буфера перед ограничением не допускает снижения производительности процесса в результате остановок и задержек при выполнении операций, не являющихся ограничениями процесса. Во-вторых, система «барабан-буфер-веревка» не требует наличия жестких связей между всеми операциями процесса. Обычно достаточно, чтобы такая связь присутствовала между его ограничением и начальной операцией.

Глава, посвященная методам линейного программирования, подтверждает, что эти способы служат мощным аналитическим средством, отлично дополняющим методы теории ограничений. Их применение позволяет выбирать оптимальные сочетания номенклатуры и объемов производимой предприятиями продукции в рамках широкого круга налагаемых на него ограничений, включающих не только дефицит производственных мощностей, но также контрактные обязательства и недостаток рыночного спроса на продукцию. Линейное программирование позволяет анализировать различные варианты принимаемых решений, касающихся ослабления ограничений, внесения изменений в конструкцию изделий ради сокращения потребностей в ресурсах определенного вида на их изготовление или целесообразности продаж продукции со скидками.

Примером приложения теории ограничений к управлению проектами служит метод критических цепочек. Согласно теории ограничений, ресурсом, лимитирующим производительность всей системы, является тот, для которого отсутствует необходимый резерв. Работы, предусмотренные проектом и принадлежащие критической цепочке, не имеют резерва времени для их выполнения, и поэтому именно они диктуют минимальное время выполнения проекта в целом. Подобно тому, как предприятие в целом может увеличить свою производительность, ослабля ограничения производственных процессов, руководитель проекта способен сократить сроки его завершения, ускорив выполнение работ, относящихся к критическому пути его сетевого графика, посредством выделения дополнительных средств и других ресурсов.

## УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПОЧКАМИ ПОСТАВОК

Для создания действительно бережливого предприятия необходимо, чтобы соответствующие корпоративная культура и методы организации производства были распространены на все звенья цепочки поставок продукции. Поставки комплектующих и материалов большими партиями или выполнение субподрядчиками заказов партиями способны повлечь за собой создание больших запасов и увеличение продолжительности цикла изготовления продукции на предприятии, организованном самым экономным образом. Развитие и обучение поставщиков является необходимым условием создания бережливого производства, но и сами производители способны многому научиться у своих поставщиков.

Наличие хорошо отлаженных коммуникаций между всеми звеньями цепочек поставок является необходимым условием эффективного управления ими, и отсутствие таких связей не может иметь никаких оправданий. Ford Motor Company еще в 1920-е гг. сумела создать вполне современную систему управления грузоперевозками, полагаясь только на телефонную связь. При современных возможностях спутниковой связи, Интернета и широкого развития корпоративных компьютерных систем нет никаких препятствий к установлению надежных связей между системами управления производством различных предприятий и к эффективному управлению транспортными системами.

Большие географические расстояния между предприятиями осложняют внедрение в США систем поставок по принципу «точно вовремя» по сравнению с европейскими или японскими компаниями, но применение компьютеризированных систем управления грузовыми перевозками (FMS) и привлечение к логистическому обеспечению организаций специализированных предприятий позволяет частично преодолевать эти трудности. С подобной проблемой неизбежно столкнется и Россия по мере развития собственной промышленности.

## КОРОТКО О ФИЛОСОФИИ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Настрой работников на непрерывное совершенствование производства (который сейчас принято называть кайдзен), был в свое время главной частью корпоративной культуры Ford Motor Company. В настоящее время кайдзен играет важную роль на ведущих японских предприятиях. Такой склад мышления предполагает, что ни одну составляющую никакой работы нельзя считать раз и навсегда заданной. Этой идеей руководствуется человек, видящий трение там, где остальные его не замечают. Всякий раз в ответ на заявление, что «мы делаем так потому, что всегда так делали», он задается вопросом: а нельзя ли работать по-другому, лучше, чем сейчас? Любые стандарты и правила отражают только современные представления о наилучших способах выполнения той или иной работы, которые будут опровергнуты в будущем, когда появятся еще более совершенные методы.

## Литература

Aitken, Hugh G. J. 1960. *Scientific Management in Action: Taylorism at Watertown Arsenal, 1908—1915*. Princeton: Princeton University Press.

Alvarado, Rudolph, and Sonya Alvarado. 2001. *Drawing Conclusions on Henry Ford: A Biographical History through Cartoons*. Ann Arbor: University of Michigan Press.

Arnold, Horace Lucien, and Fay Leone Faurote. 1915. *Ford Methods and the Ford Shops*. New York: The Engineering Magazine Company. Reprinted in 1998, North Stratford, NH: Ayer Company Publishers Inc.

Australia Fights Methane. 2001. *Chemical and Engineering News* (June 18, 2001): 104.

Bakerjian, Ramon, ed. 1993. *Tool and Manufacturing Engineers Handbook: Volume 7, Continuous Improvement*. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers.

Basset, William. 1919. *When the Workmen Help You Manage*. New York: The Century Company.

Bennett, Harry, as told to Paul Marcus. 1951. *Ford: We Never Called Him Henry*. New York: Tom Doherty Associates, Inc.

Briscoe, Scott. 2001. The Tiger: Poised to Strike. *APICS—The Performance Advantage* (April 2001): 40—44.

Caravaggio, Michael. 1998. Total Productive Maintenance. In *Leading the Way to Competitive Excellence: The Harris Mountaintop Case Study*. Levinson, William, ed. Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.

Carter, Todd. 2001. Driving Costs Down. *APICS—The Performance Advantage*, April 2001, 47—50.

Clausewitz, Carl von (d. 1831). 1976 (M. Howard and P. Paret translation). *On War*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Courtney, Steven. 1992. Modern Manufacturing in an Old-Fashioned Setting. *Hartford Courant* (December 7, 1992).

Cox, James F. III, and John H. Blackstone, Jr. 1998. *APICS Dictionary*, 9th ed. Alexandria, VA: APICS—The Educational Society for Resource Management (APICS was formerly the American Production and Inventory Control Society).

Crow, Carl. 1943. *The Great American Customer*. New York: Editions for the Armed Services, Inc.

Cubberly, William H. and Ramon Bakerjian, eds. 1989. *Tool and Manufacturing Engineers Handbook, Desk Edition*. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers.

Dieter, George. 1983. *Engineering Design: A Materials and Processing Approach*. New York: McGraw-Hill.

Feigenbaum, Armand. 1991. *Total Quality Control*, 3rd ed. Milwaukee: ASQ Quality Press.

Flanders, R. E. 1925. *Design Manufacture and Production Control of a Standard Machine*. Transactions of ASME, 46 (1925).

Ford, Henry, and Samuel Crowther. 1922. *My Life and Work*. New York: Doubleday, Page & Company.

———. 1926. *Today and Tomorrow*. New York: Doubleday, Page & Company (Reprint available from Productivity Press, 1988).

———. 1930. *Moving Forward*. New York: Doubleday, Doran & Company.

Gardner, Daniel. 2001. *Movers and Shapers: The Impact of Logistics on Global Supply Chains*. APICS—The Performance Advantage (May 2001): 29–33.

Gardner, Les, and Prank Nappi. 2001. *The Total Impact of Minor Stoppages*. «The 6th Annual Lean Management and TPM Conference,» sponsored by Productivity Inc. October 25–26, 2001, Dearborn, MI.

Gilbreth, Frank. 1911. *Motion Study*. New York: D. Van Nostrand Reinhold.

Goldratt, Eliyahu. 1997. *Critical Chain*. Croton-on-Hudson, NY: North River Press.

Goldratt, Eliyahu, and Jeff Cox. 1992. *The Goal*. Croton-on-Hudson, NY: North River Press.

Goldratt, Eliyahu, and Robert E. Fox. 1986. *The Race*. Croton-on-Hudson, NY: North River Press.

Halpin, James F. 1966. *Zero Defects*. New York: McGraw-Hill.

Harry, Mikel, and Richard Schroeder. 2000. *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations*. New York: Currency Doubleday.

Heizer, Jay, and Barry Render. 1991. *Production and Operations Management*, 2nd ed. Needham Heights, MA: Allyn and Bacon.

Hillier, Frederick S., and Gerald J. Lieberman. 1980. *Introduction to Operations Research*. Oakland, CA: Holden-Day.

Holt, James R., and Scott D. Button. *Sharing the Destiny across Multiple Business Units: The Supply Chain Solution*. SIG Synergy, APICS (September 2000).

Hradesky, John. 1995. *Total Quality Management Handbook*. New York: McGraw-Hill.

Imai, Masaaki. 1997. *Gemba Kaizen*. New York: McGraw-Hill.

Jacques, March Laree. 2001. *Big League Quality: Deming ways change 115-year-old Louisville Slugger manufacturer*. Quality Progress (August 2001): 27–34.

Juran, Joseph. 1992. *Juran on Quality by Design*. New York: The Free Press.

Juran, Joseph M., and Frank Gryna. 1988. *Juran's Quality Control Handbook*, 4th ed. New York: McGraw-Hill.

Kalpakjian, Serope. 1984. *Manufacturing Processes for Engineering Materials*. Reading, MA: Addison-Wesley.

Kastelic, F. M. 1993. Exporting is easy. *Manufacturing Engineering* (August 1993): 104.

Kim, Irene. 2001. Powering Down: Process Companies Explore Innovative Technology and Market-Based Solutions to the Energy Crisis. *Chemical Engineering Progress* (August 2001): 10–12.

Laraia, Anthony C., Patricia E. Moody, and Robert W. Hall. 1999. *The Kaizen Blitz*. New York: John Wiley & Sons.

Larson, Melissa. 1998. Ergonomic Workstations Boost Productivity. *Quality* (March 1998): 44–47.

Lathin, Drew, and Ron Mitchell. 2001. Learning from Mistakes: For Lean Manufacturing to Work, You Must Integrate the Social and Technical. *Quality Progress* (June 2001): 39–45.

Levinson, William. 1994. *The Way of Strategy*. Milwaukee: ASQ Quality Press. Now available from iUniverse.com .

———, ed. 1998. *Leading the Way to Competitive Excellence: The Harris Mountaintop Case Study*. Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.

———. 2000. *ISO 9000 at the Front Line*. Milwaukee: ASQ Quality Press.

———. 2000a. SPC for Real-World Processes: What to Do When the Normality Assumption Doesn't Work. Paper presented at the ASQ's annual quality conference, Indianapolis.

———. 2002. *Henry Ford's Lean Vision: The Enduring Waste-Free Principles from the First Ford Motor Plant*. Portland, OR: Productivity Press.

Levinson, William, and Prank Tumbelty. 1997. *SPC Essentials and Productivity Improvement: A Manufacturing Approach*. Milwaukee: ASQ Quality Press.

Liker, Jeffrey K., ed. 1998. *Becoming Lean: Inside Stories of U.S. Manufacturers*. Portland, OR: Productivity Press.

Mahan, Alfred Thayer. 1980. *The Influence of Sea Power Upon History, 1660-1805*. London: Bison Books.

Marciano, Michael. 1999. How Did Hartford Get into This Mess? *The Hartford Advocate*, <http://www.hartfordadvocate.coni/articles/hfdmess.html> (as of 4/26/01).

Mege, Claude Jean. 2000. Is There a HAM in Your Future? *Manufacturing Engineering* (July 2000): 114–24.

Menning, Bruce W. 1986. Train Hard, Fight Easy: The Legacy of A. V. Suvorov and His 'Art of Victory.' *Air University Review* (December 1986): 79–88.

Moore, Albert W. 1996. 'Engine' Charlie was Right in 1952—and Still Is. *Manufacturing Engineering* (August 1996): 296.

Murphy, Robert, JetfLauffer, and William Levinson. 1997. Project Raptor. *Future Fab International* 1, no. 3: 117–20.

———. 1998. Velociraptor: Swift Predator, *Future Fab International* 1, no. 5: 117–23.

Murphy, Robert, and Puneet Saxena. 1997. Breaking Paradigms with Synchronous Flow Manufacturing. *Semiconductor International* (October 1997): 149—54.

———. 1998. Synchronous Flow Manufacturing. In *Leading the Way to Competitive Excellence: The Harris Mountaintop Case Study*. Levinson, William, ed. Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.

Norwood, Edwin P. 1931. *Ford: Men and Methods*. Garden City, NY: Doubleday, Doran & Company Inc.

Ohno, Taiichi. 1988. *Toyota Production System*. Portland OR: Productivity Press. Olexa, Russ. 2001. Pushing the Productivity Envelope. *Manufacturing Engineering* (May 2001): 72—84.

Peters, Thomas. 1987. *Thriving on Chaos*. New York: Harper & Row.

———. 1989. When surviving is not enough. Presentation to the Cornell Society of Engineers, April 28, Ithaca, NY.

Rerick, Ray, and Greg Klusewitz. 1996. Constraint Management through the Drum-Buffer-Rope System. SEMI/DEEE Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop, November 12-14, 1996, Cambridge, MA.

«Resin Crisis Averted.» 1993. *Semiconductor International* (October 1993): 26.

Richards, Bill. Inside Story. *Wall Street Journal* (June 17, 1996): R23.

Riggs, James L. 1977. *Engineering Economics*. New York: McGraw-Hill.

Robinson, Alan, ed. 1990. *Modern Approaches to Manufacturing Improvement: The Shingo System*. Portland: Productivity Press.

Sands, Allen. 1998. Customer Contact Teams, in *Leading the Way to Competitive Excellence: The Harris Mountaintop Case Study*. Levinson, William, ed. Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.

———. 1998. Zero Scrap Actions. In *Leading the Way to Competitive Excellence: The Harris Mountaintop Case Study*. Levinson, William, ed. Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.

Schonberger, Richard J. 1982. *Japanese Manufacturing Techniques: Nine Hidden Lessons in Simplicity*. New York; The Free Press.

———. 1986. *World Class Manufacturing*. New York: The Free Press.

Schrageheim, Eli. TOC and Supply Chain Management. *SIG Synergy, APICS* (September 2000). (APICS is the former American Production and Inventory Control Society, now The Educational Society for Resource Management) Schrageheim, Eli, and H. William Dettmer. 2001. Constraints & JIT: Not Necessarily Cutthroat Enemies. *APICS—The Performance Advantage* (April 2001): 57—60.

Shingo, Shigeo. 1986. *Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System*. Portland, OR: Productivity Press.

Sienko, Michell J., and Robert A. Plane. 1974. *Chemical Principles and Properties*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill.

Sinclair, Upton. 1937. *The Flivver King*. Second printing, 1987. Chicago: Charles H. Kerr Publishing Company.

Smith, Catherine F. 1998. *The Rhetoric of Record-Keeping n: Shorthand Writing*. <http://web.syr.edu/~cfsmith/congress/episodes/1789/comments/US/shorthand.html> as of 8/21/01. An adaptation of Smith, C. F. (1994). *Documenting Democracy in the First Federal Congress of the United States*. Presented on panel *Rhetoric of Nation-Building*, Conference on College Composition and Communication.

Smith, Wayne. 1998. *Time Out: Using Visible Pull Systems to Drive Process Improvements*. New York: John Wiley & Sons.

Sorensen, Charles E. 1956. *My Forty Years with Ford*. New York: W. W. Norton & Company Inc.

Standard, Charles, and Dale Davis. 1999. *Running Today's Factory: A Proven Strategy for Lean Manufacturing*. Cincinnati, OH, Hanser Gardner Publications.

Steuben, Baron von. 1779. *Regulations for the Order and Discipline of the Troops of the United States*, <http://www.2nc.org/steubman.htm>.

Stuelpnagel, T. R. 1993. *Deja Vu: TQM Returns to Detroit and Elsewhere*. *Quality Progress* (September): 91–95.

Sun Tzu (trans. by Samuel Griffith). 1963. *The Art of War*. New York: Oxford University Press.

Suzaki, Kyoshi. 1987. *The New Manufacturing Challenge*. New York: The Free Press. The System Company. 1911. *How Scientific Management Is Applied* 2nd revised edition. London: A. W. Shaw Company, Ltd.

———. 1911a. *How to Get More Out of Your Factory*. London: A. W. Shaw Company, Ltd.

Taylor, Frederick Winslow. 1911. *The Principles of Scientific Management*. New York: Harper Brothers. 1998 republication by Dover Publications, Inc., Mineola, NY.

———. 1911a. *Shop Management*. New York: Harper & Brothers.

Tsouras, Peter G. 1992. *Warrior's Words: A Dictionary of Military Quotations*. London: Arms and Armour Press.

Tsutsui, William M. 1998. *Manufacturing Ideology: Scientific Management in Twentieth-Century Japan*. Princeton: Princeton University Press.

Voiland, Douglas E. 2001. *A Nice Problem to Have: A Commonsense Approach to TOC Can Save Even the Most Successful Company*. *APICS—The Performance Advantage* (July 2001): 29–31.

Walker, Bill. 2001. *Supply Chain Management*. APICS meeting, Pittston, PA, March 14, 2001.

Walker, William. 2001a. *Synchronized for Growth*. *APICS—The Performance Advantage* (April 2001): 26–29.

Ward, John R. 1999. The Little Ships That Could. *American Heritage of Invention and Technology* (Fall 1999): 34—40.

Wentz, Martin. 1998. Teaming to Win. In *Leading the Way to Competitive Excellence: The Harris Mountaintop Case Study*. Levinson, William, ed. Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.

Western Electric Co., Inc. 1956. *Statistical Quality Control Handbook*. Charlotte, NC: Delmar Printing Company.

Womack, James P., and Jones, Daniel T. 1996. *Lean Thinking*. New York: Simon & Schuster.



## Содержание

Предисловие .....	5
Глава 1. Бережливое предприятие — что это такое?.....	13
Глава 2. Зарождение принципов бережливого производства и «точно вовремя» .....	27
Глава 3. Изменения в корпоративной культуре, необходимые для создания бережливого предприятия .....	35
Глава 4. Методы бережливого производства.....	51
Глава 5 Теория ограничений .....	137
Глава 6. Единичное поточное производство .....	157
Глава 7. Синхронизированное поточное производство .....	175
Глава 8. Управление цепочками поставок .....	195
Глава 9. Максимизация прибыли в процессах с ограничениями .....	225
Глава 10. Управление проектами и программами .....	242
Заключение .....	261
Литература.....	265

*Производственно-практическое издание*

Уильям Левинсон  
Рэймонд Рерик

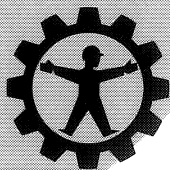
**БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО:  
синергетический подход к сокращению потерь**

Редактор М.И. Лейко  
Оформление серии В.А. Черников  
Художники С.И. Леонова, Л.Б. Красс  
Корректор Л.С. Барышникова

Подписано в печать 12.12.2006. Бумага офсетная. Формат 70х100/16.  
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 17. Тираж 5500 экз.  
Заказ № 2703. Цена договорная

РИА «Стандарты и качество»  
Адрес для переписки: 115114, Москва, а/я 21  
Адрес: 115088, Москва, 2-я ул. Машиностроения, д. 17  
Тел.: (495) 771 6652, 506 8029, 600 8247  
Факс: (495) 771 6653, 600 8287  
Интернет-магазин: [www.mirkachestva.ru](http://www.mirkachestva.ru)  
[www.stq.ru](http://www.stq.ru)

ОАО «Калужская типография стандартов»  
248006, Калуга, ул. Московская, д. 256.



**ЦЕНТР ОРГПРОМ**  
Производство Роста

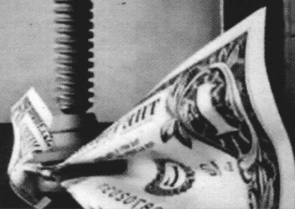
**[343] 216-10-50**

**www.orgprom.ru**

# ВКЛЮЧАЙ РЕЗЕРВЫ!

- ⚙ Ведущий российский провайдер по освоению Лин
- ⚙ Организатор Российского Лин Форума  
«Бережливое производство для России» ([www.leanforum.ru](http://www.leanforum.ru))
- ⚙ Организатор Российской Лин Школы ([www.leanschool.ru](http://www.leanschool.ru))
- ⚙ Издатель «Вестника Лин» ([www.leansigma.ru](http://www.leansigma.ru))

- ✓ Практический опыт в вашей отрасли
- ✓ Реальный быстрый результат
- ✓ ROI от 5 до 10 в течение года



Термин «бережливое производство» (lean production) был введен для обобщения японских производственных методик, позволяющих сокращать затраты труда, времени и пространства наряду с повышением эффективности и минимизацией дефектов производства.

Авторы демонстрируют, как с помощью бережливого производства современные предприятия могут добиться такого же успеха, которого достигли компании Ford, Toyota, Dell, знакомят читателя с методиками и программами, целью которых является устранение действий, не приносящих дополнительной ценности для предприятий, включая управление цепочкой поставок, канбан, кайдзен и пока-ёкэ.

Книга поможет убедить сомневающихся руководителей и сотрудников в необходимости применения методики бережливого производства, преобразовать культуру вашей организации, изменить стиль работы.

ISBN 978-5-94938-051-2



9 785949 380512 &gt;

РСТ  
СТАНДАРТЫ  
И КАЧЕСТВО