

УДК 338.2.65.290-2

Е.А. ДРУЖИНИН<sup>1</sup>, Д.В. БОЖКО<sup>1</sup>, К.В. ГАБЧАК<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

<sup>2</sup>ЗАО ОКБ "Титан", Москва, Россия

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ В ПРОЕКТАХ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Предлагается модель анализа и регулирования затрат на обеспечение качества путем построения уравнения регрессии, описывающего взаимосвязь количества дефектной продукции и затрат на качество, построены модели прогнозирования этих затрат на предприятиях радиотехнической отрасли.

**система качества проекта, затраты на качество, корреляционный анализ, уравнение регрессии, высокотехнологичная техника**

### Введение

Для современных предприятий, которые создают высокотехнологичную технику, актуальной является задача использования экономических, организационных и правовых рычагов воздействия на процесс формирования, обеспечения и поддержания необходимого уровня качества продукта проекта. Для решения данной задачи необходимо провести анализ существующих показателей качества проекта и с помощью методов математической статистики определить наиболее значимые источники возникновения дефектов выпускаемой продукции. После выявления весомых факторов, влияющих на ухудшение качества проекта, принимаются соответствующие решения по их устранению либо предупреждению. Согласно определенным приоритетам распределяются ресурсы на осуществление решений по усовершенствованию качества продукции.

При разработке модели следует учитывать, что управление качеством на предприятиях осуществляется, как правило, с целью достижения экономического эффекта [1, 2]. Поэтому затраты на качество должны быть выявлены, обработаны и проанализированы подобно другим затратам. Это обеспечит руководство проекта дополнительным инструментом управления.

### 1. Постановка задачи регулирования затрат на качество

Взаимосвязь общих затрат на обеспечение качества и уровня достигнутого качества обычно представляют так, как показано на рис. 1 [3]. Рассмотрев левую сторону графика («много дефектов»), можно сделать вывод о том, что общие затраты на обеспечение качества высоки в основном потому, что высоки затраты на изготовление дефектной продукции.

Из рис. 1 видно, что достигаемый уровень качества будет повышаться (количество дефектов уменьшаться) за счет увеличения объема предупредительных мероприятий и роста затрат на них. Потери (затраты на изготовление дефектной продукции), очевидно, снижаются как результат предупредительных действий.

Как показано на рис. 1, на этой стадии затраты на потери уменьшаются быстрее, чем возрастают затраты на организацию предупредительных мероприятий. В результате общие затраты на обеспечение качества уменьшаются. Влияние снижения уровня затрат на контроль незначительно.

Если далее рассматривать график слева направо, когда достигаемый уровень качества повышается, то ситуация начинает меняться. При устойчивом снижении затрат на устранение дефектов, затраты на

организацию предупредительных мероприятий возрастают быстрее (значительное количество средств

затрачивается на незначительное снижение дефектности).

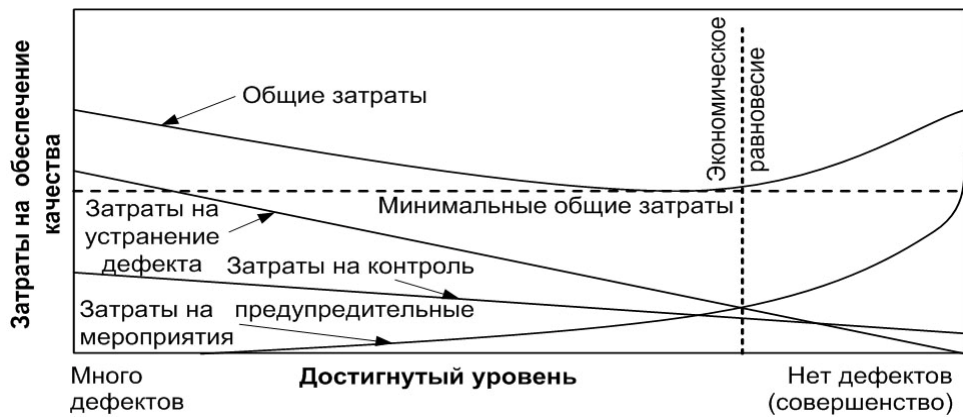


Рис. 1. Взаимосвязь затрат на качество и достигнутого уровня качества

Концепцию экономической оценки затрат на обеспечение качества, принятую в ISO серии 9000, можно рассматривать как инструмент, который позволяет определить экономические последствия решений, принимаемых в рамках системы менеджмента качества, оценить убытки от возникновения дефектов и несоответствий, провести всесторонний анализ затрат на обеспечение качества.

Под анализом затрат на обеспечение качества подразумевают их изучение, что дает возможность обосновать с научных позиций решения и действия предприятия в области повышения качества продукции и способствовать выбору лучших вариантов действий.

## 2. Применение статистических методов для анализа и регулирования затрат на обеспечение качества

Первым шагом в создании модели анализа и регулирования затрат на обеспечение качества является описание работ, связанных с обеспечением качества продукции, сбор информации об общих затратах на устранение дефектов продукции и расчет корреляционной связи общих затрат и количества дефектов, являющихся следствием некачественного выполнения работ. Парные коэффициенты корреляции определяют тесноту связи между каждым фак-

тором в отдельности (вид дефекта) и зависимой переменной (общие затраты) [6]:

$$r_{xy} = \frac{m \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{m \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{m \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}},$$

где  $y_i$  — величина затрат на качество в  $i$  момент времени,  $x_i$  — количество дефектов определенного вида в  $i$  момент времени,  $m$  — количество наблюдений, зафиксированных за время выполнения проекта.

Если значения полученных коэффициентов близки к 1, это свидетельствует о наличии связи между дефектами и затратами на обеспечение качества связи, следовательно, модель ведет себя адекватно. Полученные значения коэффициентов корреляции (влияние дефектов  $x$  на затраты  $y$ ) могут быть использованы в механизме прогнозирования затрат.

На основе статистических данных о количестве дефектов, которые содержатся в проектной документации, статистического анализа и величин затрат на обеспечение качества продукции, можно составить уравнение регрессии следующего вида:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_{n-1} \cdot x_{n-1} + a_n \cdot x_n,$$

где  $y$  — величина затрат на качество;  $x_1 - x_n$  — количество дефектов, классифицированных на  $n$  видов;  $a_0 - a_n$  — коэффициенты уравнения регрес-

сии, полученные с использованием метода наименьших квадратов. Далее производится минимизация выражения

$$\sum (a_0 + a_1 \cdot x_1 + \dots + a_n \cdot x_n - y)^2 \rightarrow \min,$$

полученного, исходя из необходимости минимизировать возможную ошибку  $E_x$ :

$$E_x = (y_i - \bar{y}_x) \rightarrow 0,$$

где  $y_i$  – фактическое значение, полученное в  $i$  момент времени;  $\bar{y}_x$  – выровненное значение.

После этого выполняют анализ полученных коэффициентов регрессии. Он показывает, какие из факторов положительно/отрицательно коррелированы на функцию затрат, а также какие факторы максимально влияют на уровень затрат на качество.

Решение задачи оценки затрат на обеспечение качества продукции в целях повышения качества работ и управления их структурой в перспективе предполагает прогнозирование как величины самих затрат, так и уровня факторов (дефектов).

Сущность методики прогнозирования состоит в установлении тенденции изменения прогнозируемых функций и параметров с применением эвристических и математических способов. Исследуемый временной ряд изменения какого-либо параметра можно представить уравнением

$$x_t = f(t) + \varepsilon_t,$$

где  $x_t$  – значение характеристики или параметра;  $f(t)$  – исследуемая стохастическая функция во времени;  $\varepsilon_t$  – отклонение исследуемого параметра (исследуемая стохастическая функция).

С помощью регрессионного анализа осуществляют взаимосвязь затрат и дефектов от времени:

$$x_1 = b_0^1 - b_1^1 t ; \dots$$

$$x_n = b_0^n - b_1^n t ; y = c_0 - c_1 t .$$

Анализ коэффициентов регрессии и построенные графики зависимостей изменения затрат и дефектов во времени позволяют определить наиболее весомые факторы в модели, оценивать поведение системы не только на данный период времени, но и в бу-

душем. Определив, таким образом, наиболее «уязвимые» элементы в системе качества, руководству значительно проще принимать последующие меры, необходимые для ликвидации или предупреждения допущенных ошибок в работе персонала, оборудования и т.д. В теории менеджмента качества существует ряд методов борьбы с такого рода ошибками (рис. 2) [4, 5].

### 3. Пример анализа и регулирования затрат на обеспечение качества

В данной работе анализируется деятельность по обеспечению качества на предприятии, специализирующемся на производстве катодной фольги методом электронно-лучевого вакуумного напыления [7, 8].

Первым этапом является сбор и накопление данных об уровне затрат на обеспечение качества выпускаемой продукции и данных о допусках дефектах. Среди множества контролируемых параметров выделим следующие:

1) предупредительные мероприятия, проводимые администрацией, и дефекты, которые допускаются по их вине, а также дефекты, допускаемые в работе обслуживающего персонала;

2) дефекты, связанные с работой технологов. В качестве примера можно привести такие ошибки, относящиеся к работе технологов: недостаточная емкость произведенной фольги и механические дефекты поверхности подложки (морщины, трещины, надрывы). Чтобы обеспечить требуемый уровень приведенных параметров следует учитывать скорость осаждения испаряемого материала, угол падения парового потока и некоторые особенности процесса. Малейшие просчеты в такой ситуации приводят к неизбежным ошибкам и браку;

3) дефекты, которые обусловлены несоответствием поставляемого сырья и материалов требуемым характеристикам. Производятся закупки алюминиевой фольги, которая является основой – подложкой в данном производстве. Любые «надрывы» и другие

повреждения фольги недопустимы;

4) дефекты, допускаемые рабочими при наладке

оборудования, изготовлении заготовок и прочих

проводимых операциях;

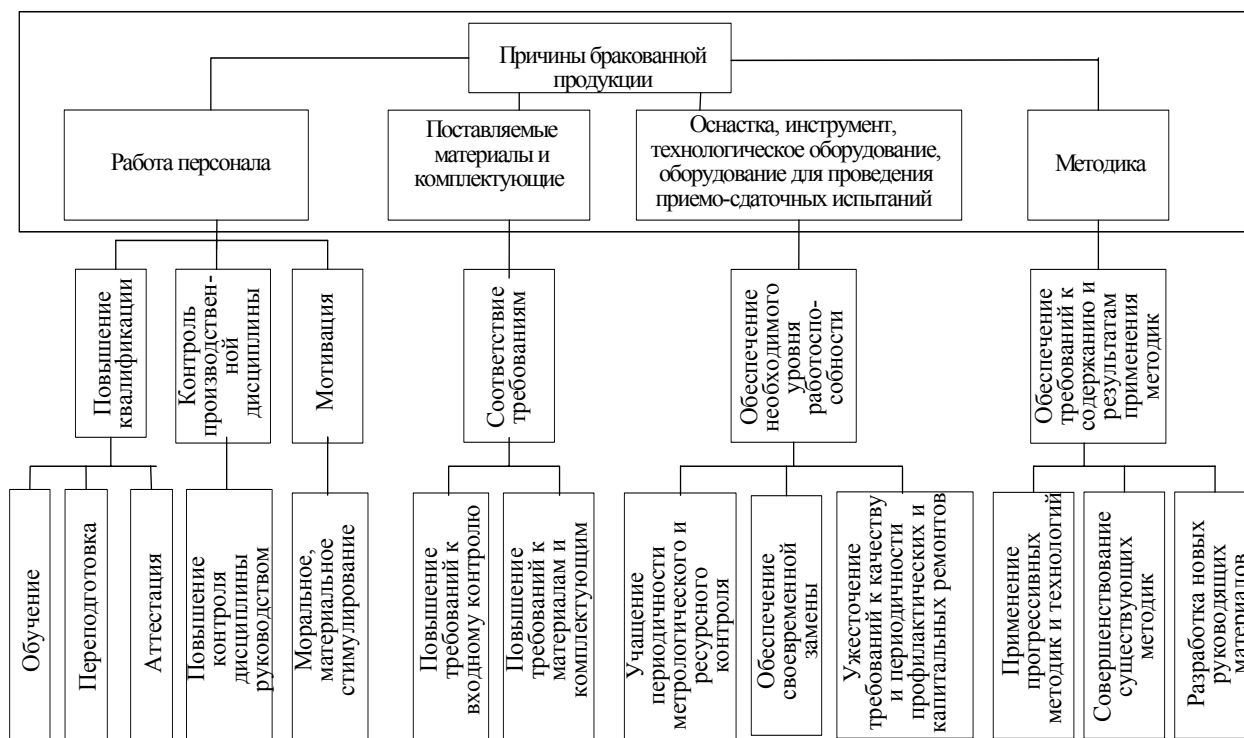


Рис. 2. Методические рекомендации по воздействию на причины, приводящие к браку

5) дефекты, которые возникают из-за особенностей процесса производства. Так как технология производства катодной фольги с помощью вакуумного напыления на электронно-лучевой установке – сложный процесс, то избежать некоторых ошибок не представляется возможным, несмотря на жесткий контроль всех необходимых параметров.

Так, например, нельзя избежать пробоев в катодном пространстве электронно-лучевых пушек по причине накопления заряженных частиц в зоне катод-анод, что приводит к прекращению напыления на время автоматической локализации пробоя. В результате образуются участки ненапыленной фольги, которые необходимо удалять.

Часть результатов наблюдения контролируемых параметров представлены в табл. 1.

На основании полученных статистических данных о количестве дефектов и ошибках, приводящих к ним, и величины затрат по обеспечению качества

продукции можно составить уравнение регрессии следующего вида:

$$y = 267373,9 - 219,8638x_1 - 10,3339x_2 - 38,4705x_3 - 34,3947x_4 - 462,682x_5.$$

Анализ коэффициентов регрессии показывает, что вся совокупность факторов отрицательно коррелирована на функцию затрат.

Наибольшее влияние на суммирующие затраты качества катодной фольги оказывает фактор  $x_5$  – дефекты, обусловленные процессом производства. Устранение этого вида дефектов является практически невозможным, поскольку используемая на предприятии технология производства катодной фольги с настолько высокими показателями емкости и стабильности при минимальных размерах оптимальна [9].

Поэтому акцентировать внимание на данном виде допускаемых дефектов (участков ненапыленной фольги) нецелесообразно.

Таблица 1

Эмпирический ряд значений затрат на качество, предупредительных мер и дефектов

№ периода времени	Затраты на обеспечение качества продукции за период, ден.ед.	Дефекты сырья, материалов, ед.	Предупредительные мероприятия администрации и дефекты, обусловленные их ошибками и ошибками обслужив. персонала, ед.	Дефекты, обусловленные ошибками технологов, ед.	Дефекты, обусловленные действиями рабочих, ед.	Дефекты, обусловленные процессом производства, ед.
1	179370	33	281	413	2946	79
2	175287	33	268	404	3126	77
3	179836	32	241	348	3121	87
4	176233	31	255	406	3369	85
5	181943	32	253	404	3231	70
...	...	...	...	...	...	...

Вторым по степени влияния на уровень затрат, связанных с обеспечением качества, является фактор  $x_1$  – дефекты сырья, материалов. В этом случае будет рациональным руководству принять соответствующие решения и предпринять меры, которые подробно рассматриваются в теории классического менеджмента. Так для уменьшения брака, связанного с качеством сырья и материалов, в упомянутой теории рекомендуется в первую очередь пересмотреть вопросы контроля качества закупаемых материалов. Если он находится на высоком уровне, то следует повысить требования непосредственно к материалам.

Для проверки адекватности поведения модели, базирующейся на регрессионном анализе, и обоснования использования линейных функций при прогнозировании затрат на качество и количества дефектов при дальнейшей реализации проекта, получим коэффициенты парной корреляции:  $r_{yx_1} = 0,92699$ ,  $r_{yx_2} = 0,97478$ ,  $r_{yx_3} = 0,97372$ ,  $r_{yx_4} = 0,98055$ ,  $r_{yx_5} = 0,98087$ . Полученные коэффициенты свидетельствуют о наличии достаточно тесной связи между дефектами, предупредительными мероприятиями и затратами на обеспечение качества. Следовательно, использования только ли-

нейной функции при прогнозировании вполне достаточно. Были получены зависимости затрат и дефектов от времени:

$$x_1 = 34,27 - 0,26t ; x_2 = 260,39 - 2,93t ;$$

$$x_3 = 396,3 - 5,01t ; x_4 = 3225 - 31,91t$$

$$x_5 = 82,64 - 1,1t ; y = 175,72 - 0,93t .$$

Графическое представление изменения затрат и дефектов во времени изображено на рис. 3 и рис. 4.

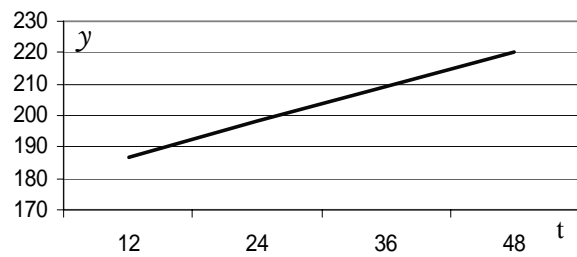


Рис. 3. Изменение затрат во времени

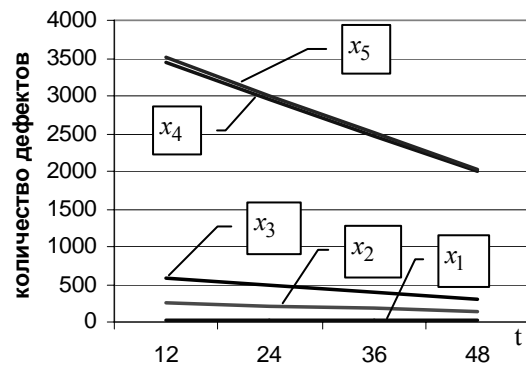


Рис. 4. Изменение дефектов во времени

Анализ коэффициентов регрессии и графики указывают на то, что для стоимостных процессов обеспечения качества характерно некоторое увеличение затрат во времени. Эти затраты не освобождены от факторов структурных сдвигов в себестоимости изделия и изменений объема производства.

### Выводы

В данной работе разработана модель анализа и регулирования затрат на обеспечение качества выпускаемой продукции. Для этого были решены следующие основные задачи:

1) проанализирована существующая взаимосвязь между затратами на качество и достигнутым уровнем качества;

2) разработан сценарий построения модели анализа и регулирования затрат на обеспечение качества и устранения брака в производстве;

3) на основе анализа оперативного учета результатов работы предприятия радиотехнической отрасли был рассмотрен пример построения предложенной модели;

4) анализ полученных коэффициентов уравнения регрессии показал, какие из факторов более других влияют на уровень затрат на качество. Предложены методические рекомендации по воздействию на причины, приводящие к браку;

5) для дальнейшего планирования и принятия управленческих функций построена модель прогноза изменения величины общих затрат на качество и количество дефектов.

Данные результаты послужат основой для разработки информационной подсистемы оперативного учета данных о качестве выпускаемой продукции на предприятии радиотехнической отрасли.

Таким образом, у предприятия появляется возможность производства высококачественной, конкурентоспособной продукции с минимальными

затратами, необходимыми для реорганизации существующей системы менеджмента качества.

### Литература

1. Мазур И.И., Шапиро В.Д. Управление качеством: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 2003. – 334 с.
2. Никитин В.А., Филончева В.В. Управление качеством на базе стандартов ИСО 9000: 2000. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2005. – 127 с.
3. Будищева И.А., Плоткин Я.Д. Регулирование затрат на обеспечение качества продукции. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 184 с.
4. Экономическая оценка качества и эффективности работы предприятия. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 150 с.
5. Рахлин К., Скрипко Л. Принципы планирования и учета затрат на качество // Стандарты и качество. – 2000. – №3. – С. 60.
6. Лапач С.Н., Чубенко А.В., Бабич П.Н. Статистика в науке и бизнесе. – К.: Морион, 2002. – 640 с.
7. Рязанцев С.Н. Электролитические конденсаторы. Резервы увеличения удельной емкости // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 1999. – № 4. – С. 42-45.
8. Рязанцев С.Н. Электронно-лучевая установка для напыления катодной фольги // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2001. – № 1. – С. 62-64.
9. Рязанцев С.Н., Гордиенко Г.Ф., Павлов А.М. Структура и некоторые свойства вакуумных конденсаторов титана на алюминиевой фольге // EMRS. – Страсбург. – 1992. – С. 34-36.

*Поступила в редакцию 3.09.2007*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Е.А. Фролов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.