УДК 621.396.67

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ВИРОБІВ

Мірських Г.О., Антипенко Р.В.

Будь-який радіоелектронний апарат (РЕА), будь-який електрорадіокомпонент (ЕРК), як і взагалі, будь-який виріб, характеризуються визначеною сукупністю вихідних параметрів, характеристик, завдяки яким в процесі їх експлуатації забезпечуються ті чи інші потреби споживача. Ці характеристики, за звичай називають споживчими характеристиками, а їх відповідність встановленим нормам – споживчою якістю.

Одним з чи не найважливіших елементів організації виробництва РЕА та ЕРК є контроль рівня їх споживчої якості. Мета цього контролю полягає в забезпеченні інтересів споживача, з одного боку, та в отриманні необхідної інформації щодо стабільності технологічного процесу, з другого боку. Відмітимо, що функціональні властивості сучасних РЕА достатньо широкі, що викликає додаткові труднощі при організації всебічного контролю (за всіма функціями, режимами) відповідності РЕА нормативно-технічним документам, суттєво впливає на економічні показники контролю, а отже і на кінцеву вартість продукції.

Організаційні засади вихідного контролю РЕА та ЕРК базуються, найчастіше, на статистичних методах контролю, які мають виявити рівень дефектності відповідної партії продукції. Однак, відомо [1], що необхідний для визначення рівня дефектності мінімальний об’єм вибірки зростатиме, коли цей рівень зменшується. Для гарантованого виявлення (встановлення) рівня дефектності, що (за об’єктивними причинами) наближається до нуля, необхідний об’єм вибірки має наближатися до нескінченності. Іншими словами, *якщо рівень дефектності вельми малий, то для його гарантованого виявлення необхідно обстежити всю партію*.

Врахування економічних показників під час вибору статистичного (вибіркового) контролю, за звичай, робиться в розумінні імперативності самого контролю на виході технологічного циклу. Але такий вихідний контроль необхідно розглядати лише як один з можливих засобів урегулювання взаємовідношень між виробником та споживачем [1]. За рамками парадигми обов’язковості вихідного контролю продукції, з’являється можливість взагалі відмовитись від отримання детальної інформації щодо її якості на виході технологічного циклу. При цьому захист інтересів споживача можна забезпечити впровадженням спеціальних методів контролю технологічного процесу й спеціальної стратегії взаємовідношень виробника та споживача.

Оцінка мінімально необхідного об’єму вибірки для здійснення статистичного контролю

Підвищення якості виробів, що випускає підприємство, безпосередньо

призводить до повнішого задоволення вимог споживача. Звичайно, стратегічна лінія будь-якого підприємства спрямовується на зменшення бракувального рівня дефектності, тобто того значення вхідного рівня дефектності, при якому імовірність приймання відповідної партії продукції дорівнює ризику споживача. Зі всіх планів статистичного контролю із загальним об'ємом контролю n мінімум імовірності приймання партії продукції досягається на одноступеневому плані (n, 0), згідно якого партія продукції приймається тоді і тільки тоді, коли з n перевірених виробів усі виявляються гідними [2]. Іншими словами, оперативна характеристика плану (n, 0) огинає знизу множину всіх оперативних характеристик.

В подальшому виходитимемо з біноміальної моделі вибірки, згідно якої у вибірці об'ємом n число дефектних одиниць продукції має біноміальне розподілення з параметрами n та p, де p - вхідний рівень дефектності. Відомо [3], що така модель є наближенням для моделі простої випадкової вибірки з партії продукції. Згідно цієї моделі вказане число має гіпергеометричне розподілення. Гіпергеометрична модель переходить у біноміальну, якщо об’єм партії нескінченно зростає, а доля дефектних одиниць в партії наближається до p. Якщо об’єм вибірки складає не більше 10 % об’єму партії, то з достатньої для практики точністю приймають, що відповідне біноміальне розподілення добре наближає гіпергеометричне.

Приймемо ризик споживача рівним 0,1, що найчастіше використовується на практиці. При цьому для плану (n, 0) та відповідно до заданого бракувального рівня дефектності $p_{\text{бр}}$, необхідний об'єм вибірки становитиме:

$$n = \frac{\ln 0{,}1}{\ln(1 - p_{\text{бр}})} = -\frac{2{,}3}{\ln(1 - p_{\text{бр}})}.$$

Оскільки, відповідно до постановки задачі, значення бракувального рівня дефектності малі, то $\ln(1 - p_{\text{бр}}) \approx p_{\text{бр}}$, і необхідний об’єм вибірки з достатньою точністю можна визначити за формулою

$$n = \left\lceil 2{,}3 / p_{\text{бр}} \right\rceil \qquad (1)$$

Наприклад, при доволі низькій якості виробів можна задати $p_{\text{бр}} = 0{,}01$, тобто вимагати, щоб майже всі (точніше, не менше 90 %) партії, в яких дефектних одиниць більше, ніж 1 зі 100, були забраковані і не відвантажувалися споживачу. Тоді об'єм контролю має становити не менше n = 230.

З наведеного випливає: *необхідний об’єм вибірки, що визначається для будь-якого плану контролю на підставі заданого бракувального рівня дефектності* $p_{\text{бр}}$, *буде не менше, ніж для плану* (n, 0)*, тобто не менше, ніж* $2{,}3/p_{\text{бр}}$.

Таким чином, якщо досягнуто достатньо високий рівень якості виробів, наприклад такий, що споживачеві може бути поставлено не більше 1 дефектного виробу з 10000 ($p_{\text{бр}}$ = 0,0001), то об’єм контролю має бути не менше ніж n = 23000. Якщо ж рівень якості підвищиться ще в 10 разів, тобто споживачеві може бути поставлено не більше 1 дефектного виробу із 100000,

то об'єм контролю, а, відповідно, і витрати на його здійснення, збільшаться також у 10 разів, і мінімально необхідний об'єм контролю вже складатиме 230 тисяч виробів.

Об'єм партій більшості видів РЕА суттєво менший за це число. Отже наведені розрахунки говорять про необхідність переходу на суцільний контроль.

Об'ємі партій комплектуючих радіоелектронних виробів, може бути значним, але контроль тисяч одиниць відповідної продукції – складна та затратна процедура, що, безумовно, суттєво збільшуватиме вартість електрорадіокомпонентів.

В реальних ситуаціях об'єми вибірок, що підлягають контролю, – одиниці або десятки. Обмеживши, наприклад, економічно обґрунтовану кількість виробів, що мають піддаватися контролю, 100 одиницями, отримуємо, згідно (1), що бракувальний рівень дефектності дорівнюватиме 2,3 %. за вказаних умов - це межа для об'єму контролю, що використовується.

З наведеного витікає, що статистичні методи можуть використовуватись для контролю виробів відносно невисокої якості (наприклад, на кожні 50 -100 виробів - один дефектний). Іншими словами, *методи керування якістю, які засновані на контролі продукції на виході технологічного циклу, є прийнятними лише для виробів порівняно низької якості або при обслуговуванні споживача, що згоден на досить високий бракувальний рівень дефектності*.

Альтернативні стратегії взаємовідношень виробника і споживача

Виходячи за рамки парадигми обов'язковості вихідного контролю продукції, розглянемо альтернативну стратегію взаємовідношень виробника та споживача: *відмовляємось від контролю якості продукції на виході технологічного циклу, але по першій вимозі споживача замінюємо дефектний виріб на новий*. При цьому економимо на контролі, але втрачаємо на заміні виробів, що виявились дефектними під час експлуатації. За своєю суттю така стратегія, з одного боку, перекладає задачу контролю якості продукції на споживача, а, з другого боку, вимагає від виробника найактивнішого втручання в процес експлуатації виробів, створення відповідних умов для оперативної заміни дефектних виробів за вимогою споживача.

Вказана заміна продукції може проводитись, принаймні, двома способами [1].

Перший - до партії продукції, що поставляється споживачеві виробник додає деяку кількість виробів для заміни наявних в цій партії дефектних виробів.

Другий – заміна дефектних виробів здійснюється в рамках системи гарантійних зобов'язань виробника через мережу сервісних центрів, майстерень, роздрібної торгівлі тощо.

Доповнення партії продукції

Стратегія доповнення партії продукції виробами, якими споживач має замінити виявлені ним дефектні вироби, звичайно, може бути прийнятна

для виробників ЕРК, коли вартість одиниці продукції відносно невисока, а поставка, за звичай, здійснюється сотнями та тисячами одиниць.

Вважатимемо, що виробник забезпечує на виході технологічного циклу рівень дефектності ЕРК p. Кількість дефектних одиниць X в партії об'ємом N має біноміальне розподілення з параметрами N и p. Згідно теоремі Муавра-Лапласа X не перевершує (при достатньо великому N) величини

$$D_0(t) = Np + t\,(Np(1 - p))^{1/2}$$

з імовірністю $\Phi(t)$, де $\Phi(.)$ - функція стандартного нормального розподілення з математичним сподіванням 0 та дисперсією 1.

Якщо, згідно відповідних домовленостей та досягнутого рівня якості ЕРК, споживачеві може відвантажуватися не більше 3 дефектних одиниць продукції з 1000, то слід прийняти $t = 3$, оскільки $\Phi(3) \approx 0{,}997$, а за умови допустимості тих же 3 дефектних одиниць на 100000 приймається $t = 4$, оскільки $\Phi(4) \approx 0{,}99997$.

Далі, вважатимемо, що вартість однієї ЕРК та вартість її контролю (звичайно, з урахуванням вартості виправлення виявлених за результатами контролю дефектів, за умови, що таке виправлення має місце) становлять відповідно C_0 та C_1.

Порівняємо дві стратегії взаємовідношень виробника та споживача, використовуючи методику, запропоновану в [1]:

- суцільний контроль; при цьому витрати дорівнюють C_1N;
- доповнення партії виробами, кількість яких становить $D_0(4)$; при цьому витрати дорівнюють $C_0D_0(4)$.

Звичайно, друга стратегія виявляється кращою за умови

$$C_1N > C_0D_0(4) = C_0(Np + 4\cdot(Np(1 - p))^{1/2}). \qquad (2)$$

Поділивши праву та ліву частини нерівності (2) на C_0N, отримуємо

$$C_1/C_0 > p + 4(p(1-p))^{1/2}/N^{1/2}.$$

Враховуючи, що

$$(\forall p)\, p(1-p) \le 0{,}25,$$

маємо

$$C_1/C_0 > p + 2/N^{1/2}. \qquad (3)$$

Ясно, що за умови $C_1/C_0 > p$, нерівність (3), а отже і (2), виконуватимуться при достатньо значних об'ємах партії, а саме, при

$$N > \{2C_0/(C_1 - C_0p)\}^2.$$

Наприклад, якщо вартість контролю складає 10 % вартості продукції (типова ситуація в радіоелектроніці), тобто $C_1/C_0 = 0{,}1$, а рівень дефектності $p = 0{,}01$, то остання нерівність дає $N > 493$. В той же час неважко перевірити, що нерівність (2) виконується при

$$0{,}1 > 0{,}01 + 4(0{,}01\times 0{,}99)^{1/2}/N^{1/2},$$

тобто вже при $N > 19$. Така розбіжність пояснюється заміною при переході від (2) до (3) величини $[p(1 - p)]$ на величину 0,25,тобто на значно більшу величину при малому вхідному рівні дефектності p).

Таким чином, за вказаних умов, стратегія доповнення партії є більш прийнятою у порівнянні зі стратегією суцільного контролю.

Розглянемо використання (при тих же умовах) методів статистичного контролю. Звичайно, мова йтиме лише про неруйнівний контроль з розбракуванням партії, оскільки лише за таких умов змінюватиметься доля дефектності в потоці партій ЕРК, що відвантажуються споживачеві.

Нехай використовується план (n, 0) з приймальним рівнем дефектності p, що відповідає рівню дефектності реально досягнутому виробником. При цьому, об'єм вибірки визначений з умови $(1 - p)^n = 0{,}95$, становитиме

$$n = \ln 0{,}95/\ln(1 - p) = - 0{,}0513/\ln(1 - p).$$

При малому p з достатньою для практики точністю можна прийняти

$$n = 0{,}05/p.$$

За результатами вибіркового контролю, з імовірністю 0,95 партія виробів прийматиметься, і, відповідно з імовірністю 0,05 буде забракована та піддаватиметься подальшому розбракуванню.

В першому випадку партія поступатиме до споживача з тим самим рівнем дефектності, що і до контролю, але при цьому до загальної вартості партії додаватимуться витрати на реалізацію контролю, що дорівнюватимуть $C_1 n$; партію необхідно поповнити виробами, кількість яких становитиме $D_0(4)$, при цьому додаткові витрати становитимуть $C_0 D_0(4)$, і загальні витрати (в середньому на одну випущену партію) дорівнюватимуть

$$0{,}95\ (C_1 n + C_0 D_0(4)).$$

В другому випадку фактично здійснюється суцільний контроль з виправленням дефектів і витратами $C_1 N$. При цьому сумарні витрати при використані вибіркового контролю дорівнюватимуть

$$0{,}95\ (C_1 n + C_0 D_0(4)) + 0{,}05\ C_1 N\ .$$

Звичайно, такий суцільний контроль буде вигіднішим ніж відсутність контролю з доповненням партії виробів, що поставляються, додатковими виробами, лише за умови справедливості нерівності

$$0{,}95\ (C_1 n + C_0 D_0(4)) + 0{,}05\ C_1 N < C_0\, D_0(4),$$

яка еквівалентна нерівності

$$19\ C_1 n + C_1 N < C_0\, D_0(4).$$

Порівняння отриманої нерівності з нерівністю (2), показує, що за визначених умови вибірковий контроль виявляється менш вигідним за суцільний (в лівій частині останньої нерівності, у порівнянні з (2), присутній до-

данок 19 $C_1 n$), і ще суттєвіше програє за економічною ефективністю відсутності контролю у поєднанні з доповненням партії.

Заміна дефектних виробів у рамках гарантійних зобов'язань

Альтернативою суцільному контролю виробів на виході технологічного циклу може бути і заміна дефектних виробів (виявлених споживачами) у рамках гарантійних зобов'язань виробника [1]. Така стратегія, звичайно, прийнятна для виробників РЕА, коли вартість одиниці продукції висока, а поставка здійснюється одиничними екземплярами.

За умови прийняття такої стратегії середні витрати W, пов'язані з відвантаженням споживачу дефектної одиниці продукції, складатимуться, серед іншого, з

- вартості нової одиниці продукції (при заміні виробу або повернені його вартості споживачу);
- витрат у системі розподілення продукції та гарантійного ремонту, включаючи витрати на усунення дефектів та підтримання відповідної інфраструктури;
- витрат (або втраченого прибутку), пов'язаних з небажаними змінами уподобань споживачів;
- витрат на можливе відшкодування різних збитків, понесених споживачем, страхових зборів, судових витрат тощо.

Витрати W, за звичай, у декілька разів (за експертними оцінками у 5-10 разів) перевершують витрати C_0 на виготовлення виробу. Крім того, для швидкого розв'язання проблем споживачів, пов'язаних з виявленням дефектних РЕА, необхідна розвинена інфраструктура технічного обслуговування, що потребує чималих капітальних витрат.

Нехай виготовлена партія РЕА об'ємом N одиниць. При цьому витрати на суцільний контроль складатимуть $C_1 N$ (при цьому вважатимемо, що дефектні вироби видаляються з метою подальшого їх ремонту; при цьому вартістю такого ремонту, та доходом від "повернення" РЕА до відвантажувальної партії, нехтуватимемо). За умови, що доля дефектних виробів у партії продукції складатиме p одиниць, математичне сподівання числа дефектних РЕА у партії, визначатиметься як Np, а математичне сподівання втрат - WNp. Вочевидь, що за умови

$$WNp < C_1 N, \;\; p < C_1 / W, \qquad (4)$$

вигідніше відмовитись від суцільного контролю. При підвищенні якості, тобто зниженні долі дефектних виробів у партії, доцільно переходити до пошуку та усуненню дефектів не безпосередньо у виробника, а в пунктах системи технічного обслуговування.

У формулі (4) присутнє математичне сподівання WNp. Реальні втрати можуть бути більшими, але не набагато. На підставі теореми Муавра-Лапласа можна стверджувати, що практично напевно вони не перевершуватимуть WD_0(4), а тому перевага рішення щодо відмови від контролю безспірна за умови

$$WD_0(4) < C_1N,\ p + 4\,(p(1-p))^{1/2}/N^{1/2} < C_1/W. \qquad (5)$$

Нерівність (5) напевно буде виконуватися, якщо

$$p + 2 / N^{1/2} < C_1/W. \qquad (6)$$

Нехай випускається партія РЕА об'ємом N = 1600 од., причому $C_1/W = 0{,}1$. За таких умов відмовитись від контролю на виході технологічного циклу (згідно (6)) вигідно вже при $p < 0{,}05$, тобто граничне значення відповідатиме досить низькому рівню якості, а саме: одна дефектна одиниця продукції з кожних 20.

Для з'ясування доцільності введення статистичного контролю за вказаних умов, вважатимемо, що об'єм контролю дорівнює n, а приймальне число дорівнює нулю; при цьому з імовірністю y партія приймається, а з імовірністю $(1 - y)$ бракується (з подальшим розбракуванням). В першому випадку (тобто за умови прийняття партії виробів) витрати на проведення контролю становитимуть C_1n, а залишок виробів у партії міститиме в середньому $(N - n)p$ дефектних вироби, і загальні середні витрати становитимуть

$$y\{C_1n + W(N - n)p\}.$$

У другому випадку (тобто за умови бракування партії виробів) сумарні витрати становитимуть

$$(1 - y)C_1N.$$

Таким чином, введення контролю вигідно за умови

$$y\{C_1n + W(N - n)p\} + (1 - y)C_1N < WNp.$$

З наведеної нерівності неважко отримати нерівність

$$yn\{C_1 - Wp\}\,(1 - y)^{-1} + C_1N < WNp. \qquad (7)$$

Аналіз нерівностей (4) та (7) показує: якщо виконується нерівність (4), тобто $p < C_1/W$, то другий доданок в лівій частині нерівності (7) більше правої частини цієї нерівності, за умови, що перший доданок в левій частині (7) позитивний. Отже, нерівність (7) не виконується, і введення вибіркового контролю також економічно недоцільне.

Висновки

Статистичний контроль якості продукції та стабільності технологічного процесу її вироблення не завжди прийнятний, що визначається досягнутим рівнем якості виробів, які підлягають контролю.

Визначення доцільності введення статистичного контролю має ґрунтуватися на порівняльному техніко-економічному аналізі ефективності використання схем статистичного контролю і схем технічного обслуговування або поповнення партії виробів, що поставляються споживачеві.

Література

1. Орлов А.И. Всегда ли нужен контроль качества продукции? // Заводская лабора-

тория. - 1999. - № 11. - С. 51-55.

2. Лапидус В.А., Розно М.И., Глазунов А.В. и др. Статистический контроль качества продукции на основе принципа распределения приоритетов. - М.: Финансы и статистика, 1991. - 244 с.

3. Статистические методы повышения качества / Под ред. Х. Кумэ / Пер. с англ. - М.: Финансы и статистика, 1990. - 301 с.

Мірських Г.О., Антипенко Р.В. ***Особливості організації виробництва радіоелектронних виробів.*** *Розглянуто економічні показники, що характеризують статистичний контроль якості продукції. Показано, що при досягненні високої якості доцільно відмовитись від вихідного контролю, забезпечуючи інтереси споживача поповненням партії продукції, яка поставляється, додатковими виробами або відповідним чином організованим технічним обслуговуванням виробів в процесі експлуатації.*
Ключові слова: *радіоелектронна апаратура, електрорадіокомпоненти, споживча якість, контроль якості*

Мирских Г.А., Антипенко Р.В. ***Особенности организации производства радиоэлектронных изделий.*** *Рассмотрены экономические показатели, которые характеризуют статистический контроль качества продукции. Показано, что при достижении высокого качества целесообразно отказаться от входного контроля, обеспечивая интересы потребителя пополнением поставляемой партии продукции дополнительными изделиями или соответствующим образом организованным техническим обслуживанием изделий в процессе эксплуатации.*
Ключевые слова: *радиоэлектронная аппаратура, електрорадиокомпоненты, потребительское качество, контроль качества*

Mirskikh G.A., Antipenko R.V. ***Features of the produce organization of radio-electronic products.*** *Economic indicators that characterize the statistical quality control are considered. It is shown that achieving high quality appropriate to refuse access control, ensuring the consumer replenishment supplied a lot of products with additional products or properly organized maintenance products in during exploitation.*
Key words: *radioelectronic products, electroradiocomponents, consumer quality, control quality*