

УДК 621.396.98.004.1

DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-3-115-124

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ БЕЗОТКАЗНОСТИ НА ЗАТРАТЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПРОИЗВОДСТВОМ И ГАРАНТИЙНЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ ИННОВАЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

И.М. ТЕР-СААКОВА¹, Н.И. ПОДАЛЯКИНА¹, В.А. ХОДАКОВСКИЙ¹

¹*Рижский авиационный институт, г. Рига, Латвия*

Основу рынка народного потребления в настоящее время составляют нерезервированные изделия. Надежность этих устройств целиком определяется уровнем безотказности их составляющих. С промышленными изделиями не бытового назначения резервирование как в ремонтируемой, так и в неремонтируемой аппаратуре используется на различных уровнях: это резервирование на уровне узлов, блоков и аппаратуры в целом, а также на уровне элементов (глубокое дробное резервирование). Составить прогноз по доле изделий, выходящих из строя в процессе эксплуатации, можно зная вероятность безотказной работы изделия за определенное время. В статье приведен показатель вероятности безотказной работы изделия – количественно оцениваемая величина, которая рассчитывается как отношение неотказавшего числа изделий к их общему числу. Приведен график, характеризующий изменения вероятности безотказной работы изделий. Предполагается, что вероятность безотказной работы изделий изменяется по экспоненциальному закону. Рассмотрено построение экономической модели на основе категории безотказности изделий. Эта модель построена с учетом условия, что гарантии на изделие, выдаваемые предприятием-изготовителем, должны быть соотнесены с числом возможных отказов изделий за это время. Сделан вывод, что категория безотказности изделий является единственной категорией оценки риска предприятия-изготовителя на рынке при выдаче гарантий на свою продукцию. Сделано предположение, что цена повышения безотказности может быть различной и зависит от многих обстоятельств, но всегда повышение надежности изделия связано с ростом его стоимости. Решена задача, связанная с тем, что часть изделий, поставляемых предприятием-изготовителем на рынок, откажет. Таким образом, необходимо знать долю отказавших изделий, которая определяется качеством изготовления и надежностью изделия, заложенной в процессе его проектирования и производства. Приведен график зависимости общих суммарных затрат на производство и эксплуатацию инновационных изделий от вероятности их безотказной работы. Сформулированы основные достоинства предлагаемой экономической модели.

Ключевые слова: вероятность безотказной работы, резервирование, экономическая модель, эксплуатация изделия.

ВВЕДЕНИЕ

В сфере народного потребления изделия промышленного производства – как правило, изделия нерезервированные (радиоприемники, телевизоры, записывающая аппаратура, т. е. вся электробытовая техника). Надежность этих устройств целиком определяется уровнем безотказности их составляющих.

Иное положение с промышленными изделиями небытового назначения, где резервирование аппаратуры используется достаточно часто. В первую очередь имеется в виду различного рода неремонтируемая (невосстанавливаемая) радиоэлектронная аппаратура. Резервирование как в ремонтируемой, так и в неремонтируемой аппаратуре используется на различных уровнях: это резервирование на уровне узлов, блоков и аппаратуры в целом, а также на уровне элементов (глубокое дробное резервирование) [1].

Необходимо отметить, что даже предварительный анализ сформированных экономических моделей общих расходов на производство и обслуживание у потребителя отказавших изделий показывает, что эти модели для резервированных и нерезервированных устройств существенно отличаются и требуют отдельного исследования.

Рынок поставил разработчика и изготовителя инновационных изделий в положение стороны, крайне заинтересованной поведением изделий в процессе эксплуатации. В этом для предприятия-изготовителя вся специфика деятельности в условиях рынка. Это не только расходы на ремонт или замену отказавших в процессе эксплуатации изделий, но и его конкуренто-

способность как производителя этих изделий. При этом предприятие-изготовитель совершенно обоснованно исходит из того, что определенная доля его изделий может отказать в процессе их использования [2].

Понятно, что предприятие-изготовителя не может не интересоваться размером этой доли от общего числа поступающих на рынок изделий, так как это дополнительные расходы на их ремонт или полную замену.

ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ИЗДЕЛИЯ

Составить прогноз по доле изделий, выходящих из строя в процессе эксплуатации, можно, зная вероятность безотказной работы изделия P за время t .

Показатель вероятности безотказной работы изделия – это количественно оцениваемая величина, которая рассчитывается как отношение неотказавшего числа изделий к их общему числу [3]:

$$P(t) = N - n(t) / N, \quad (1)$$

где N – общее число изделий;

$n(t)$ – число изделий, отказавших за время t .

Поскольку с ростом времени эксплуатации величина $n(t)$ растет, т. е. растет число отказавших изделий, то величина $P(t)$ со временем уменьшается.

Характер изменения вероятности безотказной работы изделий $P(t)$ представлен на рис. 1.

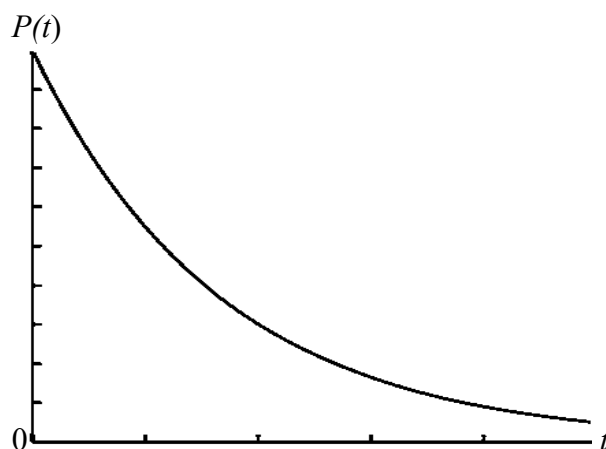


Рис. 1. Характер изменения вероятности безотказной работы инновационного изделия
Fig. 1. The nature of the change in the probability of failure-free operation of an innovative product

В инженерной практике величину $P(t)$ принято считать изменяющейся по экспоненциальному закону [4]:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где $\lambda = \frac{1}{T}$ – интенсивность отказов изделия, имеющая размерность $1/ч$;

T – среднее время безотказной работы (наработка на отказ).

ПОСТРОЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ БЕЗОТКАЗНОСТИ ИЗДЕЛИЙ

В основу построения экономических моделей положена категория безотказности изделий. Это объясняется тем, что категория безотказности является временной функцией, как это было показано на примере вероятности безотказной работы изделия $P(t)$. По мере эксплуатации число отказавших изделий $n(t)$ растет. При этом совершенно очевидно, что гарантии на изделие, выдаваемые предприятием-изготовителем, должны быть соотнесены с числом возможных отказов изделий за это время.

Знание величины возможных отказов и вероятности безотказной работы для предприятия-изготовителя является вопросом его жизнеспособности на рынке. В этом плане категория безотказности изделий является единственной категорией оценки риска предприятия-изготовителя на рынке при выдаче гарантий на свою продукцию.

Как правило, время t в вышеуказанном выражении (2) будет выступать в экономических моделях в роли гарантийного срока t_g предприятия-изготовителя, так как именно в течение гарантийного срока предприятие-изготовитель интересуется своим изделием в процессе его эксплуатации. По истечении этого срока дальнейшей судьбой изделия предприятие-изготовитель может не интересоваться, но в действительности оно это делает, обеспечивая послегарантийный ремонт изделий с оплатой услуг потребителем.

Предположим, что вероятность безотказной работы изделия составляет 0,9 за время $t = 2$ года. Это означает, что за 2 года из 100 изделий могут отказать до 10, что позволяет предприятию-изготовителю оценить дополнительные расходы на ремонт или замену потребителю отказавших изделий [5].

Предположим, что предприятие-изготовитель с учетом требований рынка приняло решение установить срок гарантии на изделие 3 года. В этом случае с учетом соотношения (2) имеем систему уравнений

$$\begin{cases} P(t_{g1}) = \exp\{-\lambda t_{g1}\}; \\ P(t_{g2}) = \exp\{-\lambda t_{g2}\}, \end{cases} \quad (3)$$

откуда

$$p(t_{g2}) = \exp[(t_{g2} - t_{g1}) \ln p(t_{g1})]. \quad (4)$$

При $t_{g1} = 2$ года и $t_{g2} = 3$ года получим

$$p(t_{g2}) = \exp(-1,5 \ln 0,9) \cong 0,85, \quad (5)$$

т. е. из 100 изделий могут отказать 15.

Аналогичным образом могут быть проведены оценки величины вероятности безотказной работы для других значений гарантийных сроков и принято решение исходя из требований рынка и стоимости ремонта или замены изделий, которые могут отказать.

В современных условиях, учитывая темпы развития технологий производства, не исключено, что при кардинальном пересмотре материалов, технологии и схемных решений может оказаться, что новое изделие с повышенной вероятностью безотказной работы будет стоить меньше своего аналога-предшественника с более низким уровнем безотказности.

Это, безусловно, может иметь место, но, как правило, только в виде исключения, поскольку в подавляющем числе случаев повышение безотказности изделия связано с использованием более надежных и, следовательно, более дорогостоящих комплектующих, дополнительных расходов на исследования и проведение дополнительных испытаний, удорожанием входного контроля и подобным, что, конечно, требует дополнительных затрат. Именно это обстоятельство определяет весь спектр возможных решений предприятия-изготовителя в борьбе за рынок [6].

Если стоимость изделия с безотказностью p составляет C , то стоимость аналогичного изделия с более высокой безотказностью $p_1 > p$ составляет $C_1 > C$.

Более высокая надежность изделий может быть достигнута различными путями и в общем случае она не одинакова для различных изделий в силу эксплуатационных и схемотехнических особенностей. Величина вероятности безотказной работы одного и того же изделия может быть достигнута предприятиями-изготовителями разными путями, но даже при одном и том же выбранном пути повышения безотказности изделия она не может быть одинаковой на различных предприятиях-изготовителях.

Иначе говоря, цена повышения безотказности может быть различной и зависит от многих обстоятельств, но всегда, если $p_1 > p$, то $C_1 > C$, повышение надежности изделия всегда связано с ростом его стоимости.

Указанное правило не относится к общим затратам на производство и эксплуатацию партии изделий, поступивших на рынок, хотя для каждого из этих изделий соотношение $C_1 > C$ при $p_1 > p$ справедливо всегда.

В этом нет ничего неожиданного, так как затраты на повышение безотказности изделий могут оказаться ниже затрат на ремонт отказавших изделий или наоборот.

Любая попытка предприятия уйти от затрат средств на повышение безотказности изделия может привести к потере конкурентоспособности предприятия-изготовителя на рынке сбыта.

Можно экономить на, как правило, дорогой программе по разработке и внедрению мероприятий, направленных на повышение безотказности изделий, но это обязательно повлечет за собой дополнительные затраты на гарантийный ремонт или замену отказавших у потребителя изделий.

Более того, повышенный объем ремонтных работ, даже если он более выгоден по сравнению с повышением безотказности изделия, также приведет к потере конкурентоспособности предприятия-изготовителя на рынке, его статуса как поставщика продукции с большим количеством ремонтируемых изделий.

Предприятие-изготовитель, исходя из общих затрат на программу создания и сбыта продукции и различного рода частных экономических решений между затратами на ремонт и повышение надежности изделий, в первую очередь должно ориентироваться именно на повышение безотказности изделий, так как этим обеспечивается главное – конкурентоспособность предприятия-изготовителя на рынке сбыта.

Цена повышения безотказности изделий – главный показатель любой экономической модели рынка.

Поиск путей повышения безотказности изделий с минимальными затратами средств – изначальное и главное звено в программе создания и сбыта продукции.

В настоящее время в современной практике отсутствует направление работ по исследованию и оценке экономической эффективности различных путей повышения безотказности инновационных изделий. При этом ни одно предприятие не владеет вопросом формирования цены с учетом повышения надежности выпускаемых инновационных изделий.

Исходя из того, что часть изделий, поставляемых предприятием-изготовителем на рынок, откажет, необходимо знать долю отказавших изделий, которая определяется каче-

ством изготовления и надежностью изделия, заложенной в процессе его проектирования и производства.

Предприятие-изготовитель в течение установленного им гарантийного срока на изделие обязано или отремонтировать отказавшие изделия, или заменить их новыми. В обоих случаях существует такой определенный уровень безотказности изделия $P_{онт}$, при котором общие суммарные затраты C_{Σ} на его создание, производство и ремонт отказавшего изделия или замену его новым имеют минимальное значение [7].

При гарантийном обслуживании отказавших изделий общие стоимостные затраты предприятия-изготовителя определяются следующим образом:

$$C_{\Sigma} = C_{изг} + C_{рем}, \quad (6)$$

где C_{Σ} – общие стоимостные затраты предприятия-изготовителя на производство и гарантийное обслуживание изделий;

$C_{изг}$ – затраты предприятия-изготовителя на создание и производство изделий;

$C_{рем}$ – затраты предприятия-изготовителя на гарантийное обслуживание отказавших у потребителя изделий.

Стоимость изготовления изделия тем выше, чем выше его безотказность, т. е.

$$C_{изг} = a_1 p^{\alpha} \quad (7)$$

при $\alpha > 0$, где α – *const*, характеризует в общем случае нелинейный характер роста стоимости инновационного изделия по мере повышения его надежности.

В свою очередь,

$$C_{рем} = \frac{b}{p^{\beta}} \quad \text{при } \beta > 0, \quad (8)$$

где β – *const*, как и величина α в выражении (7), характеризует в общем случае нелинейный характер снижения стоимости гарантийного ремонта изделия по мере роста его безотказности.

С учетом (7) и (8) выражение (6) принимает вид [8]

$$C_{\Sigma} = a_1 p^{\alpha} + \frac{b}{p^{\beta}}. \quad (9)$$

На рис. 2 зависимость общих суммарных затрат на производство и эксплуатацию инновационных изделий от вероятности их безотказной работы представлена графически.

Главной особенностью этой зависимости является наличие такого уровня безотказности, при котором стоимость затрат на изготовление и ремонт изделий минимальна. Обеспечение безотказности инновационных изделий, отличной от оптимального значения, приведет к перерасходу средств [9].

При $p < p_{опт}$ перерасход средств будет происходить за счет увеличения работ по восстановлению (ремонту) изделий. При $p > p_{опт}$ перерасход средств будет происходить за счет дополнительных расходов на повышение безотказной работы инновационных изделий.

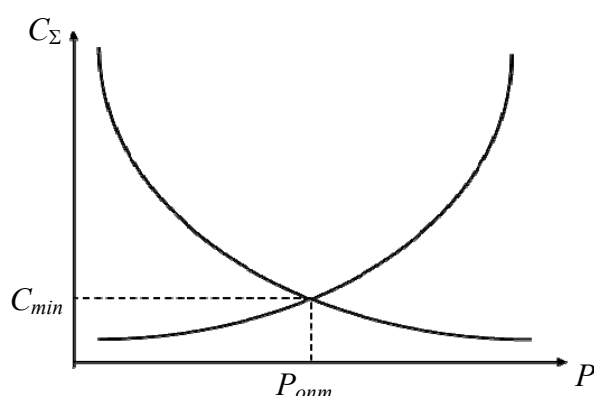


Рис. 2. Зависимость общих затрат C_{Σ} предприятия-изготовителя на производство и гарантийное обслуживание изделий от вероятности их безотказной работы
Fig. 2. Dependence of the total costs C_{Σ} of the manufacturer on production and warranty maintenance of products against the probability of their trouble-free operation

Величина оптимальной вероятности безотказной работы изделия и минимальные суммарные затраты на производство и эксплуатацию изделий определяются из условия $dC_{\Sigma} / dp = 0$ с использованием соотношения (9).

Дифференцируя это соотношение, после ряда элементарных преобразований получим [10]

$$P_{opt} = \alpha + \beta \sqrt{\frac{b\beta}{a_1\alpha}}. \quad (10)$$

С учетом выражений (9) и (10) соответственно находим

$$C_{\Sigma min} = a_1 \left(\frac{b\beta}{a_1\alpha}\right)^{\frac{\alpha}{\alpha+\beta}} + b \left(\frac{b\beta}{a_1\alpha}\right)^{\frac{-\beta}{\alpha+\beta}}. \quad (11)$$

При замене отказавших у потребителя изделий новыми предприятие-изготовитель, зная уровень безотказности своих изделий за установленный гарантийный срок, должно заранее спланировать производство дополнительного числа изделий для замены потребителю отказавших. Это означает, что для каждой партии объемом N_1 изделий предприятие-изготовитель выпускает дополнительно $(1 - p)N_1$ изделий, где $(1 - p)$ – вероятность отказа изделий за гарантийный срок обслуживания. В результате общий выпуск изделий в партии N_{Σ} составит [11]

$$N_{\Sigma} = N_1 + (1 - p) N_1 = N_1 (2 - p), \quad (12)$$

причем $N_1 (2 - p) > N_1$, так как вероятность безотказной работы изделия всегда находится в пределах $0 < p < 1$.

Если стоимость каждого изделия C , то общие суммарные затраты C_{Σ} предприятия-изготовителя на производство и эксплуатацию общей партии изделий составят

$$C_{\Sigma} = CN_{\Sigma} = N_1 (2 - p)C. \quad (13)$$

В самом общем случае стоимость изделия зависит от уровня его надежности p . Поэтому по аналогии с выражением (9)

$$C = \alpha p^\gamma. \quad (14)$$

Совместное решение уравнений (13) и (14) дает следующее выражение [12]:

$$C_\Sigma = N_1 (2 - p) \alpha p^\gamma. \quad (15)$$

Как и прежде, исходя из условия $dC_\Sigma / dp = 0$, находим

$$\frac{dC_\Sigma}{dp} = 2N_1 \alpha p^{\gamma-1} - N_1 \alpha (\gamma + 1) p^\gamma = 0,$$

откуда

$$p_{opt} = \frac{2\gamma}{\gamma + 1}. \quad (16)$$

Таким образом, как в случае гарантийного ремонта отказавшего изделия, так и при его замене новым, всегда существует такой уровень безотказности изделия, определяемый соотношением (16), при котором общие суммарные затраты предприятия-изготовителя на создание и замену потребителю отказавших изделий новыми за установленный гарантийный срок имеют минимальное значение, которое с учетом соотношений (15) и (16) равно

$$C_{\Sigma min} = N_1 \left(2 - \frac{2\gamma}{\gamma + 1}\right) \alpha \left(\frac{2\gamma}{\gamma + 1}\right)^\gamma = N_1 \alpha \gamma^\gamma \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{\gamma+1}. \quad (17)$$

Таким образом, в технических условиях на ремонтируемые или заменяемые изделия требования к их безотказности должны определяться соотношениями (10) и (16) соответственно. Общие расходы на изготовление и эксплуатацию изделий в обоих случаях будут минимальны и определяются выражениями (11) и (17) соответственно.

К сожалению, в ряде случаев оптимальное значение вероятности безотказной работы может оказаться в области недопустимо низких значений (в случае высокой стоимости избранного пути повышения безотказности изделия это, как правило, имеет место), что исключает использование рассматриваемой модели.

Предприятие-изготовитель будет вынуждено отказаться от оптимальной модели и перейти в область более высоких значений вероятности безотказной работы и соответственно более высокому уровню суммарных затрат на производство и эксплуатацию изделий по отношению к оптимальной модели. Если при этом предприятие-изготовитель пойдет по пути повышения безотказности изделия, то характер роста общей стоимости затрат будет следовать кривой рис. 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно сформулировать следующие основные достоинства предлагаемой экономической модели:

- в каждом конкретном случае, исходя из минимальных затрат на программу создания и эксплуатации изделия, формируются соответственно требования к его безотказности;
- эти требования должны быть научно обоснованными, исключать произвольный характер задания требований по безотказности к изделию и определять выбор соответствующих схемно-технических решений при создании этого изделия;

– такой подход исключает предъявление завышенных требований к безотказности комплектующих, и прежде всего к используемой элементной базе, что особенно важно, так как повышение безотказности элементной базы инновационного изделия является процессом длительным и особенно дорогостоящим;

– предлагаемая экономическая модель является универсальной и применима к любым изделиям. Там, где этот метод не используется, имеют место необоснованное задание завышенных или заниженных требований к безотказности изделий, что, как следствие, приводит к перерасходу денежных и материальных средств или к производству некачественных изделий и потере деловой репутации предприятия-изготовителя. В условиях рынка данная экономическая модель является предпочтительной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов И.В. Статистические методы оценки надежности сложных систем по результатам испытаний. М.: Радио и связь, 1982. 168 с.
2. Ushakov I.A. Handbook of Reliability Engineering. New York: John Wiley, 1999.
3. Северцев Н.А. Безопасность и отказоустойчивость динамических систем. М.: Культура и техника, 2013. 420 с.
4. Северцев Н.А. Безопасность и защита сложных систем. М., 2014. 238 с.
5. Затучный Д.А. Оценка надежности системы передачи видеoinформации // Электросвязь. 2009. № 4. С. 32–34.
6. Затучный Д.А., Колодий П.П. Вычисление надежности видеосистем на основе построения дополнительных структур // Научный Вестник МГТУ ГА. Серия «Навигация и УВД». 2008. № 136. С. 126–130.
7. Затучный Д.А. Оценка вероятности безотказной работы при передаче информации // Научный Вестник МГТУ ГА. 2013. № 198. С. 88–90.
8. Павлов И.В., Разгуляев С.В. Асимптотические оценки надежности системы с резервированием разнотипными элементами // Инженерный журнал: наука и инновации. 2015. № 2(38). С. 5.
9. Павлов И.В. Нижняя оценка надежности по результатам ускоренных испытаний // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2015. № 3. С. 80–86.
10. Павлов И.В. Доверительные границы для показателей надежности системы с возрастающей функцией интенсивности отказов // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2017. № 2. С. 70–75.
11. Павлов И.В. Оценка надежности системы с резервированием по результатам испытаний ее элементов // Автоматика и телемеханика. 2017. № 3. С. 149–158.
12. Павлов И.В., Разгуляев С.В. Построение доверительных границ для коэффициента готовности системы с восстанавливаемыми элементами // Вестник МГТУ имени Н.Э. Баумана. Сер. «Естественные науки». 2015. № 4(61). С. 15–22.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ирина Михайловна Тер-Саакова, кандидат технических наук, доцент Рижского авиационного института, vilandes@yandex.ru.

Наталья Ивановна Подалякина, кандидат технических наук, доцент Рижского авиационного института, vilandes@yandex.ru.

Владимир Анатольевич Ходаковский, профессор, доктор технических наук, профессор Рижского авиационного института, vilandes@yandex.ru.

INFLUENCE OF FAILURE-FREE OPERATION LEVEL ON COSTS RELATED TO PRODUCTION AND GUARANTEE SERVICE OF INNOVATIVE PRODUCTS

Irina M. Ter-Saakova¹, Nataliya I. Podalyakina¹, Vladimir A. Khodakovsky¹
¹ Riga Aviation Institute, Riga, Latvia

ABSTRACT

Basis of market of national consumption is presently formed by non-redundant products. Reliability of these devices is wholly determined by the level of failure-free operation of their constituents. With the industrial products of the non-domestic use redundancy both in the repaired and non-repaired equipment is used on different levels: redundancy at the level of components, blocks and units on the whole, and also at the level of elements (deep fractional redundancy). To make a forecast on the share of products that fail during operation, one can know the probability of failure-free operation of the product for a certain time. The article gives the indicator of the probability of failure-free operation of the product – a quantifiable estimated value, which is calculated as the ratio of the undisclosed number of products to their total number. The graph characterizing the changes in the probability of failure-free operation of the products is given. It is assumed that the probability of failure-free operation of articles varies exponentially. The construction of an economic model based on the category of fail-safe products is considered. This model is built taking into account the condition that the product guarantees issued by the manufacturer should be correlated with the number of possible failures of the products during this time. The conclusion is made that the product reliability category is the only category of risk assessment of the manufacturer on the market when issuing guarantees for its products. The assumption is made that the price of improving the reliability can be different and depends on many circumstances, but always increase of the product reliability is associated with an increase of its cost. The problem is solved, due to the fact that some of the products supplied by the manufacturer to the market will fail. Thus, it is necessary to know the proportion of failed products, which is determined by the quality of manufacture and reliability of the product put in the process of its design and production. The graph of the dependence of the total costs for the production and operation of innovative products on the probability of their trouble-free operation is given. The main advantages of the proposed economic model are formulated.

Key words: probability of failure-free operation, redundancy, economic model, operation of the product.

REFERENCES

1. Pavlov, I.V. (1982). *Statisticheskie metody ocenki nadyozhnosti slozhnyx sistem po rezultatam ispytaniy* [Statistical methods for assessing the reliability of complex systems based on test results]. Moscow: Radio and Communication, 168 p. (in Russian)
2. Ushakov, I.A. (1999). *Handbook of Reliability Engineering*. New York: John Wiley.
3. Severtsev, N.A. (2013). *Bezopasnost i otkazoustojchivost dinamicheskix sistem* [Security and fault tolerance of dynamic systems]. Moscow: Culture and Technology, 420 p. (in Russian)
4. Severtsev, N.A. (2014). *Bezopasnost i zashhita slozhnyx sistem* [Security and protection of complex systems]. Moscow, 238 p. (in Russian)
5. Zatuchny, D.A. (2009). *Ocenka nadyozhnosti sistemy peredachi videoinformacii* [Evaluation of the reliability of the video transmission system]. Journal of Electrosvyaz, no. 4, pp. 32–34. (in Russian).
6. Zatuchny, D.A. and Kolodiy, P.P. (2008). *Vychislenie nadyozhnosti videosistem na osnove postroeniya dopolnitelnyx struktur* [Calculation of reliability of video systems based on the construction of additional structures]. Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, series "Navigation and ATC", no. 136, pp. 126–130.
7. Zatuchny, D.A. (2013). *Ocenka veroyatnosti bezotkaznoj raboty pri peredache informacii* [Estimation of the probability of failure-free operation in the transmission of information]. Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, no. 198, pp. 88–90. (in Russian)
8. Pavlov, I.V. and Razgulyaev, S.V. (2015). *Asimptoticheskie ocenki nadyozhnosti sistemy s rezervirovaniem raznotipnymi ehlementami* [Asymptotic estimates of the reliability of the system

with redundancy of different types of elements]. Engineering Journal: Science and Innovation, № 38(2), p. 5. (in Russian)

9. **Pavlov, I.V.** (2015). *Nizhnyaya ocenka nadyozhnosti po rezul'tatam uskorenykh ispytaniy* [Lower reliability score based on accelerated test results]. Problems of machine building and machine reliability, no. 3, pp. 80–86. (in Russian)

10. **Pavlov, I.V.** (2017). *Doveritel'nye granicy dlya pokazatelej nadyozhnosti sistemy s vozrastayushchej funkciej intensivnosti otkazov* [Confidence limits for reliability indicators of the system with increasing function of failure rate]. Problems of machine building and machine reliability, no. 2, pp. 70–75. (in Russian)

11. **Pavlov, I.V.** (2017). *Ocenka nadyozhnosti sistemy s rezervirovaniem po rezul'tatam ispytaniy eyo ehlementov* [Evaluation of the reliability of the system with redundancy based on the test results of its elements]. Automation and telemechanics, no. 3, pp. 149–158. (in Russian)

12. **Pavlov, I.V. and Razgulyaev, S.V.** (2015). *Postroenie doveritel'nyh granic dlya koehfficienta gotovnosti sistemy s vosstanavlivaemymi ehlementami* [Creation of confidence limits for the system availability factor with the elements to be restored]. Bulletin of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman. Series: Natural Sciences, no. 61(4), pp. 15–22. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Irina M. Ter-Saakova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Riga Aviation Institute, vilandes@yandex.ru.

Nataliya I. Podalyakina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Riga Aviation Institute, vilandes@yandex.ru.

Vladimir A. Khodakovsky, Doctor of Technical Sciences, Professor, Riga Aviation Institute, vilandes@yandex.ru.

Поступила в редакцию
Принята в печать

17.10.2017
15.05.2018

Received
Accepted for publication

17.10.2017
15.05.2018