

УДК 658.012

В.А. ПОПОВ, Н.В. ЕРЕМЕНКО, Ю.И. СЕРГЕЕВА, Д.Е. ЖИДЧЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

Рассматривается модель выпуска продукции на промышленном предприятии в виде кортежа составляющих, соответствующих основным параметрам качества. Рассмотрены качественные и количественные соотношения между основными параметрами качества, а также возможные варианты свертки параметров с учетом весовых коэффициентов. Наряду с детерминированной моделью рассмотрена вероятностная модель качества на основе преобразования случайных величин для аддитивного и мультипликативного случаев. Предложена система программного имитационного моделирования для вычисления вероятностных оценок параметров качества на основе заданной схемы и законов распределения отдельных составляющих.

Ключевые слова: промышленное предприятие, качество продукции, параметры качества, вероятностные оценки качества, моделирование качества продукции.

Введение

Качество выпускаемой продукции в современных рыночных условиях является основным фактором повышения конкурентоспособности производства. Система обеспечения качества выпускаемой продукции на предприятии должна учитывать организационную структуру, ответственность, процессы и ресурсы с целью обеспечения более высокого качества изготавливаемой продукции. Зависимость качества изготавливаемой продукции от особенностей технологического процесса, используемых ресурсов определяет множество ключевых параметров при оценке качества, что, в свою очередь, требует их свертки с целью получения количественной оценки качества.

Проведенный обзорный анализ литературы показал, что современные подходы и методы моделирования процессов контроля качества выпускаемой продукции основаны на:

1) методах ранжирования качественных характеристик продукта с дальнейшей разработкой программно-ориентированных метрик качества программной системы [1];

2) методах анализа иерархий с целью выявления наиболее существенных факторов при оценке качества изготавливаемой продукции [2];

3) моделях количественной и качественной оценки качества изготавливаемой продукции для получения метрик связности [3,4];

4) типовых свертках векторных представлений полученных качественных характеристик с целью определения и расчета количественной величины качества продукции [5,6].

При этом, разработанные на основе указанных методов определения качества, информационные системы контроля качества продукции являются довольно сложными и требуют разработки имитационных моделей при моделировании процессов контроля качества изготавливаемой продукции с использованием детерминированных и вероятностных моделей [7,8].

Наглядным примером практического применения систем контроля качества может служить модель, предложенная для предприятия, ориентированного на конвейерную сборку системы, в основе которой лежит экспертное оценивание процессов с использованием методов эффективного распределения ресурсов для производства программных продуктов с учетом заданных характеристик [9]. Основой для разработки системы контроля качества выпускаемой продукции послужили:

1) наименования групп и комплексных показателей качества программных средств [10];

2) перечень ресурсов, которые должна определить и обеспечивать организация [11];

3) перечень факторов, влияющих на качество программного продукта [12].

Таким образом, при разработке систем контроля качества важной и актуальной является задача выявления зависимости модели продукции от моделей исходных материалов и технологических процессов, что рассмотрено в данной публикации. Постановка задач исследования требует, в свою очередь, соответствующего анализа и последующего решения ряда подзадач:

1) обоснование системной модели управления качеством для построения целевой функции опти-

мизации основных процессов контроля качества продукции;

2) разработка детерминированной модели для анализа оценки качества;

3) разработка вероятностной модели анализа качества продукции;

4) разработка программной модели оценки качества.

Системная модель управления качеством

При производстве продукции ожидаемый уровень качества продукции, получаемый на выходе, может не соответствовать фактическому. Уменьшение расхождения уровней качества (ожидаемого и фактического) может быть достигнуто за счет:

1) выработки управляющих воздействий на организационно-технологические подразделения фирмы-изготовителя в дистрибутивной сети;

2) внедрения новых методов оценки параметров качества и стандартов сертификации;

3) изменения в организационно-функциональной структуре качества.

Рассмотрим построение модели оценки качества как целевой функции оптимизации качества продукции.

Моделью оценки качества продукции или логистического решения назовем кортеж:

$$W = \langle X, P, A \rangle,$$

где X – множество возможных вариантов решений (объектов) таких, что $x \in X$ – элемент этого множества, заданный на X посредством некоторых правил технологии изготовления и дистрибуции товара; P – исчислимое (конечное) множество показателей (параметров) качества и соответствующих им шкал измерений; A – алгоритм оценки (решающее правило), реализующий логику сравнительной оценки альтернатив (в форме логистической оценки).

Любое решение $x \in X$ представляется вектором $P(x) = (P_1(x), \dots, P_m(x))$ в m -мерном пространстве показателей качества, определяемом как декартово произведение $P = P_1 \times \dots \times P_m$, где P_j ($j = \overline{1 \dots m}$) – множество допустимых значений j -го показателя.

Оценка качества продукции состоит в определении степени (меры) соответствия оцениваемого объекта цели его функционирования. Цель может быть задана косвенно – с помощью «эталона» качества. Эталон качества P_δ назовем совокупность базовых значений показателей качества продукции, т.е. таких показателей качества производства и сбыта продукции, которые в наибольшей степени удовлетворяют ожидания конечного потребителя. При оптимизации решений по синтезу продукции базо-

выми являются оптимальные значения показателей качества.

Количественная оценка показателей качества подразумевает их предварительное шкалирование. При этом возможны следующие виды шкалирования:

1. Шкалирование отношения. Состоит в определении относительных показателей качества $\omega_j = P_j / P_{j\delta}$, которые определяют во сколько раз оцениваемый объект лучше или хуже базового по j -му показателю качества ($j = \overline{1 \dots m}$). При этом операция шкалирования также является операцией нормировки.

2. Шкалирование разности с нормировкой. Заключается в представлении оценки уровня качества по j -му показателю качества в виде: $\omega_j = (P_{j\delta} - P_j) / P_{j\delta}$, где выраженный в процентах коэффициент ω_j показывает, насколько оцениваемый объект P_j лучше или хуже базового $P_{j\delta}$.

3. Многомерное шкалирование. Основано на определении обобщенного показателя $W(\omega)$, где $\omega = (\omega_1, \dots, \omega_m)$ – вектор относительных показателей качества. Обобщенный показатель характеризует степень соответствия объекта (продукции) своему назначению. Представление обобщенного показателя через отдельные относительные показатели качества связано со скаляризацией вектор-функции качества $W(\omega)$, т.е. необходимо найти зависимость $W(\omega) = \phi(\omega_1, \dots, \omega_m)$, где ϕ – некоторая скалярная функция.

Сравнительная оценка базового и фактического уровней качества (по отдельным показателям) позволяет получить количественное числовое представление уровня качества, которое в общем виде можно представить кортежем: $A = \langle P, P_\delta, \phi \rangle$, где $\phi: P \times P_\delta \rightarrow R$ отображение множества фактических показателей P в множество эталонных P_δ на множестве действительных чисел R , т.е. A является многомерной шкалой оценки уровня качества. Тогда системная модель оценки качества примет вид:

$$W = \langle X, P, P_\delta, \phi \rangle,$$

где любому $x \in X$ будет поставлено в соответствие число, зависящее от положения точки (вектора) $P(x) = P_1(x) \times \dots \times P_m(x)$ в пространстве показателей качества.

Детерминированная модель оценки качества

Качество продукции будем выражать в виде вектора:

$$\bar{z} = (z_1, z_2, z_3, \dots, z_n),$$

где $z_i (i = \overline{1, n})$ – количественные параметры оценки качества.

Данному вектору соответствует перечень основных количественных или качественных параметров для оценки качества. Исходный перечень параметров подлежит дальнейшему ранжированию [2], т.е. параметры сравниваются между собой, в результате чего каждый из них получает количественную оценку (назначаются весовые коэффициенты) и располагается в порядке возрастания [11]. В случае наличия n рангов «1» будет означать наиболее предпочтительный фактор, n – наименее предпочтительный, тогда будет справедливо:

$$z_i > z_{i+1}, i = \overline{1, n-1}.$$

Приоритеты объектов определены с использованием метода анализа иерархий с многоуровневым представлением показателей качества продукции [1]. Для обеспечения полноты измерения качества на ранних стадиях проекта на основе анализа целей проекта, области применения, ограничений и характеристик были разработаны проектно-ориентированные (структурные) метрики качества. Методика создания метрик качества представляется в виде трёх этапов:

- 1) определение нетехнического уровня;
- 2) определение технического уровня (осуществление декомпозиции факторов качества в измеряемые характеристики программного обеспечения, определяемые как субфакторы);
- 3) декомпозиция субфакторов в метрики,

которые могут быть применены непосредственно к программному продукту или процессу разработки. Схематическое представление композиции создания метрик качества для программной системы приведено на рис. 1.

Для полученного многоуровневого представления факторов, влияющих на качество выпускаемой продукции, справедливо свойство включения факторов, находящихся на $(i+1)$ -м уровне во множество факторов i -го уровня:

$$z'' \in z',$$

где z'' – фактор $(i+1)$ -го уровня, z' – фактор i -го уровня, причём нумерация уровней начинается с корня дерева многоуровневого представления показателей качества.

Факторы $(i+1)$ -го уровня могут состоять из одного или более факторов i -го уровня:

$$z'_i = \{z''_0, \dots, z''_j, \dots, z''_n\},$$

где n – количество факторов нижнего уровня соответствующих i -му фактору верхнего уровня, причём мощность множества $|z'_i| \geq 1$.

Тогда, с учетом многоуровневого представления показателей качества продукции, можно определить вектор качества продукции \bar{z} как:

$$\bar{z} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

где $x_i, i = \overline{1, n}$ – количественный или качественный параметр, получаемый на каждом уровне многоуровневого представления как результат свертки количественных показателей факторов, влияющих на показатель качества и входящих в текущий уровень.

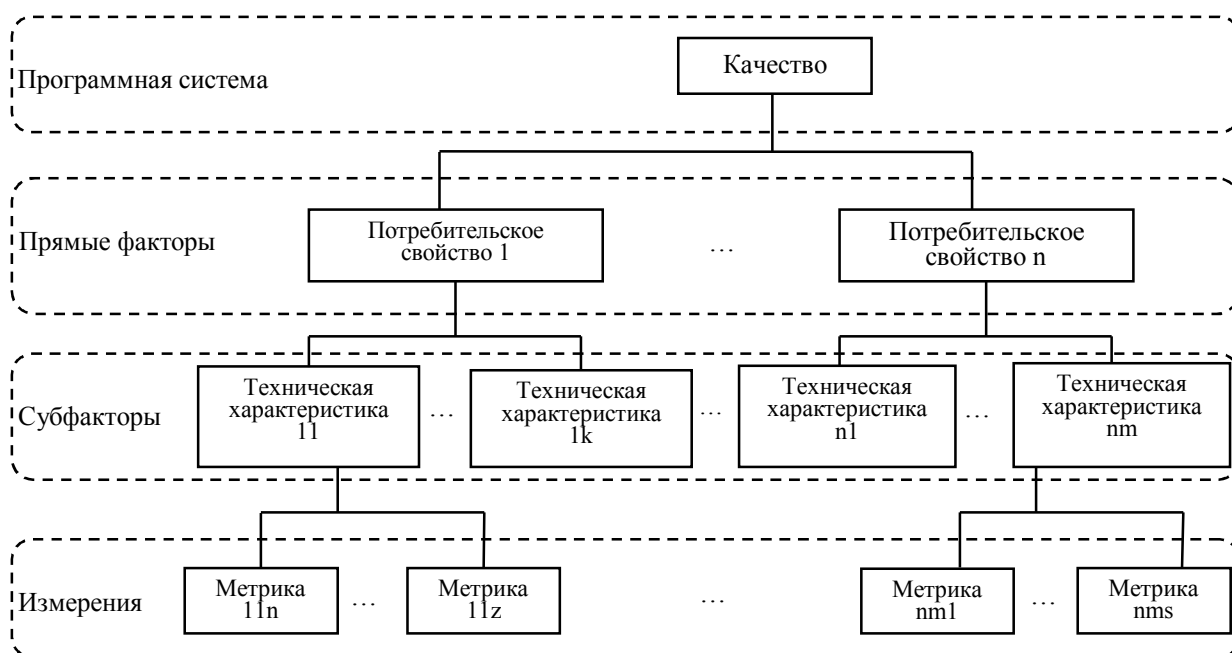


Рис. 1. Композиция метрик качества

При этом для полученного многоуровневого представления параметр качества продукции с индексом 1 ($i=1$) будет являться наиболее предпочтительным, с индексом n ($i=n$) – наименее предпочтительным: $x_i > x_{i+1}$, $i=1, n-1$ и справедливо свойство включения: $x'' \in x'$, где x'' - фактор $(i+1)$ -го уровня, x' - фактор i -го уровня, причём нумерация уровней начинается с корня дерева многоуровневого представления факторов.

Факторы $(i+1)$ -го могут состоять из одного или более факторов i -го уровня:

$$x'_i = \{x''_0, \dots, x''_j, \dots, x''_n\},$$

где n – количество факторов нижнего уровня соответствующих i -му фактору верхнего уровня, причём мощность множества $|x'_i| \geq 1$.

Получение количественного показателя качества выпускаемой продукции на верхнем уровне иерархии предложенного многоуровневого представления (вектор качества продукции) производится путем аддитивной свертки (взвешенной суммы метрик качества продукции): $\bar{z} = \sum_{i=0}^n x_i \alpha_i$, где α_i – коэффициент важности частных показателей (весовой коэффициент i -й метрики качества продукции);

Например, пусть в результате проведенного анализа факторов, влияющих на качество выпускае-

мой продукции, было получено следующее двухуровневое представление (рис. 2).

Тогда вектор качества продукции:

$$\bar{z} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4),$$

где $\bar{x}_i, i=1, 4$ – факторы первого уровня; \bar{x}_1 – технические факторы; \bar{x}_2 – организационные факторы; \bar{x}_3 – экономические факторы; \bar{x}_4 – социальные факторы.

Вектор качества, получаемый для каждого фактора \bar{x}_i первого уровня, также имеет свои индивидуальные параметры, влияющие на качество функционирования данной подсистемы (факторы второго уровня \bar{x}_{ij}):

$$\bar{x}_1 = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1m_1}), \quad \bar{x}_2 = (x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2m_2}),$$

$$\bar{x}_3 = (x_{31}, x_{32}, \dots, x_{3m_3}), \quad \bar{x}_4 = (x_{41}, x_{42}, \dots, x_{4m_4}),$$

где $\bar{x}_{ij}, i=1..k, j=1..m_i$ – индивидуальный параметр (фактор 2 уровня), влияющий на качество функционирования фактора первого уровня, $m_i, i=1..k$ – количество факторов второго уровня для фактора \bar{x}_i .

Применив аддитивную свертку, получим зависимость качества продукции от различных факторов, влияющих на качество выпускаемой продукции:

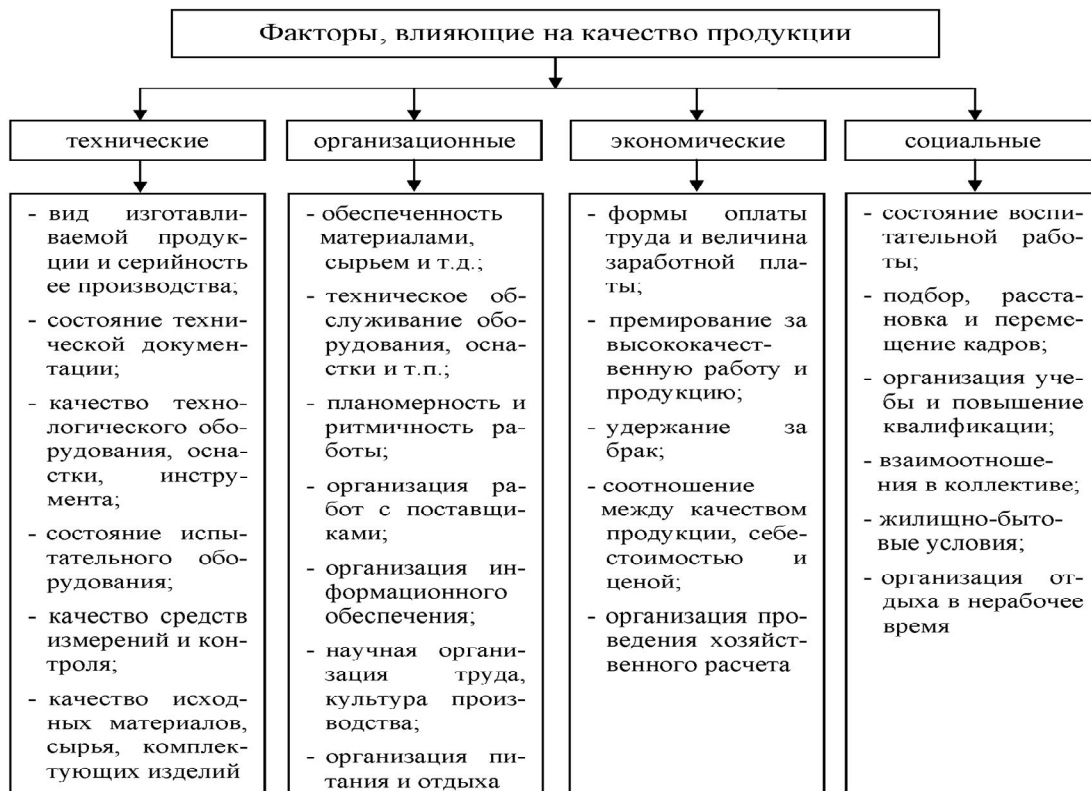


Рис. 2. Двухуровневое представление факторов, влияющих на качество продукции

$$x_1 = \sum_{j=1}^{m_1} x_{1j}\beta_{1j}, \quad x_2 = \sum_{j=1}^{m_2} x_{2j}\beta_{2j},$$

$$x_3 = \sum_{j=1}^{m_3} x_{3j}\beta_{3j}, \quad x_4 = \sum_{j=1}^{m_4} x_{4j}\beta_{4j},$$

где $x_i, i = 1...k$ – скалярное представление показателей с учетом факторов текущего уровня многоуровневого представления, влияющих на качество продукции;

$x_{ij}, i = 1...k, j = 1...m_i$ – индивидуальный параметр, влияющий на качество функционирования i -го уровня;

$\beta_{ij}, i = 1...k, j = 1...m_i$ – весовой коэффициент.

Вероятностная модель качества продукции

Факторы, влияющие на качество продукции, можно представить в виде вероятностных характеристик, тогда обобщенный показатель качества выпускаемой продукции будет представлять собой результат произведения этих вероятностей:

$P = \prod_i p_i$, где P – обобщенный вероятностный па-

раметр качества выпускаемой продукции; p_i – вероятностный параметр качества i -го уровня многоуровневой модели факторов, влияющих на качество выпускаемой продукции.

В случае, когда факторы, влияющие на качество выпускаемой продукции, не зависят друг от друга (независимые вероятностные параметры) обобщенный вероятностный показатель качества будет равен произведению вероятностных показателей качества каждого уровня многоуровневой модели факторов.

В случае зависимых показателей обобщенный вероятностный показатель качества выпускаемой продукции определяется по известной плотности распределения системы зависящих показателей (случайных аргументов): $z = f(X_1, X_2)$, где z – обобщенный показатель качества; X_i – зависящие друг от друга показатели качества; $f(x_1, x_2)$ – плотность распределения системы (X_1, X_2) .

Программная модель оценки качества

Программная реализация модели оценки качества позволяет осуществить расчёт статистических характеристик качества продукции, используя случайные независимые значения параметров, влияющих на качество выпускаемой продукции.

Программный продукт разработан на платформе Java с использованием вспомогательных техно-

логий JSP и Servlet и представлен в виде динамического web-приложения, что обеспечивает пользователю удобный доступ к необходимой информации для проведения моделирования оценки качества выпускаемой продукции.

На начальном этапе моделирования происходит генерация исходных значений: количество параметров, влияющих на оценку качества выпускаемой продукции, с указанием законов распределений для каждого из них (программный продукт предоставляет возможность использования равномерного, нормального и экспоненциального законов распределения), а также допустимых для проведения моделирования интервалов и типа операции для свертки указанных параметров (композиция либо произведение). Далее происходит расчет значения плотности распределения системы двух случайных величин в заданном диапазоне (по умолчанию $[0,1]$). В случае ввода некорректных исходных данных программа выдаёт соответствующее сообщение об ошибке.

Результатом моделирования являются нормированные параметры вектора качества (рис. 3).

Полученная плотность распределения (нормированные параметры вектора качества) является входным параметром для расчета вероятностных характеристик вектора качества продукции: среднеарифметическое, дисперсия, среднеквадратичное отклонение, коэффициент вариации, среднее линейное отклонение, показатель асимметрии, показатель эксцесса и т.д. (рис. 4).

Следует отметить, что программный продукт сопровождается справочным материалом, в котором указаны используемые формулы для расчета статистических характеристик (доступно по ссылке «Справка»).

Заключение

В данной статье была предложена детерминированная модель контроля качества выпускаемой продукции в процессе создания продукции на предприятии. Наряду с детерминированной моделью построена вероятностная модель качества на основе преобразования случайных величин для аддитивного и мультипликативного случаев. Найдены зависимости параметров продукции от параметров подсистем, влияющих на качество продукции. Рассмотрены качественные и количественные соотношения между основными параметрами качества, а также возможные варианты свертки параметров с учетом весовых коэффициентов. Разработана программная модель для вычисления вероятностных оценок параметров качества на основе заданной схемы и законов распределения отдельных составляющих.

Выберите количество используемых параметров

Установите требуемое количество итераций

Установите требуемое количество интервалов:

Выберите необходимую операцию:

КОМПОЗИЦИЯ ПРОИЗВЕДЕНИЕ

Выберите закон распределения по которому будет генерироваться случайная величина и диапазон значений.

x1: от до

x2: от до

x3: от до

Нормированные параметры вектора качества:

```
0,0025
0,2075
0,2625
0,2325
0,1525
0,085
0,0375
0,015
0,005
0
```

Рис. 3. Выбор параметров и результат расчёта параметров вектора качества

Среднее арифметическое	<input type="text" value="0,10000"/>
Дисперсия	<input type="text" value="0,01091"/>
Среднеквадратическое отклонение	<input type="text" value="0,10444"/>
Коэффициент вариации	<input type="text" value="104,436"/>
Среднее линейное отклонение	<input type="text" value="0,09100"/>
Показатель асимметрии	<input type="text" value="0,38262"/>
Показатель эксцесса	<input type="text" value="-1,75087"/>
Отношение показателя асимметрии к его ошибке	<input type="text" value="0,82264"/>
Отношение показателя эксцесса к его ошибке	<input type="text" value="-1,89808"/>

График плотности распределения

Рис. 4. Результаты расчёта статистических характеристик

Литература

1. Клименко, Э.Ю. Методы численного измерения качества при разработке программных систем [Текст] / Э.Ю. Клименко, А.О. Попов // Стандарты и качество. – 2010. – № 7 – С. 51-50.
2. Выделение качественных характеристик производственной продукции [Текст] / М.А. Лысова, Н.А. Грузинцева, И.Н. Синяева, Б.Н. Гусев // Методы менеджмента качества. – 2011. – №8 – С. 42-45.
3. Бухвалов, Р.В. Оценка структурной сложности больших программных комплексов [Текст] / Р.В. Бахвалов // Успехи современной ра-

- диоэлектроники. – 2011. – № 8 – С. 4-9.
4. Воловиков, Б.П. Оценка конкурентоспособности продукта на основе анализа конкурсных торгов [Текст] / Б.П. Воловиков // Маркетинг в России и зарубежом. – 2011. – №4(84) – С. 64 – 67.
5. Степанов, А.В. Оценка результативности в СМК [Текст] / А.В. Степанов // Стандарты и качество. – 2009. – №1 – С. 70-78.
6. Казанская, О.В. Методы оптимизации и теория принятия решений [Электронный ресурс] / О.В. Кузанская, С.Г. Юн, О.К. Альсова. – Режим доступа: http://publish.nstu.ru/catalog/index.php?SECTION_ID=0&ELEMENT_ID=543. – 12.04.2013.

7. *Основы инженерии качества программных систем [Текст] / Ф.И. Андон, Г.И. Коваль, Е.М. Лаврицева, Ю.В. Сулов. – 2-е изд. – К.: Академперіодика, 2007. – 672 с.*

8. *Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и её инженерные приложения [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Высш. Шк., 2000 – 480 с.*

9. *Лаврицева, Е.В. Программно-технические комплексы [Текст] / Е.В. Лаврицева // Кибернетика и системный анализ. – 2011. – № 6 – С. 145 – 158.*

10. *Оценка качества программных средств.*

Общие положения ГОСТ 28195-89 [Текст] / Ю.П. Галустян, Н.Б. Гуляев, А.П. Дувакин, А.В. Катков. – М.: «Издательство стандартов», 1989. – 37 с.

11. *Бешелев, С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок [Текст] / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.*

12. *Сергеев, И.В. Экономика организаций (предприятий) [Текст] / И.В. Сергеев, И.И. Веретенникова. – М.: ТК Велби, Проспект, 2005. – 560 с.*

Поступила в редакцию: 3.09.2013, рассмотрена на редколлегии 11.09.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. информационных управляющих систем И.П. Гамаюн, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИПУСКАЄМОЇ ПРОДУКЦІЇ

В.А. Попов, Н.В. Єременко, Ю.І. Сергєєва, Д.Є. Жидченко

Розглядається модель випуску продукції на промисловому підприємстві у вигляді кортежу складових, що відповідають основним параметрам якості. Розглянуто якісні та кількісні співвідношення між основними параметрами якості, а також можливі варіанти згорток параметрів з урахуванням вагових коефіцієнтів. Поряд з детермінованою моделлю розглянуто ймовірнісну модель якості на основі перетворення випадкових величин для адитивного і мультиплікативного випадків. Запропоновано систему програмного імітаційного моделювання для обчислення імовірнісних оцінок параметрів якості на основі заданої схеми і законів розподілу окремих складових.

Ключові слова: промислове підприємство, якість продукції, характеристики якості, ймовірнісні оцінки якості, система моделювання якості продукції.

PRODUCT QUALITY CONTROL PROCESSES MODELING

V.A. Popov, N.V. Eremenko, Y.I. Sergeeva, D.E. Zhydchenko

The model of production at an industrial enterprise in the form of tuple components corresponding to the basic parameters of quality is considered. Qualitative and quantitative relationships between key parameters of quality as well as the options package options including weights are considered. In addition to the deterministic model, the probability model based on the quality of the transformation of random variables for the additive and multiplicative cases is regarded. System simulation software to calculate the probability estimations of the quality parameters on the basis of a specific schema and the laws of distribution of the individual components is proposed.

Keywords: industrial company, product quality, quality specifications, probabilistic assessment of the quality system model of product quality.

Попов Вячеслав Алексеевич – канд. техн. наук, профессор, профессор кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Єременко Наталя Валентинівна – младший научный сотрудник кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Сергєєва Юлія Ігорівна – младший научный сотрудник кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Жидченко Дмитрий Евгеньевич – магистр кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.