

УДК 004.42

Е.И. Кучеренко, С.Н. Трохимчук

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

## МЕТОДЫ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ МЕХАНОБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Предложена структура метода, который в отличие от существующих, позволяет функционировать как при вероятностных оценках, так и при нечетких исходных данных на основе нечеткого логического вывода Мамдани и Такаги-Сугено-Канга. Исследована вычислительная сложность и адекватность метода.*

**Ключевые слова:** качество изделий, оценка качества, модель качества, механосборочное производство.

### Введение

Предприятия самостоятельно планируют свою деятельность на основе договоров, заключенных с потребителями продукции и поставщиками материально-технических ресурсов, и определяют перспективы развития исходя из спроса на производимую продукцию, работы и услуги [1]. В своей деятельности предприятия обязаны учитывать интересы потребителя и его требования к качеству поставляемой продукции и услуг.

Важной проблемой в задачах повышения качества изделий является учет множества противоречивых факторов. К ним, в первую очередь, следует отнести пространство состояний объекта в котором реализуются технологии. При этом пространство состояний может быть представлено детерминированными процессами –  $D$ ; вероятностными процессами –  $P$ ; нечеткими процессами –  $\tilde{F}$ .

В настоящее время методы анализа в таких пространствах состояний не в полной мере удовлетворяют уровню автоматизированных производств. В связи с этим работа является важной и актуальной.

Таким образом, целью данной работы является разработка и исследование методов анализа для повышения качества изделий машиностроительного и приборостроительного производств.

**Постановка задачи исследований.** Пусть существует множество процессов

$$\{P_j\}, j \in J, \quad (1)$$

которые реализуются на множестве объектов

$$\{O_\alpha\}, \alpha \in A. \quad (2)$$

Некоторое подмножество из

$$\{Pr'_j\} \subset \{P_j\} \quad (3)$$

приводит к браку

$$\{O'_\alpha\} \subset \{O_\alpha\} \quad (4)$$

Процессы (1) с учетом (2) – (4) представлены в вероятностном  $P$  и нечетком  $\tilde{F}$  пространствах состояний. Необходимо предложить подходы и технологии к оцениванию и управлению качеством изделий механосборочного производства.

### Изложение основного материала

**Анализ существующих решений.** В работе [1] предложен анализ решений и существующие методы анализа производства и реализации продукции машиностроения.

Поэтому анализ работы промышленных участков предприятий обычно начинают с изучения показателей выпуска продукции, который предполагает следующие этапы:

1. Анализ формирования и выполнения производственной программы;
  - 1.1. Анализ объема продукции;
  - 1.2. Анализ ассортимента продукции;
  - 1.3. Анализ структуры продукции;
2. Анализ качества продукции;
3. Анализ ритмичности производства;
4. Анализ выполнения договорных обязательств и реализации продукции.

Объем производства промышленной продукции может выражаться в натуральных, условно-натуральных и статистических измерителях. Обобщающие показатели объема производства продукции получают с помощью стоимостной оценки – в оптовых ценах.

Важным звеном оценки состояния и качества продукции является его анализ. Количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, составляющих ее качество, называется показателем качества продукции.

Различают обобщающие индивидуальные и косвенные показатели качества.

- К обобщающим показателям качества относят:
- удельный и качественный вес продукции в общем объеме ее выпуска;
  - удельный вес продукции, соответствующей мировым стандартам;
  - удельный вес экспортируемой продукции, в том числе в высокоразвитые промышленные страны;
  - удельный вес аттестованной продукции.

Индивидуальные показатели характеризуют полезность (жирность молока, содержание белка в продукте и т.д.), надежность (долговечность, безот-

казность в работе), технологичность (трудоемкость и энергоёмкость).

Косвенные – штрафы за некачественную продукцию, объем и удельный вес забракованной продукции, потери от брака и т.д.

Для обобщающей оценки выполнения плана по качеству продукции используют разные методы.

Сущность балльного метода оценки состоит в определении средневзвешенного балла качества продукции, и путем сравнения фактического и планового его уровня находят процент выполнения плана по качеству.

Качество продукции является параметром, оказывающим влияние на такие стоимостные показатели работы предприятия, как выпуск продукции (ВП), выручка от реализации (В), прибыль (П).

Изменение качества затрагивает прежде всего изменение цены и себестоимости продукции, поэтому формулы для расчета будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \Delta ВП &= (Ц_1 - Ц_0) \cdot ВВП_k; \\ \Delta В &= (Ц_1 - Ц_0) РП_k; \\ \Delta П &= [(Ц_1 - Ц_0) \cdot ВВП_k] - \\ &\quad - [(C_1 - C_0) \cdot РП_k], \end{aligned} \quad (5)$$

где  $C_0$ ,  $C_1$  – соответственно (5) цена изделия до и после изменения качества;  $C_0$ ,  $C_1$  – себестоимость изделия до и после изменения качества;  $ВВП_k$  – количество произведенной продукции повышенного качества;  $РП_k$  – количество реализованной продукции повышенного качества.

Косвенным показателем качества продукции является брак. Он делится на исправимый и неисправимый, внутренний (выявленный на предприятии) и внешний (выявленный у потребителя). Выпуск брака ведет к росту себестоимости продукции и снижению объема товарной продукции, снижению прибыли и рентабельности.

В процессе анализа изучают динамику брака по абсолютной сумме и по удельному весу в общем объеме выпущенной продукции, определяют потери от брака и потери продукции.

Основными причинами снижения качества продукции являются: плохое качество сырья, низкий уровень технологии и организации производства, низкий уровень квалификации рабочих и технического уровня оборудования, аритмичность производства.

Как следует из [2], метод наименьших квадратов в адаптивных системах управления и принятия решений о качестве продукции и технологиях является эффективным, но вызывает ряд сложностей через сильную корреляцию входов при вычислении обратной матрицы, что определяет плохую обусловленность моделей.

Таким образом, задача синтеза за критериями надежности вызывает особый интерес и практическую направленность.

Критический анализ возможных решений показал, что может быть рассмотрен следующий анализ синтеза решений, направленных на повышение качества продукции при одновременном сохранении стоимостных и количественных показателей. Тогда критерием качества задачи синтеза параметров объекта может быть следующий функционал  $I$ , определяющий безотказность работы рассматриваемого объекта при определенных ограничениях предметной области [3].

$$\begin{aligned} I &= \min(X_1, X_2, \dots, X_n) | \\ P(k) &\in \{P(k)\}, P(t) \geq P(t)^*; \\ \sum_{\eta=1}^N C_{\eta} (C_{\eta} \in C), \eta \in C, N \geq N^*. \end{aligned} \quad (6)$$

В ряде случаев (6) может быть представлено также в виде

$$T_0 / (T_0 + k_p T_B) \rightarrow \max, \quad (7)$$

где  $T_0$  – время наработки на отказ;  $T_B$  – время восстановления.

$$\begin{aligned} P(k) &\in \{P(k)\}, P(t) \geq P(t)^*; \\ \sum_{\eta=1}^N C_{\eta} (C_{\eta} \in C), \eta \in C, N \geq N^*; \\ \tau &\leq \tau^*. \end{aligned}$$

В (7) справедливы ограничения (6).

### Существующие подходы к реализации метода

Следует отметить, что существует достаточно много подходов, которые реализуют поставленную задачу [3]. Однако большинство из них решают теоретические задачи анализа, плохо ориентированы на предметные области. В связи с этим подходы, ориентированные на практическую реализацию вызывает особый интерес.

На рис. 1 предложена структура разработанного базового метода, которая определяет основные причинно – следственные связи в его реализации и носящим преимущественно вероятностный характер.

Учитывая (6), (7), сформулируем этапы реализуемого метода.

Этап 1. Определяем структуру модели и функцию распределения вероятностей компонент системы.

Этап 2. Формулируем множество показателей надежности компонент анализируемого участка.

Этап 3. Определяем уровень (интенсивность) бракованных изделий.

Этап 4. Определяем множество стоимостных показателей системы.

Этап 5. Назначаем нормы допустимых значений по критериям  $C_{\eta}$ ,  $N$  и  $P(k)$ .

Этап 6. Для случая, когда нарушается –  $(C_{\eta}, N, P(k)) \rightarrow \text{false}$ , реализуем процедуры тес-

тирования и устранения отказов и их последствий с учетом возможных ограничений.

Этап 7. Осуществляем повторный прогон за этапами 1 – 6 до выполнения критериев (6), (7) при ограничении на временные ресурсы  $\tau \leq \tau^*$ .

Этап 8. Останов.

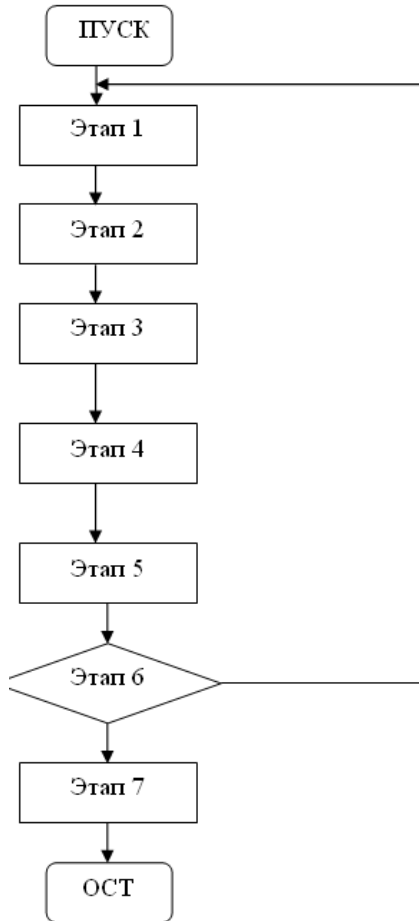


Рис. 1. Структура разработанного метода:  
 П – пуск процедур реализации метода;  
 Ост – останов процедур реализации метода;  
 этап 1 – 7 – этапы метода

Достоинством предлагаемого метода (Этапы 1 – 8) является также относительная простота его реализации и малая вычислительная сложность. Так верхняя граница вычислительной сложности  $O$  [4] разработанного расширенного метода (рис. 3) может быть представлена также в виде полинома второго порядка

$$O = a_0 + a_1x + a_2x^2, \quad (9)$$

что подтверждено экспериментом, где  $a_0, a_1, a_2$  – некоторые коэффициенты, определяемые программно-техническими средствами реализации модели.

Отметим, что как следует из особенностей реализации технологического процесса рассматриваемого участка, вычислительная сложность реализации процессов может быть определена в модели

на основе частных моделей путем расширений сетей Петри [5, 6].

Недостатком предложенного выше метода является его уязвимость в случае применения вероятностных и fuzzy (нечетких) исходных данных об объекте исследования, что приводит к дополнительной неопределенности.

### Разработка расширенного метода

Пусть задана модель

$$S' = \langle S^{(P)}, S^{(\tilde{F})} \rangle, \quad (10)$$

где  $S^{(P)} \neq \emptyset, P: p(x) \rightarrow [0,1]$ ;

$S^{(\tilde{F})} \neq \emptyset, \tilde{F}: \mu(x) \rightarrow [0,1]$ .

Тогда для (10) можно сформулировать следующее утверждение.

**Утверждение 1.** Если определена структура модели  $S$  и отсутствует в явном виде функция распределения  $F(x)$  вероятностей компонент системы, а также заданы fuzzy (нечеткие) исходные данные об объекте исследования в виде нечетких отношений  $\tilde{R}(x, y)$  нечеткого графа, то решение задачи может быть решено расширением метода (этапы 1 – 8) на основе метода Мамдани [7]

$$\frac{\text{if } x \text{ is } \mu(x) \text{ then } y \text{ is } \mu(y)}{x = x'} \quad y' = ?, \quad (11)$$

где  $x', y'$  – соответственно известный входной и искомый (выходной) векторы.

Решением (11) может быть нечеткий логический вывод

$$y' = \vee x' \wedge \mu(x, y) \quad (12)$$

с последующей дефаззификацией согласно [8], где  $\mu(x, y)$  – некоторое нечеткое отношение [8].

Действительно, решения (11), (12) в утверждении 1 нечеткого состояния моделей  $S'$  реализуются как [7].

**Замечание 1.** Используя этапы 1 – 8, а также решения (11), (12) в нечетком пространстве состояний модели, получаем расширение метода на основе интеграции вероятностных и нечетких подходов (рис. 2).

Тогда расширением метода могут быть следующие процедуры:

Этап 1. Определяем структуру модели.

Этап 2. Распараллеливание процессов.

Этап 2'. Определяем функции распределения вероятностей и fuzzy компонент системы.

Этап 2''. Объединение параллельных процессов.

Этап 3. Определяем функции принадлежности компонент системы в нечетком пространстве состояний.

Етап 3'. Настройка функций принадлежности с решением (11), (12).

Етап 4. Формулируем множество показателей надежности компонент анализируемого участка.

Етап 5. Определяем уровень (интенсивность) бракованных изделий.

Етап 6. Определяем множество стоимостных показателей системы.

Етап 7. Назначаем нормы допустимых значений по критериям  $C_n, N, P(k), \tilde{F}$ .

Етап 8. Для случая, когда нарушается –  $(C_n, N, P(k)) \rightarrow \text{false}, \tilde{F} \rightarrow \text{false}$ , то реализуем процедуры тестирования и устранения отказов и их последствий с учетом возможных ограничений.

Етап 9. Осуществляем повторный прогон за этапами 1 – 8 до выполнения критериев (6), (7) при ограничении на временные ресурсы  $\tau \leq \tau^*$ .

Етап 10. Останов.

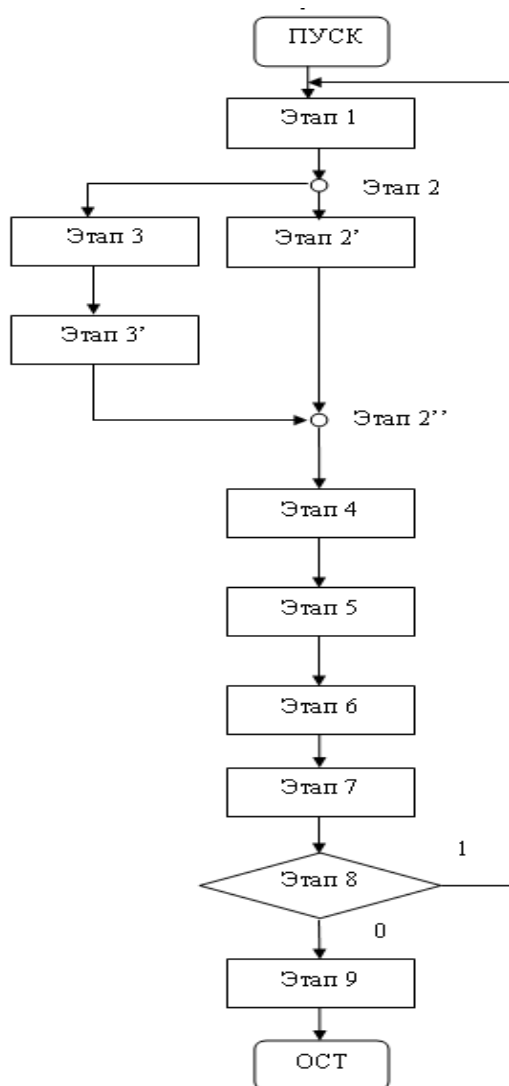


Рис. 2. Структура разработанного метода:  
П – пуск процедур реализации метода;  
О – останов процедур реализации метода;  
1 – 9 – этапы метода

Как следует из особенностей реализации технологического процесса рассматриваемого участка, вычислительная сложность реализации процессов во многом определяется моделью на основе частных моделей путем их расширений [5, 6]

$$S_{\Sigma} = \bigcup_I (S^{(P)}, S^{(D)}, S^{(\tilde{F})}), i \in I, \quad (13)$$

где  $\bigcup_I$  – оператор объединения на множестве  $I$  с учетом некоторой функциональности,  $S^{(P)}, S^{(D)}, S^{(\tilde{F})}$  – соответственно вероятностные, детерминированные, нечеткие составляющие модели  $S_{\Sigma}$ .

Нижняя граница вычислительной сложности  $O'$  [4] разработанного метода (рис. 2) может быть представлена также в виде полинома второго порядка

$$O' = a_0 + a_1x + a_2x^2, \quad (14)$$

где  $a_0, a_1, a_2$  – некоторые коэффициенты, идентификация (14) осуществляется и уточняется на основе реализации алгоритмов с учетом параметров процессора вычислительных средств. Справедливость (14) подтверждена экспериментом.

Очевидно, что для схемы (рис. 2) возникает задача адекватности процессов за критериями достижимости  $D = \text{true}$  и отсутствии конфликтных ситуаций  $\text{Conf} = \text{false}$  на модели  $S$  [6].

### Анализ адекватности процессов в практической реализации расширенного метода

Для анализа адекватности процессов было предложено использовать модификацию программной среды FPN [9], которая ориентирована на дискретные процессы в форме расширенных сетей Петри (СП) [9] (рис. 3) и реализована в среде объектно-ориентированного программирования C++ и Java. Модификация программ FPN ориентирована на моделирование процессов как в режиме прямой, так и обратной трассировки с возможностью расширения параметров, что позволяет существенно расширить функциональность среды.

Процедуры анализа адекватности включают: согласно структуры разработанного метода (рис. 2) в режиме моделирования (рис. 3) построена СП и вектор начальной маркировки (рис. 4); выполнена прямая трассировка модели (рис. 5, рис. 6) для всех позиций сети, определена достижимость маркирования:  $D = \text{true}$ ; определено в режиме анализа процессов (рис. 3) состояние модели по критерию разреженности матрицы (рис. 7), сделан вывод о необходимости минимизации матрицы; – в работе особое внимание уделено анализу конфликтов (рис. 8).

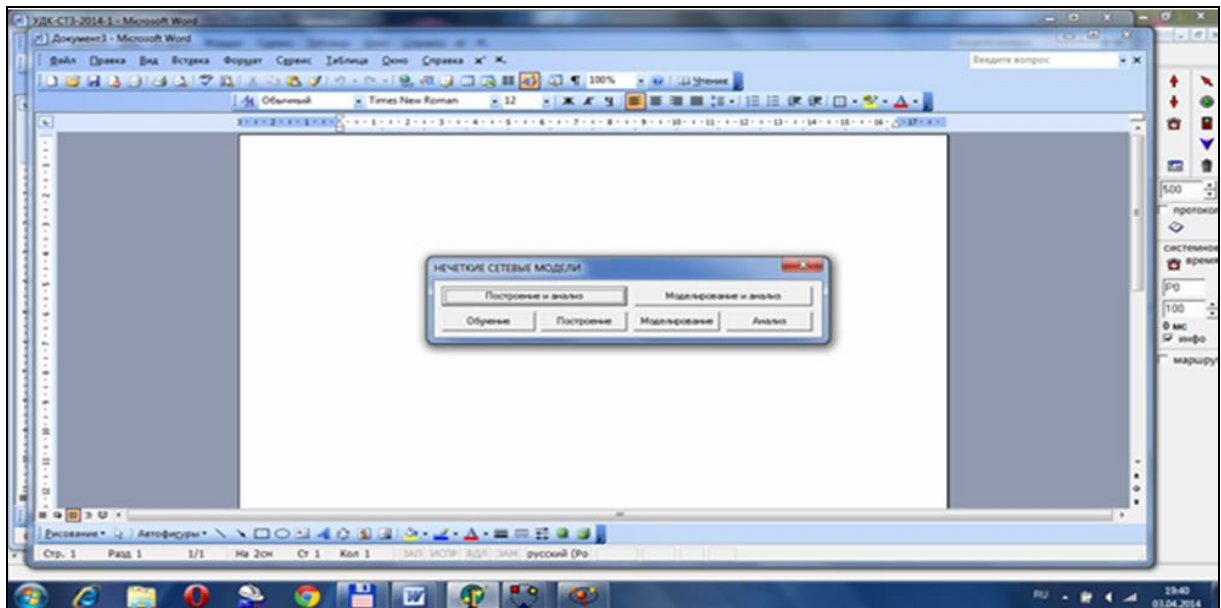


Рис. 3. Режимы моделирования

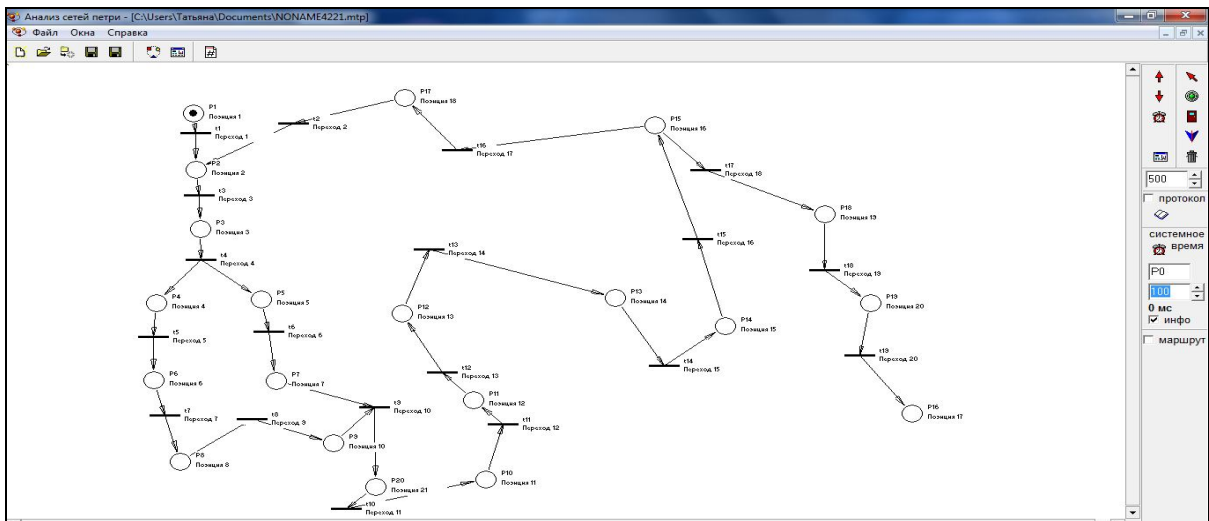


Рис. 4. Сеть Петри

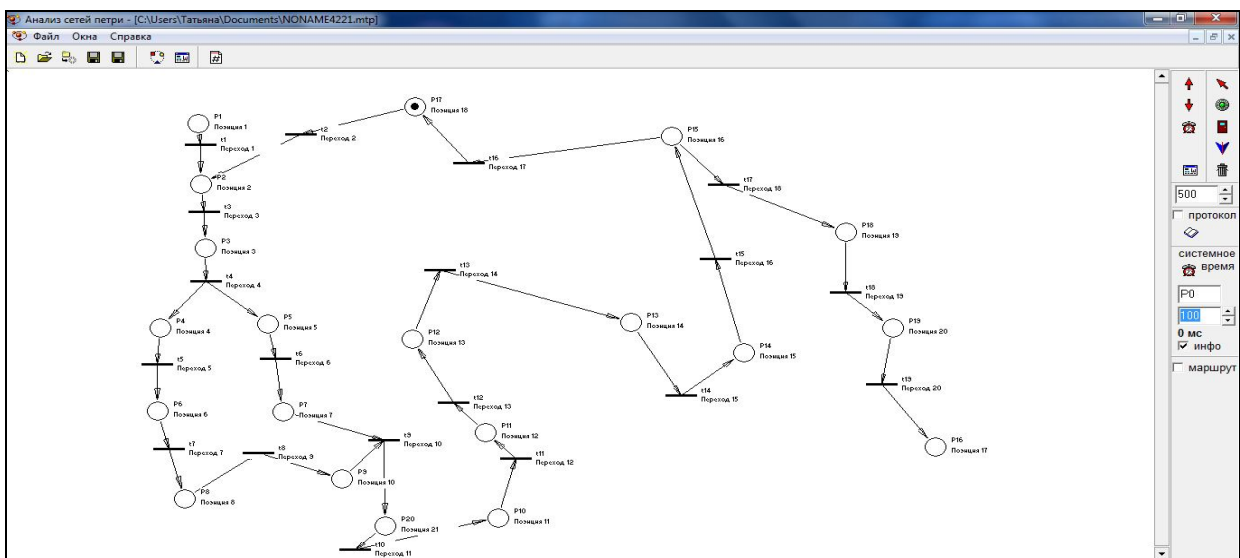


Рис. 5. Прямая трассировка сети



В работе [6] конфликты рассматриваются как некоторое опосредованное свойство качества систем.

Как следует из рис. 8, в модели присутствует свойство «в позиции  $p_2$  присутствует конфликт или подозрительно на конфликт» т.е.

$$\text{Conf} = \text{true}.$$

Содержательный анализ показал, что в позиции  $p_2$  конфликт отсутствует, так как

$$\forall M_{p_j}, M_{p_j} \in \{M_j\}, j \in J | M_{p_j} \leq 1$$

и

$$\text{Conf} = \text{false}, \quad (15)$$

где  $\{M_j\}, j \in J$  – множество векторов маркирования, что подтверждает адекватность процессов (15).

## Выводы

1. Выполнен содержательный анализ методов оперативного оценивания качества изделий машиностроения, выявлены достоинства и недостатки существующих решений.

2. Определена перспективность структуры ранее разработанного метода при задании исходных данных на основе вероятностных оценок и распределений.

3. Для оперативного анализа в нечетком пространстве состояний предложена структура метода, который в отличие от существующих, позволяет функционировать как при вероятностных оценках, так и при нечетких исходных данных нечеткого логического вывода Мамдани и Такаги-Сугено-Канга. Выполнен анализ адекватности метода на основе программной среды FPN, метод обладает вычислительной сложностью, близкой к квадратичной.

4. Перспективой дальнейших исследований является адаптация решений на предметные области машиностроения и приборостроения.

## Список литературы

1. Анализ производства и реализации продукции. [Электрон. ресурс] / Режим доступа к ресурсу: [http://ef.donnu.edu.ua/emk/Data/Ek\\_an2.htm](http://ef.donnu.edu.ua/emk/Data/Ek_an2.htm).
2. Бодянский С.В. Оптимальне керування стохастичними об'єктами в умовах невизначеності / С.В. Бодянский, М.Д. Борячок. – К.: ІСДО, 1993. – 164 с.
3. Кучеренко Е.И. Гибридные модели и информационные технологии в управлении сложными объектами / Е.И. Кучеренко, С.Н. Трохимчук // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – Луцьк: ЛНТУ, 2013. – С. 46-51.
4. Трауб Дж. Информация, неопределенность, сложность / Дж. Трауб, Г. Васильковский, Х. Вожняковский. – М.: Мир, 1988. – 184 с.
5. Нейро-фаззи модели и мультиагентные технологии в сложных системах / Е.В. Бодянский, В.Е. Кучеренко, Е.И. Кучеренко, А.И. Михалев, В.А. Филатов. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2008. – 412 с.
6. Кучеренко Е.И. Методы анализа достижимости на сетевых моделях в задачах проектирования сложных систем / Е.И. Кучеренко, А.Д. Дрюк // Технология приборостроения: научн.-техн. ж. – Х.: 2011. – № 2. – С. 37-42.
7. Кучеренко Е.И. Знание ориентированные технологии при управлении производственными процессами / Е.И. Кучеренко, С.Н. Трохимчук // XI Международная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями». – Х.: НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2013. – С. 146-147.
8. Tsoukalas L.H. Fuzzy and Neural Approaches in Engineering / L.H. Tsoukalas, R.E. Uhrig. – New York: John Wiley&Sons, Inc, 1997. – 587 p.
9. Кучеренко Е.И. Инструментальные средства моделирования процессов управления в сложных технологических комплексах / Е.И. Кучеренко, В.А. Фадеев // Авиационно-космическая техника и технология: Труды Гос. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» – Х.: Гос. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2000. – Вып. 14. – С. 166-168.

Поступила в редколлегию 14.04.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Д. Сахацкий, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.

## МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ МЕХАНО-СКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Є.І. Кучеренко, С.М. Трохимчук

*Запропонована структура методу, який на відміну від тих, що існують, дозволяє функціонувати як при імовірнісних оцінках, так і при нечітких початкових даних на основі нечіткого логічного виведення Мамдані і Такаги-Сугено-Канга. Досліджена обчислювальна складність і адекватність методу.*

**Ключові слова:** якість виробів, оцінка якості, модель якості, механо-складальне виробництво.

## METHODS OF EVALUATION OF QUALITY OF WARES OF MECHANOSBOROCHNOGO PRODUCTION

E.I. Kucherenko, S.N. Trokhimchuk

*The structure of method which unlike existing is offered, allows to function both at probabilistic estimations and at unclear basic data on the basis of unclear logical conclusion of Mamdani and Takagi-Sugeno-Kanga. Calculable complication and adequacy of method is probed.*

**Keywords:** quality of wares, estimation of quality, model of quality, mechanoerecting production.