УДК 65.012.122

Н.В. Рылова, И.Г. Оксанич

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

МЕТОД ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРИОРИТЕТОВ ВИДОВ ПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ ДИСКРЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В статье предложена логико-математическая модель производственного процесса, которая отображает его динамику и может быть использована при разработке структурных элементов имитационной модели многостадийного дискретного производства. Сформулированы основные требования к функции предпочтения, которые могут быть использованы для оценки приоритетов продукции, и синтезирована функция предпочтения, которая позволяет учитывать априорно определенные статические приоритеты видов продукции, текущее состояние производства и результаты прогнозирования развития производственного процесса.

Ключевые слова: *модель, функция предпочтения, производственная система, полуфабрикат, накопитель, динамический приоритет.*

Введение

Проблемы современного управления многопродуктовым дискретным производством, которые обусловлены необходимостью повышения его эффективности, требуют оперативного принятия оптимальных решений при изменяющихся условиях производства. Оперативное управление при этом играет важную роль в рациональной организации движения предметов труда, в повышении уровня эффективности использования основных и оборотных средств, в определении рациональной очередности обработки полуфабрикатов.

В [1] было отмечено, что основной задачей оперативного управления ходом производства является задача управления запуском полуфабрикатов в обработку в зависимости от текущего уровня выполнения номенклатурного календарного плана производства и текущего состояния межоперационных запасов. Это обусловлено тем, что оперативные решения по запуску видов продукции в обработку, непосредственно связаны с издержками от дефицита предметов труда, издержками от пролеживания предметов труда и издержками от невыполнения плана производства. Решение этой задачи предусматривается на основе использования имитационного моделирования хода производства. Таким образом, возникает необходимость в разработке имитационной модели, которая должна базироваться на использовании динамических приоритетов видов продукции, алгоритмов распределения ресурсов агрегатов между видами продукции, а также средств моделирования и прогнозирования коэффициентов выхода кондиционной продукции. В результате имитационного моделирования на каждом такте управления будут определяться необходимые объемы запуска продукции по каждой позиции номенклатурного плана (глобальное управление) и распределение ресурсов каждого агрегата между видами продукции (локальные управления).

Целью данной работы является разработка логико-математической модели производственного процесса, которая отображает его динамику и может быть использована при разработке структурных элементов имитационной модели, а также метод оценки динамических приоритетов продукции в условиях многостадийного дискретного производства.

Формализованное описание объекта управления

Большинство многостадийных дискретных производств может быть представлено в виде фиксированной последовательности некоторых производственных звеньев, которые реализуют в процессе производства какую-то одну определенную операцию. Такие звенья называют специальными простыми звеньями или специальными агрегатами [2]. Поскольку для процессов производства полупроводниковых материалов характерной чертой является применение групповой технологии обработки полуфабрикатов на всех производственных звеньях, то при этом можно считать, что издержки и выпуск, связанные с выполнением операции, соответственно относятся к началу и завершению операции.

С каждым специальным агрегатом связаны два звена хранения полуфабрикатов (входной и выходной накопители), которые играют роль согласователей производственных звеньев, а также, в определенной мере, позволяют локализовать различные возмущения производственного процесса на отдельных звеньях. Будем считать, что емкость накопителей не ограничена. Наличие двух типов накопителей обусловлена тем фактом, что передача полуфабрикатов с выходного накопителя f-го агрегата во входной накопитель f+1-го агрегата происходит передающими партиями фиксированного объема и эта передача выполняется сразу же после завершения формирования такой партии в выходном накопителе.

В процессе производства каждый агрегат повергается влиянию неконтролируемых случайных факторов, интегральное влияние которых предлагается учитывать с помощью коэффициента выхода кондиционной продукции, а также влиянию некоторых управлений, будем называть их локальными, определяющих распределение ресурсов агрегата между видами продукции. Распределение ресурсов реализуется соответственно динамическим приоритетам видов продукции.

На некоторых агрегатах могут возникать виды брака, которые могут быть ликвидированы путем дополнительной обработки бракованных полуфабрикатов на предыдущих агрегатах. В этом случае бракованные полуфабрикаты с выходного накопителя агрегата, на котором они были выявлены, передаются во входной накопитель того агрегата, на котором должна быть выполнена дополнительная обработка (наличие обратной материальной связи).

Ко всей производственной системе прикладывается общее управление, будем называть его глобальным, которое определяет номенклатуру и объемы запуска продукции в обработку.

Схематично два соседних агрегата производственной системы приведены на рис. 1, на котором использованы следующие обозначения:

$\bar{З}_f(t) = (З_{f1}(t), З_{f2}(t), ..., З_{fL}(t))^T$ – вектор запуска f-го агрегата на t-м такте контроля, L – количество видов продукции;

$\bar{B}_f(t) = (B_{f1}(t), B_{f2}(t), ..., B_{fL}(t))^T$ – вектор выпуска f-го агрегата на t-м такте контроля;

$Б_f(t) = \begin{bmatrix} Б^1_{f1}(t) & ... & Б^{L_f}_{f1}(t) \\ ... & ... & ... \\ Б^1_{fL}(t) & ... & Б^{L_f}_{fL}(t) \end{bmatrix}$ – матрица нерегенерируемого брака f-го агрегата на t-м такте контроля размерностью $L \times L_f$, где L_f – количество видов брака

$БР_f(t) = \begin{bmatrix} БР^{1_p}_{f1}(t) & ... & БР^{L_{fp}}_{f1}(t) \\ ... & ... & ... \\ БР^{1_p}_{fL}(t) & ... & БР^{L_{fp}}_{fL}(t) \end{bmatrix}$ – матрица регенерируемого брака f-го агрегата на t-м такте контроля размерностью $L \times L_{fp}$, где L_{fp} – количество видов регенерируемого брака;

$\overline{IN}_f(t) = (IN_{f1}(t), IN_{f2}(t), ..., IN_{fL}(t))^T$ – состояние входного накопителя f-го агрегата на t-м такте контроля;

$\overline{OUT}_f(t) = (OUT_{f1}(t), OUT_{f2}(t), ..., OUT_{fL}(t))^T$ – состояние выходного накопителя f-го агрегата на t-м такте контроля;

$\overline{PP}_f(t) = (PP_{f1}(t), PP_{f2}(t), ..., PP_{fL}(t))^T$ – вектор передачи продукции с выходного накопителя f-го агрегата во входной накопитель f+1-го агрегата на t-м такте контроля;

$U_f(t)$ – матрица локальных управлений размерностью M x L, где M – количество типов ресурсов. Отдельная строка матрицы определяет распределение определенного ресурса между видами продукции на f-м агрегате;

$\bar{V}(t) = (V_1(t), V_2(t), ..., V_L(t))^T$ – глобальное управление;

$\bar{X}_f(t)$ – вектор технологических факторов;

$\xi_f(t)$ – вектор возмущений, которые действуют на f-ый агрегат.

При этом динамика системы может быть описана с помощью следующих соотношений:

$$Б_f(t) I_{fL} + БР_f(t) I_{fL_p} = \bar{З}_f(t) - \bar{B}_f(t); \quad (1)$$

$$\bar{B}_f(t) = W_f \bar{\eta}_f(t); \quad (2)$$

$$\overline{IN}_f(t) = \overline{IN}_f(t-1) + \overline{PP}_{f-1}(t) + \sum_{i=1}^{F-f} \left(БР_{f+i}(t) \overline{VP}_{f+i} \right) - \bar{З}_f(t), \quad f = \overline{2, F}; \quad (3)$$

$$\overline{OUT}_f(t) = \overline{OUT}_f(t-1) + \bar{B}_f(t) - \overline{PP}_f(t); \quad (4)$$

$$\overline{IN}_1(t) = \varphi(\bar{V}(t_1), \bar{З}_1(i)), \quad t_1 \le t, \quad i = \overline{t_1, t}; \quad (5)$$

$$\bar{З}_f(t) = \psi(U_f(t), R_f(t), \overline{IN}_f(t-1)); \quad (6)$$

$$\bar{\eta}_f(t) = J(\bar{X}_f(t), \bar{\xi}_f(t)); \quad (7)$$

$$\bar{B}(t) = \bar{B}_F(t), \quad (8)$$

где I_{fL} и I_{fL_p} – единичные векторы размерности L_f и L_{fp} соответственно;

$$W_f(t)=\begin{bmatrix} \bar{З}_f^1(t) & 0 & ... & 0 \\ 0 & \bar{З}_f^2(t) & ... & 0 \\ ... & ... & ... & ... \\ 0 & 0 & ... & \bar{З}_f^J(t) \end{bmatrix};$$

$\overline{VP}_{f+1}$ – вектор регенерации брака с f+i-го агрегата на агрегате f. Размерность вектора равна $L(_{f+i)p}$, а элементы вектора определяются следующим образом:

$$vp_{f+1}(j)=\begin{cases} 1 & \text{если } j-\text{ый вид брака регенериру ется} \\ & \text{на } f-\text{м агрегате}; \\ 0 & \text{в противном случае}. \end{cases}$$

$\bar{\eta}_f(t)=(\eta_{f1}(t),\eta_{f2}(t),...,\eta_{fL}(t))^T$ – вектор коэффициентов выхода кондиционных полуфабрикатов;

$R_f(t)$ – ресурсы f-го агрегата;

$\bar{B}(t)$ – вектор выпуска готовой продукции;

φ, ψ – некоторые известные (как правило, определенные алгоритмически) функции;

ϑ – некоторая неизвестная функция.

Из этих соотношений следует, что материальные потоки в производственной системе зависят от объемов запуска продукции в производство (определяется глобальным управлением), от распределения ресурсов агрегатов между видами продукции (определяется локальными управлениями) и от влияния некоторого множества случайных факторов, к которым можно отнести, например, определенную неопределенность режимов технологических операций из-за неконтролируемости части основных параметров, разброс характеристик используемых материалов и т.д.

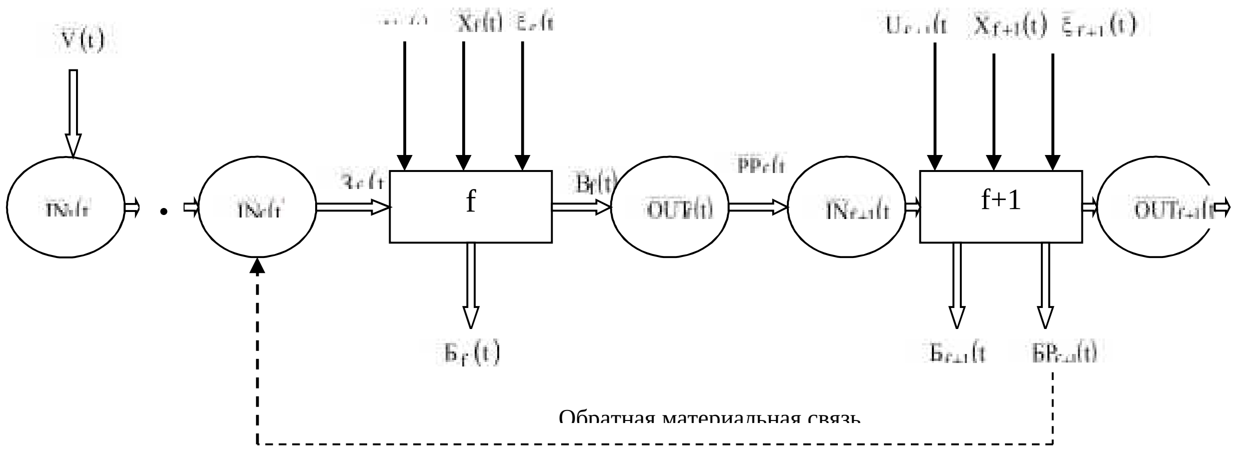

Рис. 1. Фрагмент формального представления производственной системы

Из-за наличия существенного запаздывания между входом и выходом производственной системы, что обусловлено ее многостадийностью, несвоевременный запуск продукции в производство с учетом номенклатурного плана, или запуск в излишних объемах приводит к возникновению издержек, которые можно классифицировать как издержки от дефицита (простаивания оборудования, невыполнения номенклатурного плана) или как издержки от пролеживания полу-фабрикатов (связывание оборотных средств).

Таким образом, задача регулирования хода производства сводится к поиску таких глобального и локальных управлений, которые обеспечивают минимизацию вышеназванных издержек. Высокая сложность рассматриваемого объекта управления обуславливает необходимость использования для решения этой задачи метода имитационного моделирования производственной системы на ЭВМ, а также использования некоторых эвристических методов при принятии управленческих решений. Примером такого подхода может служить использование принципа распределения ресурсов между видами продукции в соответствии с их приоритетами. При этом возникает потребность в оперативной оценке этих приоритетов.

Разработка метода оценивания динамических приоритетов продукции

В многопродуктовых производствах значения каждого вида продукции неодинаковое как в экономическом аспекте, так и в директивном отношении. Поэтому виды продукции, которые одновременно изготавливаются, могут быть оценены разными приоритетами, которые в процессе производства в зависимости от ряда факторов (изменение директив, изменение степени выполнения заказа в установленные сроки и т.д.) изменяются во времени, то есть по своей природе являются динамическими. Определение приоритетности видов продукции происходит с помощью сравнения значений так называемых функций предпочтения. В процессе решения с помощью этих функций аналитическое выражение критерия оптимальности фактически не используется. Естественно, что решение задачи зависит от вида используемой функции предпочтения: разным функциям соответствуют разные допустимые решения. При этом эффективность функций предпочтения может быть охарактеризована степенью приближения полученного решения к оптимальному. Такую эффективность называют абсолютной [3]. Если степень приближения решения к оптимальному определить невозможно, а это характерно для большинства реальных задач, то пользуются понятием сравнительной эффективности, которая определяется путем сравнения функций предпочтения из некоторого их набора.

В связи с интенсивными разработками моделей календарного планирования, методов решения задач на этих моделях и попыток их практического использования для управления объектами самой разной природы, многими авторами было предложено большое количество разнообразных функций предпочтения. Широкое распространение приняли такие функции предпочтения, как «правило самой короткой операции», «правило наиболее длительной операции», «правило наибольшей длительности цикла изготовления партии деталей» [3], «время поступления на обработку», «величина критического пути изготовления изделия» [4], «положение планового срока окончания работы к текущей календарной дате» [5]. Известен также подход к оценке приоритетов видов продукции, который базируется на использовании методов ситуационного управления. В сравнении с вышеперечисленными функциями предпочтения этот подход намного сложнее в вычислительном отношении и требует значительного объема памяти ЭВМ.

Разнообразие функций предпочтения объясняется практически безграничными возможностями получения и обработки информации о динамике производственного процесса с помощью ЭВМ. Необходимо отметить, что большинство известных функций предпочтения разработаны для условий производств машиностроительных предприятий и поэтому они не отображают специфических особенностей процессов производства полупроводниковых материалов, в частности, таких как наличие больших объемов незавершенного производства и планирования издержек, связанных с технологическим браком. Кроме того, для этих производств характерным является априорное разбиение множества всех видов продукции на некоторое количество непересекающихся подмножеств в зависимости от требований, которые предъявляются к каждому виду продукции. Такими требованиями могут быть, например, требование к качеству продукции, обязательность поставок в данном планово-учетном периоде и другие. В связи с этим возникает необходимость в разработке функций предпочтения, которые учитывают особенности процесса производства полупроводниковых материалов. Сформулируем основные требования, которые должны быть учтены при синтезе функции предпочтения:

− необходимость учета требований критерия оптимальности решения задачи оперативного управления, поскольку желательно, чтобы решение, полученное с помощью данной функции предпочтения, было близким к оптимальному решению;

− отображение состояния производства на момент решения задания;

− учет прогнозированного развития хода производства в следующие моменты времени;

− учет априорного разбиения множества видов продукции на некоторые подмножества.

Эти требования характеризуют эффективность функции предпочтения, ее статические, динамические и прогнозирующие свойства. Рассмотрим некоторые функции предпочтения, которые отображают особенности процесса производства полупроводниковых материалов, и учитывают некоторые или все вышеуказанные требования.

Обозначим через $\Omega = \{l\}$ множество видов продукции, причем $|\Omega| = L$. Пускай задано априорное разбиение множества Ω на подмножества, которые не пересекаются, то есть такие, что $\Omega_i \subset \Omega,\ i = \overline{1,m};\ \bigcup_{i=1}^{m} \Omega_i = \Omega$. Каждому множеству Ω_i поставим в соответствие значения некоторой статической функции предпочтения $h_C(\Omega_i)$. Для определенности примем, что функция $h_C(\ )$ принимает значения на множестве целых положительных чисел, причем чем больше значения $h_C(\Omega_i)$, тем выше приоритет множества Ω_i. Пускай в некоторый момент дискретного времени t известны плановые объемы производства по каждому виду продукции $A_l(T)$ и фактически произведенные объемы на данный момент времени $B_l(T)$. Определим множество $\Omega^*(t) = \{l : l \in \Omega; B_l(t) \ge A_l(T)\}$. Тогда для оценки приоритетов видов продукции предлагается использовать следующую функцию Ω_i:

$$h_l(t) = \begin{cases} 0, & l \in \Omega^*(t); \\ h_C(\Omega_i \ni l) + \dfrac{A_l(T) - B_l(t)}{\Pi(T) - \Phi(t) + \sum\limits_{l^* \in \Omega^*(t)} \left(B_{l^*}(t) - A_{l^*}(T)\right)}, & l \notin \Omega^*(t) \end{cases} \quad (9)$$

где $\Pi(T) = \sum\limits_{l \in \Omega} A_l(T)$; $\Phi(t) = \sum\limits_{l \in \Omega} B_l(t)$.

При этом справедливо, что

$$h_C(\Omega_i) > h_C(\Omega_j) \to h_{l_i}(t) > h_{l_j}(t) \quad \forall l_i \in \Omega_i,\ h_{l_i} \ne 0 \text{ и } \forall l_j \in \Omega_j,\ h_{l_j} \ne 0 .$$

Это вытекает из определения области значений статической функции предпочтения h_C и из условия $0 < h_l^g(t) \le 1$, где $h_l^g(t)$ равно второму слагаемому в правой части формулы (1). Последнее условие вытекает из следующих фактов, которые могут быть легко доказаны:

$$h_l^g(t) > 0, \qquad \sum_{l \in \Omega \backslash \Omega^*} h_l^g(t) = 1 .$$

Рассмотренная функция предпочтения обеспечивает получение так называемых стабильных приоритетов, то есть приоритетов, которые не изменяются при переходе от одного агрегата производственной системы к другому. Она так же не учитывает состояния межоперационных запасов на текущий момент времени и прогнозируемое развитие хода производства. Ее преимущество – это простота вычислений ее значений.

Введем величину

$$\tilde{B}_{fl}(t) = B_l(t) + \sum_{i=f+1}^{F} \Delta\tilde{B}_{il}(t), \quad (10)$$

где $\tilde{B}_{fl}(t)$ – прогнозируемый прирост фактического объема произведенной продукции l-го вида после полной обработки полуфабрикатов, которые находятся в накопителе перед i-тым агрегатом. Отметим, что $\tilde{B}_{fl}(t)$ могут быть получены путем моделирования хода производства с использованием соотношений (1)-(4), (6)-(8) и моделей прогнозирования коэффициентов выхода кондиционной продукции. При этом появляется возможность для оценки приоритетов видов продукции использовать следующую функцию предпочтения:

$$h_l(t) = \begin{cases} 0, & l \in \Omega_f(t); \\ h_C(\Omega_i \ni l) + \dfrac{A_l(T) - \tilde{B}_{fl}(t)}{\Pi(T) - \Phi_f(t) + \sum\limits_{l^* \in \Omega_f(t)} \left(\tilde{B}_{fl^*}(t) - A_{fl^*}(T)\right)}, & l \notin \Omega_f(t) \end{cases} \quad (11)$$

где

$$\Omega_f(t) = \{l : l \in \Omega; \tilde{B}_{fl}(t) \ge A_l(T)\}; \ \Phi_f(t) = \sum_{l \in \Omega} \tilde{B}_{fl}(t) .$$

При этом остается справедливым отношение

$$h_C(\Omega_i) > h_C(\Omega_j) \to h_{fl_i}(t) > h_{fl_j}(t) \quad \forall l_i \in \Omega_i \backslash \Omega_f(t),\ \forall l_j \in \Omega_j \backslash \Omega_f(t),\ f = \overline{1,F} .$$

При оперативном управлении ходом производства с использованием функций преимущества (9), (11) может возникнуть ситуация, когда некоторым видам продукции, которые принадлежат одному и тому же множеству Ω_i, будут присвоены равные приоритеты. В этом случае для решения конфликтной ситуации необходимо использовать некоторую дополнительную функцию предпочтения. Учитывая требования критерия оптимальности оперативных решений, как дополнительная функция предпочтения может быть взята функция вида:

$$h_{fl}^*(t) = \frac{A_l(T)}{A_l^i(T)}, \quad (12)$$

$$l \in \Omega_i^p(t), i = \overline{1,m}, \Omega_i^p(t) = \{l : h_{fl_j}(t) = h_{fl_k}(t), \forall l_j, l_k \in \Omega_i\},$$

где $A_l^i(T)$ – план производства по l-му виду продукции в натуральном выражении. Данная функция отображает стремление к быстрому выполнению плана по объему производства. В случае, когда применение дополнительной функции предпочтения не позволяет полностью снять неопределенность в оценке приоритетов, то есть когда для некоторых $l_j, l_k \in \Omega_l^p(t)$ будет выполняться условие $h^*_{fl_j}(t) = h^*_{fl_k}(t)$ (обозначим множество этих видов продукции через $\Omega_i^{pp}(t)$), то при этом можно организовать случайный выбор элементов множества $\Omega_i^{pp}(t)$ и присваивать высший приоритет ранее выбранному элементу.

Выводы

1. Разработана логико-математическая модель производственного процесса, которая отображает его динамику и может быть использована при разработке структурных элементов имитационной модели многостадийного дискретного производства.

2. Сформулированы основные требования к функции предпочтения, которые могут быть использованы для оценки приоритетов продукции, и синтезирована функция предпочтения, которая позволяет учитывать априорно определенные статические приоритеты видов продукции, текущее состояние производства и результаты прогнозирования развития производственного процесса.

3. Разработанные функции предпочтения отображают специфику процесса производства полупроводниковых материалов, учитывают требования критерия оптимальности оперативных решений по регулированию хода производства и позволяют оперативно получать оценки приоритетов видов продукции, необходимые для имитационного моделирования производственного процесса и реализации алгоритма оперативного управления запуском продукции в производство.

Список литературы

1. Оксанич И. Г. Разработка критерия эффективности оперативных решений по управлению производством кремниевых структур // И. Г. Оксанич, Н. В. Рилова. – Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Збірник наукових праць. – Кременчук, 2014. – № 5 (88). – С. 9-13.

2. Первозванский А. А Математические модели в управлении производством. / А. А. Первозванский. – М. : Наука, 1975. – 616 с.

3. Подчасова Т.П. Эвристические методы календарного планирования / Т.П. Подчасова, В.М. Португал, В.А. Татаров, В.В. Шкурба. – К.: Техника, 1980. – 140 с.

4. Сербин В.Д. Об одном подходе к расчету длительности цикла запуска-выпуска изделия : В кН. Статистический анализ и моделирование процессов и систем / В.Д. Сербин, Е.А. Паршин – Таганрог, 1977. – С.152-157.

5. Перельман А.Е. Построение моделей автоматизированных систем оперативного управления производством / А. Е. Перельман. – М. : Статистика, 1975. – 311 с.

Поступила в редакцию 23.11.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.И. Левинзон, Кременчугский национальный университет имени М. Остроградского, Кременчуг.

МЕТОД ОЦІНКИ ДИНАМІЧНИХ ПРІОРИТЕТІВ ВИДІВ ПРОДУКЦІЇ В УМОВАХ ДИСКРЕТНОГО ВИРОБНИЦТВА

Н.В. Рилова, І.Г. Оксанич

У статті запропонована логіко-математична модель виробничого процесу, яка відображає його динаміку і може бути використана при розробці структурних елементів імітаційної моделі багатостадійного дискретного виробництва. Сформульовані основні вимоги до функції переваги, які можуть бути використані для оцінки пріоритетів продукції, і синтезована функція переваги, яка дозволяє враховувати апріорно певні статичні пріоритети видів продукції, поточний стан виробництва і результати прогнозування розвитку виробничого процесу.

Ключові слова: *модель, функція переваги, виробнича система, напівфабрикат, накопичувач, динамічний пріоритет.*

METHOD OF ESTIMATING OF DYNAMIC PRIORITIES OF COMMODITIES IN THE DISCRETE MANUFACTURING

N.V. Rylova, I.G. Oksanych

The paper proposes a logical-mathematical model of the production process, which displays its dynamic and can be used in the design of structural elements of a simulation model of a multistage discrete manufacturing. The basic requirements for the preference function, which can be used to assess the priorities of products are formulated, preference function is synthesized, which takes into account a priori defined static priorities kinds of products, the current state of production and the results of forecasting the development of the manufacturing process.

Keywords: *model, preferences function, production system, semi-finished product storage, dynamic priority.*