

Степаненко В. Е., Фролов Д. Н.

**МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
ДИСКРЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ЦВЕТНЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ**

Степаненко В. Е., Фролов Д. Н.

V. E. Stepanenko, D. N. Frolov

**МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
ДИСКРЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ЦВЕТНЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ**

**AN AUTOMATED MANAGEMENT MODEL FOR THE PROCESS OF DISCRETE COM-
PONENT MANUFACTURING USING COLOURED PETRI NETS**



Степаненко Виктор Евгеньевич – специалист отдела внедрения и эксплуатации корпоративных систем ОАО «КНААПО» (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: vices@rambler.ru.

Mr. Victor E. Stepanenko – expert, Department of Customization and Support for Corporate Systems, JSC «KNAAPO». E-mail: vices@rambler.ru



Фролов Дмитрий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 89098986440. E-mail: frolov.dnn@mail.ru.

Mr. Dmitry N. Frolov – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-on-Amur State Technical University; phone: + 7 9098986440. E-mail: frolov.dnn@mail.ru

Аннотация. В статье приведена обобщенная модель автоматизированного управления процессом дискретного машиностроительного производства. Раскрыты и описаны основные компоненты этой модели: автоматизированная система управления предприятием класса ERP и процесс механообработки в авиастроительном производстве. Приведена реализация модели при помощи цветных сетей Петри на примере процесса производства клапана управления фонарем изделия авиационной техники, изготавливаемой на ОАО «КнААПО».

Summary. The paper provides a generalized model of automated management of the processes of discrete component manufacturing in machine-building. The key components of this model are identified and described, i.e.: an ERP-type factory automated system and machining processes in aircraft building. An example is provided of implementation of the model using colour Petri nets, as demonstrated by the process of manufacture of a lamp control valve of an aircraft produced at JSC «KNAAPO» is resulted.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления предприятием, цветные сети Петри, дискретное производство.

Key words: enterprise automation control systems, coloured Petri nets, discrete component manufacture.

УДК 519.876

Процесс дискретного машиностроительного производства можно разделить на следующие составляющие: транспортировка, обработка; контроль; задержка [1]. То есть, другими словами, дискретное машиностроительное производство есть последовательность действий направленных на изменение местоположения или физических характеристик некоего материального объекта (производственного ресурса) и превращения его в конечный продукт.

Стоит отметить, что изменение физических характеристик объекта происходит по заранее определенному правилу (технологии производства).

Тогда управление подобным процессом сводится к выработке воздействия, содержащего в себе информацию: о типе и количестве ресурса, который должен быть перемещен или обработан и поставлен на определенный буфер, а также сроке (дата и время), к которому требуется ресурс. При этом очень важно учесть состояние самого процесса (объекта управления – ОУ). Формирование подобного управляющего воздействия производится человеком или группой людей (лицом, принимающим решение – ЛПР) при помощи инструментария, заложенного в автоматизированную систему управления предприятием (АСУП). На рис. 1 представлена схема подобного автоматизированного управления. Пунктирной линией обозначены слабоформализуемые информационные потоки, предназначенные для анализа, который осуществляется ЛПР. Сплошной линией обозначаются формализованные информационные потоки, обработка и передача которых осуществляется по средствам информационных систем (ИС).

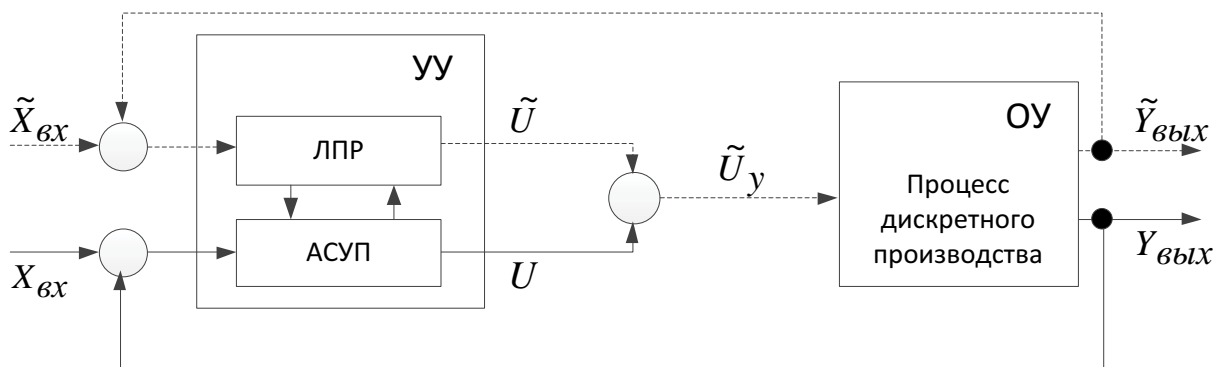


Рис. 1. Обобщенная схема автоматизированного управления производством

На рис. 1 изображены:

X_{vx} – вектор задающих воздействий, выраженных в виде набора четких детерминированных значений, способных обрабатываться при помощи АСУП;

\tilde{X}_{vx} – вектор задающих воздействий, выраженный в виде набора количественных, качественных и ассоциативных характеристик, в большинстве неопределенных и нечетких и не поддающихся обработке АСУП. Решение по управлению принимаются ЛПР.

\tilde{U}_y – вектор управляющих воздействий, $\tilde{U}_y = U \cup \tilde{U}$;

U – вектор заказов на закупку и производство, генерируемых и передаваемых в производство по средствам АСУП;

\tilde{U} – вектор управляющих воздействий, выраженный в виде набора количественных, качественных и ассоциативных характеристик, в большинстве неопределенных и нечетких и не поддающихся обработке АСУП;

Y_{vx} – выходной вектор, содержащий информацию о текущем состоянии объекта управления (ОУ), в виде набора четких детерминированных значений, способных обрабатываться при помощи АСУП;

\tilde{Y}_{vx} – выходной вектор, содержащий информацию о текущем состоянии объекта управления, выраженный в виде набора количественных, качественных и ассоциативных характеристик, в большинстве неопределенных и нечетких и не поддающихся обработке АСУП.

Рассмотрим более подробно структуру блока АСУП (см. рис. 2). Одно из основных назначение данного блока состоит в определении спроса (потребности) на материальные ре

сурсы, а также формирование управляющих воздействий для производства виде заказов на закупку и производство. Под заказом понимается кортеж, состоящий из трех компонент:

i – тип ресурса, который необходимо переместить или изготовить. $i \in I$ множеству всех закупаемых и изготавливаемых изделий на предприятии. Как правило, в АСУП имеется информация о большинстве элементов множества;

q – количество ресурса, которое необходимо переместить или изготовить (действительная величина);

t – срок, к которому необходимо изготовить или переместить ресурс.

Последовательность действий, направленная на формирование вектора $U = U_{жпс} \cup U_{мпс}$, состоит из трех действий.

Действие 1. На основе задающих воздействий, выраженных в виде вектора заказов покупателей $X_{вх} = (x_1^{вх}, x_2^{вх}, \dots, x_n^{вх})$, где $x_i^{вх} = (i_i, q_i)$, формируется график производства $D_{нс} = (d_1^{нс}, d_2^{нс}, \dots, d_n^{нс})$. Вектор выражает независимый спрос на продукцию предприятия, каждый компонент привязан к конкретному проекту (под проектом понимается набор работ, направленных на реализацию заказа покупателя) и имеет следующую структуру $d_i^{нс} = (i_i, q_i, t_i, c_i, p_i)$, где c_i – идентификатор проекта; p_i – идентификатор производственной программы.

Действие 2. На основе независимого спроса $D_{нс}$ формируется жестко привязанный спрос $D_{жпс} = (d_1^{жпс}, d_2^{жпс}, \dots, d_n^{жпс})$. Под жесткой привязкой ресурса к проекту понимается его принадлежность к конкретному производственному заказу покупателя (конкретное производственное задание). Жестко привязанный ресурс может быть использован только для выполнения работ, к которым он привязан (например, авиационные двигатели применяются только на определенные типы самолетов). В свою очередь, $d_i^{жпс} = (i_i, q_i, t_i, c_i, p_i, s_i)$, где s_i – серийный номер конечного изделия (машины).

Действие 3. На основе жестко привязанного спроса $D_{жпс}$ формируется мягко привязанный спрос. Мягкопривязанный ресурс может быть использован в большом количестве технологических процессов для разных продуктовых программ (например, стандартные болты, винты, шайбы). Также его называют анонимным.

Результатом 2-го и 3-го действий являются векторы управляющих воздействий $U^{жпс}$ и $U^{мпс}$. Как и остальные векторы, описанные выше, они состоят из жестко привязанных

$u_i^{жпс} = (i_i, q_i, t_i, c_i, p_i, s_i)$, мягкопривязанных заказов $u_i^{мпс} = (i_i, q_i, t_i)$ на закупку и производство ресурса. Характеризуя заказ на закупку или производство, можно сказать, что он несет в себе следующую информацию:

- уникальный идентификатор ресурса;
- тип ресурса (закупаемый или изготавливаемый);



Рис. 2. Структура блока АСУП

- количество ресурса;
- дата потребности ресурса;
- привязка ресурса к производственному процессу.

Теперь рассмотрим структуру самого ОУ, для примера возьмем процесс производства клапана управления фонарем на самолете Су-30 МКК (МК2), изготавливаемого на Комсомольском-на-Амуре авиационном производственном объединении (ОАО «КнААПО»). Для начала опишем место технологического процесса в общем процессе производства. На рис. 3 представлен фрагмент дерева состава изготавливаемого изделия, взятого из корпоративной системы BAAN IV A&D (указанное дерево не является представлением полного конструкторского состава, а лишь отражает иерархию работ, необходимую для планирования производства).

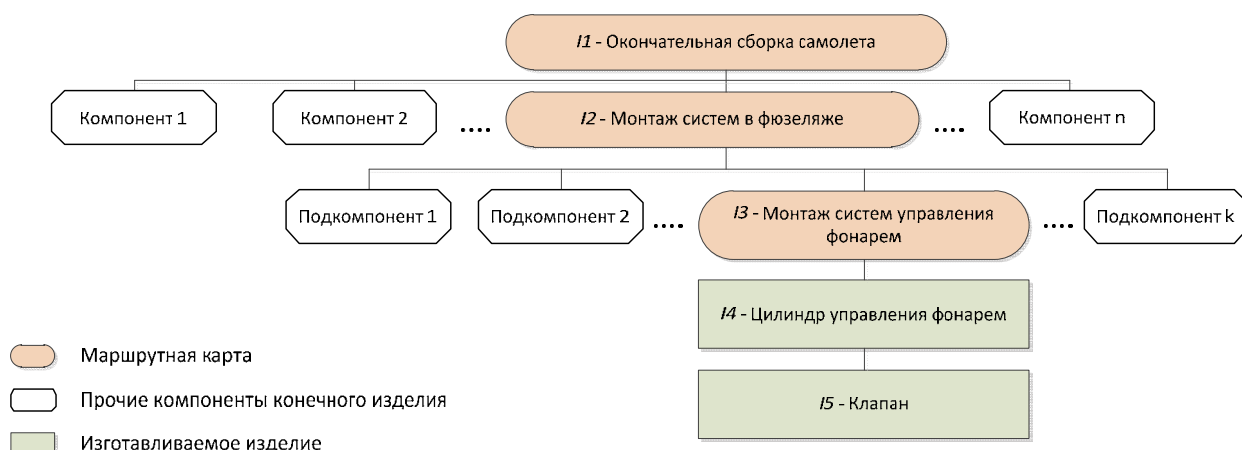


Рис. 3. Фрагмент дерева состава изделия Су-30 МКК (МК2)

На рис. 4 показан состав самого клапана. Из рисунка видно, что изделие изготавливается из 20 компонент (детали, стандартизированные детали, материалы), многие из которых в свою очередь имеют собственную подструктуру. Стоит отметить, что схемы, изображенные на рис. 3 – 4, построены на основе данных корпоративной ERP системы, поэтому структура изделий содержит дополнительные так называемые «фиктивные изделия», созданные для обеспечения корректной работы модуля, определяющего плановую потребность в закупаемом или изготавливаемом ресурсе.

Итак, описаны процесс производства и система, автоматизирующая управление этим процессом. Перейдем к описанию модели, способной формализовать производство и его управление. Для начала рассмотрим структуру модели сети Петри (см. рис. 5). Алгоритм получения такой структуры состоит в следующем. Обходя последовательно каждую из вершин графа состава изделия (см. рис. 4), необходимо:

1 Создать переход $t_i \in T$ сети Петри $i = \overline{1, n}$, где n – количество вершин графа состава изделия, T – множество всех переходов сети Петри. Созданный переход будет моделировать процесс изготовления или закупки (перемещения) закупаемого или изготавливаемого ресурса.

2 Создать (или определить) выходное место $p_i^{\bullet} \in P$ сети Петри $i = \overline{1, n}$, где P – множество всех мест сети Петри. Место моделирует буфер (склад), на который перемещается закупленный или изготовленный ресурс. Наличие маркера в p_i^{\bullet} будет моделировать состояние, когда ресурс изготовлен или перемещен и готов к употреблению в производство на следующей технологической или логистической операции.

3 Создать (или определить) входное место $\bullet p_i \in P$. Место моделирует буфер (склад), из которого необходимо потребить ресурс при срабатывании перехода. Наличие маркера

в p_i накладывает условие на срабатывание перехода (осуществление производственного процесса).

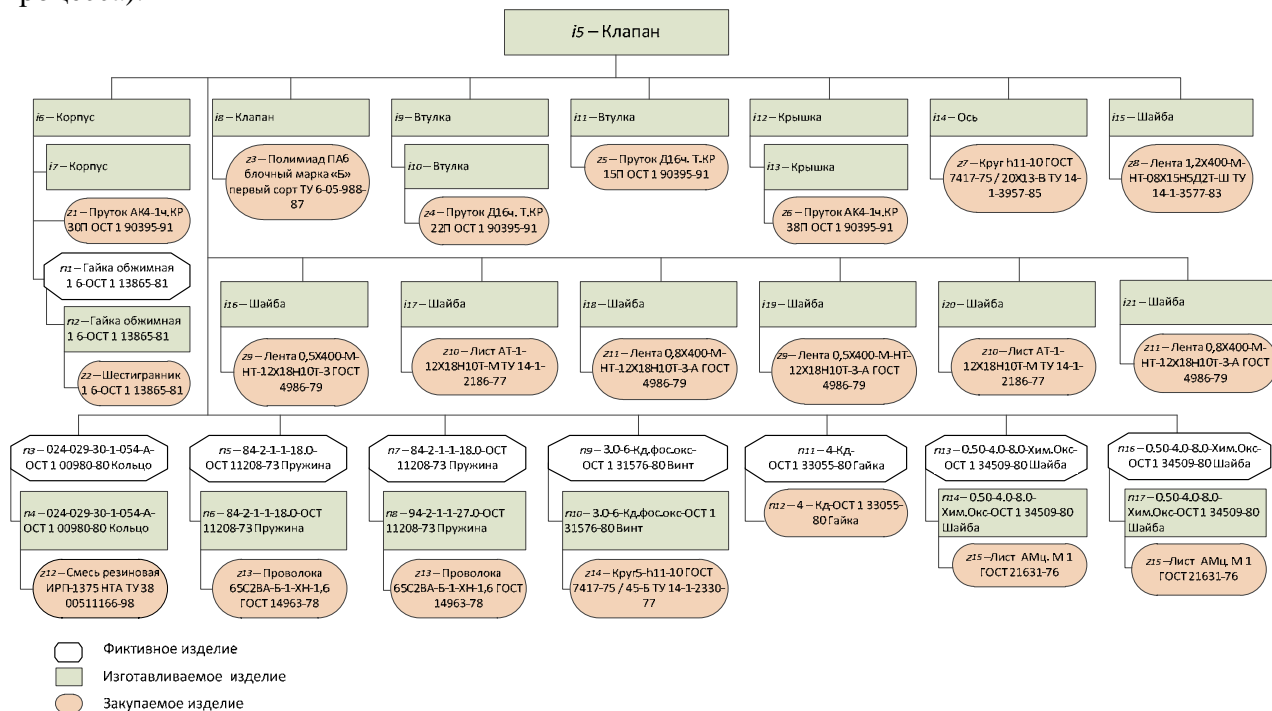


Рис. 4. Состав изготавливаемого изделия

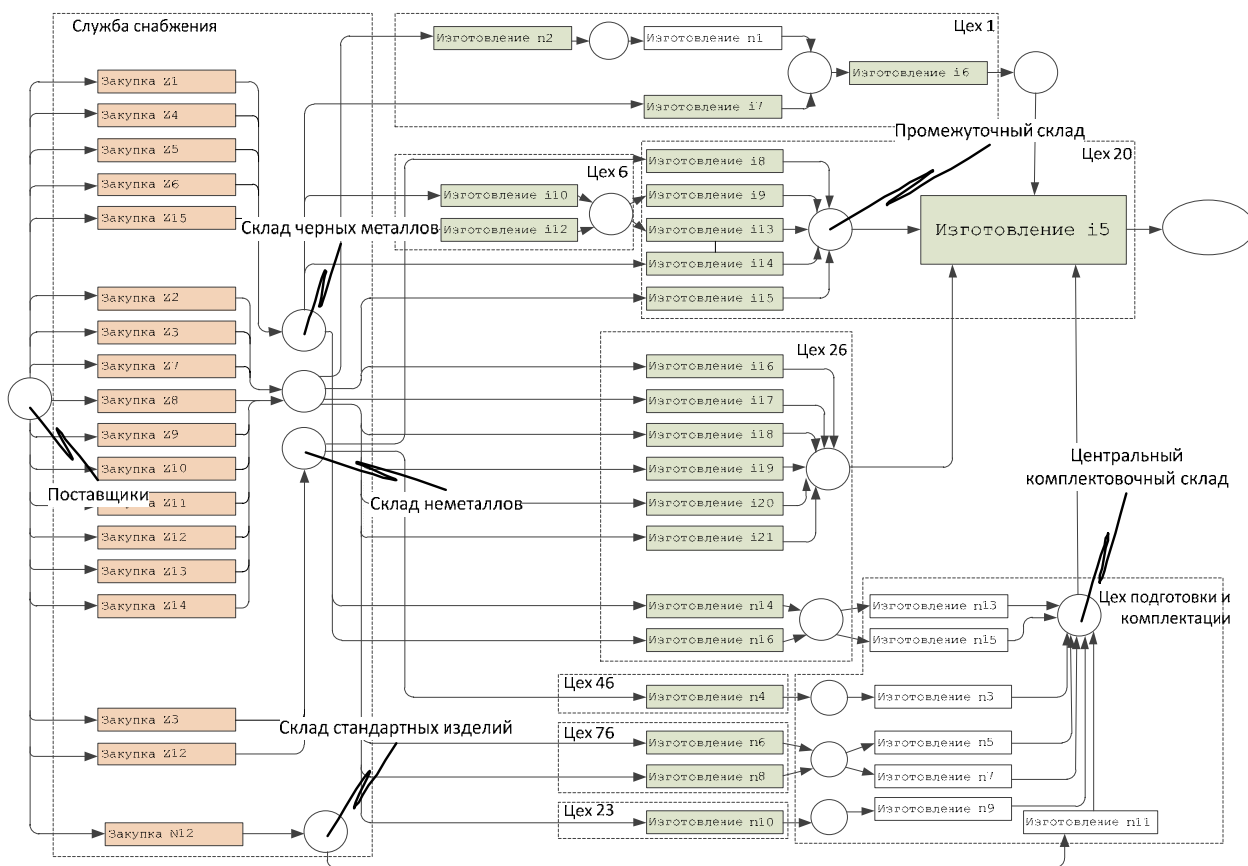


Рис. 5. Модель сети Петри процесса производства клапана управления фонарем



Рис. 6. Фрагмент сети Петри, моделирующий процессы, происходящие в АСУП при формировании управляющих воздействий

Теперь рассмотрим механизмы формирования управляющих воздействий в терминах сети Петри. На рис. 6 изображена структура сети, позволяющая смоделировать функционал АСУП, направленный на формирование управляющих воздействий. Позиции сети: p_1 – заказ от покупателя принят; p_2 – график производства сформирован; p_3 – жестко привязанный спрос на материальные ресурсы сформирован; p_4 – заказы на закупку и производство для жестко привязанных ресурсов сформированы; p_5 – заказы на закупку и производство для не жестко привязанных ресурсов сформированы. Переходы сети: t_1 – процесс составления графика производства; t_2 – процесс определения жестко привязанного спроса на материальные ресурсы, генерация заказов для жесткопривязанных ресурсов; t_3 – определение не жестко привязанного спроса на материальные ресурсы, генерация заказов для не жесткопривязанных ресурсов.

Обеспечение влияния управляющих воздействий на производственный процесс требует введения дополнительных элементов в структуру сети, изображенной на рис. 5. Например (см. рис. 7): t_4 – переход, моделирующий процессы передачи плановых заказов производственными подразделениям; p_6 – место, моделирующее дополнительное условие на срабатывание переходов, т.е. обеспечивающее дополнительное условие на выполнение технологического или логистического процесса. Другими словами, ни один из процессов на производстве не будет выполняться до тех пор, пока плановая служба не сформирует определенный заказ-задание.

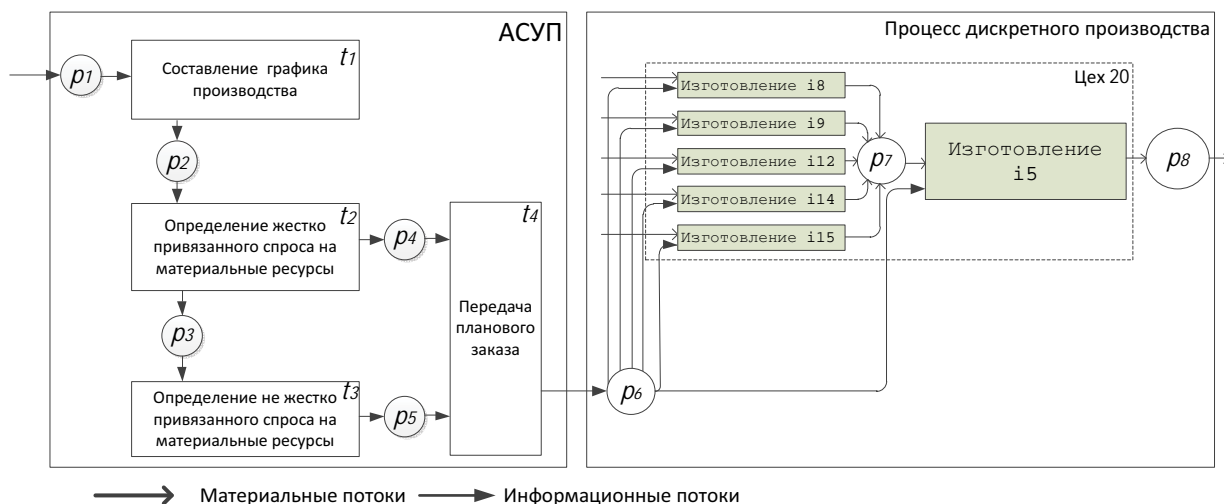


Рис. 7. Воздействие УУ на ОУ по средствам плановых заказов на закупку и производство

Передача заказа является командой к закупке или производству и фактически соответствует вектору управляющего воздействия. Пример элемента вектора U , моделирующего производственный заказ на изготовление клапана управления фонарем в количестве 2 шт. к 1 октября 2012 г., выглядит так: $u = ("i_5", 2, "01.10.2012")$. Реализация передачи подобной ин-

формации в описываемой модели происходит за счет механизмов цветных сетей Петри. Согласно [3], маркер ЦСП имеет некоторую информационную характеристику (цвет). В нашем случае с помощью подобных характеристик будет организована возможность учета количества и типа ресурса в процессе производства. Цветовые характеристики в модели ЦСП задаются при помощи следующих элементов: Σ , $C(P)$.

Σ – конечное множество непустых цветных наборов, в нашем случае имеет вид:

ITEM – текстовое значение, предназначенное для хранения номенклатурного номера ресурса;

QUAN – действительное значение, 15 символов до запятой 5 после, предназначено для хранения информации о количестве ресурса;

PROG – текстовое значение длиной 6 символов, предназначено для хранения информации о назначении ресурса (производственная программа);

CPRJ – текстовое значение длиной 6 символов, предназначено для хранения информации о назначении ресурса (производственный заказ);

ESEQ – текстовое значение длиной 6 символов, предназначено для хранения информации о назначении ресурса (серийный номер машины);

STOCK – кортеж из 2 элементов, который имеет вид (ITEM, QUAN), предназначен для хранения информации об анонимном запасе (запас не привязан к конкретному производственному заданию);

STOCK_PROG – кортеж из 5 элементов, который имеет вид (ITEM, QUAN, PROG, CPRJ, ESEQ), предназначен для хранения информации о запасе, имеющем жесткую привязку к производственному заданию.

$C(p)$ – функция набора цветов, которая назначает на каждое из мест свой набор цветов. После определения данной функции каждое место сети получает один из двух цветов STOCK или STOCK_PROG. То есть каждое из мест может моделировать наличие либо анонимного, либо жестко-привязанного ресурса.

Для обеспечения учета временной характеристики в модели предлагается использовать механизм, предложенный в источнике [2]. Для учета времени предлагается:

– для каждого перехода t_i ЦСП ввести определенную величину, характеризующую время выполнения процесса (технологического или логистического);

– для маркера, моделирующего движение ресурса, ввести переменную величину, способную накапливать время, затраченное на срабатывание каждого перехода, имеющего временную характеристику;

– в случае, если для перехода t_i во входных позициях имеются маркеры, имеющие разные временные характеристики, то маркер, помещающийся в выходную позицию, получает значение наибольшей временной характеристики.

Описанная выше модель показывает, как на основе методологии ЦСП, изложенной в источнике [2], можно описать процесс дискретного производства, а также механизмы управления движением материальных ресурсов при помощи АСУП. Подобная модель способна оказать значительную информационную поддержку лицу, принимающему решение, и лечь в основу инструмента имитационного моделирования процессов дискретного машиностроительного производства.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Степаненко, В. Е. Метод имитационного моделирования организации производственных процессов с использованием расширенных сетей Петри / В. Е. Степаненко, Д. Н. Фролов, Б. Н. Марьин // Ученые записки КнАГТУ. – 2011. – №III-1(7). – 71-78 с.
- 2 Kurt Jensen, Lars M. Kristensen; Coloured Petri Nets Modelling and Validation of Concurrent Systems; Springer; 2009. – 384 с.