

# ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ КОНВЕЙЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ РЕКУРСИВНОГО ТИПА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

УДК 519.71

**Борис Васильевич Куприянов,**  
Институт проблем управления РАН,  
н.с., к.т.н.  
Тел.: 8 (903) 626-86-25,  
8 (495) 334-89-70  
Эл.почта: kuprianovb@mail.ru

В статье рассматриваются примеры применения модели конвейерных процессов на базе рекурсивных функций для описания практических процессов в промышленности, транспорте и вычислительных системах. Показано как использование данных моделей позволяет вычислять расписание процесса и решать некоторые характерные задачи.

**Ключевые слова:** конвейерный процесс, теория расписаний, планирование производства, моделирование дискретных процессов.

**Boris V. Kuprianov,**  
Research associate,  
PhD in Technical Sciences  
Institute of Control Sciences Russian  
Academy of Sciences  
Tel.: 8 (903) 626-86-25, 8 (495) 334-89-70  
E-mail: kuprianovb@mail.ru

## APPLICATION OF MODEL OF CONVEYOR PROCESSES OF RECURSIVE TYPE FOR THE SOLUTION OF APPLIED TASKS

The article reviews examples of application of model of conveyor processes based on recursive functions for the description of practical processes in the industry, transport and computing systems. It is shown how the use of these models allows to calculate the schedule of process and to solve some characteristic problems.

**Keywords:** conveyor process, theory of schedules, production planning, modeling of discrete processes.

### 1. Введение

Широкое распространение серийного, массового и поточного производства было обеспечено, наряду с прочим, развитием теории конвейерных процессов. Структура такого процесса проста и описывается параллельно-последовательной схемой [1–3].



Рис. 1. Пример параллельно-последовательной схемы

На рис. 1 представлен пример такой схемы. Ступени такого конвейера выполняются последовательно, а операции одной ступени параллельно. Теория, на основе параллельно-последовательной схемы, позволяет аналитически вычислять основные характеристики конвейерного процесса и составлять расписание процесса. Модели конвейерных процессов, в той или иной модификации, широко используются для решения различных прикладных задач. Конвейерные процессы существуют не только в производстве, но и в вычислительных процессах [4–6]. В настоящее время теория составления производственных расписаний воплощается в таких информационных системах как ERP – системы управления предприятием, MES – системы управления производственными процессами и APS – системы составления производственных расписаний. Данные системы являются коммерческими и разработчики не раскрывают заложенные в них алгоритмы, но исходя из существующей в них постановки задачи, использование теории конвейерных процессов наряду с прочими представляется очевидным. Более сложные дискретные процессы, не укладывающиеся в эту модель, описываются различными системами имитационного моделирования дискретных процессов. К таким системам относятся сети Петри, система моделирования GPSS и т.п. Первым недостатком такого подхода к моделированию является высокая временная сложность вычисления характеристик процесса. Например, поиск операции, определяющей характеристику процесса (узкое место), вычисляется за время пропорциональное  $o(n^2)$ , где  $n$  количество операций процесса. Вторым недостатком является невозможность экстраполировать полученные результаты моделирования за границы интервала моделирования. Третьим недостатком является тот факт, что имитационные модели значительно сужают возможности применения формальных преобразований, направленных на улучшение характеристик процесса. Наконец, в настоящее время существует тенденция связывания моделей бизнес-процессов с числовыми моделями тех же процессов. Примером может служить метод ABC, применяемый для вычисления себестоимости в методологиях SADT и ARIS. В случае имитационного моделирования это требует дополнительного программирования процесса. При более формальном описании процесса существует возможность автоматическо-



Рис. 2. Диаграмма вложенности множества процессов.

го преобразования модели бизнес процесса в числовую модель. Перечисленные причины мотивируют расширение формализованного класса процессов. В [7–10] описаны конвейерные процессы, определяемые рекурсивными функциями. Это множество процессов существенно шире множества классических конвейерных процессов. Диаграмма включенности множества дискретных процессов, описываемых тремя перечисленными способами, показана на рис. 2. Конвейерный процесс описывается расписанием выполнения операций, в котором время завершения каждой операции вычисляется с помощью рекурсивной функции вида

$$f_k^n = R(f_{k-1}^n, f_k^p, \dots, f_k^q, t_n),$$

где  $n$  – номер операции конвейера,  
 $k$  – номер выполняемого цикла,  
 $t_n$  – время выполнения операции с номером  $n$ ,  
 $f_k^n$  – время завершения выполнения операции  $n$  на  $k$ -м цикле,  
 $p \dots q$  – номера операций непосредственно предшествующих операции с номером  $n$ ,  
 $R$  – некоторая рекурсивная функция.

Статья посвящена применению предложенной модели конвейерного процесса для описания некоторых прикладных процессов и демонстрации новых возможностей, предоставляемых данным видом моделей.

## 2. Описание языка конвейерных процессов

Модель конвейерного процесса представляет собой ациклический

ориентированный граф, в котором вершины ассоциируются с исполняемыми операциями или спусковыми функциями, определяющими порядок выполнения операций, а дуги определяют отношения предшествования.

В данном разделе кратко опишем основные элементы диаграммы конвейера.

### 2.1. Операция и линейный конвейер

Исполнимая операция графически обозначается следующим образом



*Имя* – есть уникальное имя операции, а  $d$ -константа, определяющая продолжительность выполнения операции во времени. Наглядно продемонстрировать функционирование конвейера можно с помощью временных диаграмм. Рассмотрим пример временной диаграммы для конвейера из двух операций.

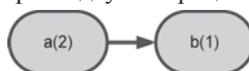


Диаграмма представляет собой систему координат, см. Рис. 3, в которой по оси абсцисс отложены номера циклов выполнения операций конвейера, а по оси ординат время в некоторой системе счисления. Циклы нумеруются с нуля. Для каждого номера цикла определено время начала и конца выполнения каждой операции конвейера. Это время определяется вертикальной стрелкой помеченной именем операции и направленной от начала к концу времени выполнения операции. Начало

стрелки соответствует началу выполнения операции, а конец времени окончания операции. Например, начало выполнения операции  $b$  на нулевом цикле равно 2, а окончание 3; соответственно для операции  $a$  на 2-м цикле это пара 4 и 6.

*Интервалом конвейера* на  $i$ -м цикле является разница времен окончания выполнения завершающей операции конвейера на  $i-1$  и  $i$ -м цикле. Для диаграммы на Рис. 3 интервал конвейера равен 2 на всех циклах.

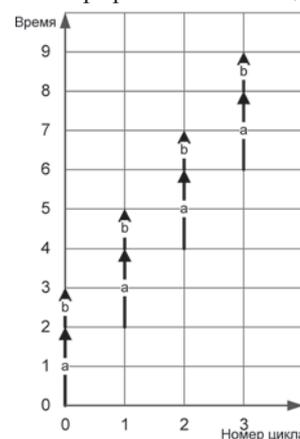


Рис. 3. Временная диаграмма конвейерного процесса

Линейный конвейер обозначается графическим объектом



Где *Имя* – есть уникальное имя операции,  $f0$  – продолжительность выполнения во времени операции первый раз (нулевой цикл), а  $d$ -константа, определяющая продолжительность выполнения операции в последующих циклах.

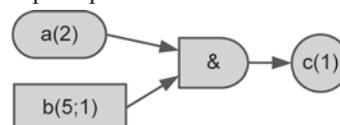
### 2.2. Функция AND

Спусковая функция AND обозначается как



и интерпретируется следующим образом: выполнение следующей за ней операции начинается после того как завершится выполнение двух предшествующих ей операций.

Пример.



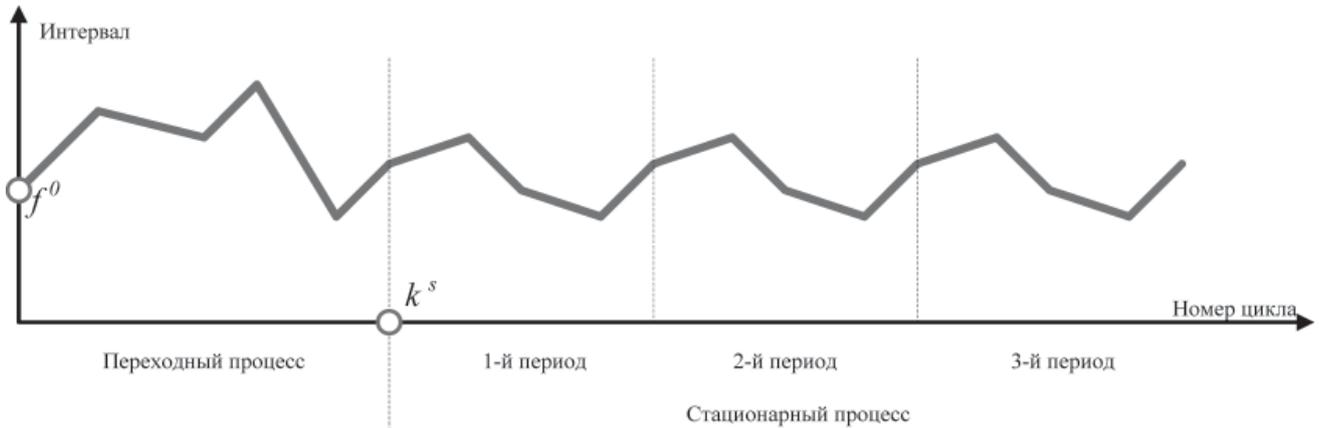
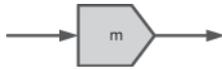


Рис. 4. Общий вид графика изменения интервала конвейерного процесса

2.3. *Функция мультиплицирования операций*

Обозначается как



и определяет, что после выполнения предшествующей ей операции последующая операция выполняется  $m$  раз.

2.4. *Функция редуцирования операций*

Обозначается как



и определяет, что последующая операция начинает выполняться после того как  $m$  раз выполнится предшествующая ей операция.

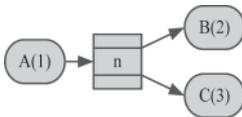
2.5. *Функция раздачи*

Обозначается как



Данная функция имитирует процесс «раздачи».

Пример.



обозначает, следующую последовательность выполнения операций: A, B, A, C, A, B, A, C, A, ..., т.е. операция A после каждого своего выполнения запускает выполнение то операции B, то операции C.

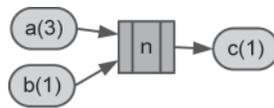
2.6. *Функция приема*

Обозначается как



Данная функция является обратной по отношению к предыдущей и

имитирует процесс «приема». Пример.



обозначает, следующую последовательность выполнения операций: a, c, b, c, a, c, b, c, a, ..., т.е. операция с запускается на выполнение то после завершения выполнения операции a, то операции b.

Приведенные конструкции позволяют описывать процессы, которые являются по своей сути конвейерными процессами. Для данного класса конвейерных процессов показано, что в общем случае интервал конвейера изменяется следующим образом как показано на рис. 4. Конвейерный процесс в общем случае сначала находится в переходном процессе, а потом переходит в стационарный. Стационарный процесс в общем случае представляет собой колебательный процесс, т.е. описывается периодической функцией. Любой конвейер может быть преобразован в конвейер, у которого нет переходного процесса, и в стационарном процессе отсутствуют колебания. Однако это достигается, как правило, за счет ухудшения временных характеристик конвейера.

Для описываемых с помощью данных средств процессов возможно вычисление следующих характеристик

$$(f^0, k^s, f^s, \Omega, D)$$

где  $f^0$  – время завершения нулевого цикла конвейера;

$k^s$  – номер цикла, с которого начинается стационарный процесс;

$f^s$  – время начала стационарного процесса;

$\Omega$  – частота колебаний интервала конвейера в стационарном режиме;

$D$  – амплитуда изменения интервала конвейера в стационарном режиме.

Вычисление характеристик осуществляется за время  $O(n)$ , где  $n$  – количество объектов диаграммы модели.

3. *Описания конвейерных процессов*

В данном разделе будут приведены модели процессов из различных сфер деятельности. Это примеры процессов, которые по своей сути являются конвейерными, но не описываются с помощью традиционной схемы.

3.1. *Технологический конвейерный процесс*

Рассмотрим конвейерный процесс производства подарочных коробок шоколадных конфет. Процесс упрощен настолько, чтобы передать суть, интересующих нас проблем, не загружая несущественными операциями. Суть производства состоит в том, что берется плиточный порционный шоколад. Из него отливаются фигурная конфета, которая заворачивается в фантик и упаковывается в подарочную коробку.

Исходные данные процесса следующие:

В одном коробе (большая коробка) для фантиков содержится  $n_1 = 300$  фантиков;

В одном коробе шоколада содержится  $n2 = 50$  шоколадных плит;

В одном коробе для подарочных коробок содержится  $n3 = 100$  подарочных коробок;

В одной подарочной коробке укладывается  $n4 = 12$  шоколадок в форме сердца.

Производственный конвейер из 11-ти операций представлен на рис. 5.

В этой модели операция 1 «Получить короб фантиков» выполняется и после нее операция 2 «Достать фантик» выполняется 300 раз. Лишь после этого снова выполняется операция 1. Аналогично с операциями 4 «Получить короб шоколада» и 5 «Достать плитку», а так же с операциями 7 «Получить короб подарочных коробок» и 8 «Достать коробку». С операциями 9 «Положить конфету в коробку» и 10 «Закрыть коробку» ситуация обратная. Сначала 12 раз должна выполняться в конвейерном режиме операция 9 и только потом операция 10. В данном случае функции мультиплицирования и редуцирования операций являются существенной частью модели процесса. Попытка исключения их из модели приведет к невозможности описать процесс адекватно.

Опишем временную диаграмму процесса для некоторых условных значений характеристик конвейера  $n1 = 3, n2 = 2, n3 = 2, n4 = 2$ .

Времена выполнения операций (в условной единице измерения) приведены в таблице.

На рис. 6 представлена временная диаграмма двух циклов работы конвейера. Здесь одно деление по оси времени равно единице времени выполнения операций.

Временная диаграмма особенно наглядно показывает, что описать процесс с таким расписанием выполнения операций с помощью классических схем конвейерных процессов нельзя.

Рассмотрим еще один технологический процесс – фрагмент производства напитков. Со склада выдают палеты с пустыми бутылками, палеты с пробками, коробки с этикетками и палеты пустых коробов для готового изделия. Из палет извлекаются коробки, а из коробок

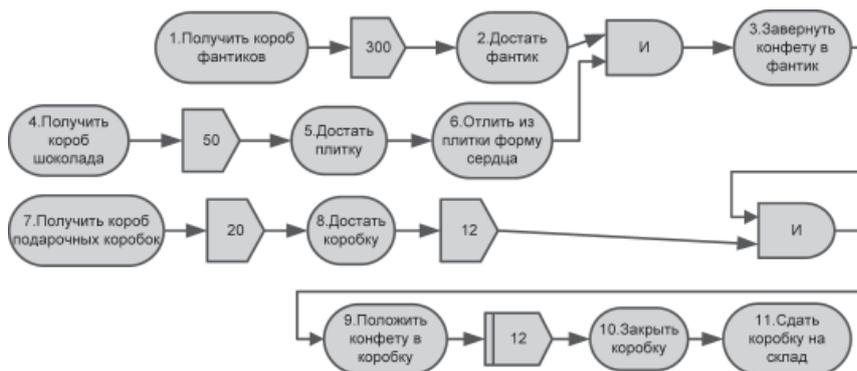


Рис. 5. Модель конвейерного производства конфет

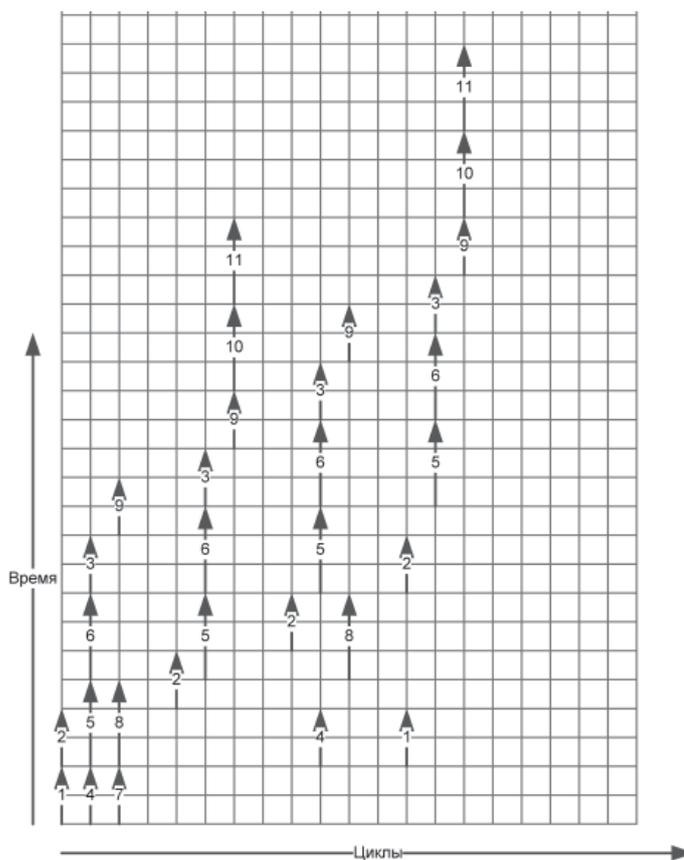


Рис. 6. Временная диаграмма работы конвейера производства конфет

Таблица

№ операции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Время выполнения	2	2	2	2	3	3	2	3	2	3	3

извлекаются бутылки, пробки и этикетки. После заливки напитка, закручивания пробки и приклеивания этикетки бутылка помещается в тарную коробку, которая после наполнения ставится на палет. После полной загрузки палета он отвозится на склад готовой продукции.

Количество коробок на палетах и количества изделий в коробках

для разных наименований компонент (бутылка, пробка, этикетка) разное. Будем считать, что времена подачи палет с различными компонентами тоже разные.

Определим следующие константы:

$n1$  – количество коробок с бутылками на палете;

$n2$  – количество бутылок в коробке;

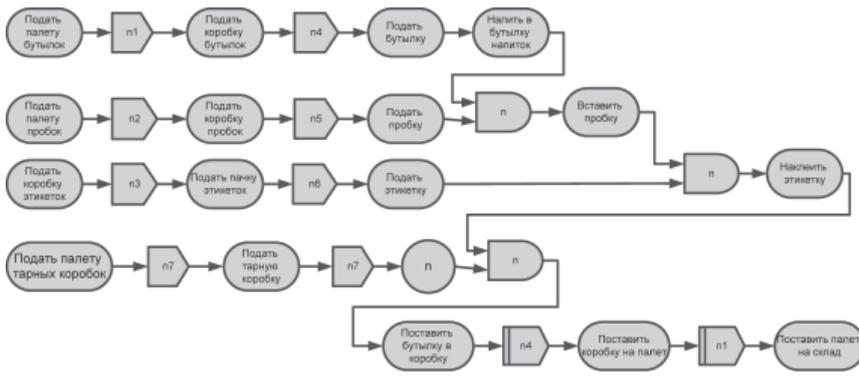


Рис. 7. Модель конвейерного процесса производства напитков

$n3$  – количество коробок с пробками на палете;  
 $n4$  – количество пробок в коробке;  
 $n5$  – количество этикеток в коробке;  
 $n6$  – количество пустых тарных коробок на палете.

Диаграмму модели можно описать следующим образом, см. рис. 7. В обоих случаях возможно вычисление себестоимости производства партии продукции. В [11] предлагается метод вычисления.

### 3.2. Расписание полетов самолетов аэропорта

Следующей важной сферой приложения конвейерной модели является составление расписаний. В классической теории расписаний это является оптимизационной задачей, т.е. ставится задача составления хорошего расписания, выполнения некоторого набора операций. В данном случае предлагается другой подход. Описать выполнение операций как «хороший» процесс и потом вычислить расписание выполнения операций этого процесса. В данном случае под хорошим процессом подразумевается конвейерный процесс. В качестве примера такого подхода к составлению расписания вылетов самолетов из аэропорта. Для этого рассмотрим функционирование подразделений аэропорта как конвейерный процесс, в котором присутствует цикличность выполнения операций (оформление пассажиров, обслуживание самолетов, погрузки, посадки пассажиров, взлеты и посадки самолетов) в

конвейерном режиме. Временными рамками для такого процесса является расписание рейсов, которое само имеет циклическую природу (например, ежедневный рейс в 16-00). Для каждого рейса цикл может быть суточным, недельным или месячным в зависимости от необходимости или мощности и загруженности аэропорта.

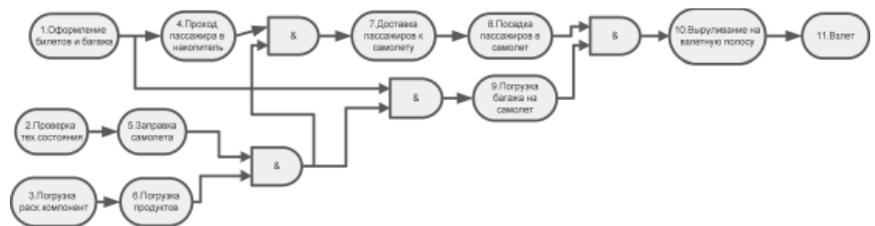


Рис. 8. Процесс реализации этапа работы аэропорта от регистрации пассажиров до взлета самолета

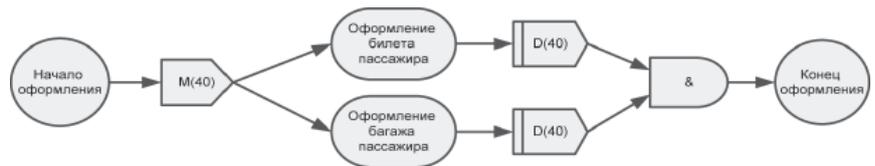


Рис. 9. Фрагмент модели оформления пассажиров

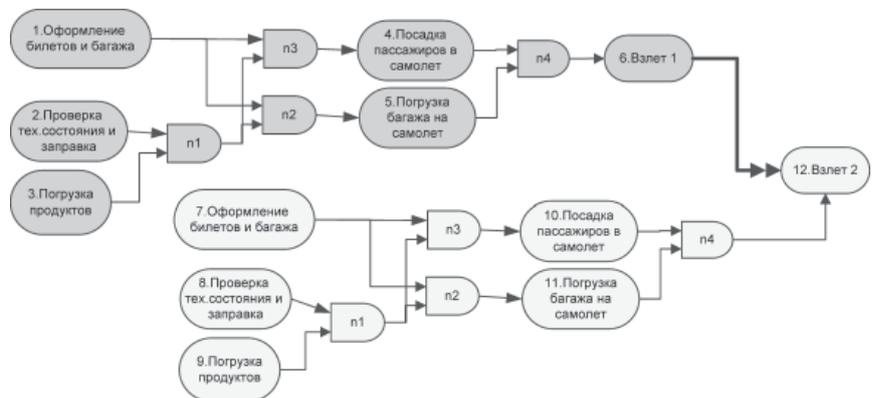


Рис. 10. Модель процесса для двух типов самолетов

Для наглядности рассмотрим упрощенную модель (см. рис. 8) конвейерного процесса, содержащего операции по организации и обеспечению полета. В модели операция «взлет» (как и все остальные операции) осуществляется циклически через некоторые промежутки времени, которые могут быть вычислены.

Каждая операция выполняется в конвейерном режиме и следовательно характеризуется некоторым интервалом выполнения, который и определяет расписание данной операции. Интервал операции «взлет» определяет расписание вылетов самолета.

В данной модели оформление билетов пассажиров и их багажа рассматривается как одна операция. Однако, если хронометраж ведется на уровне оформления одного пассажира, то эта часть модели может выглядеть так как показано на рис. 9.

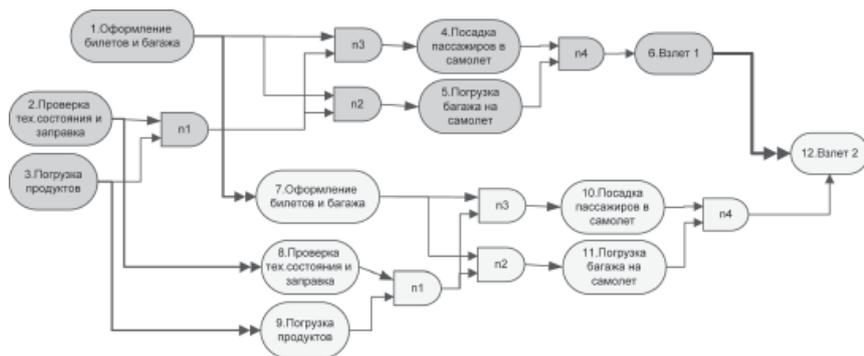


Рис. 11. Модель процесса с использованием общих ресурсов

Здесь спусковая функция  $M(40)$  говорит о том что последующие операции должны выполняться 40 раз (допустим это количество пассажиров ЯК-40), в свою очередь функция  $D(40)$  запускает выполнение последующих за ней операций после того как 40 раз выполнится предшествующая ей операция.

Приведенная на рис. 8 модель описывает процесс с одним самолетом. В реальности аэропорт обслуживает множество самолетов разных типов и это выражается в разных временах выполнения операций (например, из-за разного количества пассажиров). Модель (в еще более упрощенном виде, чтобы не загромождать суть), описывающая процесс для двух типов самолетов приведена на Рис. 10. В этой модели операции «1. Оформление билетов и багажа» и «7. Оформление билетов и багажа» выполняются независимо, что возможно в том случае, когда каждая из них имеет собственный исполнительный механизм или ресурс (оформителя билетов, весы для багажа и т.п.). Операции «Взлет 1» и «Взлет 2» соединены стрелкой  $\longrightarrow$ . Это связано с тем, что они используют общий ресурс – взлетную полосу. Если операции 1 и 7, 2 и 8, 3 и 9 попарно используют общий ресурс, то модель процесса может выглядеть так, как это представлено на рис. 11.

В данной модели операции «1. Оформление билетов и багажа» и «7. Оформление билетов и багажа» связаны отношением предшествования вида  $\longrightarrow$ . Чтобы понять, как реализуется в конвейерной модели использование общих ресурсов, рассмотрим временные диа-

граммы процессов. Если операции  $a$  (время выполнения равно 2) и  $b$  (время выполнения равно 1) независимы друг от друга и их выполнение начинается одновременно, то временная диаграмма их конвейерного выполнения будет выглядеть как представлено на рис. 12.

Если операции  $a$  и  $b$  связаны отношением предшествования вида



то временная диаграмма конвейерного процесса будет выглядеть так, как представлено на Рис. 13.

По временной диаграмме видно, что как только завершает выполнение операция  $a$ , начинается выполнение операции  $b$  и наоборот. Это соответствует варианту, когда операции пользуются общим ресурсом.

Предлагаемая модель конвейерного процесса может вычислять несколько важных характеристик процесса, но нас в данном случае интересуют две. Основной вычисляемой характеристикой конвейерного процесса является интервал  $d$  выполнения операции – отрезок времени между моментами завершения выполнения операции в двух соседних циклах (см., например, интервал выполнения операции  $a$  на Рис. 12 и Рис. 13). В общем случае интервал изменяется во времени. Чтобы он был постоянным необходимо соответствующим образом балансировать конвейер. В нашем случае интервал определяет периодичность рейса, например 24 часа, если рейс ежедневный.

Второй вычисляемой характеристикой процесса является время окончания выполнения операции в первом цикле  $f_0$ . При построении

расписания  $f_0$  определяет время начала операции (например «взлет» в 16-00).

Модель конвейерного процесса представляет собой ациклический граф с заключительной операцией в единственной вершине, а каждой операции соответствует предшествующий ей подконвейер. Это свойство позволяет вычислять характеристики только интересующих нас операций, например операции «взлет». Выстроив конвейер с требуемыми характеристиками по этой операции, получим характеристики операций, входящих в определяе-

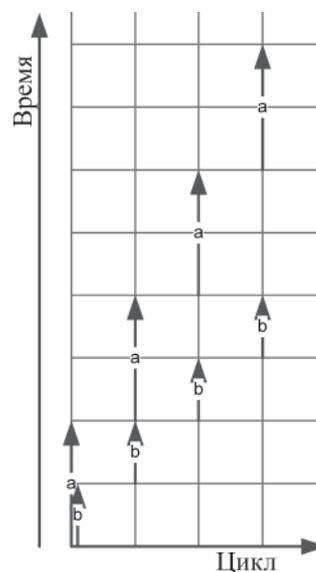


Рис. 12. Временная диаграмма выполнения операций  $a$  и  $b$ .

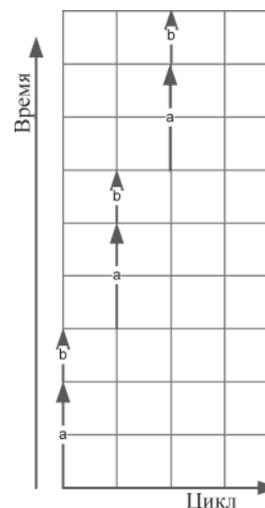


Рис. 13. Временная диаграмма выполнения операций  $a$  и  $b$  связанных отношением

мой операцией «взлет» конвейер, например время начала оформления билетов и багажа. Настраивать конвейерный процесс под желаемое расписание можно, манипулируя следующими возможностями: перестановка операций или изменение их отношений предшествования; искусственное увеличение времени выполнения операции или введение фиктивной операции, например «стоянка» или «ожидание».

### 3.3. Вычислительный конвейерный процесс

Большой класс сложных конвейерных процессов представляют вычислительные конвейерные процессы. Обработка больших объемов данных и обработка данных в реальном времени приводит к необходимости использования специализированных высокопроизводительных вычислительных систем, из которых распространены конвейерные процессоры. Это специализированные вычислители и пользователю приходится организовывать свой вычислительный процесс под структуру вычислителя. Однако нередко структура вычислительного процесса осуществляется на базе составного оборудования и конвейеризация вычислений не столь очевидна, но она присутствует. Рассмотрим пример. Процесс реального времени с жесткими временными требованиями существует в системе управления полетом летательного аппарата. Примером является система управления самолета. В процессе полета осуществляется обработка координат, скоростей и сравнение с заданным маршрутом. Наиболее сложная система управления полетом в космических летательных аппаратах. Блок-схема такой системы [12] приведена на рис. 14. Детальное рассмотрение такого процесса очень громоздкая задача, поэтому мы продемонстрируем использование системы моделирования на упрощенном примере.

Допустим, что существует некая система управления полетом, в составе которой существует система измерения в реальном времени расстояния до цели. Это значит, что

с датчиков координат с некоторой дискретностью считываются аналоговые данные  $(x, y, z)$ . Эти данные с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) преобразуются в цифровое представление. Далее учитывая, что координаты цели есть  $(x_0, y_0, z_0)$  на совокупности устройств вычисляется формула  $\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2}$ , значение которой и определяет расстояние до цели.

Примером схемы, которая вычисляет данное значение, может быть приведенная на рис. 15.

Прямоугольники, обозначенные  $x, y, z$  представляют собой датчи-

ки, выдающие на каждом такте текущую координату. Прямоугольники  $x_0, y_0, z_0$  являются ячейками памяти, в которых хранятся координаты цели. Прямоугольники, в которых содержатся выражения, являются процессорами, вычисляющими значения в соответствии с данными формулами. АЦП – аналогово-цифровой преобразователь. Все компоненты соединены двумя общими шинами. Данная система периодически выдает значение расстояния до цели. Одна из задач проектирования такой системы состоит в расчете величины этого периода.

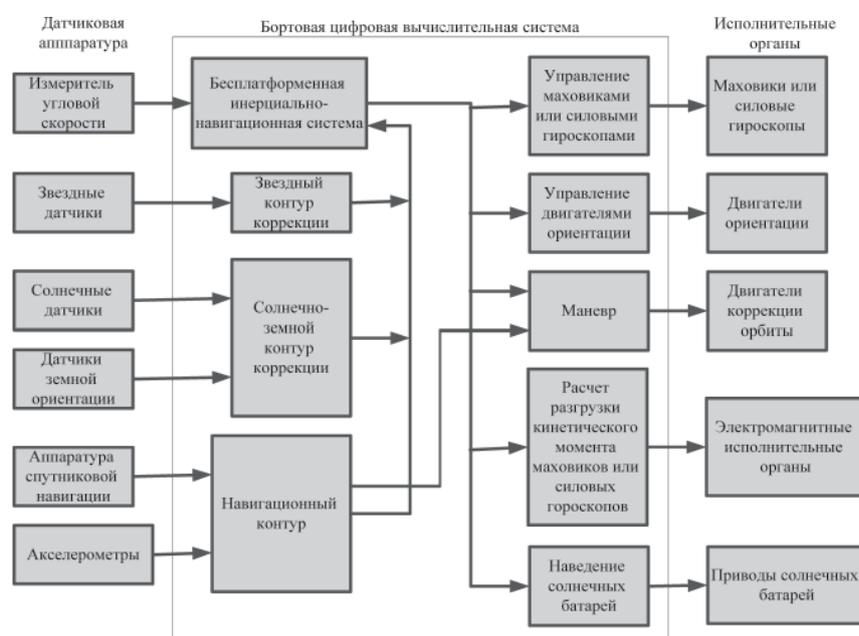


Рис. 14. Блок-схема системы управления движением и навигацией автоматического космического аппарата

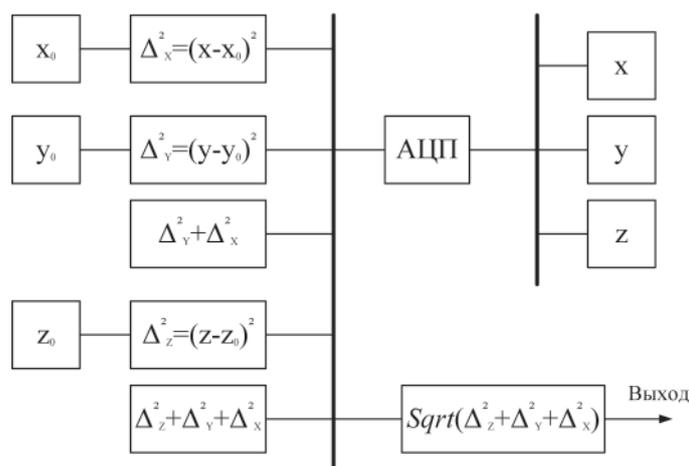


Рис. 15. Схема вычислителя расстояния до цели

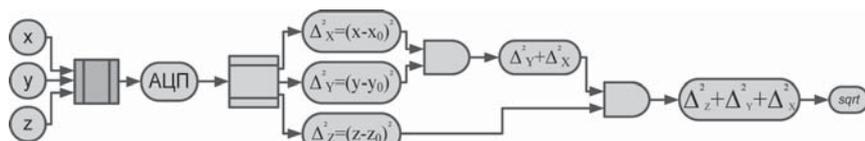


Рис. 16. Модель конвейерного процесса вычисления расстояния

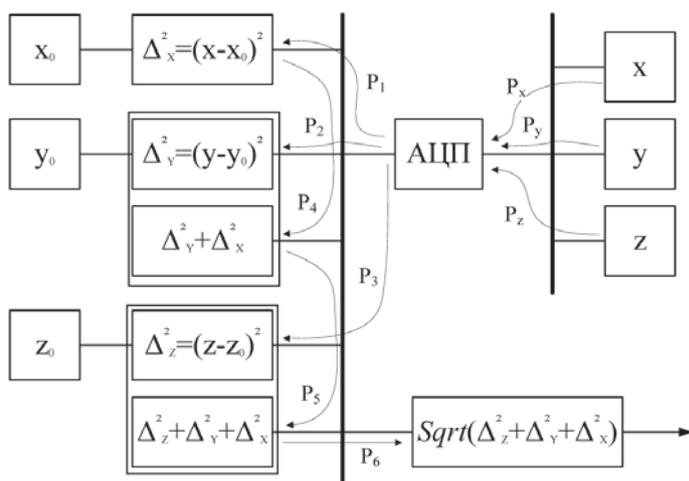


Рис. 17. Схема вычислителя расстояния до цели с объединением компонент и обозначением передачи данных

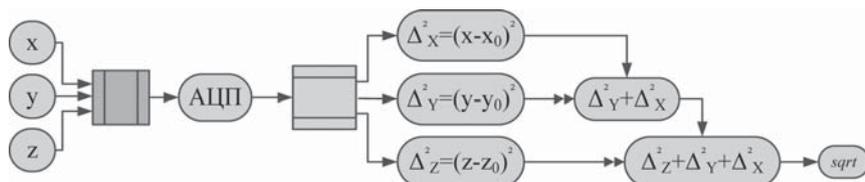


Рис. 18. Модель конвейерного процесса вычисления расстояния с использованием общих ресурсов

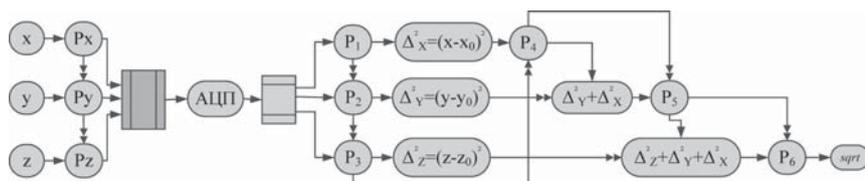


Рис. 19. Модель конвейерного процесса вычисления расстояния с учетом передачи данных по общим шинам

Данный вычислительный процесс можно организовать как конвейерный и интервал такого конвейера будет периодом вычисления значения расстояния. На рис. 16 представлена модель такого конвейерного процесса.

В данной модели каждая операция имеет фиксированное время выполнения. Вычисление характеристик данного процесса позволит вычислить требуемый интервал. На практике количество компонент может быть меньше и различные

вычисления могут выполняться на одном устройстве. Так на рис. 17 показано с помощью охватывающего прямоугольника, что пары вычислений выполняются на одном компоненте схемы.

Другими словами, вычисления двух формул происходят с использованием общего ресурса. Отражение данного факта в модели процесса показано на рис. 18.

Для данной схемы реализации вычислений важным фактором является использование общих шин

для передачи данных. В данном случае используются две шины. Рассмотренные ранее модели процессов справедливы в том случае, когда время передачи данных по шине равно нулю. Если это не так и время передачи сопоставимо с временем вычислений то необходимо учитывать этот фактор. На рис. 17 показаны стрелки передачи данных, помеченные как  $P_x, P_y, P_z$ , использующие одну шину как ресурс и  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ , использующие вторую шину. В этом случае модель вычислительного процесса может выглядеть следующим образом, как представлено на рис. 19, *Sqrt* обозначает вычисление корня квадратного. В данной модели введены операции пересылки, использующие общий ресурс – шину.

Для более полной иллюстрации последнего процесса рассмотрим его временную диаграмму, представленную на рис. 20.

Использованы следующие обозначения:

- A – АЦП;
- $dx$  – вычисление  $(x - x_0)^2$ ;
- $dy$  – вычисление  $(y - y_0)^2$ ;
- $dz$  – вычисление  $(z - z_0)^2$ ;
- $xu$  – вычисление  $(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2$ ;
- $xz$  – вычисление  $(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2$ ;
- $s$  – вычисление  $\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}$ .

Остальные обозначения понятны из схемы. На временной диаграмме отражены 3 цикла работы конвейера. Каждый цикл завершается выполнением операции  $s$ .

Из временной диаграммы видно, что времена выполнения операций, использующих общий ресурс, не пересекаются. Вычисление расписаний выполнения операций  $P_x, P_y, P_z$  позволяет оценить загрузженность шин.

### Заключение

На рассмотренных примерах процессов видно, что предлагаемая система моделирования конвейерных процессов расширяет возможности численного моделирования. Использование данной системы окажется полезным: при проектировании сложных дискретных процессов имеющих конвейерную при-

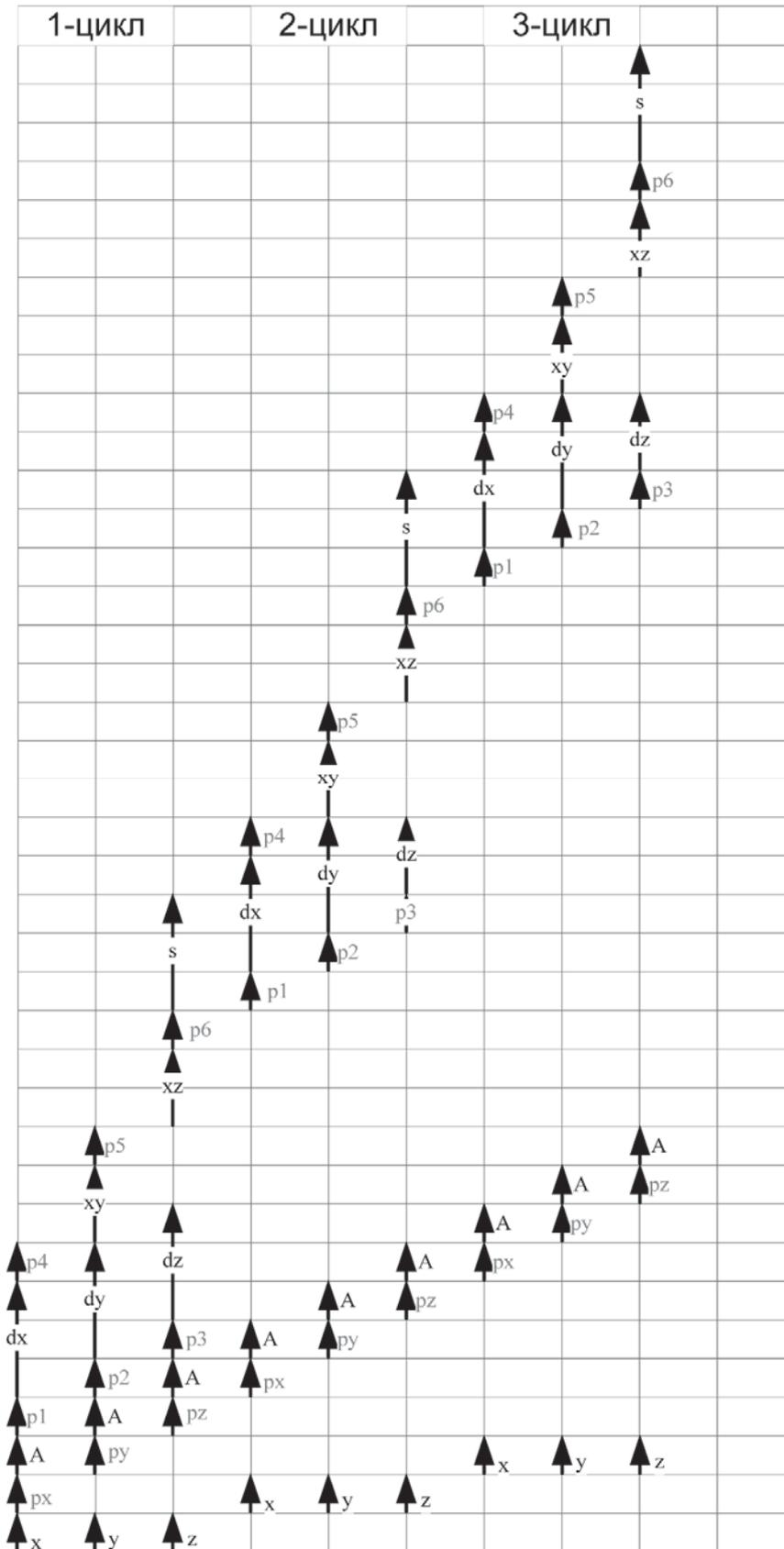


Рис. 20. Временная диаграмма конвейерного процесса

роду; для составления расписания в тех случаях, когда процесс можно описать как конвейерный; для проектирования процессов реального времени с жесткими временными ограничениями.

**Литература**

1. Сачко Н.С. Организация и оперативное управление машиностроительным производством. Мн.: ООО «Новое знание», 2005. – 636 с.
2. Новицкий Н.И. Организация и планирование производства. Практикум. Мн.: ООО «Новое знание», 2004. – 256 с.
3. Павлов А.А., Мисюра Е.Б., Мельников О.В., Рухани С.А. Общая модель и методы иерархического планирования функционирования сложных организационно-производственных систем с ограниченными ресурсами. Системні дослідження та інформаційні технології, 2005, № 4, 7–23.
4. Воеводин В.В. Математическая модель конвейерных вычислений. М.: 1982. С. 34.
5. Штейнберг Р.Б. Автоматическое отображение программ на конвейерные и многоконвейерные архитектуры. ДКФМН. 05.13.11. М. 2012.
6. Лысаков К.Ф. Исследование методов реализации алгоритмов обработки больших потоков данных за счет конвейерного распараллеливания. ДКТН. 05.13.18. М. 2009.
7. Куприянов Б. В. Моделирование конвейерных бизнес-процессов. Сборник трудов «Управление большими системами», вып. 28, 2010, 230–273.
8. Куприянов Б. В. Вычислимая модель конвейерного бизнес-процесса. Труды международной научно-практической конференции «Передовые информационные технологии, средства и системы автоматизации и их внедрение на Российских предприятиях. АИТА 2011. с. 649–669.
9. Куприянов Б.В. Вычисление характеристик конвейерного бизнес-процесса. Известия Российского экономического университета им. Г.В.Плеханова. №5. 2011. с. 158–190.
10. Куприянов Б.В., Боброва А.Ю. Решение задачи календарного планирования для конвейерных

бизнес-процессов. XV Научно-практическая конференция «Реинжиниринг бизнес-процессов на основе современных информационных технологий. Системы управления знаниями». Материалы конференции. Москва, 2012. 115–120.

11. Куприянов Б.В. Вычисление стоимостной характеристики конвейерного процесса определяемого рекурсивными функциями. XVII Научно-практическая конференция «Инжиниринг предприятий и управление знаниями». Материалы конференции. Москва, 2014. 168–172.

12. Кульба В.В., Микрин Е.А., Павлов Б.В., Платонов В.Н. Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов. Наука, 2006, с. 580.

#### References

1. Sachko N.S. Organization and operational management of machine-building production. Mn.: ООО «Novoe znanie», 2005. – 636 s.

2. Novickij N.I. Organization and production planning. Praktikum. Mn.:

ООО «Novoe znanie», 2004. – 256 s.

3. Pavlov A.A., Misyura E.B., Melnikov O.V., Ruhani S.A. The general model and methods of hierarchical planning of functioning of difficult organizational production systems with limited resources. Sistemni doslidzhennya ta informacijni tehnologii, 2005, № 4, 7–23.

4. Voevodin V.V. Mathematical model of conveyor calculations. M.: 1982. S. 34.

5. Shtejnberg R.B. Automatic display of programs to conveyor and multiconveyor architecture. DKFMN. 05.13.11. M. 2012.

6. Lysakov K.F. Research of methods of realization of algorithms of processing of big data flows due to conveyor parallelization. DKTN. 05.13.18. M. 2009.

7. Kupriyanov B.V. Modeling of conveyor business processes. Sbornik trudov «Upravlenie bolshimi sistemami», vyp. 28, 2010, 230–273.

8. Kupriyanov B.V. Computable model of conveyor business process. Trudy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Peredovye

informacionnye tehnologii, sredstva i sistemy avtomatizacii i ih vnedrenie na Rossijskih predpriyatiyah. AITA 2011. s. 649–669.

9. Kupriyanov B.V. Calculation of characteristics of conveyor business process. Izvestiya Rossijskogo ekonomicheskogo universiteta im. G.V.Plehanova. №5. 2011. s. 158–190.

10. Kupriyanov B.V., Bobrova A.Yu. The solution of a problem of scheduling for conveyor business processes. XV Nauchno-prakticheskaya konferenciya «Reinzhiniring biznes-processov na osnove sovremennyh informacionnyh tehnologij. Sistemy upravleniya znaniyami». Materialy konferencii. Moskva, 2012. 115–120.

11. Kupriyanov B.V. Calculation of the cost characteristic of the conveyor process determined by recursive functions. XVII Nauchno-prakticheskaya konferenciya «Inzhiniring predpriyatij i upravlenie znaniyami». Materialy konferencii. Moskva, 2014. 168–172.

12. Kulba V.V., Mikrin E.A., Pavlov B.V., Platonov V.N. Theoretical bases of design of management information systems of spacecrafts. Nauka, 2006, s. 580.