

УДК 658.52

**Н.А. Скаткова, ассистент;**

**Д.Н. Данильчук, студент; Д.Ю. Воронин, студент**

*Севастопольский национальный технический университет*

*Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053*

*E-mail: [kvt@sevgtu.sebastopol.ua](mailto:kvt@sevgtu.sebastopol.ua)*

## **АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ**

*Описывается имитационная модель производственной системы. Проанализирована эффективность алгоритмов адаптивного выбора вариантов управляющей дисциплины, оптимизирующей работу транспортно-производственной системы. Описана имитационная модель, которая реализована в среде программирования Borland Delphi 7. Приведены численные результаты сравнительной эффективности алгоритмов управления.*

Задачи управления производственными системами актуальны с самого появления автоматизированных систем управления технологическими и производственными процессами. В настоящее время эти задачи имеют особое значение в организации производства в связи с реализацией концепции гибкости. Несмотря на то, что эта область знаний интенсивно развивается, для управления каждой производственной системой необходим этап алгоритмизации, на котором наиболее полно учитываются все особенности данной системы.

По имеющимся данным в производственных системах обрабатывающие устройства мало загружены, так, например, в механообработке они заняты лишь на 10-15 % [1]. Повышение эффективности использования обрабатывающего оборудования возможно за счет рационального использования транспортных средств. В случае высокого уровня априорной неопределенности при автоматизации управления производственными системами перспективным является использование адаптивных алгоритмов [2].

Рассматривается пространственно-временная распределенная автоматизированная транспортно-производственная система (АТПС), в структуре которой выделены: центральный склад, предназначенный для хранения материальных объектов, подлежащих обработке; узлы механообработки (УМ) и транспортная подсистема. Функционирование АТПС организовано на основе формирования материальных потоков. В транспортной подсистеме выделяются транспортные узлы и цепочки, по которым осуществляется доставка объектов – элементов материального потока (ЭМП) от склада к УМ и обратно при помощи соответствующих технических средств. Транспорт-

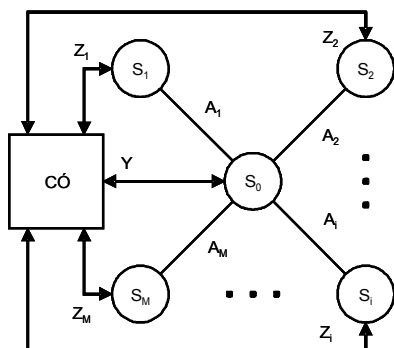


Рисунок 1 – Структура АТПС

ные узлы служат точками коммутации нескольких транспортных цепочек. Последовательность транспортных узлов и цепочек, при помощи которых происходит доставка ЭМП, образуют транспортные маршруты. Совокупность всех возможных транспортных маршрутов представляет собой транспортную сеть АТПС. Структуру транспортной сети можно задать при помощи соответствующего графа  $G_G$ . Вершины графа являются транспортными узлами, а дуги – транспортными цепочками. Граф  $G_G$  – взвешенный, веса его дуг – времена, необходимые для перемещения ЭМП по соответствующей транспортной цепочке. Программа обработки ЭМП задается технологическими картами, в которых указана последовательность операций и УМ для их реализации. Структура такой программы может быть отображена соответствующим графом  $G_L$ . Транспортная подсистема должна обеспечить такую совокупность операций, которая в формализованном виде соответствует отображению графа  $G_L$  на граф  $G_G$  для каждого ЭМП выполняемого производственного задания. Примем для простоты и конкретизации, что число ЭМП, подлежащих обработке в заданной АТПС, равно  $N$ , а число УМ равно  $M$ . Перемещение ЭМП в транспортной сети осуществляется при помощи перемещаемого робота-манипулятора (ПРМ). Процесс функционирования АТПС организован на основе системы управления (СУ), которая, начиная с момента времени  $t_0 = 0$ , и далее в некоторые моменты времени  $t_1, \dots, t_k, \dots$  осуществляет контроль и управление процессами обработки и транспортировки ЭМП. УМ начинает работу после доставки ЭМП со склада на данный УМ и продолжается установленное время. Состояния УМ описываются элементами множества  $Z$ : УМ свободен, УМ занят обработкой объекта, обработка объекта закончена и он ожидает транспортировки на склад. Порядок и времена обработки объектов на узлах механообработки заданы.

Эффективность функционирования АТПС можно, например, оценивать средними коэффициентами простоя УМ и ПРМ. Задача управления АТПС может быть сформулирована как поисковая задача нахождения экстремума в соответствии с критерием, учитывающем коэффициенты простоя. В структуре такой задачи можно выделить несколько подзадач: определение и оптимизация транспортных маршрутов, оптимизация структуры производственной системы, принятие решений при управлении ПРМ. Далее будем рассматривать подзадачу о принятии решений по управлению

маршрутом ПРМ. Структуру производственной системы считаем детерминированной, постоянной, для которой задача выбора допустимых транспортных маршрутов решена.

Необходимо разработать алгоритм управления перемещением ПРМ, предназначенный для оптимизации работы заданной АТПС при реализации производственного задания, которое в информационном плане описано исчерпывающе.

Структура АТПС изображена на рисунке 1, ей соответствует граф  $G_J$ . В нем вершина  $S_0$  отождествляется со складом, остальные вершины  $S_1 \dots S_M$  – УМ. Ребра  $A$  графа  $G_J$  – транспортные маршруты, соединяющие склад и УМ. Ребра графа взвешены. Кроме того, предполагается, что каждый УМ снабжен информационно-управляющим каналом  $Z_i$ , который соединяет его с СУ, а канал  $Y$  обеспечивает связь СУ со складом.

Информационное описание АТПС и выполняемого задания включают в себя:

- матрицу  $I$ , задающую установленный порядок обработки объектов, строки в этой матрице соответствуют ЭМП, столбцы – УМ, равенство матрицы  $i_{kj}=r$  означает, что  $r$ -ое по порядку обслуживание  $k$ -ого объекта выполняется на  $j$ -ом УМ;

- матрицу  $T$ , описывающую времена обработки объектов на УМ, строки в ней соответствуют ЭМП, столбцы – УМ, равенство  $t_{kj}=q$  означает, что  $k$ -ому объекту для обслуживания на  $j$ -ом УМ требуется  $q$  условных единиц времени.

Таким образом, при помощи графа, вектора весов его дуг  $A$ , матриц  $I$  и  $T$  однозначно описывается порядок функционирования АТПС при выполнении производственного задания, определяемого матрицами  $I$  и  $T$ .

Управление процессами транспортирования ЭМП в данном случае сводится к тому, чтобы определить очередность и время начала доставки объектов со склада на УМ при помощи робота-манипулятора.

Из постановки задачи следует, что она информационно полностью определена. Наилучшее решение задачи управления может быть получено путем полного перебора. Однако данный метод обладает довольно большой трудоемкостью и необходимы большие затраты времени для получения решения. Это приводит к значительным потерям и делает невозможным управление системой в реальном времени. К тому же, в данном случае необходимо не только определять порядок доставки объектов на УМ, но и распределять их во времени, что приводит к дополнительным сложностям использования полного перебора в его общепринятом виде.

В качестве метода, позволяющего получить приемлемое решение данной задачи, предлагается использовать эвристический алгоритм, который позволяет некоторым достаточно простым способом определять порядок

доставки объектов на УМ. Порядок транспортирования объектов определяется установленной дисциплиной обслуживания. В качестве альтернативных можно использовать дисциплины, основанные на последовательной отправке объектов на УМ и на дисциплинах, учитывающих времена обработки на УМ. При реализации такого способа управления следует иметь в виду что, в нашем распоряжении имеется несколько довольно простых алгоритмов управления (дисциплин), однако в зависимости от заданного множества объектов, подлежащих обработке, каждая из дисциплин не дает гарантированного результата на протяжении всего этапа выполнения данного производственного задания. Из этого можно сделать вывод, что для оптимизации процесса управления целесообразно разработать алгоритм, который бы в процессе обработки производил «переключение» дисциплин таким образом, чтобы на определенном временном участке использовалась та дисциплина, которая давала бы для него лучший результат. Такой алгоритм может быть реализован в классе алгоритмов адаптивного управления, например, типа стохастической аппроксимации.

Адаптивный подход позволяет надлежащим образом использовать текущую информацию, получаемую в результате осуществления выбора дисциплины, что в целом позволяет компенсировать недостаток априорной информации.

Будем использовать три различных алгоритма выбора порядка доставки объектов на УМ. Первый алгоритм – Cons-дисциплина – основан на отправке на обработку объектов в соответствии с порядком их поступления. Второй алгоритм – Min-дисциплина – основан на отправке на обработку в первую очередь объектов, имеющих наименьшее время обработки на очередном для них УМ. Этот алгоритм максимизирует коэффициент загрузки ПРМ. Третий алгоритм – Max-дисциплина – основан на отправке объектов с наибольшим временем обработки. Его использование направлено на максимизацию коэффициента загрузки УМ. В связи с априорной неопределенностью будем считать, что на начальном этапе выбор всех стратегий равновероятен.

Начиная с момента времени  $t'_0 = 0$ , и далее в некоторые моменты времени  $t'_1, \dots, t'_k, \dots$  в зависимости от накопленной информации производятся переопределение используемой дисциплины управления производственной системой. Каждой дисциплине сопоставляется вероятность её выбора при определении управляющей дисциплины. Таким образом, при переопределении реализуемого алгоритма сначала должен происходить пересчет вероятностей выбора дисциплин по некоторому алгоритму адаптивного выбора вариантов и затем по пересчитанному распределению вероятностей определяется дисциплина, которая будет реализовываться на следующем временном интервале. Существует несколько алгоритмов адаптивного вы-

бора; при разработке данной системы управления будем использовать алгоритм Варшавского-Воронцовой, описанный в [3].

Данный алгоритм предназначен для решения задачи адаптивного выбора варианта среди  $N$  дисциплин в случае с бинарными потерями  $\xi_n \in \{0,1\}$ .  $\xi_n$  – величина, определяющая потери в работе системы на конкретном временном интервале. В векторном виде алгоритм можно представить как:

$$p_{n+1} = p_n + \gamma \cdot p_n^T \cdot e(x_n) \cdot (e(x_n) - p_n) \cdot (1 - 2 \cdot \xi_n), \quad (1)$$

где  $p_n[N]$  – текущий вектор вероятностей выбора стратегий;  $p_{n+1}[N]$  – пересчитанный вектор вероятностей выбора стратегий;  $x_n$  – вариант стратегии, реализуемый на текущий момент времени;  $e(x_n)$  – вектор, являющийся вершиной симплекса, которая соответствует  $x_n$ ;  $\gamma$  – длина шага алгоритма,  $\gamma \in (0,1)$ .

В координатной форме его можно записать в виде:

$$p_{n+1,i} = \begin{cases} p_{n,i} + \gamma \cdot p_{n,m} \cdot (-p_{n,i}) \cdot (1 - 2 \cdot \xi_n), i \neq m, \\ p_{n,i} + \gamma \cdot p_{n,m} \cdot (1 - p_{n,i}) \cdot (1 - 2 \cdot \xi_n), i = m, \end{cases} \quad (2)$$

где  $m$  – номер реализуемой стратегии на текущий момент времени.

Таким образом, алгоритм адаптивного выбора варианта реализуемой дисциплины сводится к расчету вектора вероятностей  $p_{n+1}$  по формуле (2), а затем получения случайного исхода  $\omega$  по плотности распределения, определяемой вектором  $p_{n+1}$ . Исход  $\omega$  является номером дисциплины, которая будет реализовываться на следующем временном интервале.

Для того чтобы окончательно определить адаптивный алгоритм управления осталось задать способ определения величины  $\xi_n$ . В этом случае в качестве потерь системы можно использовать средний коэффициент простоя узлов механообработки, вычисляемый усреднением по всем значениям коэффициентов простоя УМ.

На рисунке 2 изображено окно разработанной программы. В качестве входных данных задаются: число УМ, число типов заявок и число заявок каждого типа, матрицы  $I$ ,  $T$  и вектор  $A$ . В окно для вывода данных выводится информация о событиях происходящих в системе и информация о переопределении реализуемой дисциплины. Присутствует также панель для ввода параметров моделирования. Здесь указывается используемый алгоритм адаптивного выбора (программа также реализует алгоритм стохастической аппроксимации), период между переопределением дисциплины и допустимое (пороговое) значение коэффициента простоя. При помощи управляющих кнопок можно загружать данные из файла, производить моделирование и закрывать программу. По окончании моделирования выдается второе окно, содержащее графики зависимостей коэффициентов простоя при различных управлениях и статистические данные (на рисунке 2 окно уменьшено).

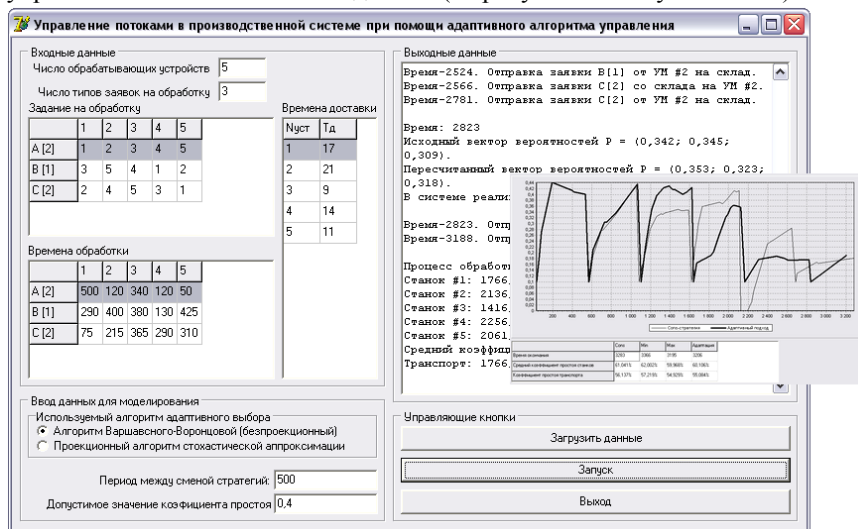


Рисунок 2 – Окно разработанной программы

На основе описанных дисциплин и разработанного алгоритма адаптивного выбора варианта дисциплины была разработана компьютерная программа в среде программирования Borland Delphi 7, которая производит моделирование работы данной производственной системы, оптимизация работы которой осуществляется при помощи разработанного алгоритма адаптивного выбора дисциплины. В таблице 1 приведены результаты моделирования работы системы, полученные в результате использования разработанной программы.

В таблице 1 указаны время  $T_{ок}$  окончания обработки объектов, средний коэффициент  $K_{пр}$  простоя и относительные оценки эффективности: по вре-

мени окончания обработки объектов –  $T$ , по среднему коэффициенту простоя УМ –  $K_1$ , по коэффициенту простоя транспорта –  $K_2$  для случаев реализации каждой из дисциплин по отдельности и реализации адаптивного алгоритма.

Таблица 1 – Результаты моделирования работы производственной системы

| Дисциплина управления | $T_{ок}$ | $K_{пр}$ | $K_{тр}$ | Относительные оценки эффективности |       |       |
|-----------------------|----------|----------|----------|------------------------------------|-------|-------|
|                       |          |          |          | $T$                                | $K_1$ | $K_2$ |
| Cons-дисциплина       | 7110     | 35,68    | 31,14    | 1,09                               | 1,19  | 1,25  |
| Min-дисциплина        | 7382     | 38,05    | 33,67    | 1,13                               | 1,27  | 1,35  |
| Max-дисциплина        | 7716     | 40,73    | 36,54    | 1,18                               | 1,36  | 1,47  |
| Адаптивный алгоритм   | 6519     | 29,85    | 24,89    | 1                                  | 1     | 1     |

На рисунке 3 изображены графики зависимости среднего коэффициента простоя УМ от времени, построенные при помощи разработанной программы, при использовании адаптивного алгоритма и Cons-дисциплины, которая проявила себя лучше, чем Min- и Max-дисциплины.

Как видно из полученных результатов, изображенных в таблице 1, адаптивный алгоритм управления дает лучшие результаты, чем использование каждой из дисциплин в отдельности. А среди отдельно реализуемых дисциплин наилучший результат показала Cons-дисциплина. Как видно из данных, изображенных в таблице 1, при использовании адаптивного алгоритма управления по сравнению с использованием Cons-дисциплины средний коэффициент простоя УМ уменьшился на 5,8%, коэффициент простоя ПРМ уменьшился на 6,25%, а длительность процесса обработки сократилась в 1,09 раз. На графике, изображенном на рисунке 3, можно наблюдать зависимость среднего коэффициента простоя УМ от времени на протяжении всего процесса обработки. Из графика следует, что средний коэффициент

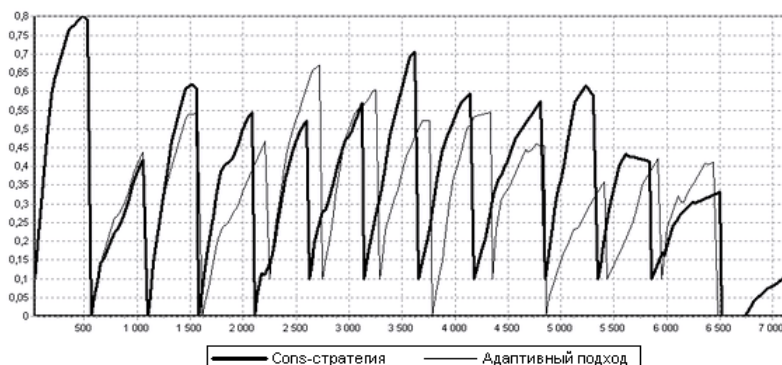


Рисунок 3 – График зависимости среднего коэффициента простоя УМ

ент простоя в случае реализации Cons-дисциплины превосходит значение этого же коэффициента в случае адаптивного алгоритма практически на протяжении всего процесса обработки. Пиковые значения можно объяснить тем, что переопределение реализуемой дисциплины производится в дискретные моменты времени, и не всегда система управления вовремя переопределяет реализуемую дисциплину.

Метод оптимизации работы данной производственной системы при помощи адаптивного алгоритма (при своей не сильно увеличившейся сложности по сравнению с оптимизацией при помощи отдельных дисциплин) дает значительно лучшие результаты как на отдельных участках обработки объектов, так и в целом на протяжении всего процесса обработки. Данный алгоритм также обладает достаточной простотой, а значит, он не требует большого быстродействия, и следовательно, при реализации в реальном времени не будет требовать высокого быстродействия от системы управления.

В дальнейшем планируется усложнение имитационной модели за счет введения дополнительных элементов с целью приблизить разрабатываемую модель к реальным производственным системам. Например, введение в модель промежуточных пунктов хранения ЭМП ограниченной емкости, использование в системе нескольких ПРМ или усовершенствование уже существующих либо введение новых управляющих дисциплин.

#### ***Библиографический список***

1. Пуховский Е.С. Технология гибкого автоматизированного производства / Е.С. Пуховский, Н.Н. Мясников. — К.: Техніка, 1989. — 207 с.
2. Назин А.В. Адаптивный выбор вариантов: Рекуррентные алгоритмы / А.В. Назин, А.С. Позняк. — М.: Наука, 1986. — 288 с.
3. Лоу А. Имитационное моделирование / А. Лоу, В. Кельтон. — СПб.: Изд-во «Питер». — 2004. — 709 с.

*Поступила в редакцию 27.02.2006 г.*