

УДК 681.5.09

**Л.Е. Карташов, ст. преподаватель, канд. техн. наук;**

**В.Я. Копп, профессор, д-р техн. наук;**

**А.И. Балакин, ассистент; О.П. Чуб, доцент, канд. техн. наук**

*Севастопольский национальный технический университет*

*Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053*

*E-mail: ps@sevgtu14.sebastopol.ua*

## **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЛИНИЙ С ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ**

*Рассмотрены структуры автоматизированных линий с обратными связями, предложена имитационная модель гибкой автоматизированной линии с обратными связями, проанализированы результаты машинного эксперимента.*

Современное гибкое автоматизированное производство (ГАП) является сложной системой с иерархически подчиненной структурой, отдельные компоненты которого оказывают влияние друг на друга. Для создания ГАП используются гибкие производственные системы (ГПС), наиболее распространенным видом которых являются гибкие автоматизированные линии (ГАЛ), характеризующиеся сложной структурой и выполняющие большое количество операций в условиях недетерминированной среды. Эффективность применения ГАЛ во многом зависит от показателей ее функционирования, основным из которых является производительность. Ключевым фактором, влияющим на производительность таких систем, является их надежность.

Одним из способов повышения характеристик надежности, практически не требующих привлечения больших капиталовложений, является применение временного резервирования основного технологического оборудования введением накопителей, вследствие чего увеличивается способность линии продолжать свое функционирование при выходе из строя каких-либо ее элементов. В этом случае принято говорить о гибких асинхронных автоматизированных линиях (ГААЛ).

При анализе функционирования ГААЛ возникает ряд задач, связанных с планированием компоновочных схем линий с учетом влияния возникающих расходов при известных значениях параметров основного и вспомогательного оборудования. Такие задачи могут рассматриваться как на этапе проектирования линий, так и при переналадке на выпуск изделий новой номенклатуры, и должны решаться на базе адекватных математических моделей.

В настоящее время остается нерешенным ряд проблем, связанных с моделированием процессов функционирования ГААЛ и их элементов. Анализ ГПС позволяет определить характер движения материальных потоков между гибкими производственными модулями (ГПМ), из которых и состоит ГААЛ: последовательные, сходящиеся, расходящиеся и с обратной связью. Каждый из указанных потоков характерен для соответствующих видов соединений между ГПМ: первый – для последовательного соединения; второй – для группы параллельно работающих ГПМ; третий – для ГПМ и вспомогательного оборудования включенных последовательно с ним; четвертый – для группы ГПМ, выполняющих технологические операции с последующим их повторением. Обычно последний вид соединений между ГПМ характерен для случаев выявления дефектных изделий или для многократных повторений некоторых технологических операций, например лакирования, нанесения слоев материала и т.д. [1]. Существует также ряд технологических процессов, в которых требуется повторная обработка изделия после контроля. В этом случае изделие направляется в определенные ГПМ для исправления. В состав ГААЛ должны входить контролирующие устройства, производящие контроль и сортировку изделий после определенных операций. В случае обнаружения исправного брака изделие по обратной связи отправляется в отдельный ГПМ для исправления, что позволяет уменьшить количество бракованных изделий на выходе линии. Для выполнения таких технологических процессов используются ГААЛ с обратными связями. В литературе приводятся структуры ГААЛ с обратными связями, но моделирование этих линий практически не встречается [2].

Следует заметить, что ГААЛ механосборочного производства имеет ряд особенностей. Одна из основных причин возникновения брака – отказ ГПМ во время выполнения сборочной операции. При этом нет необходимости использовать отдельные ГПМ для разборки, поскольку время восстановления ГПМ значительно превышает время разборки, и операция может быть выполнена ремонтной бригадой. Другой особенностью являются различные структуры обратных связей, поскольку в зависимости от вида изделия, наличие обратных связей требуется или для некоторых операций, или, как при производстве часов – когда осуществляется полная разборка изделия – одна обратная связь с возвращением комплектующих на соответствующие ГПМ.

При анализе параметров функционирования ГААЛ с обратными связями особое внимание следует уделить созданию имитационных моделей. Целесообразность применения метода имитационного моделирования в задачах проектирования ГПС вызвана следующими причинами.

1. Точность полученных методами аналитического моделирования результатов определяется адекватностью описания применяемым математическим аппаратом свойств исследуемой системы. В общем случае достоверность результатов не является достаточной для принятия решения о выборе варианта ГААЛ из-за наличия ряда допущений, не реализуемых на практике, но обусловленных применением того или иного метода исследований. Отсюда вытекает необходимость комплексной оценки полученных проектных вариантов ГААЛ.
2. Наиболее полное исследование и оценка процесса функционирования системы могут быть проведены, если известны явные аналитические зависимости, связывающие искомые характеристики с начальными параметрами и переменными системы. Применительно к решению задач проектирования ГААЛ получить

такие зависимости практически невозможно. Существенное упрощение первоначальной модели путем уменьшения числа переменных приводит к потере точности, что в случае проектирования может привести к значительному расхождению расчетных и реальных показателей. Кроме того, вариантность проектных решений и необходимость поиска оптимального, значительность капитальных вложений ввиду высокой стоимости ГПС и связанная с этим высокая степень риска налагают на точность проекта такие требования, которые в настоящее время превышают возможности аналитических методов проектирования.

Характерной особенностью имитационных моделей является структурное подобие объекта и модели. Имитационное моделирование позволяет не только исследовать законы функционирования элементов объекта и связи между ними, но и воспроизводит последовательно во времени эволюцию его состояния. Применительно к моделированию ГААЛ это дает возможность вычислить средние значения характеристик производственного процесса, проследить изменение этих характеристик во времени, определить их максимальные и минимальные значения; определить потребность в транспортных операциях и исследовать возможности различных транспортных систем; получить точное представление о влиянии случайных отказов оборудования на поведение проектируемой системы. Кроме того, имитационные модели позволяют оценить адекватность аналитических моделей, когда проведение производственного эксперимента не представляется возможным.

Поставим следующую задачу: построить имитационную модель функционирования ГААЛ, содержащую 3 ГПМ и два накопителя. Емкость первого накопителя – 60 мест, второго – 20. Среднее время обработки на всех ГПМ равно 5,5 мин. Нарботка на отказ первого ГПМ составляет 80 минут, второго – 90 минут, третьего – 95 минут. Среднее время восстановления первого, второго и третьего ГПМ 15,5, 13,5 и 11 минут соответственно. Потоки поступления заявок, обслуживания, отказов и восстановления будем считать экспоненциальными.

Для реализации данной задачи было принято решение использовать систему имитационного моделирования GPSS World Student version 4.3.5. Для предлагаемого состава ГААЛ были рассмотрены 4 варианта структуры, изображенные на рисунках 1-4, три из которых имеют обратные связи.

Для ГААЛ, структурная схема которой показана на рисунке 1, разработка программы не представляет сложности. Данный вариант структуры приведен для сравнения параметров функционирования с другими

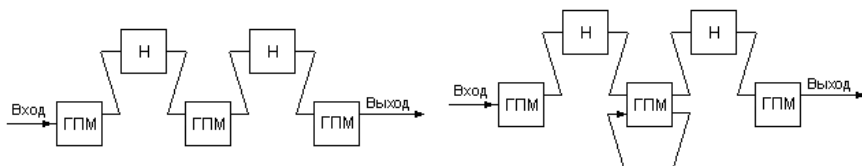


Рисунок 1 – Однопоточная ГААЛ

Рисунок 2 – Однопоточная ГААЛ с ОС в ГПМ 2

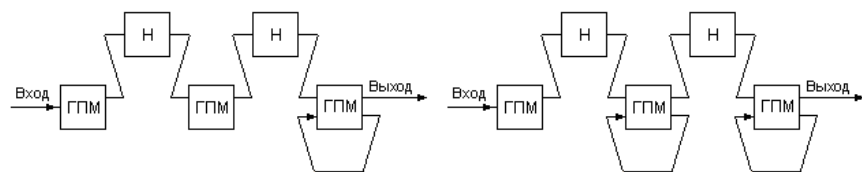


Рисунок 3 – Однопоточная ГААЛ с ОС в ГПМ 3

Рисунок 4 – Однопоточная ГААЛ с ОС в ГПМ 2 и 3

структурами

На рисунках 2-4 рассматриваются структурные схемы ГААЛ с обратными связями. Реализация имитационных моделей таких структур на языке GPSS представляет определенные сложности и в литературе не встречается. Отметим, что разработав программу для последней структурной схемы, путем минимальных изменений можно получить реализацию для двух предыдущих.

Текст программы, описывающий структурную схему ГААЛ, изображенную на рисунке 4, приведен ниже.

```
*****
; GPSS World File - Модель линии из 3 ячеек. Time Unit is 0.1 min
*****
EXP SR FUNCTION RN6,C24
0,0/100,104/200,222/300,355/400,509/500,690/600,915/700,1200/750,1380
.800,1.600/840,1.830/880,2.120/900,2.300/920,2.520/940,2.810/950,2.990/960,3.200
.970,3.500/980,3.900/990,4.600/995,5.300/998,6.200/999,7/1,8
*****
STOR1 STORAGE 60 ; ёмкость накопителя 1
STOR2 STORAGE 20 ; ёмкость накопителя 2
*****
* Model Segment 1
*****
GENERATE 55, FN$EXP SR
ASSIGN 1,1
```

```

        ASSIGN      2,1
        QUEUE      QUE1          ; заявка поступает в очередь
        GATE NU    REFASC1       ; проверка ГПМ1 для входа
        SEIZE      ASC1          ; занять ГПМ 1
        DEPART     QUE1          ; покинуть очередь
        ADV ANCE   0             ; обработка в ГПМ 1
        GATE NU    REFASC1       ; проверка ГПМ 1 для выхода
        GATE SNF   STOR1         ; проверка накопителя 1
        RELEASE    ASC1          ; выход из ГПМ 1
        ENTER      STOR1         ; поступление в накопитель 1
*****
        GATE NU    ASC2          ; проверка ГПМ 2 для входа
        GATE NU    REFASC2       ; проверка работоспособности ГПМ 2
        LEAVE      STOR1         ; освобождение накопителя 1
LAB3   GATE LR     1
        LOGIC R    1
        SEIZE      ASC2          ; поступление в ГПМ 2
        ADV ANCE   55,FN$EXPSR   ; обработка в ГПМ 2
        GATE LS    1,LAB4
        ASSIGN     1,2
LAB4   GATE NU    REFASC2       ; проверка работоспособности
                                   ; ГПМ 2 для выхода
        GATE SNF   STOR1         ; проверка незаполненности
                                   ; накопителя 2
        RELEASE    ASC2          ; выход из ГПМ 2
        LOOP       1,LAB3
        ENTER      STOR2         ; поступление в накопитель 2
*****
        GATE NU    ASC3          ; проверка незанятости ГПМ 3
        GATE NU    REFASC3       ; проверка работоспособности ГПМ 3
        LEAVE      STOR2         ; освобождение накопителя 2
LAB7   GATE LR     2
        LOGIC R    2
        SEIZE      ASC3          ; поступление в ГПМ 3
        ADV ANCE   55,FN$EXPSR   ; обработка в ГПМ 3
        GATE LS    2,LAB6
        ASSIGN     2,2
LAB6   GATE NU    REFASC3       ; проверка работоспособности ГПМ 3 для выхода
        RELEASE    ASC3          ; выход из ГПМ 3
        LOOP       2,LAB7
        SA VEV ALUE ALL_PART+,1 ; счётчик количества деталей
        TERMINATE ; выход с линии
*****
*      Model Segment 2
*
* Пребывание ГПМ ASC1 в отказе. Когда заявка занимает ГПМ REFASC1, это
* означает, что устройство ASC1 отказало. Время обслуживания в REFASC1 – это
* время восстановления ASC1
*****
        GENERATE   800,FN$EXPSR
        SEIZE      REFASC1
        ADV ANCE   155,FN$EXPSR
        RELEASE    REFASC1
        SA VEV ALUE REF_CNT1+,1 ; счётчик количества отказов ГПМ 1
        TERMINATE
*****
*      Model Segment 3
*****
        GENERATE   900,FN$EXPSR
        GATE U     ASC2,LAB1
        LOGIC S    1
LAB1   SA VEV ALUE Ref_Part2+,1 ; счётчик брака в ГПМ 2
        SEIZE      REFASC2
        ADV ANCE   135,FN$EXPSR
        RELEASE    REFASC2
        SA VEV ALUE REF_CNT2+,1 ; счётчик количества отказов ГПМ 2
        TERMINATE
*****
*      Model Segment 4
*****
        GENERATE   950,FN$EXPSR

```

```

LAB5  GATE U      ASC3,LAB5
      LOGIC S    2
      SA VEV ALUE Ref_Part3+,1      ; счётчик брака в ГПМ 3
      SEIZE     REFASC3
      ADV ANCE   110,FN$EXPSR
      RELEASE   REFASC3
      SA VEV ALUE REF_CNT3+,1      ; счётчик количества отказов ГПМ 3
      TERMINATE
*****
*      Model Segment 5
*****
      GENERATE  48000                ; таймер
      TERMINATE 2
*****
      START    1

```

Текст программы снабжен комментариями и дополнительных пояснений не требует. Единица модельного времени составляет 6 с. Время моделирования принято равным одной неделе рабочего времени при двухсменной работе.

Для каждой из структур ГААЛ было проведено 10 экспериментов. Усредненные результаты моделирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты имитационного моделирования

| Структурная<br>схема линии | Средняя длина<br>очереди |      | Брак |      | Производи-<br>тельность,<br>шт/час | Коэффициент<br>готовности |
|----------------------------|--------------------------|------|------|------|------------------------------------|---------------------------|
|                            | Н1                       | Н1   | ГПМ2 | ГПМ3 |                                    |                           |
| Рисунок 1                  | 45,61                    | 3,51 | –    | –    | 3,98                               | 0,61                      |
| Рисунок 2                  | 46,46                    | 3,03 | 55,8 | –    | 3,44                               | 0,52                      |
| Рисунок 3                  | 45,52                    | 4,62 | –    | 23,3 | 3,96                               | 0,55                      |
| Рисунок 4                  | 47,74                    | 4,28 | 48,9 | 22   | 3,53                               | 0,52                      |

Как видно из таблицы 1, введение обратных связей практически не оказывает влияния на среднюю длину очереди. Коэффициент готовности при введении обратных связей уменьшается, однако, если учесть брак, то он составит для второй, третьей и четвертой структурной схемы 0,69, 0,68 и 0,71 соответственно. Следовательно, введение обратных связей вызывает повышение производительности линии.

Исходя из предложенной модели можно без труда составить программу для любого количества ГПМ в линии. Дальнейшие направления исследований могут заключаться в определении влияния глубины обратной связи на производительность ГААЛ, влиянии вида законов распределения на производительность, оптимизации вместимости накопителей с целью достижения максимальной производительности ГААЛ. Одним из наиболее существенных результатов использования данной модели является возможность проверки адекватности аналитического моделирования ГААЛ с обратными связями.

#### Библиографический список

1. Меткин Н.П. Технологическая подготовка гибких автоматизированных сборочно-монтажных производств в машиностроении / Н. П. Меткин, М.С. Лапин, В.И. Гольц — Л.: Машиностроение, 1986. — 192 с.
2. Копп В.Я. Использование итерационного подхода при построении математических моделей асинхронных автоматизированных линий с обратными связями / В.Я. Копп, А.И. Балакин // Оптимизация производственных процессов: Сб. науч. тр. — Севастополь — 2004. — Вып. 7. — С. 3–9.

Поступила в редакцию 17.04.2006 г.