

УДК 681.322

**О.Е. ФЕДОРОВИЧ, А.С. ГУБКА***Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ АГРЕГАТНОЙ ЛИНИИ**

Рассматривается работа и характеристики линии монтажа и регулировки агрегатов. На основе графа событий имитационной модели динамики функционирования линии проводится моделирование работы линии с целью повышения ее производительности.

**имитационное моделирование, автоматизированная линия, граф событий, модель линии, событие, условие взаимосвязи**

**Введение**

В современных рыночных условиях Украины и стран СНГ наблюдается постепенный переход промышленных предприятий от плановой экономики к рыночной. В связи с этим портфель заказов предприятий динамично меняется, что требует переналадок оборудования и в частности автоматизированных линий. Для получения хороших результатов работы линий необходимо выявить возможности их работы под конкретный портфель заказов. С помощью имитационного моделирования такого рода задачи решаются эффективно и в кратчайшие сроки. Имитационные модели основаны на многократном воспроизведении последовательности операции в моделируемой системе с имитацией детерминированных и случайных воздействий и с последующей обработкой полученных статистических результатов, что дает возможность оценить искомые показатели системы как статистические характеристики по данным большого количества реализаций (проигрышей) работы моделей системы [1-4]. Имитационное моделирование позволяет учесть влияние большого числа случайных и детерминированных факторов, сложных зависимостей путем ввода в модель соответствующих элементов и операций [5].

Рассмотрим процесс моделирования на примере линии монтажа и регулировки агрегатов.

**1 Формулирование проблемы**

Технологический процесс монтажа и регулировки имеет существенные отличия от других технологических процессов. На линии основными и вспомогательными рабочими выполняются операции регулировки и монтажа агрегатов, поступающих на вход линии. Пронумеруем позиции линий от 1 до  $n$ . На каждой  $i$ -й позиции находятся  $m_i$  рабочих мест (РМ) и  $r_i$  вспомогательных рабочих мест для дополнительной регулировки неисправных агрегатов. Линия движется в соответствии с жестко заданным режимом (тактом) движения  $\tau$ . По истечении времени, отведенного на операцию (такт линии) агрегат, если он отрегулирован, передается на следующую позицию, в противном случае - в буферный накопитель для дальнейшей регулировки на вспомогательных рабочих местах. По результатам обследования для каждой  $i$ -й операции (позиции) задается вероятность возникновения необходимости дополнительной регулировки  $B_i$  и верхняя  $t_i^B$  и нижняя  $t_i^H$  границы длительности дополнительной регулировки  $t_p$ . Каждая  $i$ -я позиция имеет два буферных накопителя: не отрегулированных ( $Q_{2i}$ ) и отрегулированных ( $Q_{1i}$ ) агрегатов. Накопитель  $Q_{1i}$  является входным для  $(i+1)$ -ой позиции.

Моделирование динамики функционирования линии ведется по декадам. Каждая декада

характеризуется: количеством рабочих дней, длительностью рабочего дня, внутрисменными перебоями в подаче агрегатов, интенсивностью подачи агрегатов на линию  $U_R$ . Единицей модельного времени служит такт движения линии.

работы линии, с целью повышения производительности ее работы.

## 2 Решение проблемы

Цель статьи. Построить модель функционирования линии монтажа и регулировки агрегатов для имитационного моделирования

Граф событий имитационной модели динамики функционирования линии сборки и монтажа приведен на рис. 1.

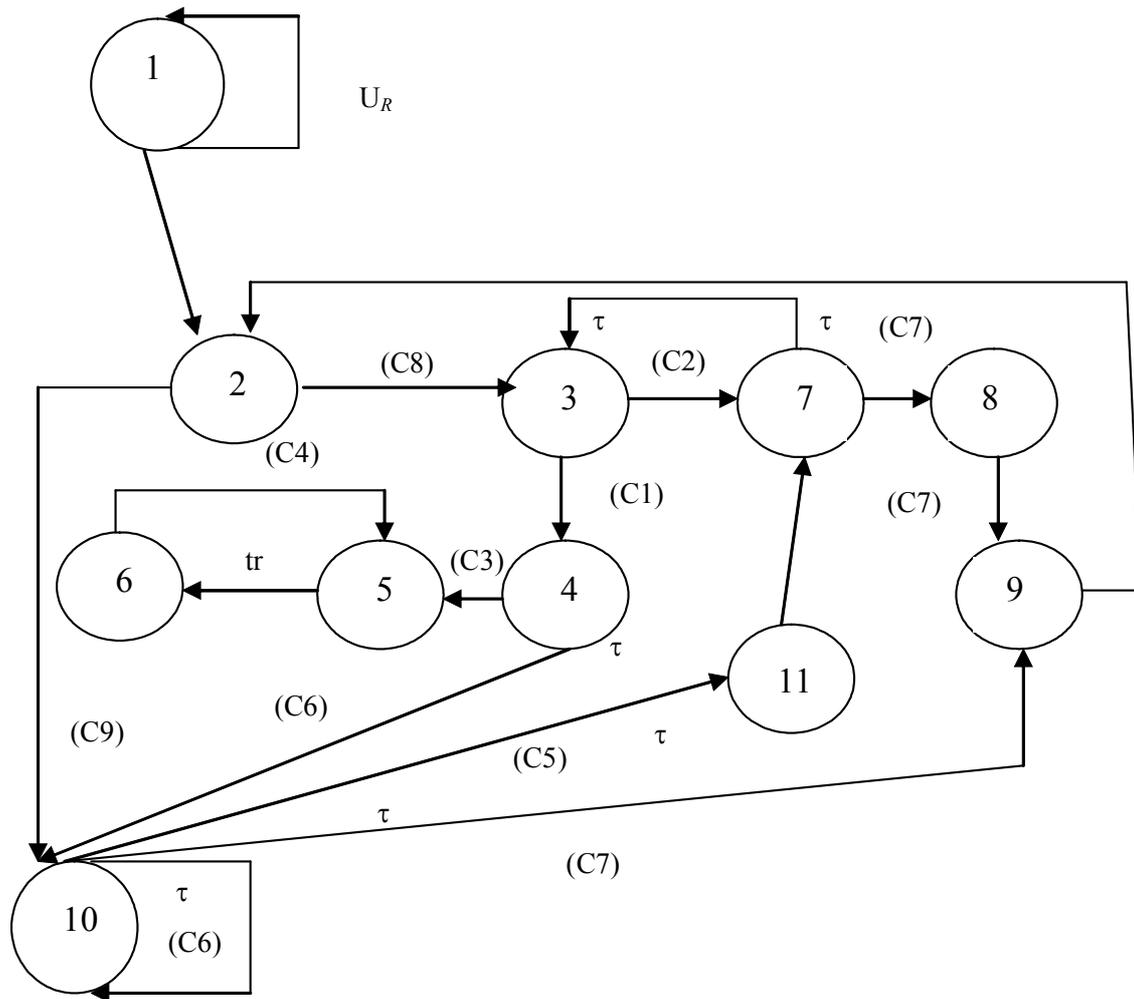


Рис. 1. Граф событий имитационной модели динамики функционирования линии сборки и монтажа

Рассмотрим условия взаимосвязи событий имитационной модели:

*Условие C1:*  $P_j \leq B_i$ , где  $P_j$  вероятность необходимости дополнительной регулировки агрегата, находящегося на  $j$ -м РМ  $i$ -й позиции;

*Условие C2:*  $P_j > B_i$ ;

*Условие C3:*  $i$ -й позиции есть свободные вспомогательные рабочие места;

*Условие C4:* накопитель  $Q_{2i}$  не пуст;

*Условие C5:* накопитель  $Q_{1i}$  не пуст;

Условие С6: накопитель  $Q_{1i}$  пуст;

Условие С7: агрегат поступил на последнюю позицию;

Условие С8: входной накопитель не пуст;

Условие С9: входной накопитель пуст.

Введем следующие обозначения:

IM - количество агрегатов на входе линии;

OUT - количество на выходе линии;

Вершинами графа служат следующие события:

Событие 1 (Генерация номера декады, определение внутрисменных простоев и поступление агрегатов на первую позицию).

Событие 2 ( $j$ ) (Резервирование  $j$ -го РМ на первой позиции):

$$M(j)=1; IM=IM-1; MI(j)=2.$$

Событие 3 ( $j, i$ ) (Определение необходимости дополнительной регулировки агрегата на  $j$ -м РМ  $i$ -й позиции): генерация  $P_j$ .

Событие 4 ( $j, i$ ) (Помещение агрегата в очередь  $Q_{2i}$ ):

$$Q_{2i}=Q_{2i}+1; M(j)=0.$$

Событие 5 ( $Ri, i$ ) (Определение длительности дополнительной регулировки на  $Ri$ -ом вспомогательном РМ  $i$ -й позиции):

генерация  $t_r$ ;  $M(Ri)=1$ ;  $Q_{2i}=Q_{2i}-1$ .

Событие 6 ( $Ri, i$ ) (Окончание дополнительной регулировки):

$$M(Ri)=0; Q_{2i}=Q_{2i}+1.$$

Событие 7 ( $j, i$ ) (Поступление занятого  $j$ -го РМ на  $(i+1)$ -ю позицию):

$$MI(j)=MI(j)+1.$$

Событие 8 ( $j, i$ ) (Выход агрегата):

$$OUT=OUT+1.$$

Событие 9 ( $j, i$ ) (Возвращение  $j$ -го РМ на первую позицию).

Событие 10 ( $j, i$ ) (Поступление свободного  $j$ -го РМ на  $(i+1)$ -ю позицию):

$$MI(j)=MI(j)+1.$$

Событие 11 ( $j, i$ ) (Резервирование  $j$ -го РМ на  $i$ -й позиции):

$$M(j)-1; Q_{1, i-1}=Q_{1, i-1}-1.$$

В модели можно выделить две условно-независимые части:

- в первой генерируются номера декад, длительность внутрисменных простоев и интенсивность подачи агрегатов на вход линии;

- во второй (рис. 1) реализуется движение рабочих мест на линии и регулировка агрегатов.

Для упрощения выделим отдельные ветви графа событий, моделирующие выполняемые на линии операции (рис. 2) и пронумеруем эти ветви римскими цифрами. Тогда граф событий примет вид, представленный на рис. 3.

Вершинами графа на рис. 3 служат следующие события:

Событие I ( $j$ ) (Поступление  $j$ -го РМ на первую позицию).

Событие II ( $j$ ) (Движение по линии свободного  $j$ -го РМ).

Событие III ( $j, i$ ) (Поступление на  $i$ -ю позицию агрегата на  $j$ -м РМ и определение необходимости его дополнительной регулировки):

генерация:  $P_j$ ;  $MI(j)=MI(j)+1$ .

Событие IV ( $Ri, j$ ) (Дополнительная регулировка агрегата на  $Ri$ -м вспомогательном РМ)  $M(Ri)=1$ .

Событие V ( $j$ ) (Поступление  $j$ -го РМ на последнюю позицию).

Рассмотрим работу событийных модулей, реализующих имитационную модель.

В первом модуле происходит изменение номера декады, определение фонда рабочего времени текущей декады в тактах движения конвейера, запоминается количество выпущенных и в предыдущей декаде приборов и планируется возвращение в этот модуль по истечении продолжительности декады. По окончании месяца планируется переход в финишный модуль.

Во втором модуле в соответствии с ходом реального производства определяется время простоев в текущей декаде и на этот срок блокируется подача агрегатов. В третьем модуле

фиксируется окончание внутрисменного простоя, вычисляется плановый фонд рабочего времени до конца смены, планируется переход на второй модуль и на четвертый через нулевой промежуток времени.

В четвертом модуле планируется подача агрегатов во входной накопитель линии с заданной интенсивностью.

Пятый модуль соответствует вершине I графа на рис. 3. В этом модуле проверяется наличие агрегатов во входном накопителе. Если агрегаты есть, то один из них удаляется из накопителя, резервирует РМ на первой позиции, и планируется передача РМ на следующую позицию (модуль 7). В противном случае планируется передача свободного РМ на следующую позицию (модуль 6).

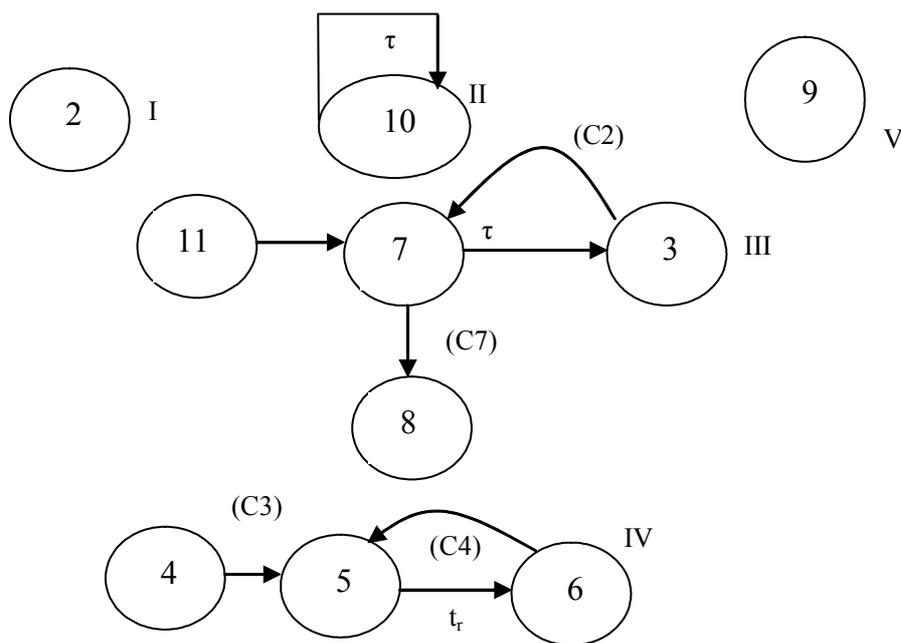


Рис. 2. Отдельные ветви графа событий модели линии

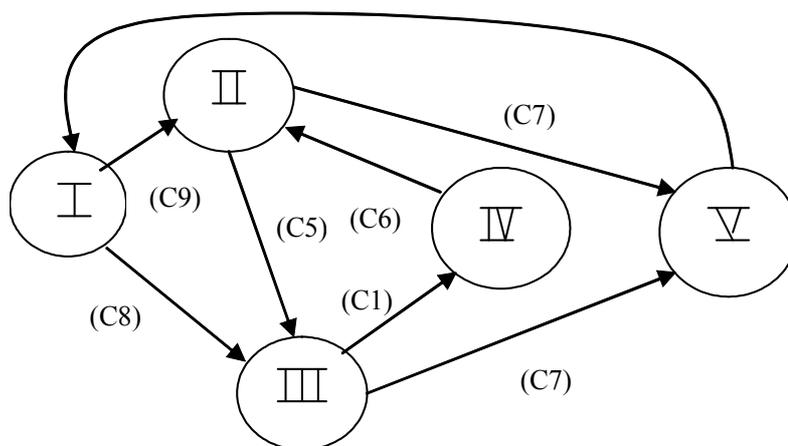


Рис. 3. Преобразованный граф событий

Шестой модуле соответствует вершине II графа на рис. 3. В этом модуле выполняется проверка наличия агрегатов во входном накопителе  $i$ -ой

позиции. Если агрегаты есть, то РМ резервируется и планируется переход на седьмой модуль; в противном случае свободное РМ передается на

$(i+1)$ -й модуль. Если эта позиция оказывается последней, то РМ возвращается в первую позицию, иначе – планируется возврат на шестой модуль через такт движения линии.

Седьмой модуль соответствует вершине III графа на рис. 3. В этом модуле разыгрывается КЗ – вероятность  $P_j$  необходимости дополнительной регулировки агрегата на  $i$ -й позиции. Если эта вероятность меньше заданной  $B_i$ , то агрегат помещается в выходной буфер позиции и планируется его дополнительная регулировка (восьмой модуль); в противном случае планируется передача агрегата на следующую позицию (возврат в седьмой модуль через такт движения линии). Если следующая позиция является последней, то планируется переход на десятый модуль.

Девятый и восьмой модуль соответствуют вершине IV графа на рис. 3. В восьмом модуле определяется номер свободного вспомогательного РМ на  $i$ -й позиции. Если такого РМ нет, то планируется переход на управляющий модуль, в противном случае РМ резервируется агрегатом из накопителя, разыгрывается время дополнительной регулировки  $t_r$  исходя из заданных пределов  $t_i^B$ ,  $t_i^H$  и планируется переход на девятый модуль через время  $t_r$ .

В девятом модуле освобождается вспомогательное РМ на  $i$ -й позиции. Если в накопителе нет агрегатов, ожидающих дополнительной регулировки, то планируется переход на управляющий модуль; в противном случае освобожденное РМ резервируется агрегатом из накопителя  $Q_{2i}$ , разыгрывается время  $t_r$  его дополнительной регулировки и через это время планируется возврат в девятый модуль.

В десятом модуле поступивший на последнюю позицию агрегат помещается в выходной

накопитель линии, а освобожденное РМ передается на первую позицию (пятый модуль).

Одиннадцатый модуль предназначен для вывода результатов моделирования.

### Заключение

В результате моделирования получаем следующие характеристики линии монтажа и регулировки агрегатов:

- общее количество выпущенных агрегатов и процент выполнения плана;
- количество выпущенных агрегатов по декадам месяца;
- средний интервал выхода готовых агрегатов;
- процент агрегатов, побывавших в дополнительной регулировке.

### Литература

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 399 с.
2. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
3. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем – М.: Высшая школа, 1998. – 319 с.
4. Технология системного моделирования / Под редакцией С.В. Емельянова и др. – М.: Машиностроение, 1988. – 520 с.
5. Бивер Д. Имитационное моделирование // Исследование операций. – М.: Мир, 1981. – С. 456 -584.

*Поступила в редакцию 21.09.03*

**Рецензент:** д.т.н., профессор, Левыкин Виктор Макарович, ХНУРЭ, Харьков