

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СБОРОЧНОЙ ЛИНИИ

А. Л. Савина (Орел)

Сборочная поточная линия (конвейер) является конечным звеном производственного процесса изготовления изделий на машиностроительных предприятиях. Ритм работы сборочного конвейера определяет ритм изготовления продукции в заготовительных и механических цехах, а также ритм выпуска готовой продукции. Все это обуславливает необходимость тщательного анализа динамики функционирования конвейера и выявления факторов, влияющих на его производительность. В первую очередь к этим факторам следует отнести надежность работы самого конвейера, его поломки и простои, связанные с ремонтом. Кроме того, существенное влияние на производительность оказывают недопоставки деталей и узлов на конвейер из механических и заготовительных цехов, вызываемые сбоями в работе оборудования этих участков.

Простои сборочного конвейера, связанные с его поломками, могут быть сокращены путем проведения специальных организационно-технических мероприятий. Для уменьшения же влияния второй группы факторов на каждой позиции конвейера необходимы страховые (межоперационные) заделы деталей и сборочных единиц. В связи с этим возникает задача определения рациональных размеров страховых запасов и периодов их возобновления (интервалов подачи деталей и сборочных единиц). Сложность решения этой задачи связана, во-первых, со значительной размерностью (большая номенклатура деталей и сборочных единиц, входящих в готовое изделие), во-вторых – с противоречивостью ограничений, накладываемых на искомые величины, в третьих – с динамическим аспектом поведения системы.

Как известно, определение размера страхового запаса и периодов его возобновления является классической задачей теории управления запасами [1]. Однако эта теория разрабатывается преимущественно для транспортно-складских систем и имеется мало публикаций, посвященных исследованию этой проблемы применительно к страховым заделам деталей на сборочной линии.

Имитационная модель позволяет оценить с учетом динамики функционирования сборочной линии правильность первоначально рассчитанных размеров страховых заделов, а также степень влияния всех основных факторов [2].

Основными составляющими разработанной имитационной модели являются средства (позиции конвейера) и транзакты (собираемые изделия). Каждая позиция характеризуется номером, номенклатурой и количеством находящихся деталей, а также состоянием – активным (занятым) и пассивным (свободным). Каждое изделие характеризуется номером, номенклатурой входящих в него деталей и нормой расхода этих деталей на изделие.

Введем обозначения:

N – количество изделий, собираемых на конвейере;

M – количество позиций конвейера;

K – множество изделий: $K=\{k\}$;

I – множество позиций конвейера: $I=\{i\}$;

D – множество деталей и узлов, входящих в изделие.

Каждая деталь, входящая в изделие, характеризуется номером позиции i , на которой она находится, и кодом j : $D=\{d_{ij}\}$;

d_i – количество деталей на i -й позиции;

z – множество страховых заделов, находящихся на позиции, характеризуемых номером позиции i и кодом детали j : $z=\{z_{ij}\}$;

T – множество интервалов подачи деталей на позиции: $T=\{t_{ij}\}$;
 Γ – множество размеров партий поступающих деталей: $\Gamma=\{\gamma_{ij}\}$;
 A – множество норм расхода; каждый элемент характеризуется k -м номером изделия, в которое входит j -я деталь на i -й позиции: $A=\{a_{ijk}\}$;
 L_{ij} – число изделий, в которые входит j -я деталь на i -й позиции;
 r – ритм (такт) работы конвейера.

Информационной основой имитационной модели служат стандартные объекты *EML* [3] (устройства, очереди, список событий) и база данных деталепозиций.

Остановимся подробнее на структуре базы данных деталепозиций *PositTable*. Она организована в виде динамического иерархического списка и содержит информацию о наличии деталей на позициях конвейера. Для каждой i -й позиции формируется d_i подсписков деталей, находящихся на позиции. Запись по каждой j -й детали ($j=1,2,\dots,k_i$) содержит следующие атрибуты:

$f_{j,1}$ – счетчик «узких мест», т.е. суммарное количество тактов, которые простаивал конвейер из-за отсутствия j -й детали;

$f_{j,2}$ – код детали;

$f_{j,3}$ – количество деталей, находящихся в данный момент времени на позиции (счетчик деталей);

$f_{j,4}$ – «флаг подачи деталей», который принимает значение единица, если была сделана заявка на подачу партии j -й детали, или равен нулю в противном случае;

$f_{j,5}$ – количество деталей в поступившей партии;

$f_{j,6}$ – время, затрачиваемое на доставку партии j -х деталей к i -й позиции;

$f_{j,7}$ – количество партий, поступивших на позицию за время моделирования;

$f_{j,8}$ – количество деталей, которое останется на позиции после сборки изделий, находящихся в данное время на конвейере;

$f_{j,9}$ – размер страхового запаса по j -й детали;

$f_{j,10}$ – время последнего обращения к j -й детали (поступление или выдача деталей);

$f_{j,11}$ – максимальное количество деталей на позиции за время моделирования;

$f_{j,12}$ – сумма произведений текущего количества деталей на период времени, в течение которого это количество было неизменным;

$f_{j,13}$ – количество деталей, выданных для сборки за период моделирования.

Подсписок изделий по каждой (i,j) -й деталепозиции содержит l_{ij} записей. Запись x -го изделия включает следующие атрибуты:

$f_{x,1}$ – код изделия;

$f_{x,2}$ – норма расхода j -й детали, находящейся на i -й позиции, на x -е изделие;

$f_{x,3}$ – флаг сборки (частное от деления $f_{j,8}$ на $f_{x,2}$, т. е. количество изделий x -го типа, сборка которых гарантирована по (i,j) -й деталепозиции с учетом находящихся на линии изделий).

Окно ввода исходных данных приведено на рис. 1.

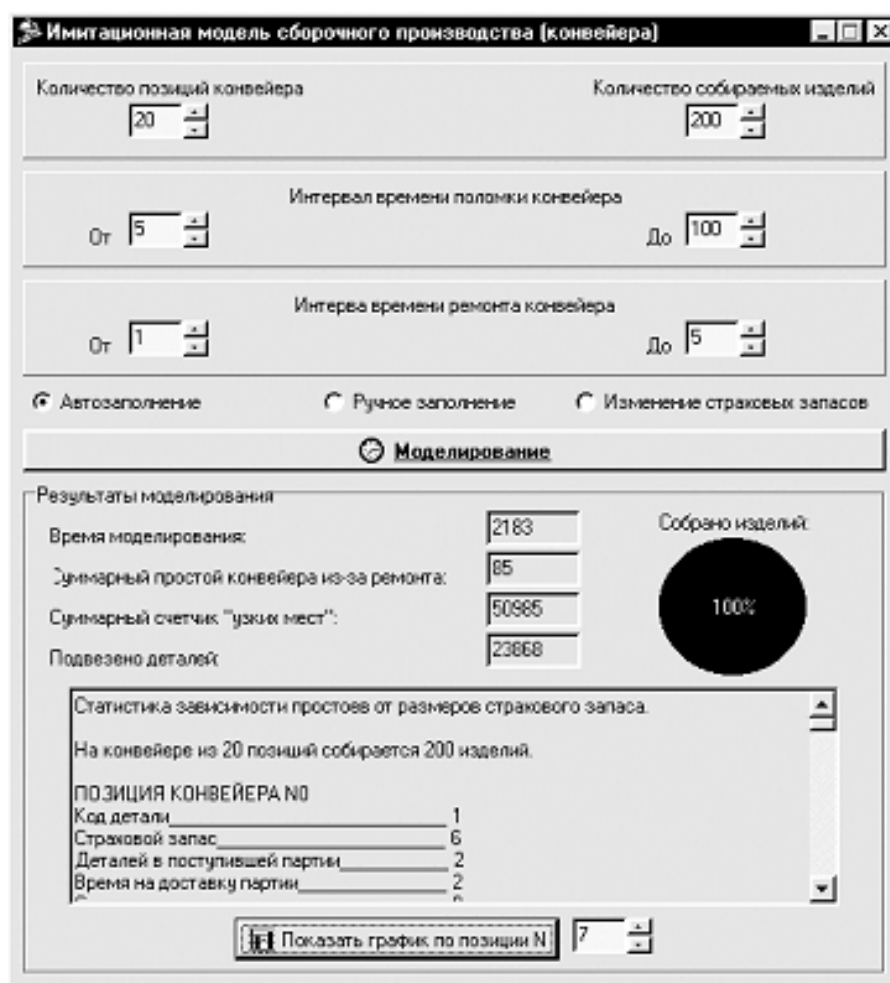


Рис. 1. Внешний вид главной экранной формы

В процессе моделирования происходят следующие изменения значений атрибутов базы данных (*PositTable*):

в момент начала сборки изделия на первой позиции:

$$f_{j,8} = f_{j,8} - f_{x,2}; \quad (1)$$

$$f_{x,3} = f_{j,8} / f_{x,2}; \quad (2)$$

в момент времени TIME поступления партии деталей:

$$f_{j,12} = f_{j,12} + f_{j,3} (\text{TIME} - f_{j,10}); \quad (3)$$

$$f_{j,3} = f_{j,3} + f_{j,5}; \quad (4)$$

$$f_{j,10} = \text{TIME}; \quad (5)$$

$$f_{j,7} = f_{j,7} + 1; \quad (6)$$

в момент выдачи деталей при сборке изделия:

$$f_{j,13} = f_{j,13} - f_{x,2}; \quad (7)$$

$$f_{j,3} = f_{j,3} - f_{x,2}. \quad (8)$$

Рассмотрим более подробно имитационную модель (рис. 2).

Вершинами графа служат следующие события:

Событие 1 (определение готовности к сборке изделий).

Событие 2 (подсчет «узких мест» – деталей, отсутствие которых сдерживает сборку).

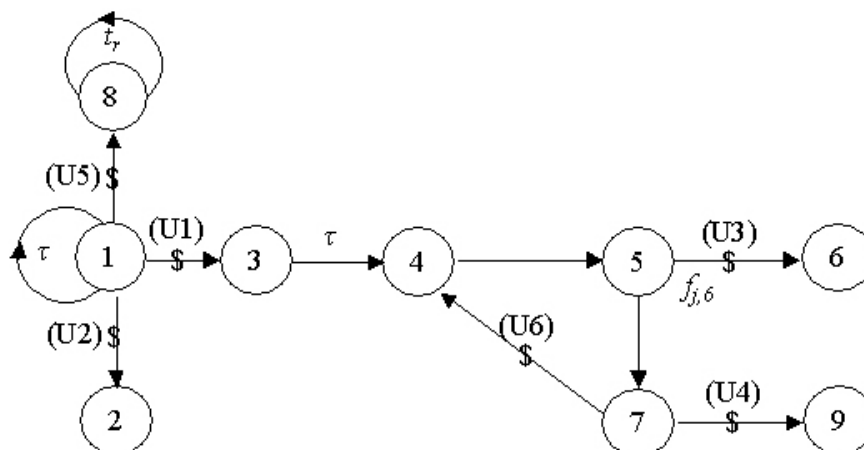


Рис. 2. Граф событий имитационной модели сборочной линии

Событие 3 (i) (начало сборки изделия на первой позиции): $i = 1$.

Событие 4 (i) (выдача деталей при сборке на i -й позиции):

$$f_{j,7} = f_{j,7} - f_{mz}$$

Событие 5 (i) (проверка наличия на позиции необходимого страхового запаса).

Событие 6 (i) (поступление партий деталей на i -ю позицию).

Событие 7 (i) (изменение номера позиции): $i = i + 1$.

Событие 8 (простой в работе конвейера, вызванный его поломками и ремонтом).

Событие 9 (выход готового изделия с конвейера):

$$OUT = OUT + 1.$$

Условия взаимосвязи событий:

U1: есть готовые к сборке изделия;

U2: нет готовых к сборке изделий;

U3: количество находящихся на позиции деталей меньше страхового запаса;

U4: сборка изделия окончена (последняя позиция);

U5: ремонт конвейера окончен;

U6: сборка изделия не окончена.

Опишем работу программных модулей, реализующих сборку изделия. В секции события 1 происходит обращение к базе данных *PositTable* и поиск в нем ненулевых элементов, то есть изделий, обеспеченных в данное время *TIME* деталями для сборки. Если такие изделия есть, то корректируются соответствующий элемент базы данных согласно выражениям (1), (2) и через такт движения конвейера планируется переход в модуль 3-го события с передачей номера изделия и номера позиции, а также возврат в модуль 1-го события; в противном случае (событие 2) в списке *PositTable* определяются детали, сдерживающие сборку, ведется подсчет «счетчика узких мест» и планируется возврат в модуль 1-го события через такт движения конвейера.

В модуле события 4 корректируется количество находящихся на i -й позиции деталей по формуле (6). В секции события 5 корректируются элементы списка *PositTable* в соответствии с выражениями (3) – (5), а также планируется поступление деталей (событие 6). После выполнения этих действий в модуле события 7 изменяется номер по-

зиции: $i = i+1$. Если $i < N$, то планируется возврат в модуль 4-го события, иначе – переход на модуль 9-го события через такт движения конвейера.

В модуле 6-го события проводится корректировка элементов списка *PositTable* в соответствии с выражениями (3) – (6).

В модуле 8-го события осуществляется имитация поломки конвейера, т. е. движение конвейера блокируется. По заданному закону разыгрывается длительность t_d безотказной работы конвейера, и в соответствии с временем t_d планируется событие 8.

В модуле 9-го события изменяется количество находящихся на N -й позиции деталей и фиксируется вышедшее с конвейера готовое изделие.

В финишной секции обрабатывается собранная за время моделирования статистическая информация: о среднем и максимальном числах деталей на позиции, о кодах деталей, отсутствие которых сдерживало сборку, о средних интервалах поступления деталей.

Имитационная модель позволяет анализировать эффективность использования следующих вариантов политик возобновления страхового запаса:

- с постоянным периодом и объемом пополнения запасов;
- с постоянным периодом и постоянным объемом пополнения;
- с постоянным периодом и переменным объемом пополнения;
- двухуровневая политика с постоянным периодом просмотра (момент размещения запаса определяется с учетом текущего уровня в момент просмотра).

Выводы

Имитационное моделирование реальных производственных систем является мощным инструментом анализа управленческих решений и разработки конкретных организационно-технических мероприятий, однако сложность подготовки базы данных производственно-технической информации значительно превосходит сложность построения самой имитационной модели. Повышение эффективности таких моделей может быть достигнуто при встраивании их в интегрированную информационную систему промышленного предприятия.

Литература

1. **Иванилов Ю. П., Лотов В. А.** Математические модели в экономике. М.: Наука, 1989. 304 с.
2. **Кельтон В., Лоу А.** Имитационное моделирование. Классика. СПб.: Питер, 2004. 847 с.
3. **Савина О. А., Лазарев С. А.** Язык имитационного моделирования систем EML (Event Modeling Language)/Сб. научных трудов ученых Орловской области. Вестник науки. Вып. 5. В 2-х томах Т. 2. Орел: ОрелГТУ, 1999. С. 232–238.