

*УДК 621.9.06*

*Чехович А.А.*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Медведев О.А.*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ЭЛЕМЕНТОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГПС С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНОГО ХАРАКТЕРА ВРЕМЕНИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАГОТОВОК**

Гибкие производственные системы (ГПС) являются эффективным средством повышения производительности труда в условиях мелкосерийного и среднесерийного производства. При большом разнообразии номенклатуры деталей, обрабатываемых в каждой ГПС, интервалы времени обработки деталей на многоцелевых станках и интервалы времени транспортирования деталей с помощью автоматизированной транспортно-складской системы характеризуются большим рассеянием значений. В этих условиях оценка эффективности работы элементов ГПС путем построения циклограмм, характерных для оценки работы автоматических линий, с учетом средних значений указанных интервалов приводит к завышенным результатам. При этом не учитываются потери, связанные с возможностью одновременного простоя нескольких станков в ожидании загрузки новыми заготовками, а также простои, возникающие из-за неравномерного поступления заготовок. Поэтому возникает потребность в других способах моделирования взаимосвязанной работы элементов ГПС на стадии их проектирования, которые будут учитывать стохастический характер времени работы отдельных элементов. В данной работе рассмотрены возможности использования методов теории массового обслуживания для моделирования и оценки эффективности работы ГПС на основе определения вероятностей возможных состояний ГПС.

Анализ взаимосвязанной работы элементов ГПС показал, что их можно считать многоканальными двухфазными системами массового обслуживания [1, 2] (первая фаза – транспортирование заготовок к станкам транспортным роботом, вторая – их обработка на станках) с очередями из заготовок перед первой и второй фазами в виде центрального. Теория массового обслуживания позволяет осуществить анализ работы системы при допущениях, что интервалы между поступающими требованиями на обслуживание и интервалы времени обслуживания подчиняются показательному закону распределения. В ряде работ [1, 2] показывается, что к таким условиям системы приспосабливается труднее. Рассчитанная на этот случай система при других распределениях работает эффективнее. Поэтому, на стадии проектирования ГПС, когда нет сведений о распределении интервалов времени, можно принять гипотезу о показательном законе их распределения.

Для моделирования работы ГПС необходимо: выявить возможные состояния ГПС, характеризующиеся числом приспособлений-спутников в обслуживающих фазах ГПС; разработать правила составления уравнений взаимосвязей вероятностей этих состояний; разработать математические выражения для определения коэффициента загрузки многоцелевых станков и транспортных средств по времени, для определения требуемого количества приспособлений-спутников, циркулирующих в ГПС.

Так как моменты поступления спутников на обслуживание и моменты окончания обслуживания в каждой фазе случайны, то число спутников, находящихся в обеих фазах обслуживания, случайным образом меняется во времени. Поэтому состояние системы  $E(i;j)$  в конкретный момент времени можно характеризовать числом заготовок, находя-

щихся в фазе транспортирования –  $i$  и в фазе обработки –  $j$ . Так как на участках ГПС имеется ограниченное число спутников, то система имеет конечное число состояний.

Переход системы из состояния в состояние происходит под действием потока требований на обслуживание и потоков «обслуживаний» в первой и второй фазах. Если интервалы времени между сменой состояний подчиняются показательному закону распределения, то моменты смены состояний распределяются по закону Пуассона и средние интенсивности смены состояний равны плотностям вероятностей соответствующих переходов из состояния в состояние. Среднюю интенсивность  $\lambda$  поступления заготовок с участка их подготовки в центральный накопитель можно определить, поделив единицу на среднее время их подготовки. Аналогично определяются интенсивности окончания обслуживаний в первой  $\mu_1$  и второй  $\mu_2$  фазах. Для наглядного представления всех состояний системы и интенсивностей переходов между состояниями целесообразно составить размеченный граф состояний в виде плоской фигуры, состоящей из прямоугольников или окружностей, соответствующих возможным состояниям ГПС, и стрелок между ними, соответствующих интенсивностям переходов ГПС из состояния в состояние.

Определение вероятностей состояний системы осуществляется при помощи дифференциальных уравнений Колмогорова [2], которые связывают вероятности соседних состояний системы и плотности вероятностей переходов между этими состояниями. Уравнение Колмогорова для состояния  $E(0;0)$  получается следующим образом. Вероятность  $P_{00}(t+\Delta t)$  того, что система в момент времени  $t+\Delta t$  будет находиться в состоянии  $E(0;0)$  будет равна сумме двух вероятностей: того, что система уже была в состоянии  $E(0;0)$  и за время  $\Delta t$  из него не вышла и того, что система была в состоянии  $E(0;1)$  и за время  $\Delta t$  перешла в состояние  $E(0;0)$ .

Первая из этих вероятностей равна

$$P_{00}(\Delta t) = (1 - \lambda \cdot \Delta t) \cdot P_{00}(t). \quad (1)$$

Вторая вероятность равна

$$P_{01}(\Delta t) = \mu_2 \cdot \Delta t \cdot P_{01}(t). \quad (2)$$

Тогда

$$P_{00}(t + \Delta t) = (1 - \lambda) \cdot P_{00}(t) + \mu_2 \cdot \Delta t \cdot P_{01}(t).$$

После преобразований с учетом того, что  $\Delta t$  стремится к нулю, получим выражение для производной вероятности  $P_{00}$

$$\frac{dP_{00}(t)}{dt} = -\lambda \cdot p_{00}(t) + \mu_2 \cdot p_{01}(t). \quad (3)$$

Аналогично получают уравнения Колмогорова для всех вероятностей состояний ГПС.

Для любой системы с конечным числом состояний, в которой возможен переход из каждого состояния в каждое другое за конкретное число шагов, при длительном функционировании наступает предельный стационарный режим, при котором каждое состояние осуществляется с некоторой постоянной вероятностью. При этом производные вероятностей состояний равны нулю и уравнения Колмогорова превращаются в линейные алгебраические уравнения. Так как интерес представляют показатели работы ГПС в течение длительного промежутка времени, то определение вероятности состояний системы целесообразно осуществлять для стационарного режима.

Линейные алгебраические уравнения, составленные для всех возможных состояний системы, образуют математическую модель временных связей ГПС. Они являются однородными и позволяют определить вероятности состояний с точностью до постоянного множителя. Для определения численных значений  $P(i,j)$  любое из уравнений системы заменяется нормировочным условием:

$$\sum_{i=1}^{i_{\max}} \sum_{j=1}^{j_{\max}} p_{ij} = 1. \quad (4)$$

Выражения для определения показателей эффективности работы ГПС разработаны следующим образом.

Коэффициент использования оборудования по времени будет равен сумме вероятностей тех состояний, в которых на обслуживании находится хотя бы один спутник с заготовкой.

Коэффициент использования основного оборудования равен:

$$K_c = \frac{n_{cp}}{n} \cdot K_{cm}, \quad (5)$$

где  $n_{cp}$  – среднее число накопителей, имеющих не менее одного спутника;  $n$  – число промежуточных накопителей, равное числу станков;  $K_{cm}$  – коэффициент использования станка, при условии постоянной занятости хотя бы одной позиции накопителя.

Значение  $n_{cp}$ , при известных вероятностях состояний системы, определяется как сумма произведений числа спутников в накопителе в каждом состоянии системы  $m'_n$  на вероятность соответствующего состояния системы

$$n_{cp} = \sum_{i=1}^{i_{\max}} \sum_{j=1}^{j_{\max}} m_n \cdot p_{ij}. \quad (6)$$

где  $m_n = j$ , при  $j < n$  или  $m_n = n$ , при  $j \geq n$ .

Значение  $K_{cm}$  определяется по формуле:

$$K_{cm} = \frac{t_{mаш}}{t_{mаш} + t_{cm}}. \quad (7)$$

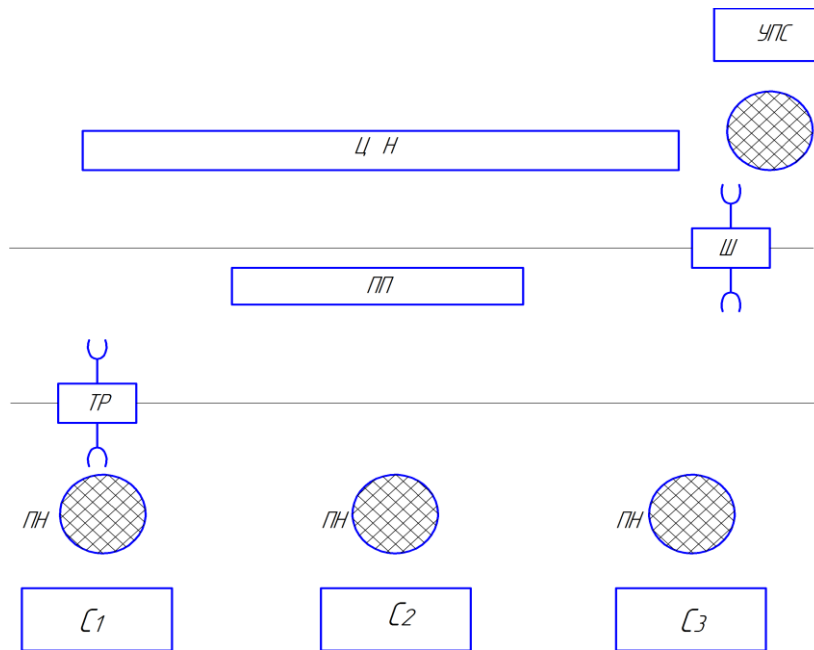
где  $t_{mаш}$  – среднее машинное время обработки на одном станке в ГПС;  $t_{cm}$  – время смены спутника между столом станка и позицией промежуточного накопителя.

Для определения среднего числа приспособлений – спутников, находящихся между участком их подготовки и станками, разработана формула:

$$m_{cp} = \sum_{i=1}^{i_{\max}} \sum_{j=1}^{j_{\max}} (i + j) \cdot p_{ij}. \quad (8)$$

По вероятностям состояний ГПС также можно установить требования к интенсивности обслуживания штабелёром и транспортным роботом для достижения нормативного коэффициента загрузки оборудования по времени.

Рассмотрим пример моделирования ГПС со структурой, представленной на рисунке 1. В ГПС входят:  $C_1, C_2, C_3$  – многооперационные станки с ЧПУ; ПН – промежуточные (пристаночные) накопители; ЦН – центральный стеллаж-накопитель; Ш – штабелёр; УПС – участок подготовки спутников; ТР – транспортный робот; ПП – промежуточная позиция хранения спутников.



**Рисунок 1 – Структура участка ГПС мехобработки**

Ёмкость промежуточного накопителя по рекомендациям [3] предварительно принималась равной 4 спутникам. Число спутников, циркулирующих между станком и участком их подготовки, предварительно принималось равным суммарной ёмкости промежуточных накопителей (12 штук). Для данной системы возможным является 91 состояние:

1.  $E(0; 0)$  – свободны обе обслуживающие фазы;
2.  $E(10)$  – в первой фазе один спутник, вторая свободна;
- .....
13.  $E(12;0)$  – в первой фазе 12 требований, вторая свободная;
14.  $E(0;1)$  – первая фаза свободна, во второй фазе один спутник в одном из накопителей;
- .....
89.  $E(0; 11)$  – первая фаза свободна, во второй – 11 требований;
90.  $E(1; 11)$  – в первой фазе 1 требование, во второй – 11;
91.  $E(0; 12)$  – первая фаза свободна, во второй – 12 требований.

На рис. 2 представлен размеченный граф состояний системы. Стрелками показаны переходы между состояниями с обозначениями плотности вероятности перехода. Система алгебраических линейных уравнений для данной системы, составленная по ранее описанным правилам, примет вид:

1.  $\lambda \cdot P(0; 0) - \mu_2 \cdot P(0; 1)$
2.  $(0) (\lambda) P(0; 1) = P(1; 1)$
- .....
13.  $(0) P(12; 0)$
14.  $(0) + (\lambda) \cdot P(0; 1) = P(0; 2)$
- .....
89.  $-\mu_1 \cdot P(1; 10) + (\lambda + 3\mu_2) \cdot P(0; 11) - 3\mu_2 \cdot P(0; 12)$
90.  $-\mu_1 \cdot P(2; 10) - \lambda \cdot P(0; 11) + (\lambda) P(1; 11)$
91.  $-\mu_1 \cdot P(1; 11) + 3\mu_2 \cdot P(0; 12) = 0,$  (18)

где  $P(i,j)$  – вероятность состояния, в котором в первой фазе находится  $i$  требований, а во второй –  $j$  требований.

Решение такой большой системы уравнений ручным способом потребует много времени, поэтому ее решение выполнялось с помощью пакета программ *Mathematica*. Определение показателей эффективности работы ГПС определялось по выражениям (5, 6, 7, 8) с помощью табличного редактора Microsoft Excel.

Разработанная методика моделирования ГПС позволяет оценить эффективность работы ГПС на стадии ее проектирования и принять обоснованные решения по количественному составу элементов ГПС и по требуемой интенсивности вспомогательных операций (подготовки спутников и их транспортирования). Методика может быть полезна инженерам машиностроительных заводов, занимающимся проектированием ГПС.

#### **Список цитированных источников**

1. Вентцель, Е.С. Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972.
2. Новиков, О.А. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. – М.: Советское радио, 1969.
3. Гибкие производственные комплексы / Под. ред. П.И. Беянина. – М.: Машиностроение, 1984.

УДК 621.92.001.891.57:744

**Шедько Д.Г.**

**Научный руководитель: старший преподаватель Морозова В.А.**

### **3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ЧАСОВ МАЯТНИКОВОГО ТИПА В ГРАФИЧЕСКОМ РЕДАКТОРЕ КОМПАС-3D**

*Время – драгоценный подарок, данный нам, чтобы в нем  
стать умнее, лучше, зрелее и совершеннее*

*Т. Манн*

В данной работе хотелось показать не только сложность, но и оригинальность проекта. Хотелось покорить не только пространство, но и время. Наверное, поэтому и были выбраны для проектирования механические часы маятникового типа. Разве не удивительна сама возможность сделать крошечную машину, которая, будучи всего лишь коллекцией колёс и гирь, настолько точно показывает время! Пусть пока и только в виртуальном 3D-пространстве. Но после создания виртуальной 3D-модели можно сделать часы и реальными, например, при помощи 3D-печати, механической обработки и др. Идея часов взята с сайта [woodentimes.com](http://woodentimes.com). Откуда только по внешнему виду и видео (чертежи не представлены) нами был выполнен наш проект.

**Устройство механических часов.** Механические часы – часы, использующие гиревой или пружинный источник энергии. В качестве колебательной системы применяется маятниковый или балансовый регулятор.

Первые маятниковые часы изобретены в Германии около 1000 года аббатом Гербертом – будущим папой Сильвестром II. Около 1200 появились башенные часы. Позже появились карманные, а затем – много позже – и наручные часы. Вначале наручные часы были только женские, богато украшенные драгоценными камнями ювелирные изделия, отличающиеся низкой точностью хода. Ни один уважающий себя мужчина того времени не надел бы часы себе на руку. Но войны изменили порядок вещей и в 1880 массовое производство наручных часов для армии начала фирма Girard-perregaux.