УДК 658.52.011

С.С. Стоянченко

МАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МНОГОПОЗИЦИОННОГО ТРАНСПОРТЕРА

Постановка вопроса. Анализ производственных процессов предприятий машино и приборостроения показывает, что время обработки изделия составляет не более 10% от полного времени изготовления изделия. Остальное время приходится на процессы транспортирования и промежуточного хранения. В современных производственных системах широкое применение нашли многопозиционные транспортеры. На предприятиях легкой и пищевой промышленности такие транспортеры применяются для межоперационного транспортирования изделий. Процесс функционирования производственных систем характеризуется значительной степенью неопределенности и подвержен воздействию многих случайных факторов. Эффективность работы рассматриваемых производственных систем во многом определяется организацией процесса функционирования многопозиционного транспортера.

Анализ публикаций. Изучению вопросов построения эффективного взаимодействия транспортного и производственного оборудования посвящены многие работы [2,3,4]. В работе [2] исследованы проблемы синтеза структур производственных систем. В этих работах предлагаются аналитические модели работы транспортера. Такие модели строятся на основе различных предположений о характере протекающих в системе процессов. Построение аналитических моделей отличается существенной трудоемкостью. Кроме того, такие модели часто неадекватно отражают реальные процессы. Для эффективной организации работы многопозиционного транспортера необходимо выяснить основные факторы, определяющие его производительность.

Целью настоящей работы является выявление основных факторов, которые определяют производительность многопозиционного транспортера и анализ характера зависимости производительности транспортера от выявленных факторов.

Основная часть. В конструкции многопозиционного транспортера можно выделить две основные части (рис. 1): одноканальную и многоканальную. При отказе одноканальной части возникает простой всего транспортера. Отказ же одной из позиций многоканальной части приводит к снижению производительности транспортера. Стратегия управления транспортером должна предусматривать его остановку после выхода из строя определенного числа позиций многоканальной части. Число вышедших из строя позиций многоканальной части, при котором производится остановка транспортера для устранения отказов, в дальнейшем будем называть критическим числом.

Выбор критического числа позиций многоканальной части определяет стратегию управления многопозиционным транспортером. Оптимальная стратегия управления должна обеспечить максимальную производительность транспортера. На выбор стратегии управления оказывает влияние множество факторов. Среди них: число позиций многоканальной части, длительность рабочего цикла, параметры надежности транспортера. Первый параметр характеризует уровень безотказности оборудования, а второй - уровень его ремонтопригодности

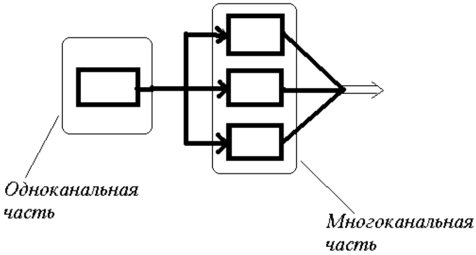

Рис. 1 – Структурная схема многопозиционного транспортера

Для оценки производительности транспортера можно использовать следующую формулу:

$$P = \frac{\sum\limits_{i=0}^{k} t_i(N-i)}{TN}100, \tag{1}$$

где – P – оценка производительности транспортера (%);
k – критическое число вышедших из строя рабочих позиций;
N – общее число рабочих позиций транспортера;
T – время работы транспортера (мин);
t_i – время работы транспортера с i вышедшими из строя рабочими позициями (мин).

Приведенное выражение показывает, что для оценки производительности используется величина равная отношению реальной производительности к производительности транспортера с абсолютно надежными рабочими позициями. Эту величину можно измерить в процентах. Она характеризует потери производительности, обусловленные выходами из строя рабочих позиций транспортера. Собственно потери производительности Z (%) определяются по формуле:

$$Z = 100 - P. \tag{2}$$

Анализ процесса функционирования многопозиционного транспортера показывает, что потери производительности, связанные с выходом из строя рабочих позиций, можно разделит на два вида. Потери первого вида (Z1) вызваны простоями рабочих позиций транспортера, во время его работы с исправными рабочими позициями. Оценку потерь производительности этого вида можно выполнить по формуле (3). В этой формуле использованы те же переменные, что и в формуле (1):

$$Z1 = \frac{\sum\limits_{i=0}^{k} t_i \cdot i}{TN} 100. \tag{3}$$

Потери второго вида связаны с простоями всех позиций транспортера во время его остановки для ремонта вышедших из строя рабочих позиций. Обозначим потери второго вида через Z2. Эти потери выражаются формулой:

$$Z2 = \frac{\sum\limits_{i=0}^{l} t_{ni} \cdot k}{TN} 100, \tag{4}$$

где – l – количество остановок транспортера для восстановления работоспособности ;

k – критическое число вышедших из строя позиций транспортера;

t_{ni} – длительность восстановления работоспособности k позиций транспортера при i-той остановке;

N – общее число позиций транспортера; T – время работы транспортера (мин).

Представляет интерес вопрос о влиянии потерь Z1 и Z2 на производительность транспортера. Для поиска этой зависимости разработана аналитическая модель на основе теории цепей Маркова. Для оценки надежности технологического оборудования часто используют такие параметры как средняя интенсивность отказов λ (мин$^{-1}$) и средняя длительность восстановления работоспособности μ (мин) [2]. Известно, что время безотказной работы технического оборудования с достаточным для практических целей приближением может быть описано случайной величиной, распределенной по экспоненциальному закону:

$$P(t) = e^{-\int\limits_0^t \lambda(t)dt}, \tag{5}$$

где t – время безотказной работы позиции транспортера (мин);

$\lambda(t)$ – интенсивность потока отказов как функция времени (мин$^{-1}$).

Время восстановления работоспособности также описывается случайной величиной с экспоненциальным законом распределения.

$$G(t) = e^{-\int\limits_0^t \frac{1}{\mu(t)}dt}, \tag{6}$$

где $\mu(t)$ – средняя длительность восстановления работоспособности позиции транспортера.

Будем считать параметры законов распределения $\lambda(t)$ и $\mu(t)$ стационарными, т.е. не зависящими от времени. Кроме того, положим параметры потоков отказов всех позиций транспортера одинаковыми и равными λ (мин$^{-1}$). Среднее время восстановления работоспособности каждой рабочей позиции положим равным μ (мин). Указанные допущения являются общеупотребительными при расчете надежности технологического оборудования [1,4] и вносят пренебрежимо малые искажения в полученные результаты. При указанных допущениях для описания процесса функционирования многопозиционного транспортера может быть построена аналитическая модель с использованием теории дискретных стационарных цепей Маркова. Для построения такой модели требуется сконструировать множество состояний моделируемой системы и описать матрицу вероятностей переходов между состояниями системы. Исследуемая система, представляющая собой многопозиционный транспортер, может находиться k различных состояниях S_i $(i = 1 \dots k)$. K – критическое число позиций. Каждое дискретное состояние характеризуется количеством вышедших из строя рабочих позиций. Номера состояний 0, 1, 2, $\dots k$. Переход из i-го состояния ($i = 0 \dots k-1$) в j-е ($j = i+1$) происходит с постоянной интенсивностью $(N - I) \cdot \lambda$. Здесь N – количество позиций транспортера. Каждый такой переход соответствует выходу из строя одной позиции транспортера. Переход из состояния S_k в состояние S_0 происходит с вероятностью $\mu^{-1} \cdot (0,1 \cdot k)$. Такой переход соответствует восстановлению работоспособности K вышедших из строя позиций транспортера. Другие виды переходов в рассматриваемой системе не допустимы. Матрицу вероятностей допустимых переходов в Марковской цепи исследуемой системы можно описать следующим соотношением:

$$P_{i,j} = \begin{cases} (N-i)\cdot\lambda, & i = \overline{0 \dots k-1},\ j = i+1, \\ \mu^{-1}(0.1\cdot k), & i = k, j = 0. \end{cases} \tag{7}$$

Такой матрице соответствует граф переходов, показанный на рис. 2.

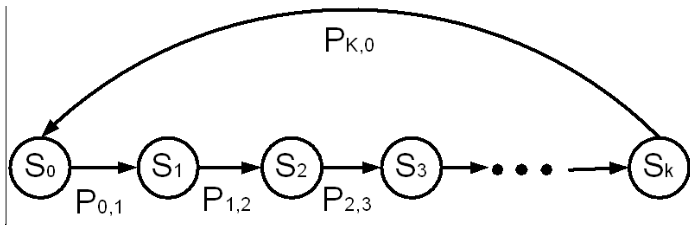

Рис. 2 – Граф переходов Марковской цепи

Для Марковской цепи можно записать систему уравнений Чепмена-Колмогорова:

$$\sum_{i=0}^{k} T_i \cdot p_{i,j} = T_j, \quad j = \overline{0 \dots k}, \tag{8}$$

Решение этой системы уравнений позволяет найти стационарные вероятности (T) пребывания системы в каждом из дискретных состояний.

 ISSN 1562-9945

Вероятность пребывания системы в одном из состояний можно рассматривать как относительную долю времени, проведенную транспортером в этом состоянии. Каждому состоянию транспортера можно в рассматриваемом случае можно приписать соответствующую производительность транспортера. Производительность транспортера, соответствующая состоянию S_o равна 1. Производительность, соответствующая состоянию S_i (при $I > 0$ и $I < k$), будет равна:

$$P_i = \frac{N-i}{N}. \tag{9}$$

Наконец производительность транспортера в состоянии S_k ,будет равна 0, т.к. это состояние соответствует простою транспортера в связи с ремонтом вышедших из строя позиций.

Таким образом можно определить производительность (P) транспортера по формуле:

$$P = \sum_{i=0}^{k} T_i \cdot P_i, \tag{10}$$

Используя приведенные соотношения можно определить ожидаемую производительность транспортера в зависимости от принятой стратегии управления (критическое число K) и параметров надежности транспортера.

Результаты исследований. На рис. 3,4 и 5 показаны полученные зависимости потерь производительности транспортера от принятой стратегии управления и уровня надежности его позиций. Для оценки уровня надежности использовалась величина $\lambda \cdot \mu - 1$.

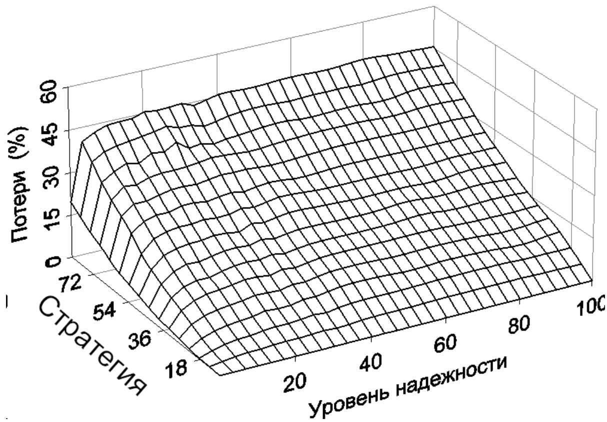

Рис. 3 – Зависимость потерь первого вида от принятой стратегии управления и уровня надежности позиций транспортера

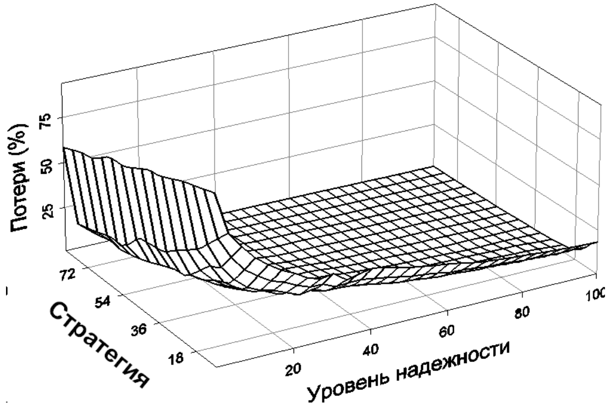

Рис. 4 – Зависимость потерь второго вида от принятой стратегии управления и параметров надежности позиций транспортера

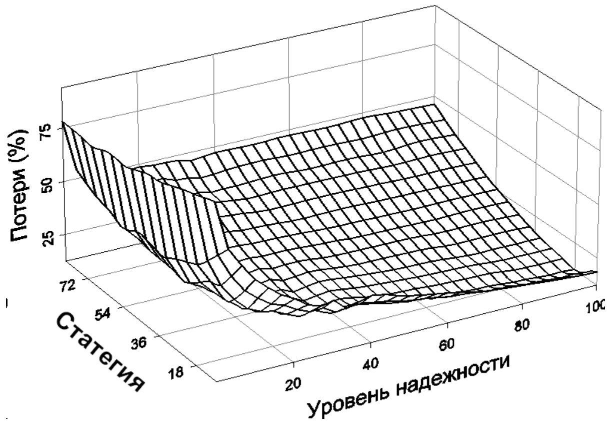

Рис. 5 – Зависимость потерь производительности от принятой стратегии управления и параметров надежности позиций транспортера

 ISSN 1562-9945

Приведенные зависимости показывают, что при небольших значениях k преобладают потери второго вида, а при больших значениях k – потери первого вида. Полученные результаты позволяют определить оптимальную стратегию управления транспортером (число вышедших из строя позиций k) и оценить влияние параметров надежности транспортера на его производительность.

Литература

1. Голинкевич, Т.А. Прикладная теория надежности /Т.А. Голинкевич.– М.: Высшая школа, 1985. – 168 с.
2. Гавриш, А.П.. Роботизированные механообрабатыаающие комплексы машиностроительного производства / А.П.Гавриш, Б.М. Воронец . К..: Техніка, 1984. – 198 с.
3. Егоров, В.А. Транспортно-накопительные системы ГПС / В.А. Егоров, В.Д. Лузанов, С.М. Щербаков. – Л.: Машиностроение. Ленингр.отд-ние, 1989. – 293 с.
4. Автоматическая загрузка технологических машин: Справочник / Бляхеров И.С., Варьяш Г.М., Иванов А.А. и др. Под общ. ред.. Клусова И.А. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.