УДК 004.855

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ С ОДНОРОДНЫМ ПОТОКОМ ПРОДУКЦИИ

В. Е. Белоусов, О. Ю. Карчевский

Воронежский государственный технический университет

Поступила в редакцию 20.01.2017 г.

Аннотация. Предлагается модель оценки адекватности соответствия гибкой производственной системы, которая не требует проводить статистические эксперименты. Модель основана на принципе вложения подсистем, позволившем представить ее в виде рекуррентной последовательности операций.
Ключевые слова: адекватность, гибкая производственная система, продукция, эксперимент.
Annotation. The model of assessment of adequacy of compliance of a flexible production system which doesn't require is offered to make statistical experiments. The model is based on the principle of an investment of subsystems which allowed to present it in the form of the recurrent sequence of transactions.
Keywords: adequacy, flexible production system, production, experiment.

Существующие методы оценки соответствия моделей гибких производственных систем не в достаточной мере учитывают процесс прохождения потока продукции. Основные соотношения в них были получены на базе модели систем массового обслуживания и, следовательно, имеют ограничения по структуре рассматриваемых систем. Поэтому целесообразно рассматривать ситуации, когда структура модели задается в общей форме, не требующей подробной расшифровки фаз обслуживания, при этом характеристики потока продукции включены естественным образом в расчет показателя надежности оцениваемой модели. Единственным допущением является малая вероятность перехода системы в состояние насыщения [1].

Сроки проведения исследований модели могут существенно сократиться в случае использования экспертной системы на основе продукционной структуры представления знаний (например, Visual Prolog). Так при оценивании эффективности гибких производственных систем, включающих в себя разнотипные робототехнические системы, транспортные линии, погрузчики, автоматизированное складское оборудование и SCADA системы позволило в 11...14 раз сократить сроки проведения исследований. Аналогичные подходы применимы и для ряда других практических задач моделирования сложных распределенных систем.

Рассмотрим гибкую робототехническую производственную систему, представляющую собой последовательную технологическую цепочку, предназначенную для производства однородной продукции. Однородность будем понимать в смысле стационарности законов распределения случайных интервалов операций по обработке изделий, составляющих поток. В частном случае это может быть продукция одного вида или смесь нескольких потоков, в которых параметры распределения интервалов мало отличаются друг от друга. При этом если даже сам интервал обработки имеет небольшую дисперсию, то в общий интервал операции обычно включаются другие интервалы с существенной дисперсией (например, интервал транспортировки).

Заметим, что производственная система разнится с другими видами технических систем тем, что содержит два типа элементов: орудия труда и предметы труда. Предметы труда не функционируют в обычном смысле и могут очень слабо влиять на надежность орудий труда. Однако функциональная надежность производственной системы (если функцию системы понимать как выпуск продукции) зависит от резерва и орудий труда, и предметов труда. Другими словами, на функциональной надежности производственной системы сказывается наполнение промежуточных емкостей, которые мы будем называть складами C.

Орудия труда будут представлены, так называемыми агрегатными узлами *А*. Агрегатный узел состоит из комплекса агрегатов, каждый из которых может производить различные операции. Внутренняя структура узла в данном случае не имеет значения. Необходимо лишь различать вход и выход по потоку продукции. Объем л-го склада ограничен и равен $M(n)$. Это, впрочем, не относится к входному складу $C(1)$ и выходному $C(N+1)$.

Исправный агрегатный узел имеет производительность $R(n)$. В дальнейшем предположим, что интервалы между изделиями в потоке распределены по экспоненциальному закону, т. е. на выходе агрегатного узла наблюдается пуассоновский поток с плотностью $R(n)$. Это даст возможность получить простые алгебраические формулы для расчета.

В случае не экспоненциальных распределений параметры этих формул предполагается идентифицировать с помощью имитационного моделирования, выразив их через параметры соответствующих распределений [3].

Обозначим через $p_1(n)$ вероятность исправного состояния n-го агрегатного узла, а через $p_0(n) = l - p_i(n)$ – вероятность отказа узла, т. е. нерабочего состояния [4]. Предположим, что эти вероятности предварительно вычислены в зависимости от структуры узла как технической системы. Будем считать, что функциональный отказ производственной системы состоит в отсутствии потока продукции на выходе системы, т. е. на выходе узла $A(N)$. Обозначим вероятность этого события через $p_0(S)$, а вероятность противоположного события через $p_1(S)$.

Поскольку поток продукции прерывается не только при отказе агрегата, но и при пустом складе на его входе, рассмотрим процесс изменения состояний склада. Любой агрегатный узел $A(n)$ способен выпускать продукцию при наличии двух условий: склад $C(n)$ не пуст и склад $C(n+1)$ не переполнен. Для оценивания вероятности этих двух событий рассмотрим процесс перехода состояний l-го склада (индекс n в данном подразделе для сокращения опущен).

Обозначим через c_m – состояние склада, при котором на нем имеется ровно m изделий. Учтем, что на склад $C(n)$ поступает поток от агрегатного узла $A(n-1)$. а узел $A(n)$ потребляет продукцию этого склада. Обозначим через a и b плотности соответственно наполняющего и потребляющего потоков.

Обозначим через q_m вероятность состояния c_m. Поскольку мы предположили, что потоки пуассоновские, исходя из этой схемы, можно записать следующую систему уравнений (уравнения Чепмена – Колмогорова) [2]:

$$\begin{cases} \dfrac{dq_0}{dt} = bq_1 - aq_0; \\ \vdots \\ \dfrac{dq_m}{dt} = aq_{m+1} - aq_m + aq_{m-1} - bq_m; \\ \vdots \\ \dfrac{dq_M}{dt} = aq_{M-1} - bq_M. \end{cases} \qquad (1)$$

Из уравнений, соответствующих стационарному режиму (все производные слева равны 0), и очевидного соотношения: сумма q_m по всем m равна 1 – следует:

$$q_1 = \frac{a}{b} q_0;\, q_2 = \frac{a_2}{b_2} q_0; \ldots; q_M = \frac{a_M}{b_M} q_0, \qquad (2)$$

откуда:

$$q_0 = \frac{1}{1 + \dfrac{a}{b} + \dfrac{a_2}{b_2} + \ldots + \dfrac{a_M}{b_M}} = q_0(a, b, M).$$

Выделим на схеме системы вложенные друг в друга подсистемы, которые назовем $S(n)$, где n – индекс соответствующей подсистемы.

Указанные подсистемы выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned}
&S(1): \quad C(1)-A(1);\\
&S(2): \quad S(1)-C(2)-A(2);\\
&\vdots\\
&S(n): \quad S(n-1)-C(n)-A(n);\\
&\vdots\\
&S(N): \quad S(N-1)-C(N)-A(N)
\end{aligned} \tag{3}$$

Это означает, что n-я подсистема начинается складом $C(1)$ и заканчивается агрегатным узлом $A(n)$. Следовательно, подсистема $S(N)$ эквивалентна всей системе.

Обозначим через $p_1(S(n))$ вероятность того, что в произвольный момент времени на выходе подсистемы $S(n)$ выпускается продукция. Очевидно, что поток $a(n)$ существует и плотность его равна $R(n-1)$, когда подсистема $S(n-1)$ выпускает продукцию. Вероятность последнего события в принятых обозначениях равна $p_1(S(n-1))$. Следовательно, средняя плотность наполняющего потока $a(n)$ вычисляется по формуле:

$$a(n) = R(n-1)\,p_1(S(n-1)). \tag{4}$$

Точно так же имеется поток $b(n)$ и плотность его равна $R(n)$, когда работает узел $A(n)$:

$$b(n) = R(n)\,p_1(n). \tag{5}$$

где $p_1(n)$ – вероятность функционирования узла $A(n)$.

Формулы справедливы при условии, что склады $C(n)$ и $C(n+1)$ не переполняются. Для этого будем считать их объемы достаточно большими.

Тогда подсистема $S(1)$ выпускает продукцию, если агрегатный узел $A(1)$ исправен, склад $C(1)$ не пуст и склад $C(2)$ не переполнен. Но вероятность последнего события мы приняли равной 1. Следовательно:

$$p(S(1)) = p_1(1)(1-q_0(a(1),b(1),M(1))), \tag{6}$$

где $b(1) = R(1)\,p_1(1)$.

Точно так же для подсистемы $S(2)$ вероятность $p_1(S(2))$ есть вероятность произведения аналогичных событий:

$$p(S(2)) = p_1(2)(1-q_0(a(2),b(2),M(2))), \tag{7}$$

где $a(2) = R(1)\,p_1(S(1))$; $b(2) = R(2)\,p_1(2)$.

Продолжив эту последовательность до конца, будем иметь:

$$\begin{aligned}
&p_1(S) = p_1(S(n)) =\\
&= p_1(N)(1-q_0(a(N),b(N),M(N))),
\end{aligned} \tag{8}$$

где $a(N) = R(N-1)\,p_1(S(N-1))$;

$b(N) = R(N)\,p_1(N)$.

Таким образом, полученная модель дает возможность поставить и решить задачи оптимизации параметров гибкой производственной системы при организации и проведении натурно-вычислительных экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белоусов В. Е.* Алгоритм для оперативного определения состояний объектов в многоуровневых технических системах / В. Е. Белоусов, С. А. Кончаков // Экономика и менеджмент систем управления. – № 3.2(17). – 2015. – С. 227–232.

2. *Белоусов В. Е.* Алгоритм для анализа вариантов решений в многокритериальных задачах / П. Ю. Аксененко, В. Е. Белоусов, С. А. Кончаков // Системы управления и информационные технологии. – №4(62). – 2015. – С. 31–33.

3. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей: Учебник для студ. вузов / Е. С. Вентцель. – М. : Издательский центр «Академия», 2003. – 576 с.

4. *Десятирикова Е. Н., Белоусов В. Е.* Информационная модель локальной системы управления // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Системный анализ и информационные технологии. – 2013. – № 2. – С. 23–27.

Белоусов Вадим Евгеньевич – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов и производств Воронежского государственного технического университета.
Тел.: (4732)76-40-07
E-mail: belousov@vgasu.vrn.ru

Belousov Vadim E. – candidate of Technical Sciences, head of the department of automation of technological processes and manufactures of the Voronezh State Technical University.
Tel.: (4732) 76-40-07
E-mail: belousov@vgasu.vrn.ru

Карчевский Олег Юрьевич – аспирант Воронежского государственного технического университета.
Тел.: (4732)76-40-07
E-mail: karchevsky@vgasu.vrn.ru

Karchevsky Oleg Yu. – graduate student, Voronezh State Technical University.
Tel.: (4732) 76-40-07
E-mail: karchevsky @vgasu.vrn.ru