

У ДК 681.5.09

В.Я. Копп, проф., д-р техн. наук, О.В. Филипович, ассистент,

А.А. Брюховецкий, доцент, канд. техн. наук,

Г.Г. Сергеев, доцент, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

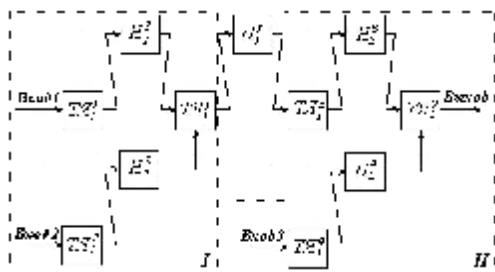
ps@sevgtu14.sebastopol.ua

АЛГОРИТМ ИТЕРАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОПОТОЧНЫХ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЛИНИЙ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ УЗЛОВ

Описывается процедура построения модели многопоточных гибких автоматизированных линий с последовательным расположением узлов на основе итерационной процедуры, приводится пример моделирования линии и определения параметров ее функционирования.

Многопоточные гибкие автоматизированные линии (МГАЛ) механосборочного производства являются сложными системами, состоящими из сходящихся потоков, интенсивность каждого из которых зависит от интенсивностей остальных. Математическую модель такой линии необходимо строить с точки зрения системного подхода, предполагающего учет взаимовлияния всех ее элементов (технологических ячеек (ТЯ), накопителей (Н) и др.) друг на друга.

Методики построения полумарковских итерационных моделей однопоточных ГАЛ (ОГАЛ) и марковских моделей многопоточных линий приведены в [1,2]. Актуальность исследований обусловлена необходимостью построения моделей, более адекватно описывающих функционирование таких сложных производственных систем как МГАЛ. Целью работы является разработка алгоритма моделирования МГАЛ, содержащих два и более сходящихся потоков, узлы которых расположены друг



относительно друга
последовательно
Модель
предполагается
построить для
определения
надежностных
параметров и
производительности

Рисунок 1 – Структурная схема МГАЛ в
формализованном виде: ТЯ – технологическая ячейка;
Н – межоперационный накопитель

линий подобноготипа.

Рассмотрим МГАЛ, пример структуры которой приведен на рисунке 1.

Предполагается, что все ТЯ связаны друг с другом только через накопители, т.е. структура линии приведена к нормальному виду. Иерархическую структуру МГАЛ можно представить состоящей из узлов, ветвей и участков ветвей. Для дальнейшего описания используем определения, введенные в [1].

Узловыми ТЯ называются ячейки, к которым сходятся два или более входных потоков продукции, например, с последующей сборкой на них поступивших комплектующих и формированием выходного потока собранных узлов или подузлов. Узловым называется накопитель, по входу которого присоединена узловая ячейка. Участком называется совокупность ТЯ и Н, при этом если участок начинается накопителем и заканчивается ячейкой, то он называется основным, в противном случае – сопряженным. Ветвью называется часть МГАЛ, включающая в себя последовательно соединенные через накопители ТЯ, заключенная между двумя узловыми ТЯ (промежуточная), а также между входной и узловой ТЯ (входная) или между узловой и выходной ячейками (выходная). Ветви также подразделяются на сопряженные (начинаются ячейкой, заканчивается накопителем), основные (начинаются накопителем, заканчиваются ячейкой) и полные (начинаются и заканчиваются ячейкой). Узлом называется часть МГАЛ, состоящая из узловой ТЯ и подходящих к ней сопряженных ветвей. Выходной (последний) узел МГАЛ содержит кроме этого основную выходную ветвь. На рисунке 1 номера узлов обозначены римскими цифрами. Общая структура узла p изображена на рисунке 2.

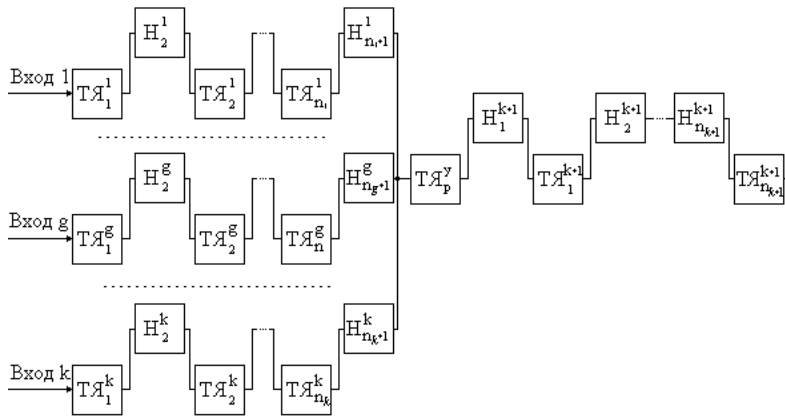


Рисунок 2 – Структура узла МГ АЛ

Одним из основных является вопрос определения длин очередей в межоперационных накопителях линии. Сложность данного вопроса объясняется тем, что длина очереди в каждом накопителе зависит не только от производительности ячеек и надежности всех элементов линии, но и от длин очередей во всех других накопителях. В данном случае предполагается линейное расположение Q узлов в линии (рисунок 3).

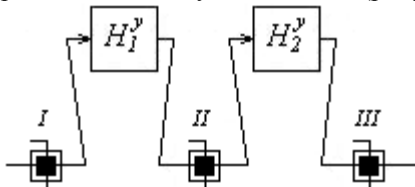


Рисунок 3 – Схема МГ АЛс линейным расположением узлов

На рисунке 3 узловые ячейки 1, 2, 3 обведены квадратами и через накопители соединены со входными ветвями последующих узлов. Для данной схемы расположения узлов при расчете с использованием метода вложенных итераций [1] достаточно трех уровней последних, внешняя итерационная процедура проводится между узлами, промежуточная – между ветвями, внутренняя – между участками.

На внешних итерациях рассчитываются параметры узловых накопителей. На итерациях по ветвям узлов рассчитываются длины очередей в накопителях, соединяющих входные ветви с узловой, а в выходном узле МГ АЛ – длина очереди в накопителе, соединяющем узловую ячейку с выходной ветвью. На итерациях по участкам ветвей рассчитываются функции распределения длин

очереди в накопителях ветвей на базе модели системы массового обслуживания (СМО) типа G/G/1/K, приведенной в [3] и модели участка линии, приведенной в [4].

В случае, если надежность накопителей линии можно считать абсолютной, то исходными данными для построения модели являются функции распределения (ФР) времен наработки на отказ ($F(t)$) и восстановления ($G(t)$) всех ТЯ линии, ФР времен обслуживания на них единицы продукции ($\Theta(t)$), а также емкости межоперационных накопителей

Рассмотрим последовательно каждый уровень итераций. Внешняя итерационная процедура (итерации по узлам) имеет целью определение длин очередей в узловых накопителях, что позволяет сворачивать МГАЛ относительно входов любого из узлов. Итерации по узлам при построении модели линии производятся только тогда, когда на итерациях более низких уровней рассчитаны параметры узлов и произведены их замены простейшими эквивалентными элементами. В этом случае линия с линейной структурой расположения узлов (рисунок 3) сводится к ОГ АЛ (рисунок 4), которая моделируется в соответствии с алгоритмом, приведенным в [2].

На нулевой итерации данного уровня рассматривается СМО предыдущий узел $\rightarrow$ узловой накопитель $\rightarrow$ последующий узел.

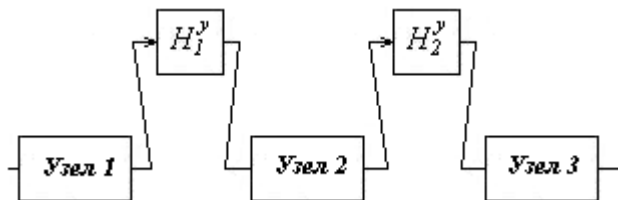


Рисунок 4 – ОГ АЛ, моделируемая на узловых итерациях

При расчете определяются ФР длин очередей в узловых накопителях, а также относительно каждого простейшего элемента, заменяющего узел, сворачиваются части линии, стоящие до него (слева) и после него (справа). Эти элементы через узловые накопители присоединяются к каждому из элементов, представляющих собой узлы. Здесь и далее под сверткой понимается эквивалентная замена нескольких элементов одним (ЭЭ), имеющим два состояния: рабочее и отказное. В результате такой замены по исходным данным каждого из элементов необходимо определить ФР наработки на отказ и восстановления ЭЭ, а также ФР времени обслуживания им единицы продукции

На первой и последующих итерациях при моделировании каждого из узлов учитывается влияние на них всех остальных элементов линии. Для этого отдельный узел рассчитывается с присоединенными к его входу и выходу остальными частями МГАЛ, замененными простейшими элементами и содержащими все другие узлы, параметры которых берутся с предыдущей итерации. Следует отметить, что параметры эквивалентной замены узла после каждой итерации должны содержать только параметры элементов, находящихся внутри него без учета пристыкованных остальных частей линии.

Узловая итерационная процедура продолжается до тех пор, пока колебания параметров рассчитываемых узлов не станут меньше заданной требуемой величины. После того как определены параметры узлов, определение параметров всей линии не вызывает трудностей: она сворачивается в один простейший элемент, для которого вычисляются параметры надежности и производительность.

Промежуточные итерации (по ветвям узла) выполняются при условии, что эквивалентные элементы, присоединенные ко входам и выходу рассматриваемого узла, а также длины очередей в узловых накопителях остаются неизменными (они изменяются на узловых итерациях). Цель моделирования на данном уровне итерационной процедуры является анализ взаимного влияния элементов (ветвей), находящихся внутри узла, друг на друга, а также определение ФР длин очередей в соответствующих накопителях, о чем уже говорилось выше. Рассмотрим выходной узел линии как элемент, имеющий самую сложную структуру (рисунок 2) без учета стыковки ко входу и выходу узла эквивалентных элементов замены остальных частей линии. Перед узловой итерацией все полные выходные ветви свернуты в простейшие элементы (рисунок 5).

На нулевой итерации рассчитываются k СМО: входная ветвь $g(g = \overline{1, k}) \rightarrow$ накопитель $H_{n_g+1}^g(g = \overline{1, k}) \rightarrow TЯ_p^g$, а также одна СМО $TЯ_p^g \rightarrow H_1^{k+1} \rightarrow$ выходная ветвь. На этой итерации ФР длин очередей в накопителях рассчитываются отдельно, то есть не учитывается влияние ветвей друг на друга.

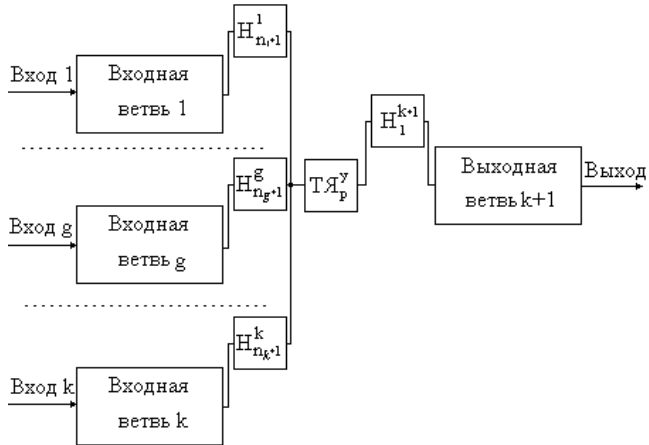


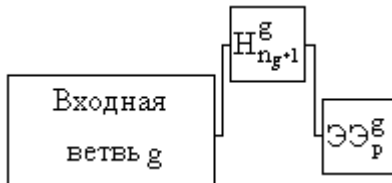
Рисунок 5 – Структура узла p перед проведением промежуточных итераций

На первой итерации также рассчитываются данные системы, но в отличие от нулевой итерации к $ТЯ_p^y$ стыкуется эквивалентный элемент, который определяется для каждой структуры

Рассмотрим определение параметров, соответствующих объединенной структуре включающей эквивалентный элемент с присоединенной к нему узловой ячейкой.

1. Для любой входной g -й ($g = \overline{1, k}$) ветви эквивалентный элемент ($\mathcal{E}\mathcal{E}_p^g$) образовывается параллельной совместной сверткой "сверху" и "снизу" структур входная ветвь $i \rightarrow$ накопитель $H_{n_i+1}^i$ ($i = \overline{1, k}$, $i \neq g$) и узловой ячейки, а далее – последовательной сверткой полученного элемента со структурой $H_1^{k+1} \rightarrow$ выходная ветвь. В результате преобразований получим СМО, показанную на рисунке 6, определение параметров которой не вызывает затруднений

2. Для построения модели с целью определения ФР длины очереди в накопителе H_1^{k+1} параллельно и



совместно сворачиваются элементы: входная ветвь g ($g = \overline{1, k}$) $\rightarrow$

накопитель

Рисунок 6 – СМО, моделируемая для g -й входной ветви узла p на промежуточных итерациях ($g = \overline{1, k}$)

$H_{n_g+1}^g (g = \overline{1, k}) \rightarrow TЯ_p^y$ в эквивалентный элемент $\Xi\Xi_p^{ex}$. Полученная в результате преобразований система показана на рисунке 7.

Функция распределения времени обслуживания на любом эквивалентном элементе определяется как функция распределения времени обслуживания ТЯ, участвующей в процедуре совместной сверки, имеющей наибольшую производительность [1].

Последующие итерации не отличаются от первой. Итерационная процедура продолжается до тех пор, пока колебания параметров узлов не станут меньше заданной величины. После того как промежуточные итерации заканчиваются, определяются параметры каждого узла p : $F_p^y(t)$, $G_p^y(t)$, $\Theta_p^y(t)$ ($p = \overline{1, Q}$).

Итерационная процедура по участкам ветвей подробно рассмотрена при построении модели ОГ АЛ и имеет своей целью определить длины очередей в накопителях ветвей [1]. Отметим только, что при моделировании ветвей на начальной итерации они рассматриваются самостоятельно как однопоточные линии.

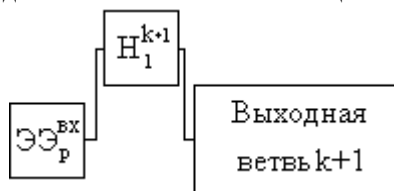


Рисунок 7 – СМО, моделируемая для $(k+1)$ -й входной ветви узла p на промежуточных итерациях

При моделировании на последующих итерациях их первая и последняя ячейки должны быть свернуты через узловой (первая) и выходной накопитель ветви (последняя) с присоединенными к ней остальными частями МГ АЛ

Более подробно определение параметров эквивалентных элементов, получаемых в результате свертки того или иного вида, описано в [2].

По окончании итерационной процедуры линия приводится к одному элементу, для которого определяются параметры надежности и производительность. Блок-алгоритм моделирования МГ АЛ показан на рисунке 8.

На любом уровне итераций за условие их окончания можно принять следующее: процедура продолжается до тех пор, пока колебания длин очередей в накопителях не станут меньше заданной точности вычисления Δ .

Данный метод в литературе [1–3] имеет название "метод вложенных итераций", которое обусловлено использованием данных, полученных на предыдущих итерациях, в последующих.

Он позволяет разрешить противоречие между модульным описанием составляющих элементов системы и необходимостью учета их взаимовлияния друг на друга.

Приведем пример моделирования МГАЛ. Предположим, что линия имеет структуру показанную на рисунке 1. Рассматриваемая МГАЛ имеет 2 узла, 3 входных ветви, 1 промежуточную. Расположение узлов – линейное.

Предположим, что накопители можно считать абсолютно надежными емкости накопителей одинаковы и равны $K=25$; времена между отказами ячеек распределены экспоненциально с одинаковыми математическими ожиданиями $\bar{t}_o=2$ ч, а времена их восстановлений и обслуживания единицы продукции распределены по обобщенным законам Эрланга второго порядка с равными математическими ожиданиями $\bar{t}_{\text{вос}}=0,15$ ч, $\bar{t}_{\text{об}}=0,015$ ч и дисперсиями $D_{\text{вос}}=0,02$ ч², $D_{\text{об}}=0,002$ ч² соответственно



Рисунок 8 – Блок-алгоритм процедуры моделирования МГ АЛ

При моделировании выполнялось по три итерационных процедуры каждого уровня, что было достаточно для принятой точности вычислений $\Delta=0,02$ по очередям в накопителях. Моделирование осуществлялось в среде Maple VI. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты моделирования МГ АЛ

Наименование параметра		Численное значение параметра
Средние длины очередей в накопителях, шт	H_2^1	14,66
	H_1^y	12,99
	H_2^2	14,03
	H_2^3	12,88
	H_2^4	14,91

Коэффициент готовности МГ АЛ	0,871
Производительность МГ АЛ, шт/ч	58,07

Полученная модель позволяет определять параметры функционирования такой сложной системы, как многопоточная линия, оперируя ФР случайных величин общего вида, при этом данные величины должны иметь конечные моменты распределения. Результаты моделирования могут быть использованы при проектировании, а также при параметрической оптимизации МГ АЛ. Перспективой дальнейших исследований в данной области является разработка математической модели линии, содержащей расходящиеся потоки и имеющей нелинейное расположение узлов, а также проведение экспериментальных исследований для подтверждения их адекватности.

Библиографический список

1. Копп В.Я. Стохастические модели автоматизированных производственных систем с временным резервированием / В.Я. Копп, Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский. — Севастополь: Изд-во СевГТУ, 2000. — 286 с.
2. Копп В.Я. Итерационный подход при построении полумарковских моделей асинхронных автоматизированных линий / В.Я. Копп // Вестн. СевГТУ: Сб. науч. тр. — Севастополь 2000. — Вып. 27. — С. 73 – 80.
3. Филипович О.В. Использование уравнения Фоккера-Планка при анализе СМО типа G/G/1/K / О.В. Филипович, В.Я. Копп, М.В. Замоленов // Оптимизация производств процессов: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2000. — Вып. 3. — С. 56 – 60.
4. Филипович О.В. Моделирование участков автоматизированных линий с учетом стохастического характера межоперационных заделов / О.В. Филипович, В.Я. Копп, Л.В. Галкина // Сб. науч. тр. СИАЭиП. — Севастополь, 2001. — Вып. 5. — С. 213 – 217.

Поступила в редакцию 24.02. 2005 г.