

УДК 519.87: 658.52.011.56

О.В. Филипович, доц., канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: ps@sevgtu14.sebastopol.ua

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НАКОПИТЕЛЕЙ КОНВЕЙЕРНЫХ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЛИНИЙ ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ НА МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМУЮ ТЯГОВУЮ НАГРУЗКУ КОНВЕЙЕРОВ

Рассматривается задача нахождения значений емкостей накопителей конвейерных гибких автоматизированных линий, доставляющих максимум их коэффициента готовности и производительности при ограничениях на максимально допустимую тяговую нагрузку конвейеров и максимальные емкости накопителей. Приводятся алгоритмы и примеры решения данной задачи для одно- и многопоточных линий.

Временное резервирование основного технологического оборудования гибких автоматизированных линий (ГАЛ), осуществляемое при помощи межоперационных накопителей (Н), несомненно, позволяет повысить параметры их надежности. Однако необоснованное увеличение емкостей Н приводит к следующему:

- 1) увеличиваются затраты на установку и обслуживание устройств накопления;
- 2) при переналадке ГАЛ на выпуск изделия новой номенклатуры растет объем незавершенной продукции, что, в свою очередь, влечет к потере денежных средств предприятия.

Кроме этого, следует учесть тот факт, что объем производственных площадей является величиной ограниченной.

Следовательно, как на этапе проектирования линии, так и при принятии решения на ее переналадку, возникает задача оптимального временного резервирования, постановка которой имеет вид: определить емкости накопительных устройств, обеспечивающих оптимальную надежность и производительность линии. Критерием выбора оптимального решения служит минимум приведенных затрат в комплекс «ГАЛ – потребители – смежные звенья» [1]:

$$Z = E_n K_0 + C_0 + V_z + V_n + V_{cz} \rightarrow \min. \quad (1)$$

Здесь K_0 и C_0 – капитальные вложения и текущие затраты на повышение надежности ГАЛ соответственно; V_z , V_n , V_{cz} – математические ожидания денежного выражения годового ущерба от отказов соответственно ГАЛ, потребителей смежных звеньев; E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Учитывая, что в данном случае предлагается повышать надежность линии за счет временного резервирования, формула (1) преобразовывается к виду

$$Z = C_0 + V_z \rightarrow \min. \quad (2)$$

При этом вводятся различные ограничения как на конструктивные параметры накопительных устройств, так и на надежность показатели линий.

Транспортные устройства конвейерного типа получили широкое распространение как в синхронных, так и в асинхронных линиях. Для последних характерно использование таких типов конвейеров, которые построены по модульному принципу и позволяют за счет применения вспомогательных устройств транспортирования обеспечить ветвление грузопотоков по соответствующим алгоритмам и программам. Для этих конвейеров характерно также то, что объекты транспортирования жестко не связаны с грузонесущими органами транспортеров и возможно проскальзывание опорной поверхности деталей (кассет, палет) относительно несущей поверхности транспортера, в качестве которой обычно служит роликовая цепь или лента.

Рассмотрим сборочную линию, построенную на базе рабочего и возвратного конвейеров по вертикально-замкнутой схеме. Предполагается, что на ее оборудовании будут собирать новую модель изделия, причем известно, что массы узлов и нового изделия в целом больше, чем собираемого в настоящее время. Узлы перемещаются по конвейерам в палетах, имеющих в ограниченном количестве и которые являются достаточно дорогостоящим оборудованием проектируемым вместе с линией.

Одна из возможных оптимизационных задач имеет следующую формулировку: требуется определить оптимальные объемы межоперационных накопителей – участков рабочего конвейера между основным технологическим оборудованием, обеспечивающие минимум приведенных затрат в линию, при ограничениях на мощность привода конвейера и на максимальные длины накопителей (компоновка линии остается неизменной) [2]. При этом предполагается, что стоимость регулирования числа палет на конвейере между ячейками за счет переустановки старых и монтажа дополнительных стопоров-ограничителей пренебрежимо мала по сравнению с затратами на замену привода на более мощный.

Затраты C_0 в (2) уменьшатся, так как уменьшится число мест (емкость) в накопителях и среднее число палет с узлами в них в связи с возрастанием массы. Поэтому задача расчета оптимальных заделов заключается в максимизации надежностных параметров линии, вследствие чего уменьшатся математические ожидания ущербов от простоя рабочих на линии и недоотпуска предприятием продукции из-за отказов линии

$$Z = \max \{ K_r^{ГАЛ}(K_i) \}, \quad i = \overline{2, n}, \quad (3)$$

где $K_r^{ГАЛ}(K_i)$ – коэффициент готовности линии в целом, зависящий от значений величин емкостей K_i i -х

накопителей ($i = \overline{2, n}$, n – количество накопителей).

В качестве ограничений необходимо принять следующие [2].

1. Ограничение на максимально допустимую нагрузку на тяговые элементы конвейера определяется как

$$\sum_{i=2}^n m_i \overline{L_i} \leq M, \quad (4)$$

где m_i – вес палеты и узла на ней, находящихся в i -ом накопителе; $\overline{L_i}$ – средняя длина очереди в i -ом накопителе; M – показатель тяговой характеристики штатного привода конвейера (определяется из тягового расчета).

2. Ограничение на максимально допустимое число мест G_i в i -ом накопителе (на длину участка конвейера, выраженную в числе палет), которое находится из неравенства

$$K_i \leq G_i, \quad (5)$$

где G_i – предельно допустимая емкость i -го накопителя линии, $i = \overline{2, n}$.

Подобная задача уже решалась ранее для однопоточных линий с использованием марковских моделей [2].

Целью статьи является получение оптимального решения для линий, структура которых содержит не только один, но и несколько потоков (многопоточные ГАЛ), при этом для расчетов предполагается использовать соответствующие итерационные модели, позволяющие оперировать с функциями распределения случайных величин общего вида.

Данная задача является задачей нелинейного программирования, поэтому для поиска экстремума целевой функции целесообразно воспользоваться одним из прямых методов многомерного поиска. Максимум функционала (3) достаточно легко определяется методом сеточного поиска, разработанным Мишке. Сущность метода состоит в следующем [3]. Исходная область неопределенности, задаваемая переменными, представляет собой гиперкуб (многомерный аналог квадрата или куба), размеры которого можно определить заранее. В гиперкубе строится сетка, образованная попарно симметричными взаимно ортогональными плоскостями, параллельными координатным направлениям, вдоль которых изменяются проектные параметры. Эти плоскости пересекаются по прямым, которые в свою очередь пересекаются в точках, называемых узловыми.

Далее производятся вычисления значений целевой функции в узловых точках и в центре гиперкуба. В случае S проектных параметров получается 2^{S+1} значений целевой функции, из которых выбирается наибольшее. Соответствующая точка принимается за центр гиперкуба меньших размеров и процесс исследований продолжается до тех пор, пока не будет достигнута требуемая степень сужения интервала неопределенности. Степень сужения r вдоль какой-либо из координат рекомендуется выбирать в интервале значений

$$\frac{2}{3} \leq r \leq 1.$$

Для решения поставленной задачи данный алгоритм реализован следующим образом.

1. Составляется исходный интервал неопределенности, который для каждой переменной K_i равен $[0, G_i]$,

$i = \overline{2, n}$.

2. В каждой узловой точке и в центре гиперкуба определяются значения коэффициента готовности ГАЛ и средних длин очередей в накопителях с использованием построенных в [4, 5] математических моделей. Если при каком-либо наборе переменных не выполняется условие (4), то соответствующая точка на данном шаге исключается из дальнейшего рассмотрения. Из оставшихся в области допустимых значений узлов выбирается тот, в котором $K_G^{ГАЛ}$ максимален. Соответствующий ему набор переменных является центром нового гиперкуба.

3. Производится сужение начального интервала неопределенности и построение нового гиперкуба с центром, определяемом в п. 2.

4. Далее циклически повторяются действия, описанные в п.п. 3, 4. Пошаговая процедура продолжается до тех пор, пока не будет достигнута требуемая степень сужения начального интервала, определяемого ограничениями (5).

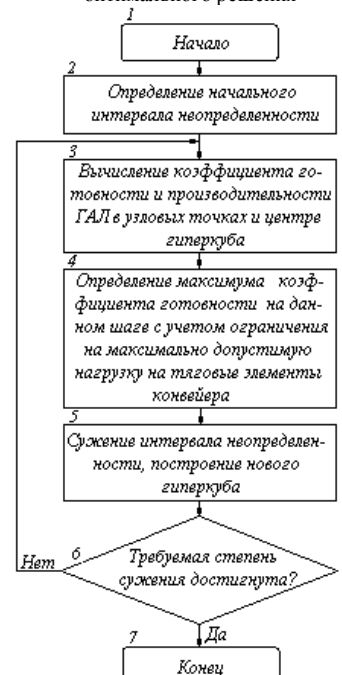
Графически алгоритм поиска оптимального решения показан на рисунке 1.

По реализации данного алгоритма можно отметить следующее.

1. Если на первом шаге максимум $K_G^{ГАЛ}$ соответствует узлу с максимальными значениями $K_i = G_i$ и он находится в области допустимых значений, то дальнейшие вычисления можно не продолжать, а данная точка и есть оптимум. Это заключение следует из очевидного факта: максимальное значение коэффициента готовности и производительности линии определяется при максимальных допустимых вместимостях накопителей. Кроме этого, следует учесть унимодальность целевой функции (3), что подтверждается многочисленными исследованиями.

2. Если при сужении интервала неопределенности какая-либо переменная центра

Рисунок 1 – Алгоритм поиска оптимального решения



нового гиперкуба соответствует граничному значению, то она берется не в качестве центральной, а в качестве граничной точки и для нее сужение происходит "вглубь" интервала. Если на любом шаге новое значение переменной K_i в узле выходит за ограничение (5), то на данном шаге она принимается равной соответствующему граничному значению.

Приведем примеры реализации алгоритма решения поставленной выше оптимизационной задачи.

1. Рассматривается структура однопоточной ГАЛ, состоящей из трех технологических ячеек (ТЯ) и двух Н.

В качестве исходных данных принимается следующее:

– математические ожидания времен обслуживания, наработки на отказ и восстановления всех ТЯ одинаковы и соответственно равны: $M_{об}=0,07$ ч, $M_{от}=2$ ч, $M_{вос}=0,15$ ч;

– времена наработки на отказ ТЯ распределены экспоненциально, времена обслуживания и восстановления ячеек распределены в соответствии с законом Эрланга второго порядка;

– веса палет с узлами в каждом накопителе равны: $m_2=12$ кг; $m_3=15$ кг; ограничения по емкости каждого из накопителей составляют: $G_2=7$ мест; $G_3=6$ мест; накопители считаются абсолютно надежными.

Результаты расчетов коэффициента готовности линии $K_G^{ГАЛ}$, ее производительности, а также средних длин очередей в накопителях $\bar{L}_i$ и емкостей накопителей K_i при различных значениях показателя M сведены в таблицу 1. Для расчетов использовалась итерационная модель однопоточной линии, построенная в [4].

Таблица 1 – Результаты оптимизации емкостей накопителей однопоточной ГАЛ

M , кг	H_2		H_3		$K_G^{ГАЛ}$	Производительность линии, $\Pi^{ГАЛ}$, шт/ч
	$\bar{L}_2$, шт	K_2 , мест	$\bar{L}_3$, шт	K_3 , мест		
50	2,20	4,21	1,56	3,20	0,876	12,512
60	2,78	5,29	1,76	3,60	0,884	12,628

2. Рассматривается структура многопоточной ГАЛ, изображенная на рисунке 2.

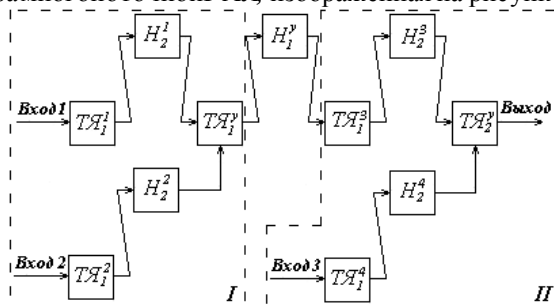


Рисунок 2 – Структурная схема многопоточной линии

Предполагается, что транспортно-накопительной системой линии являются три независимо функционирующих конвейера, несущих грузопотоки по магистральной и двум входным ветвям. Для определения параметров функционирования линии использовалась итерационная модель многопоточной линии, разработанная в [5]. В качестве исходных данных принималось следующее: накопители считались абсолютно надежными; времена наработки на отказ ТЯ распределены экспоненциально с одинаковыми математическими ожиданиями $M_{от}=1,5$ ч, а времена их восстановления и обслуживания единицы продукции распределены по законам Эрланга второго порядка с равными математическими ожиданиями $M_{вос}=0,1$ ч, и $M_{об}=0,015$ ч соответственно. Остальные исходные данные, необходимые для решения оптимизационной задачи, и результаты ее решения приведены в таблице 2.

Решение данных задач позволяет свести к минимуму ущерб от простоя рабочих и оборудования за счет более полного использования функциональных возможностей элементов транспортно-накопительной системы линии, что приведет к повышению эффективности ее работы.

Приведенные примеры наглядно показывают невозможность выбора проектировщиком оптимальных объемов накопителей линий из одних лишь интуитивных соображений. Данная операция должна базироваться на математических расчетах с использованием, например, построенных аналитико-вероятностных моделей [4, 5].

Таблица 2 – Исходные данные и результаты решения задачи оптимизации емкостей накопителей многопоточной ГАЛ

	Исходные данные			Результаты решения			
	m_i , кг	G_i , мест	M , кг	$\bar{L}_i$, шт	K_i , мест	$K_G^{ГАЛ}$	$\Pi^{ГАЛ}$, шт/ч
H_2^1	5	15	50	3,84	6,17	0,796	53,048
H_1^y	8	10		3,01	5,89		

H_2^3	9	10		0,73	1,51		
H_2^2	3	9	30	7,03	8,92		
H_2^4	1,5	5	8	2,77	4,96		

Использование предлагаемой методики выбора оптимальных объемов межоперационных накопителей позволяет повысить производительность линий в среднем на 3...5 %.

Как известно, метод Мишке обычно применяется при небольшом количестве переменных. В [3] отмечено, что при большом их числе лучшую эффективность обеспечивают не прямоугольные, а звездообразные области неопределенности. Перспективой дальнейших исследований в данном направлении является использование модификации данного метода при решении оптимизационных задач рассматриваемого класса для автоматизированных линий со сложными структурами.

Библиографический список

1. Эдельман В.И. Надежность технических систем: Экономическая оценка / В.И. Эдельман. – М.: Экономика, 1988. – 151 с.
2. Орел В.В. Повышение эффективности гибкого сборочного производства / В.В. Орел, В.Я. Копп. — К.: Знание, 1991. — 23 с.
3. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ: Практическое руководство. Пер. с англ. / Т. Шуп. — М.: Мир, 1982. — 238 с.
4. Филипович О.В. Алгоритм моделирования однопоточных асинхронных автоматизированных линий и его программная реализация / О.В. Филипович, В.Я. Копп, Л.В. Галкина // Оптимизация производств процессов: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2004. — Вып. 7 — С. 37 – 43.
5. Копп В.Я. Алгоритм итерационного моделирования многопоточных гибких автоматизированных линий с последовательным расположением узлов / В.Я. Копп, О.В. Филипович, А.А. Брюховецкий // Оптимизация производств процессов: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2005. — Вып. 8 — С. 50 – 57.

Поступила в редакцию 21.11.2006 г.