

СТРАТЕГИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВА

Чадеев В.М., Аристова Н.И.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65
chavama@ipu.ru, avtprom@ipu.ru*

Аннотация: Рассматривается процедура выбора оптимальной (по критерию числа рабочих в системе жизнеобеспечения) схемы автоматизации в автономных системах производства. Используется абстрактная модель производства инвариантная к видам технологических операций (ТО). Рассмотрены три уровня автоматизации на автономной станции: Полностью ручная, без автоматов, сборка изделий. Автоматизация производства изделий с помощью покупных автоматов. Автоматизация производства не только изделий, но и используемых для их производства автоматов. Приводятся алгоритмы определения оптимального распределения типов роботов по видам ТО.

Ключевые слова: самовоспроизведение роботов, автоматизация, степень автоматизации, система жизнеобеспечения, технологическая операция, время выполнения операции, инвариантная к видам технологических операций теория производства

Введение

Существуют ситуации, в которых автоматизация производства стоит особенно остро. Это автономные системы, например, полярные и орбитальные станции. Люди, работающие на станциях должны иметь возможность изготовить любую вышедшую из строя деталь, но для этого на самой станции нужно иметь производство. Целью автоматизации производства в таких системах будет минимизация зависимости от Земли или минимизация импорта.

Для описания любой автономной системы производства необходимо иметь: список всех изготавливаемых в ней изделий (включая роботов), описание процедуры изготовления каждого вида изделия и каждого типа роботов, характеристики роботов как элементов производства, список и характеристики всех видов технологических операции (ТО), необходимые для изготовления всех видов изделий и роботов, общее число людей в автономной системе.

Рассчитаем схему автоматизации автономного производства на основе указанных данных, в которой затраты людей минимальны.

1 Характеристики изделий и роботов автономной системы

Свойства изделий, которые необходимо производить в системе, определяются матрицами [4]:

$$(1) \quad n = \|n_{ki}\|, N = \|N_k\| = \|N_1 \quad N_1 \quad \dots \quad N_k \quad \dots \quad N_s\|, D = \|d_k\| = \|d_1 \quad d_2 \quad \dots \quad d_k \quad \dots \quad d_s\|$$

где n_{ki} – число ТО i -го вида, необходимое для изготовления одного изделия k -го вида, S – число видов изделий, N_k – число изделий k -го вида, которое необходимо изготовить, d_k – стоимость покупных изделий, необходимых для изготовления одного изделия k -го вида.

Свойства системы роботов, которые будут работать на станции, определяются следующим набором матриц [4]:

$$(2) \quad b = \|b_{ji}\|, \quad h = \|h_{ji}\|$$

где b_{ji} – время выполнения ТО i -го вида роботом j -го типа, f – общее число типов используемых на производстве роботов, h_{ji} – число ТО i -го вида, необходимое для изготовления одного робота j -го типа.

Ресурсы роботов T , стоимости роботов C и стоимости единицы рабочего времени роботов λ [3] задаются следующим набором матриц, где индекс j обозначает тип робота:

$$(3) \quad T = \|T_j\|, \quad C = \|C_j\|, \quad \lambda = \|\lambda_j\|.$$

Для сокращения формул иногда будет удобно рассматривать человека как робота 0-го типа.

Ресурс человека $T_0(t)$ – общий объем его рабочего времени за время работы на станции t .

2 Матрица автоматизации

Задача планирования автоматизации автономного производства состоит в распределении работ между людьми и роботами, чтобы минимизировать затраты людей. Для этого как инструмент управления используется матрица автоматизации:

$$(4) \quad A = \|\alpha_{ji}\|, \quad 0 \leq \alpha_{ji} \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 0, 1, \dots, m.$$

α_{ji} – уровень автоматизации ТО i -го вида, выполняемых роботом j -го типа.

Если все ТО i -го вида выполняются автоматом, то уровень автоматизации $\alpha_i = 1$, если человеком, то 0. Для всех видов ТО должно выполняться равенство:

$$(5) \quad \sum_{j=0}^f \alpha_{ji} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

Стоимость изготовления изделия $G(A)$ является функцией матрицы автоматизации. Оптимальная матрица автоматизации A , при которой стоимость изготовления минимальна, содержит только 0 и 1.

3 Вычисление стоимости изделия

Стоимость автоматизированного изготовления изделия системой роботов с использованием матрицы автоматизации (7) вычисляется по формуле [1, 2]:

$$(6) \quad G_k(\alpha) = \sum_{i=1}^m \alpha_{0i} b_{0i} \lambda_0 n_{ki} + \sum_{i=1}^m \alpha_{1i} b_{1i} \lambda_1 n_{ki} + \dots + \sum_{i=1}^m \alpha_{fi} b_{fi} \lambda_f n_{ki},$$

где m – число видов ТО, необходимых для изготовления изделия, b_{ij} – время выполнения ТО i -го вида автоматом j -го типа, λ_j – стоимость единицы рабочего времени автомата j -го типа, g_i – время выполнения ТО i -го вида человеком, f – общее число типов роботов, доступных для автоматизации, n_{ij} – число одинаковых ТО i -го вида, необходимых для изготовления изделия $G_k(\alpha)$.

В (6) первая сумма – это затраты человека, вторая – затраты робота первого типа, последняя – затраты робота f -го типа.

4 Данные, необходимые для расчета автономных систем жизнеобеспечения

Исходные данные, необходимые для расчетов, должны содержать информацию об изделиях, которые будут использоваться на станции, о технологии их изготовления и о доступных средствах автоматизации их производства.

5 Порядок расчета автономной системы жизнеобеспечения

5.1. Требуемое количество рабочей силы

Вычисляем стоимость ручного изготовления каждого из S видов изделий

$$(7) \quad G_k = \sum_i g_i n_{ki}, \quad k=1, 2, \dots, S.$$

Затем вычисляется стоимость изготовления всех S партий изделий

$$(8) \quad G = \sum_k G_k N_k.$$

Наконец, вычисляется необходимое число рабочих:

$$(9) \quad N_0 = G/T_0,$$

где T_0 – годовой ресурс рабочего.

5.2. Оптимальный вектор автоматизации

Задача выбора оптимальной схемы автоматизации состоит в том, чтобы определить какой тип робота выполняет заданный вид ТО с максимальной эффективностью. Первый критерий отбора – время выполнения ТО. Второй критерий отбора – стоимость выполнения ТО.

Порядок определения вектора автоматизации по критерию стоимости выполнения ТО.

Сначала вычисляется стоимость единицы рабочего времени всех типов роботов:

$$(10) \quad \lambda_j = C_j / T_j, \quad j=0, 1, \dots, f.$$

Составляется матрица стоимости выполнения всех видов ТО всеми типами роботов с элементами

$$(11) \quad X = \| \|x_{ij}\| \| = \| \|b_i \lambda_j\| \|, \quad i=1, 2, \dots, m; \quad j=0, 1, \dots, f.$$

В каждой строке, соответствующей определенному виду ТО, матрицы X выбирается минимальное значение стоимости выполнения и тип робота, соответствующий этому столбцу:

$$(12) \quad z_i = \min \langle x_{i0} \quad x_{i1} \quad \dots \quad x_{if} \rangle, \quad i=1, 2, \dots, m.$$

где z_i – минимальная стоимость выполнения ТО i -го вида одним из $(f+1)$ типов роботов.

Формируется оптимальный вектор автоматизации

$$(13) \quad Z(x) = Z(z_1 \quad z_2 \quad \dots \quad z_i \quad \dots \quad z_f),$$

где z_i – минимальная стоимость выполнения ТО i -го вида одним из $(f+1)$ типов роботов.

$$(14) \quad Rz = Rz(Rz1 \quad Rz2 \quad \dots \quad Rzi \quad \dots \quad Rz f),$$

где Rzi – тип робота, который выполняет ТО i -го вида за минимальную стоимость.

5.3. Вычисление минимальной стоимости изделий

Оптимальная стоимость одного изделия k -го вида вычисляется по формуле:

$$(15) \quad C_k = \sum_i z_i n_{ki}. \quad k=1, 2, \dots, S,$$

где z_i – стоимость выполнения ТО i -го вида роботом Rzi из (24), что автоматически обеспечивает минимальную достижимую в данной системе роботов стоимость изделий.

Стоимость всех партий изделий

$$(16) \quad C = \sum_k C_k N_k.$$

Алгоритм гарантирует экономию труда по сравнению с ручной сборкой.

5.4. Время работы каждого типа роботов в системе роботов

Время, истраченное роботом типа Rzi на изготовление всех изделий k -го вида:

$$(17) \quad q_{ki} = N_k n_{ki} b_i,$$

где N_k – величина партии изделий k -го вида, n_{ki} – число ТО i -го вида, необходимое для изготовления одного изделия k -го вида, b_{iz} – время выполнения ТО i -го вида роботом Rzi .

Необходимое число роботов, выполняющих ТО i -го вида по минимальной стоимости, для выполнения всей программы:

$$(18) \quad N_{Ri} = \frac{Q_i}{T_{Ri}},$$

где N_{Ri} – число роботов, Q_i – объем работ, T_{Ri} – ресурс робота.

Выводы. Проектирование автоматизированной автономной системы производства

Представлен алгоритм организации автономного автоматизированного производства.

1). Вычислить оптимальный вектор автоматизации, соответствующий имеющейся системе роботов и заданным спискам ТО. Необходимо разобрать две схемы автоматизации: одна обеспечит минимальное время изготовления изделий, другая - минимальную их стоимость. 2). Вычислить стоимость изделий при изготовлении по оптимальной схеме. 3). Определить объем занятости каждого типа роботов. 4). Определить необходимое число рабочих. 5). Определить необходимое число роботов каждого типа. 6). Определить оптимальную схему автоматизации покупными роботами. 7). Определить оптимальную схему автоматизации изготавливаемыми роботами.

Литература

1. *Чадаев В. М., Аристова Н. И.* Самовоспроизведение механических роботов. М.: СИНТЕГ. 2012. - 312 с. ISBN 978-5-89638-123-5.

5. *Аристова Н. И., Чадаев В.М.* Оценка эффекта автоматизации массового производства // Автоматизация в промышленности. 2016. №5. с 6-9.