

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Автоматизация производственных процессов»

**АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ И РАСЧЕТ ИХ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

**Методические указания
к практическим занятиям
по дисциплине**

**«Автоматизация технологических процессов и производств»
для студентов направлений**

**15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»,
27.03.04 «Управление в технических системах»**

Курган 2020

Кафедра автоматизации производственных процессов

Дисциплина: «Автоматизация технологических процессов и производств»

Составил: канд. техн. наук, доцент Н. Б. Сбродов

Печатается в соответствии с планом издания методической литературы, утвержденным методическим советом университета 06 февраля 2020 г.

Утверждены на заседании кафедры 19 октября 2020 г.

ВВЕДЕНИЕ

Целью данных практических занятий по дисциплине «Автоматизация технологических процессов и производств» является освоение методики расчета производительности автоматизированных производственных систем (АПС) и получение практических навыков по анализу структуры АПС.

1 РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АПС

Производительность является одним из основных технико-экономических показателей эффективности АПС в различных сферах производства.

Производительность определяют количеством годных деталей, изделий, комплектов, выпускаемых технологическим оборудованием в единицу времени [1]. Время обработки детали является обратной величиной производительности.

При расчете, анализе и оценке производительности автоматизированного оборудования с учетом различных видов затрат времени используют четыре вида (категории) производительности: технологическую, цикловую, техническую и фактическую [1, 2].

Технологическая производительность – максимальная теоретическая производительность при условии бесперебойной работы оборудования и обеспечении его всем необходимым

$$K = 1 / t_p \quad (1)$$

откуда $t_p = 1/K$ — время рабочих ходов.

Цикловая производительность – теоретическая производительность технологического оборудования с реальными холостыми и вспомогательными ходами ($t_x > 0$; $t_{ecn} > 0$) и при отсутствии простоев ($\sum t_{np} = 0$):

$$Q_u = 1/T = 1 / (t_p + t_x + t_{ecn}) \quad (2)$$

где t_{ecn} – вспомогательное время на загрузку-разгрузку оборудования, смену инструмента по циклу;

t_x – время холостых ходов.

В АПС непрерывного действия (при $t_x=0$) цикловая производительность равна технологической. В остальных случаях она меньше и при $t_{ecn} = 0$ определяется по формуле

$$Q_u = 1 / (t_p + t_x) = 1 / (1/K + t_x) = K / (1 + K t_x) = K \eta \quad (3)$$

Величину $\eta = 1 / (1 + K t_x)$ называют коэффициентом производительности. Она характеризует степень непрерывности протекания технологического процесса. Так, $\eta = 0,8$ означает, что в рабочем цикле 80% составляют рабочие ходы, а остальные 20 % – холостые, и, следовательно, возможности технологического процесса используются только на 80 %.

Техническая производительность – теоретическая производительность

оборудования с реальными холостыми ходами и учетом его собственных простоев Σt_c , связанных с выходом из строя инструментов, приспособлений, оборудования (т.е. при условии: $t_x > 0$; $t_{ecn} > 0$; $\Sigma t_c > 0$):

$$Q_m = 1 / [(t_p + t_x + t_{ecn}) + \Sigma t_c] \quad (4)$$

Фактическая производительность – минимальная производительность, учитывающая все виды потерь:

$$Q_\phi = 1 / (T + \Sigma t_{np}) = 1 / [(t_p + t_x + t_{ecn}) + (\Sigma t_c + \Sigma t_{орг} + \Sigma t_{неп})] \quad (5)$$

где $\Sigma t_{np} = (\Sigma t_c + \Sigma t_{орг} + \Sigma t_{неп})$ – суммарное время всех простоев;

$\Sigma t_{орг}$ – время простоев по организационно-техническим причинам, не связанным с работой оборудования;

$\Sigma t_{неп}$ – суммарное время переналадок оборудования.

2 ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АПС С РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРОЙ

Не смотря на огромное разнообразие современной промышленной продукции и методов ее получения, прослеживается принципиальная общность компоновочных и конструктивных вариантов АПС в различных отраслях [1, 2].

При невысоких требованиях к производительности изделия обрабатывают на однопозиционных автоматах, которые имеют технологически необходимый комплект инструментов и механизмов для обеспечения рабочих и холостых ходов.

Повышение требований к производительности приводит к дифференциации технологического процесса на отдельные операции, выполняемые системой из q однопозиционных автоматов. Изделия последовательно передаются с позиции на позицию, получая постепенно весь объем технологического воздействия.

Дальнейшее возрастание требований к производительности обеспечивается переходом к многопозиционным АПС. В них концентрируются одно- или разноименные операции, или одновременно и те и другие операции технологического процесса.

В зависимости от типа концентрируемых операций выделяют АПС с различной структурой (компоновкой):

- 1) АПС последовательного действия;
- 2) АПС параллельного действия;
- 3) АПС последовательно-параллельного действия.

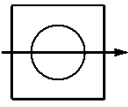
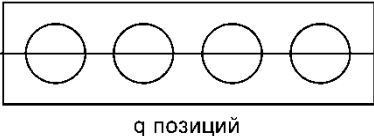
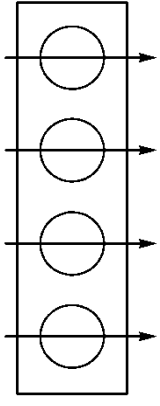
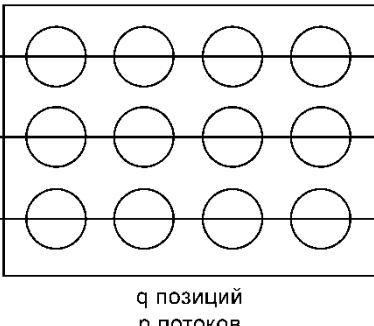
Структурные схемы АПС с различной компоновкой и формулы для расчета производительности представлены в таблице 1.

В автоматах последовательного действия концентрируются разноименные операции, последовательно выполняемые над изделием, т.е. в каждой позиции осуществляются различные воздействия.

Автоматы и автоматические линии последовательного действия создают-

ся для полной или частичной обработки, сборки контроля сложных изделий. Обработку дифференцируют, стремясь к одинаковой продолжительности в различных позициях согласно принятой технологической последовательности. Обработку ведут сразу во всех позициях. Изделие (заготовка) последовательно проходит через все из них, где обрабатывается различными группами инструментов так, что в обработке одновременно находится число изделий, равное числу позиций q .

Таблица 1 – АПС с различной компоновкой

№ пп	Структурная схема АПС	Наименование АПС	Техническая производительность
1		Однопозиционная	$Q = 1 / (t_p + t_x + t_{ecn} + \sum t_c)$
2	 q позиций	Многопозиционная последовательного действия	$Q_q = 1 / (t_{po} / q + t_x + t_{co} + t_{cl} q)$
3	 p потоков	Многопозиционная параллельного действия	$Q_p = p / (t_p + t_x + t_{co} + t_{cl} p)$
4	 q позиций p потоков	Многопозиционная последовательно-параллельного действия	$Q_{pq} = p / (t_{po} / q + t_x + t_{co} + t_{cl} pq)$

Запишем функциональную зависимость всех затрат времени от числа позиций q в АПС:

1) время рабочих ходов $t_p = t_{po} / q$,

где t_{po} – суммарное (общее) время технологического воздействия;

2) время холостых ходов (например, время поворота стола в автомате или время перемещения на один шаг транспортной системы в автоматической линии) $t_x = const$;

3) время собственных внецикловых потерь

$$\Sigma t_c = t_{co} + t_{cl} q ,$$

где t_{co} – время потерь по вине общих механизмов и устройств автомата (общие приводы, система управления, общие механизмы зажима и фиксации);
 t_{cl} – среднее время потерь по вине механизмов и устройств одной позиции (механизмы зажима заготовки, инструментальная оснастка и пр.).

Техническая производительность АПС последовательного действия определяется по формуле:

$$Q_q = 1 / (t_{po} / q + t_x + t_{co} + t_{cl} q) \quad (6)$$

Оптимальное число рабочих позиций в АПС последовательного действия определяется:

$$q_{opt} = \sqrt{\frac{t_{po}}{t_{cl}}} \quad (7)$$

В АПС параллельного действия концентрируются одноименные операции дифференцированного технологического процесса, т.е. во всех p позициях (потоках) выполняются одинаковые или идентичные технологические воздействия.

Техническая производительность АПС параллельного действия определяется по формуле:

$$Q_p = p / (t_p + t_x + t_{co} + t_{cl} p) \quad (8)$$

По схеме последовательно-параллельного действия создаются наиболее сложные по конструкции и производительные автоматы и автоматические линии. В АПС с указанной структурой концентрируются и разноименные, и одноименные операции. АПС имеет p параллельных потоков ($p = 2, 3, \dots$), в каждом из них q последовательных позиций, на которые дифференцирован технологический процесс, а также выполняет совмещенные холостые ходы цикла (загрузка, съем и т.д.). Поэтому АПС последовательно-параллельного действия с pq позициями являются наиболее общим случаем многопозиционного технологического оборудования, а два предыдущим типа – частным. Так, при $p = 1$ имеем АПС последовательного действия, при $q = 1$ АПС параллельного действия.

Техническая производительность АПС последовательно-параллельного действия определяется по формуле:

$$Q_{pq} = p / (t_{po} / q + t_x + t_{co} + t_{cl} pq) \quad (9)$$

3 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АПС

Пример 1. Определить технологическую, цикловую, техническую и фактическую производительность шестипозиционного автомата параллельного

действия. При условии, что время обработки на одной позиции составляет 2,4 мин, время холостого хода – 0,9 мин, время на установку и снятие детали – 0,8 мин, время общих собственных внецикловых потерь и время простоев по организационно-техническим причинам составляет соответственно 5% и 10% от времени рабочего цикла.

Для определения технологической производительности автомата используем формулу 1, которая с учетом параллельной компоновки автомата будет иметь вид:

$$K = p / t_p \quad (9)$$

Подставляя численные данные, определяем технологическую производительность автомата:

$$K = 6 \cdot 60 / 2,4 = 150 \text{ (шт./час)}.$$

Цикловая производительность автомата будет равна:

$$Q_u = p / (t_p + t_x + t_{всн}) = 6 \cdot 60 / (2,4 + 0,8 + 0,9) = 88 \text{ (шт./час)}.$$

Техническая производительность автомата с учетом времени собственных потерь, составляющим 5% от времени рабочего цикла:

$$Q_m = p / (t_p + t_x + t_{всн} + t_{co}) = 6 \cdot 60 / (2,4 + 0,8 + 0,9 + 0,05 \cdot 4,1) = 83 \text{ (шт./час)}.$$

Фактическая производительность автомата с учетом времени простоев по организационно-техническим причинам, составляющим 10% от времени рабочего цикла:

$$Q_{\phi} = p / (t_p + t_x + t_{всн} + t_{co} + \Sigma t_{опз}) = 6 \cdot 60 / (2,4 + 0,8 + 0,9 + 0,05 \cdot 4,1 + 0,1 \cdot 4,1) = 76 \text{ (шт./час)}.$$

Пример 2. Автоматическая линия сборки состоит из 10 последовательных позиций ($q = 10$), связанных штанговым конвейером. Межпозиционные накопители отсутствуют. Время технологического воздействия в каждой позиции составляет 20 с, время холостого хода – 4 с, время общих собственных внецикловых потерь и среднее время потерь в каждой позиции составляет соответственно 2% и 0,7% от суммарного времени рабочего цикла.

Определить цикловую и техническую производительность автоматической линии. Определить оптимальное количество позиций в автоматической линии.

Определим общее время технологического воздействия:

$$t_{po} = t_p \cdot q = 20 \cdot 10 = 200 \text{ с}$$

Цикловая производительность автоматической линии с последовательной

компоновкой будет равна ($t_{ecn} = 0$):

$$Q_u = 1 / (t_{po} / q + t_x + t_{ecn}) = 3600 / (200 / 10 + 4) = 150 \text{ (шт./час)}.$$

Определим суммарное время рабочего цикла:

$$T = (t_p + t_x + t_{ecn}) q = (20 + 4 + 0) \cdot 10 = 240 \text{ с}.$$

Определим техническую производительность автоматической линии по формуле 6:

$$Q_m = 1 / (t_{po} / q + t_x + t_{co} + t_{cl} q) = 3600 / (200 / 10 + 4 + 0,02 \cdot 240 + 0,007 \cdot 240 \cdot 10) = 79 \text{ (шт./час)}.$$

Используя формулу 7, определим оптимальное количество позиций в автоматической линии:

$$q_{opt} = \sqrt{\frac{t_{po}}{t_{cl}}} = \sqrt{\frac{200}{0,007 \cdot 240}} = 11 \text{ (поз.)}$$

3 ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

Для заданного преподавателем варианта АПС (таблица 2) определить технологическую, цикловую, техническую и фактическую производительность. Для АПС с последовательной компоновкой определить оптимальное количество рабочих позиций.

Таблица 2 – Исходные данные для задания

№ варианта	Компоновка АПС	Количество позиций	Количество потоков	t_p , мин	t_x , мин	t_{co} % от T_u	t_{cl} , % от T_u
1	последовательная	8		2	0,1	1	0,5
2	параллельная		6	10	0,2	2	0,6
3	последовательно-параллельная	6	2	3	0,3	3	0,7
4	последовательная	10		3	0,4	2	0,8
5	параллельная		8	8	0,1	3	0,4
6	последовательно-параллельная	8	2	4	0,2	4	0,3
7	последовательная	12		2	0,3	2	0,5
8	параллельная		10	8	0,4	3	0,6

Продолжение таблицы 2

9	последовательно- параллельная	6	4	2	0,1	2	0,7
10	последовательная	15		3	0,2	3	0,8

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Волчкевич Л. И. Автоматизация производственных процессов : учебное пособие для студентов вузов. – Москва : Машиностроение, 2005. – 379 с.
- 2 Капустин Н. М. Комплексная автоматизация в машиностроении : учебник для студентов вузов. – Москва : Академия, 2005. – 365 с.

Сбродов Николай Борисович

**АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ И РАСЧЕТ ИХ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

Методические указания
к практическим занятиям
по дисциплине
«Автоматизация технологических процессов и производств»
для студентов направлений
15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»,
27.03.04 «Управление в технических системах»

Авторская редакция

Подписано в печать 18.01.2021	Формат 60x84 1/16	Бумага 80 г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ. л. 0,75	Уч. изд. л. 0,75
Заказ 5	Тираж 25	Не для продажи

БИЦ Курганского государственного университета.
640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.