

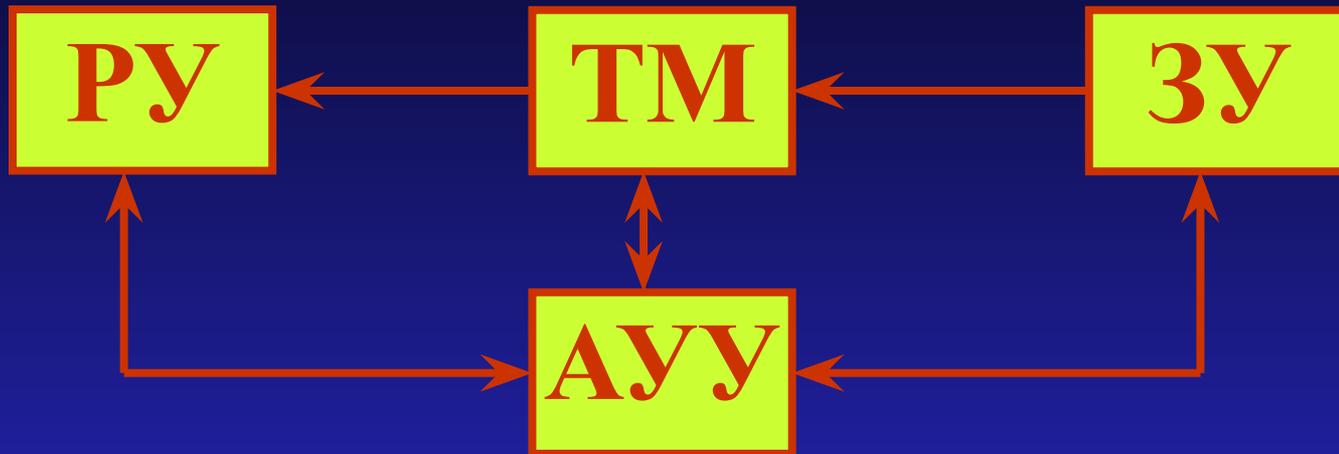
## ТЕМА 3

# ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И НАДЁЖНОСТЬ МАШИН

## ЦЕЛИ АВТОМАТИЗАЦИИ

- *сокращение трудовых затрат*
- *улучшение условий производства*
- *повышение объёмов выпуска*
- *повышение качества продукции*

## СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ МАШИНЫ



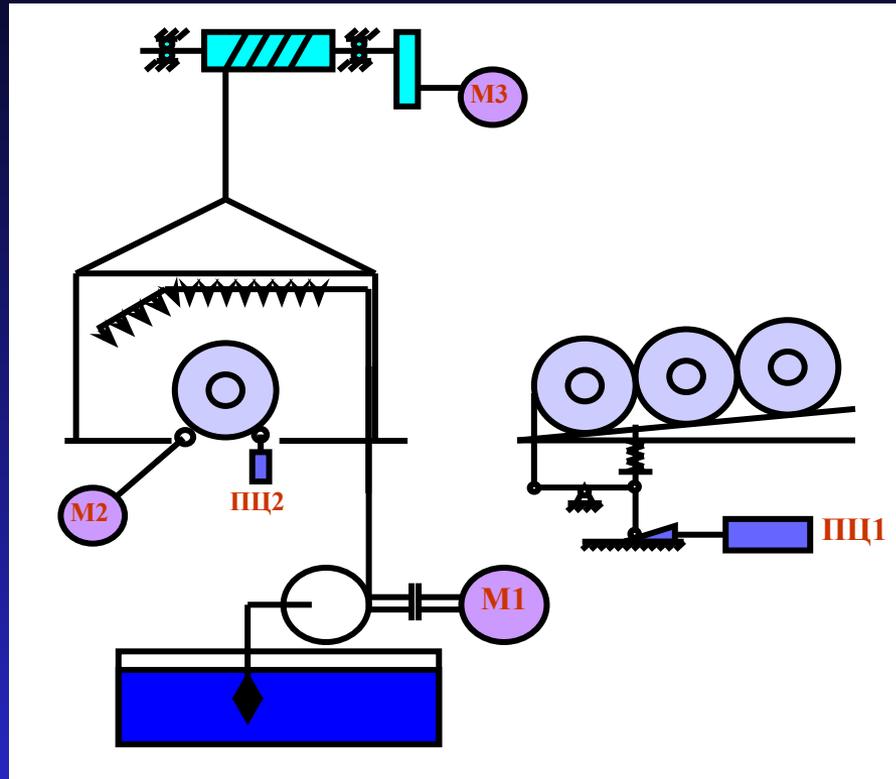
ЗУ – загрузочное устройство

ТМ – технологическая машина

РУ – разгрузочное устройство

АУУ – автоматическое устройство управления

# КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ МОЕЧНОЙ МАШИНЫ



Конструктивная схема позволяет рассчитать параметры приводов, строить циклограмму, алгоритм управления, определять производительность и строить математическую модель

# ЦИКЛОГРАММА РАБОТЫ

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАБОТЫ МЕХАНИЗМОВ

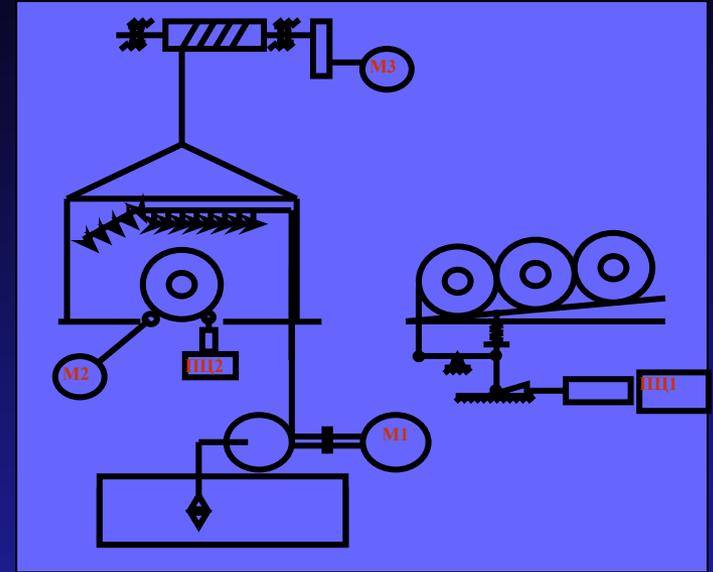
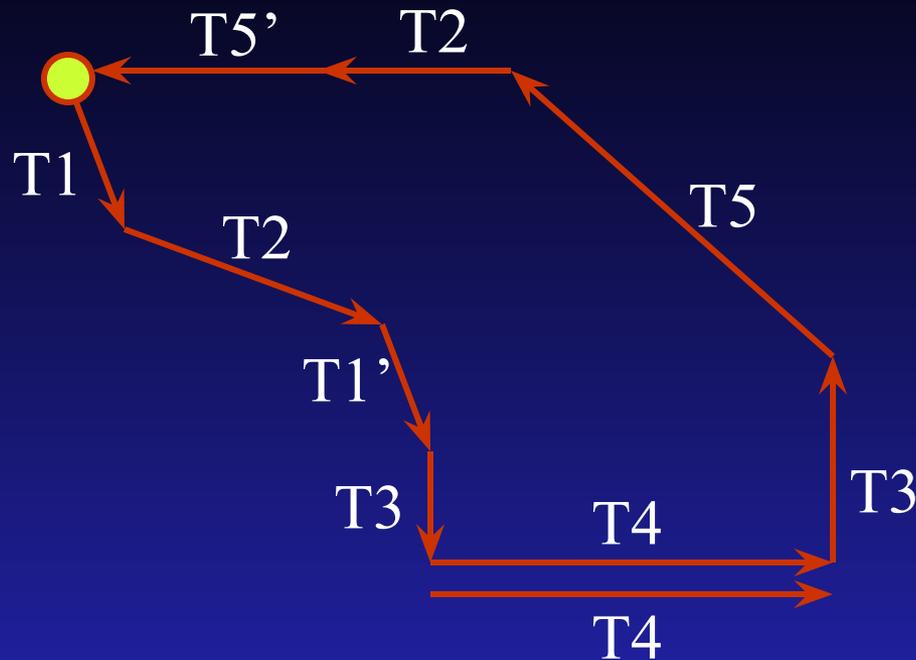
Действие	привод	Z	включений	время
Опустить питатель	ПЦ1	3	1	T1
Загрузить/выгрузить -	-	2	2	2*T2
Поднять питатель	ПЦ1	3	-	T1'
Опуст./подн.кожух	M3	3	2	2*T3
Обмывка	M1	3	1	T4
Вращать КП	M2	3	1	T4
<del>Поднять кожух</del>	<del>M3</del>	<del>3</del>	<del>1</del>	<del>T3</del>
Толкнуть КП	ПЦ2	3	1	T5
<del>Выгрузить КП</del>	<del>-</del>	<del>-</del>	<del>1</del>	<del>T2</del>
Опустить толкатель	ПЦ2	3	-	T5'



$$K_a^M = \frac{\sum_{i=1}^k q_i Z_i}{5 \sum_{i=1}^k q_i} 100\% = 0\%$$

$Z_i$  - звенность  $i$ -го механизма, имеющего полуавтоматическое или автоматическое управление ( $Z_i > 3$ )

# ЦИКЛОГРАММА РАБОТЫ



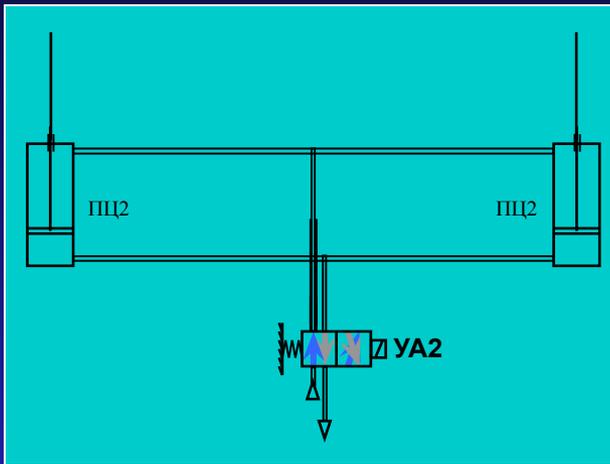
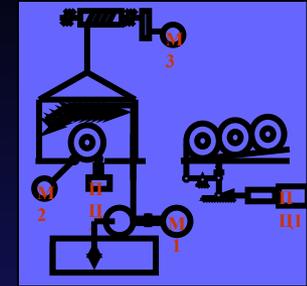
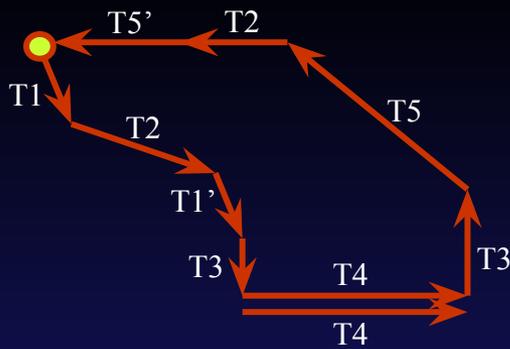
МАШИННОЕ ВРЕМЯ, ПРИХОДЯЩЕЕСЯ  
НА ОДНУ КОЛЁСНУЮ ПАРУ

$$T = T1 + 2 \cdot T2 + T1' + 2 \cdot T3 + T4 + T5 + T5'$$

*ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ЦИКЛ – ЭТО ВРЕМЯ МЕЖДУ  
СЪЁМОМ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ С ЛИНИИ*

# Составляющие

T1 – время опускания питателя



$$T1 = t_1 + t_2 + t_3$$

$t_1$  - время срабатывания воздухораспределителя (зависит от типа управления)

$t_2$  - время распространения воздушной волны

$t_3$  - время перемещения поршня (прямого хода)

$t_1$

$t_1 = 2,625$ с. для ручного включения

$t_1 = 0,175$ с. для включения автоматического

$$t_2 = l/V_{36}$$

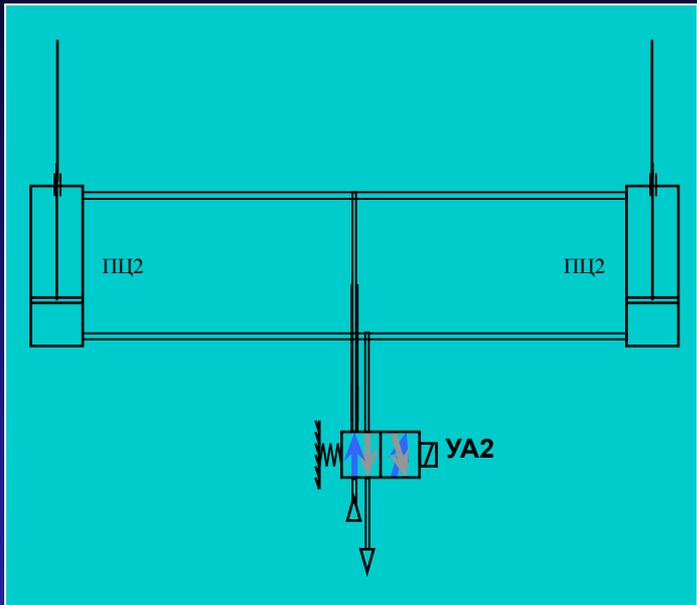
$l$  – длина трубопровода от воздухораспределителя до пневмоцилиндра

$V_{36}$  – скорость распространения звукового потока (звуковой волны) 341м/с

$t_2 = 0,006$ с

## ЗАМЕЧАНИЕ!

### Цикл работы пневмоцилиндра



$$T_{\text{ц}} = 2t_1 + 2t_2 + t_3 + t_3'$$

$t_1$  - время срабатывания воздухораспределителя  
(зависит от типа управления)

$t_2$  - время распространения воздушной волны

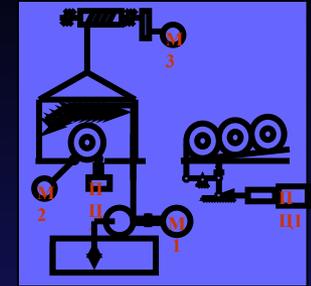
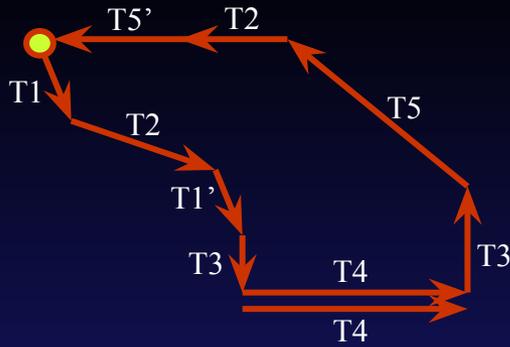
$t_3$  - время поднятия поршня (прямого хода)

$t_3'$  - время опускания поршня (обратного хода)

$$t_3' = 0,98 t_3$$

## Составляющие

$T_2$  – время скатывания детали

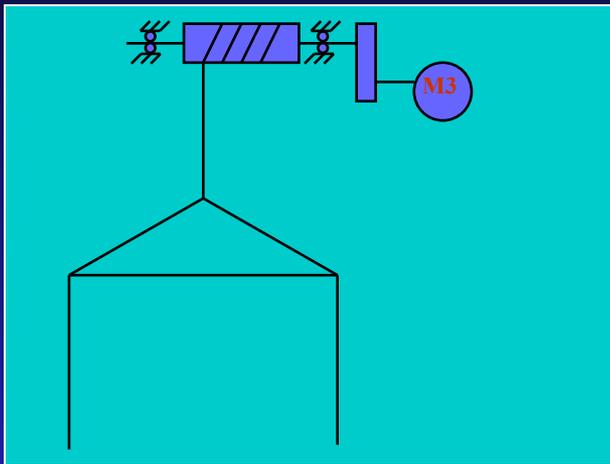
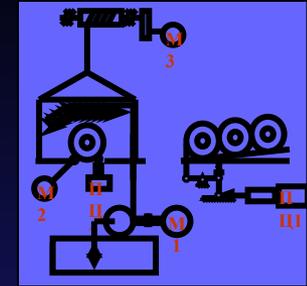
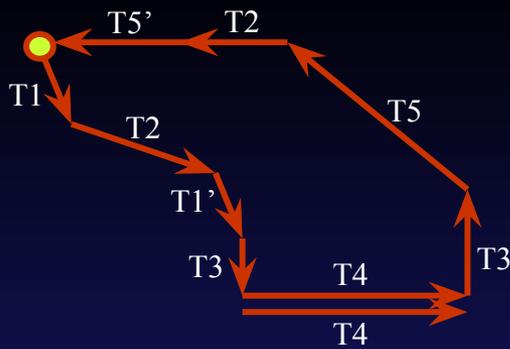


$$T_2 = 2,06\sqrt{l}$$

$l$  – расстояние перемещения (скатывания)

## Составляющие

$T_3$  – время опускания кожуха



$$T_3 = t_1 + t_2 + t_3$$

$t_1$  - время запуска двигателя  
(зависит от типа управления)

$t_2$  - время остановки двигателя

$t_3$  - время перемещения кожуха (прямого хода)

$t_1$

$t_1 = 1,62$ с. для ручного включения

$t_1 = 0,12$ с. для включения автоматического

$t_2$

$t_2 = 1,62$ с. для ручного выключения

$t_2 = 0,12$ с. для выключения автоматического

# Производительность

Под производительностью рабочей машины понимают количество продукции, выпускаемой в единицу времени.

Различают 3 вида производительности:

- технологическую
- цикловую
- фактическую

# Технологическая производительность

Это производительность, вычисляемая без учета времени на вспомогательные и холостые движения:

$$Q_T = \frac{1}{t_p} \left[ \frac{\text{шт.}}{\text{час}} \right] \text{ или } \left[ \text{час}^{-1} \right]$$

$t_p$  – длительность рабочего хода машины  
Характеризует прогрессивность применяемой технологии выбранных режимов обработки изделия, является максимальной из существующих трёх видов, является идеальной производительностью, для роторных автоматов существует только технологическая

## Цикловая производительность

Цикловую производительность определяют в машинах (автоматах дискретного действия), где существуют потери времени на подачу, закрепление изделий, подвод/отвод инструмента и т.п.

$$t_{\text{ц}} = t_p + t_x$$

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{t_{\text{ц}}} = \frac{1}{t_p + t_x} \left[ \frac{\text{шт.}}{\text{час}} \right] \text{ или } \left[ \text{час}^{-1} \right]$$

$t_{\text{ц}}$  – длительность цикла

$t_x$  – длительность холостого движения

Характеризует конструктивное совершенство машины. Чем меньше время холостого хода, тем прогрессивнее техническое решение машины

## Фактическая производительность

В эксплуатации периоды работы машины чередуются с простоями из-за отказов элементов машины или профилактическими работами по её обслуживанию (чистка, смазка и т.п.).

Эти потери времени называют внецикловыми  $t_{внц}$

Производительность, определяемую с учётом внецикловых потерь времени называют фактической

$$Q_{\Phi} = \frac{1}{t_{ц} + t_{внц}} \left[ \frac{\text{шт.}}{\text{час}} \right] \text{ или } \left[ \text{час}^{-1} \right]$$

Характеризует техническое совершенство машины, правильность её проектирования и связана со свойством надёжности.

# Надёжность машины

Допущения:

Машина работает в период нормальной эксплуатации, когда постепенные отказы ещё не появились и надёжность характеризуется внезапными отказами, возникающими из-за чрезмерной нагрузки. В этом случае интенсивность отказов  $\lambda$  можно считать постоянной, а ВБР – подчиняется экспоненциальному закону.

$$ВБР(t) = p(t) = e^{-\lambda \cdot t}$$

Все элементы машины в смысле надёжности соединены последовательно.

$$ВБР_m(t) = p_m(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t)$$

$p_i$  – ВБР  $i$ -го элемента

$n$  – число элементов в машине

# Внецикловые потери

Внецикловые потери на единицу продукции:

$$t_{\text{внц}} = \frac{t_{\text{нм}}}{z}$$

$t_{\text{нм}}$  – суммарные потери времени в процессе эксплуатации  
 $z$  – объём выпуска продукции

$$t_{\text{нм}} = \Phi \cdot \bar{p}_i \quad \begin{array}{l} \Phi - \text{годовой фонд рабочего времени} \\ p_i - \text{ВБР машины, } \bar{p}_i - \text{вероятность отказа} \end{array}$$

$$z = \frac{t_0}{t_{\text{ц}}} \quad \begin{array}{l} t_0 - \text{время безотказной работы машины} \\ t_{\text{ц}} - \text{длительность цикла работы машины} \end{array} \quad t_0 = \Phi \cdot p_i$$

$$t_{\text{внц}} = \frac{\Phi \cdot \bar{p}_i}{\frac{\Phi \cdot p_i}{t_{\text{ц}}}} = \frac{t_{\text{ц}} \cdot \bar{p}_i}{p_i} = \frac{t_{\text{ц}}(1 - p_i)}{p_i}$$

$$Q_{\text{ф}} = \frac{1}{t_{\text{ц}} + t_{\text{внц}}} = \frac{p_i}{t_{\text{ц}}}$$

# Пример

Дано:  $t_{ц} = 0,1$  часа

схема блоков машины см. рисунок

ВБР ЗУ  $p_1 = 0,9$

ТМ  $p_2 = 0,95$

РУ  $p_3 = 0,8$

АУУ  $p_4 = 0,95$



Определить:  $Q_{ф}$

$$p_m = p_1 p_2 p_3 p_4 = 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,95 = 0,65$$

$$Q_{ф} = p_m / t_{ф} = 0,65 / 0,1 = 6,5 \text{ шт./час}$$

*А каково время простоев  $t_{внц}$  - ?*

# Виды компоновки машин для автоматических линий

1. - жёсткая связь станков
2. - гибкая связь станков (с промежуточным накопителем)
3. - комбинированная связь станков

## Жёсткая связь станков

Наиболее дешёвая и простая схема, но и наименее надёжная



$p_1$  – ВБР машины 1

$p_2$  – ВБР машины 2

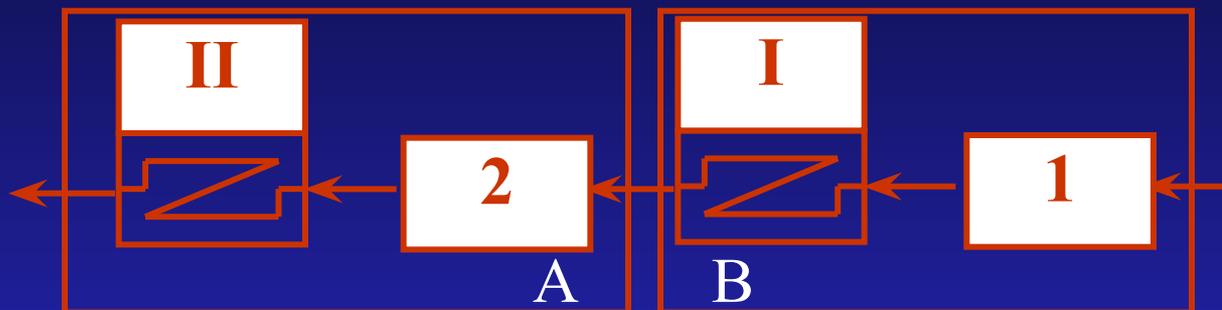
$$p_{\text{ДЛ}} = p_1 \cdot p_2$$

# Гибкая связь станков (с промежуточным накопителем)

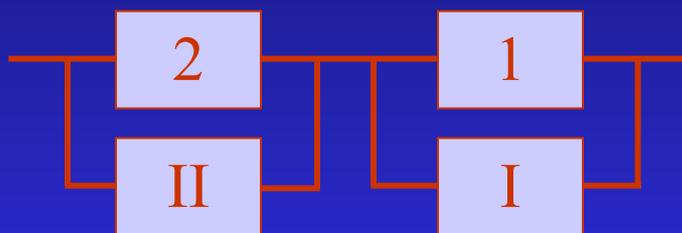
межоперационные накопители бывают:

магазинного типа      штабельного типа      бункерного и др.

Наиболее надёжная и производительная, но имеет высокую стоимость, большие габариты, сложна в управлении



- $p_1$  – ВБР машины 1
- $p_I$  – ВБР накопителя I
- $p_2$  – ВБР машины 2
- $p_{II}$  – ВБР накопителя II

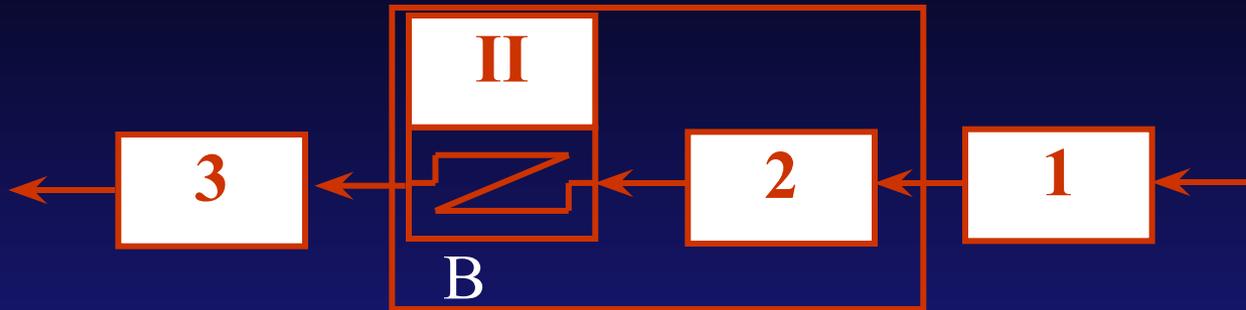


$$P_{АЛ} = P_A \cdot P_B$$

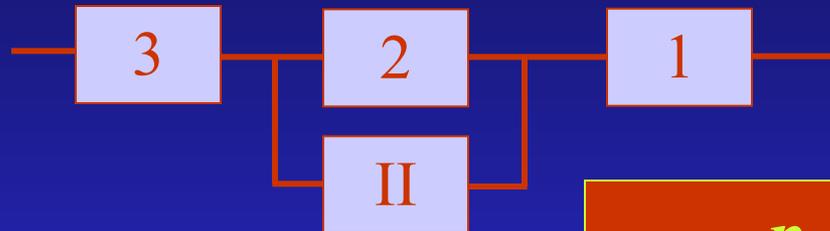
$$P_B = 1 - (1 - p_1) \cdot (1 - p_I)$$

$$P_A = 1 - (1 - p_2) \cdot (1 - p_{II})$$

# Комбинированная связь станков



- $p_1$  – ВБР машины 1
- $p_2$  – ВБР машины 2
- $p_{II}$  – ВБР накопителя II
- $p_3$  – ВБР машины 3



$$p_{АЛ} = p_1 \cdot p_B \cdot p_3$$

$$p_B = 1 - (1 - p_2) \cdot (1 - p_{II})$$

$$p_{АЛ} = p_1 \cdot (1 - (1 - p_2) \cdot (1 - p_{II})) \cdot p_3$$

# Математические модели машин

В основе проектирования автоматических машин лежит теория производительности – это техническая теория, представляющая собой совокупность законов, понятий, идеальных объектов системно отображающих машины по производительности.

Теория позволяет установить количественное значение производительности и выбрать рациональные способы автоматизации с помощью математических моделей.

**Математическая модель машины – это уравнение, связывающее производительность с важнейшими параметрами.**

**МОДЕЛИ БЫВАЮТ  
МНОГОФАКТОРНЫМИ И  
ОДНОФАКТОРНЫМИ**

# Многофакторные модели

позволяют одновременно установить связь всех основных характеристик машины с её производительностью (являются более сложными и трудоёмкими в применении)

Например модель производительности моечной машины:

$$Q = b_0 + b_1 K_a^M + b_2 q + b_3 n + b_4 V_k + b_5 V_3 + b_6 t + b_7 p$$

Производительность зависит от

$K_a^M$  – уровня автоматизации машины,

$q$  – подачи насоса,

$n$  – скорости вращения колёсной пары в камере,

$V_k$  – скорости перемещения кожуха,

$V_3$  – скорости загрузки,

$t$  – температуры моющей жидкости,

$p$  – давления жидкости перед соплом,

$b_1, b_2, b_3, \dots, b_7$  – оценки коэффициентов регрессии, определяются

экспериментально (опытным путём) и показывают степень влияния

соответствующего показателя машины на производительность.

# Однофакторные модели

показывают влияние входного параметра (как правило, это уровень автоматизации или надёжность) на выходной параметр (производительность).  
(используют более часто, поскольку достаточно просты в применении)

Например однофакторная модель мочной машины:

$$\hat{Q}(f) = \bar{Q} + r \frac{S_Q}{S_f} (f - \bar{f}) \quad (\text{модель корреляционного анализа})$$

$f$  – входной параметр (уровень автоматизации или надёжность)

$$S_Q = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n Q_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n Q_i \right)^2 \right]}$$

$$S_f = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n f_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n f_i \right)^2 \right]}$$

$S_Q$  – среднее квадратическое отклонение производительностей машин  
 $S_f$  – среднее квадратическое отклонение входного параметра машин

$r$  – коэффициент корреляции статистической информации о машинах между  $Q$  и  $f$

чем ближе  $r$  к 1, тем сильнее связь

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i f_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \sum_{i=1}^n f_i}{(n-1) S_Q S_f}$$

$0 \leq r \leq 1$

# Однофакторные модели

Еще один хорошо знакомый пример однофакторных моделей:

$$Q(f) = a_0 + a_1 f$$

$a_0, a_1$  – оценки коэффициентов регрессии

или нелинейная модель регрессионного анализа:

$$Q(f) = c_0 + c_1 f + c_2 f^2$$

$c_0, c_1, c_2$  – оценки коэффициентов регрессии

$f$  – входной параметр (в качестве которого можно взять любые характеристики машины: температура жидкости, давление, подача насоса, скорость подачи сварочной проволоки и т.п.)

Для определения значений коэффициентов регрессии, коэффициентов корреляции и среднеквадратических отклонений и т.д. необходима статистическая информация о параметрах и характеристиках существующих машин или экспериментальные данные.

СМОТРИ ЛЕКЦИЮ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОГО УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ