

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Витебский государственный технологический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор УО «ВГТУ»

\_\_\_\_\_ С.И. Малашенков

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

**РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ТИПОВЫХ МАШИН ЛЕГКОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ.**

***Раздел «Расчет производительности  
машин легкой промышленности»***

Методические указания к изучению курса  
для студентов специальности 1-36 08 01 «Машины и аппараты легкой,  
текстильной промышленности и бытового обслуживания»  
специализации 1-36 08 01 01 «Машины и аппараты легкой промышленности»

РЕКОМЕНДОВАНО

Редакционно-издательским  
советом УО «ВГТУ»

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

протокол № \_\_\_\_\_

Витебск

2012

1

УДК 62-83

Расчет и конструирование типовых машин легкой промышленности. Раздел «Расчет производительности машин легкой промышленности»: методические указания к изучению курса для студентов специальности 1-36 08 01 «Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания» специализации 1-36 08 01 01 «Машины и аппараты легкой промышленности».

Витебск : Министерство образования Республики Беларусь, УО «ВГТУ», 2012.

Составитель: д.т.н., проф. Сункуев Б.С.

Методические указания предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Расчет и конструирование типовых машин легкой промышленности».

В методических указаниях изложены основные сведения из теории производительности машин-автоматов легкой промышленности, предназначенных для обработки штучных изделий.

Одобрено кафедрой «Машины и аппараты легкой промышленности» УО «ВГТУ» 28.05.2012 г., протокол № 13.

Рецензент: доц. Новиков Ю.В.

Редактор: доц. Кириллов А.Г.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ» «\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г., протокол № \_\_\_\_.

Ответственный за выпуск: Данилова И.А.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»

-----  
Подписано к печати \_\_\_\_\_ Формат \_\_\_\_\_ Уч.- изд. лист. \_\_\_\_\_

Печать ризографическая. Тираж \_\_\_\_\_ экз. Заказ № \_\_\_\_\_ Цена \_\_\_\_\_  
-----

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Лицензия № 02330/0494384 от 16.03.2009.

210035, г. Витебск, Московский пр-т, 72.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 Основные понятия и определения теории производительности машин-автоматов .....	4
2 Классификация машин-автоматов по способу организации рабочего и технологического циклов .....	5
3 Расчет времени рабочего цикла при обработке на однооперационных машинах-автоматах.....	8
3.1 Однопозиционные машины-автоматы .....	8
3.2 Многопозиционные машины-автоматы с ротором, вращающимся с остановками .....	9
3.3 Многопозиционные роторные машины-автоматы с ротором, вращающимся непрерывно .....	11
3.4 Однооперационные многоголовочные машины-автоматы.....	12
3.5 Система однооперационных автономных машин-автоматов.....	13
4 Расчет времени рабочего цикла многооперационных машин-автоматов.....	15
4.1 Машина-автомат с единым устройством многооперационного транспортирования, движущимся с остановками .....	15
4.2 Роторная линия .....	16
5 Расчет фактической производительности машин .....	17
ЛИТЕРАТУРА .....	20

## ВВЕДЕНИЕ

Теория производительности машин-автоматов является одним из разделов теории машин-автоматов. Появление этой теории связано с разработкой машин полуавтоматического действия, автоматов и автоматических линий сначала в станкостроении, а затем – в других обрабатывающих отраслях, в том числе и в легкой промышленности.

Основоположником теории производительности является академик Г.А. Шаумян [1], создавший научную школу по теории производительности машин-автоматов.

Разработкой теории производительности машин-автоматов легкой промышленности занимался И.И. Капустин [2].

В настоящей методической разработке изложены основные сведения из теории производительности машин-автоматов легкой промышленности.

Методическая разработка предназначена для студентов специальности 1-36 08 01 «Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания» специализации 1-36 08 01 01 «Машины и аппараты легкой промышленности», изучающих дисциплину «Расчет и конструирование типовых машин легкой промышленности».

### 1 Основные понятия и определения теории производительности машин-автоматов

Технологический процесс представляет собой множество приемов обработки, в результате которых сырье, материалы перерабатываются в готовые изделия (одежду, обувь и т. п.).

Технологический процесс состоит из технологических операций.

Технологической операцией называют совокупность приемов обработки, выполняемых комплектом рабочих инструментов на одном рабочем месте, и обладающих чертами технологической общности и завершенности.

В современном производстве большинство операций выполняется с помощью машин-автоматов. На машине-автомате может выполняться одна операция или несколько операций.

Агрегат – машина-автомат, на которой выполняется несколько операций.

Технологическую операцию можно подразделить на отдельные составляющие, которые будем называть технологическими переходами.

Можно выделить технологические переходы, которые являются общими при обработке штучных изделий: загрузка, выгрузка, обработка.

Позиция – место, занимаемое изделием в машине-автомате в процессе обработки. Во время обработки на позиции изделие может совершать перемещения, необходимые для обработки: вращательное, поступательное, плоскопараллельное, колебательное и т. п.

При наличии в машине-автомате нескольких позиций изделие может перемещаться с одной позиции на другую с помощью транспортирующего устройства в виде ротора, барабана и т. п.

Время операционного цикла  $T_{on}$  есть длительность выполнения операции.

Время рабочего цикла  $T_p$  – время, приходящееся на выпуск из машины-автомата одного изделия.

Теоретическая производительность  $Q_m$  – количество изделий, обрабатываемых в машине-автомате за определенный отрезок времени (секунду, час, смену) при непрерывной работе без простоев.

Секундная производительность определяется по формуле

$$Q_{\delta} = \frac{1}{T_{\delta}} \text{ (шт/с),}$$

где  $T_p$  – время рабочего цикла, с.

Часовая производительность определяется по формуле

$$Q_{\delta} = \frac{3600}{T_{\delta}} \text{ (штук/час).}$$

Сменная производительность определяется по формуле

$$Q_{\delta} = \frac{28800}{T_{\delta}} \text{ (штук/смену).}$$

Фактическая производительность  $Q_{\phi}$  – количество изделий, обрабатываемых в машине-автомате за определенный отрезок времени с учетом простоев.

Производительность труда – количество изделий, приходящихся на одного оператора, обслуживающего машину-автомат за определенный отрезок времени.

## **2 Классификация машин-автоматов по способу организации рабочего и технологического циклов**

Развитие технологических машин-автоматов идет в направлении повышения их производительности. Повышение производительности часто сдерживается тем обстоятельством, что в составе технологической операции имеются переходы, длительность которых велика по сравнению с длительностями других переходов. Таковыми могут быть некоторые виды обработки (вышивка, склеивание деталей обуви, литье низа обуви и т. п.), а иногда переходы загрузки, выгрузки изделий, например, в полуавтоматах для сборки плоских заготовок верха обуви.

При большой длительности обработки производительность может быть повышена, если в машине-автомате синхронно обрабатывается  $N$  изделий. В результате время, приходящееся на выпуск одного изделия, снижается примерно в  $N$  раз. Однако при этом требуется иметь в машине-автомате  $N$  комплектов рабочих инструментов, что значительно повышает стоимость машины-автомата.

Другой способ повышения производительности – это использование N машин-автоматов, работающих несинхронно, что позволяет частично или полностью совместить обработку с загрузкой-выгрузкой изделий и, тем самым, сократить время рабочего цикла.

Наконец, можно применить многопозиционную обработку изделия, при которой оно перемещается внутри машины-автомата. При этом, наиболее длительные переходы разделяются на менее длительные таким образом, чтобы время переходов, включая загрузку-выгрузку, было бы одинаковым. Это приводит к сокращению времени, приходящегося на обработку одного изделия, и росту производительности.

При наличии нескольких операций, имеющих примерно одинаковую длительность и образующих некий технологический цикл, возможно объединить их выполнение в одном устройстве, называемом машиной-агрегатом.

В машине-агрегате должны быть устройства многооперационного транспортирования и исключены устройства загрузки-выгрузки на второй и предпоследней операциях, выполняемых в агрегате. Так как обслуживание машины-агрегата, как правило, производится одним оператором, то многократно увеличивается производительность машины-автомата.

Если в машине-автомате объединить все операции некоторого технологического процесса, а также выполнять операции обработки группой рабочих инструментов, то можно значительно снизить время обработки, приходящееся на одно изделие, и кардинально повысить производительность. Такой способ организации технологического процесса реализован в автоматических роторных линиях, предложенных академиком Л.Н. Кошкиным.

Рассмотренные способы повышения производительности обработки позволяют создать классификацию машин-автоматов, представленную на рис. 1 в виде блок-схемы.

Согласно классификации все машины-автоматы подразделяются на две группы: однооперационные – предназначенные для выполнения одной операции, и многооперационные – предназначенные для выполнения нескольких взаимосвязанных операций (агрегаты).

В однопозиционных машинах-автоматах одновременно обрабатывается одно изделие, при этом оно занимает одну позицию. В многопозиционных машинах-автоматах обрабатываемое изделие занимает несколько позиций, на которых выполняются отдельные переходы, входящие в состав операции.

В многоголовочных полуавтоматах с единым приводом головок синхронно выполняется одна операция обработки с помощью множества комплектов рабочих инструментов (головок), приводимых в движение от единого двигателя. Не исключена возможность использования общего механизма, осуществляющего, например, синхронное транспортирование изделий в процессе обработки. При этом переходы загрузки и выгрузки изделий могут быть вынесены за пределы времени обработки и выполняться вручную.

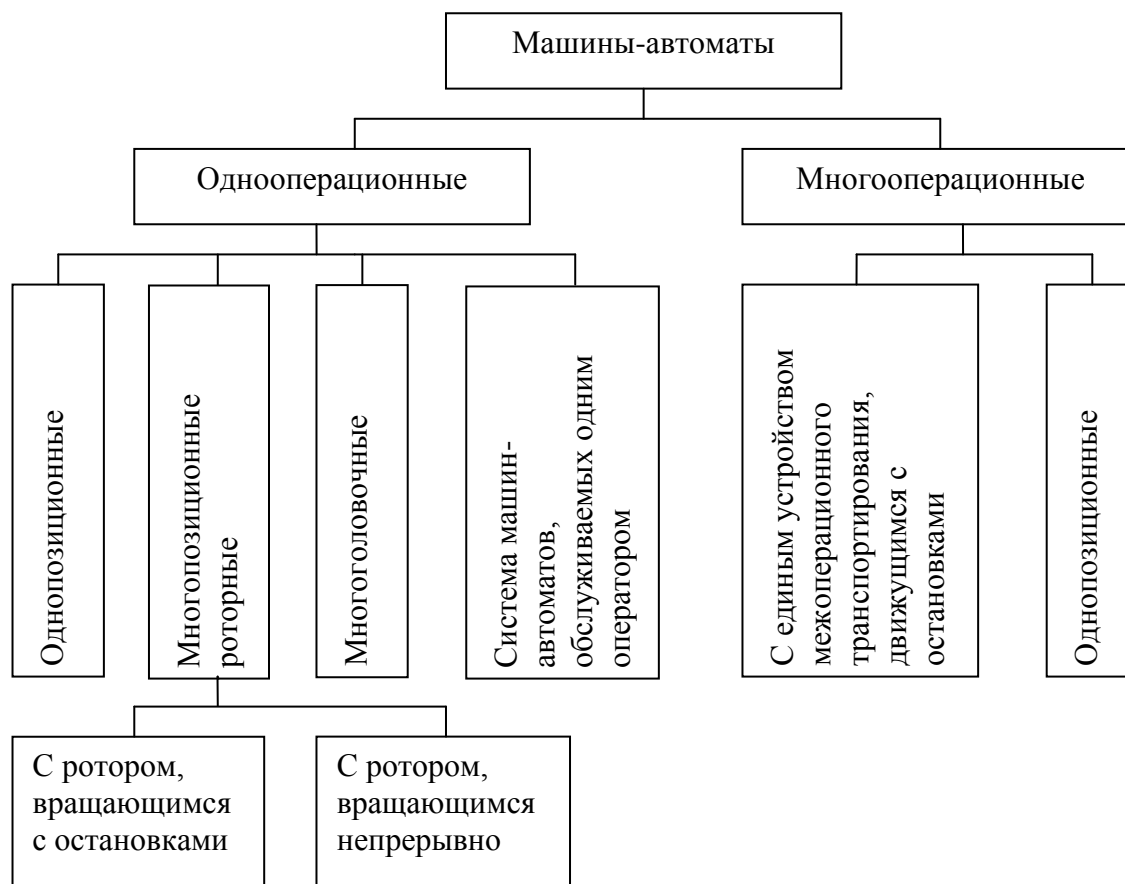


Рисунок 1 – Блок-схема классификации машин-автоматов по способу организации технологического цикла

В системе автономных машин-автоматов, обслуживаемых одним оператором, операции обработки выполняются несинхронно по мере загрузки и выгрузки изделий оператором. При этом, при определенном числе машин-автоматов, времена загрузки и выгрузки изделий полностью совмещаются со временем обработки и не влияют на длительность рабочего цикла.

Многооперационные машины-автоматы можно подразделить на две группы.

В агрегатах с единым устройством межоперационного транспортирования, движущимся с остановками, обработка изделий на всех операциях производится во время остановки. В это же время производится загрузка изделий перед первой операцией и выгрузка – после последней. При этом длительность рабочего цикла равна сумме времени остановки и перемещения изделия между позициями.

Роторная линия состоит из рабочих роторов, на которых выполняется обработка изделий на операциях, причем число рабочих роторов равно числу операций. Межоперационное транспортирование осуществляется транспортными роторами, передающими изделия с одного рабочего ротора на другой. На одном рабочем роторе одновременно обрабатывается несколько изделий. В результате возрастает темп обработки и снижается время, приходящееся на выпуск одного изделия.

### 3 Расчет времени рабочего цикла при обработке на однооперационных машинах-автоматах

Теоретическая производительность  $Q_m$  машины-автомата зависит от времени рабочего цикла, т. е. времени, затрачиваемого на выпуск одного изделия.

Поэтому в последующих разделах настоящей методической разработки уделяется внимание определению времени  $T_p$ , при этом имеется в виду, что с уменьшением  $T_p$  теоретическая производительность пропорционально растет.

#### 3.1 Однопозиционные машины-автоматы

На рис. 2 показана технологическая схема однооперационной однопозиционной машины-автомата. Время рабочего цикла определится из формулы

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{з}} + t_{\text{в}} + \sum t_{i\text{а}\text{д}},$$

где  $t_{\text{з}}$  – время загрузки;

$t_{\text{в}}$  – время выгрузки;

$\sum t_{i\text{а}\text{д}}$  – суммарное время обработки.

В случае последовательного выполнения переходов, входящих в обработку, время  $\sum t_{i\text{а}\text{д}}$  определится из формулы

$$\sum t_{i\text{а}\text{д}} = t_1 + t_2 + \dots + t_n,$$

где  $t_1 + t_2 + \dots + t_n$  – время выполнения переходов (всего имеется  $n$  переходов).

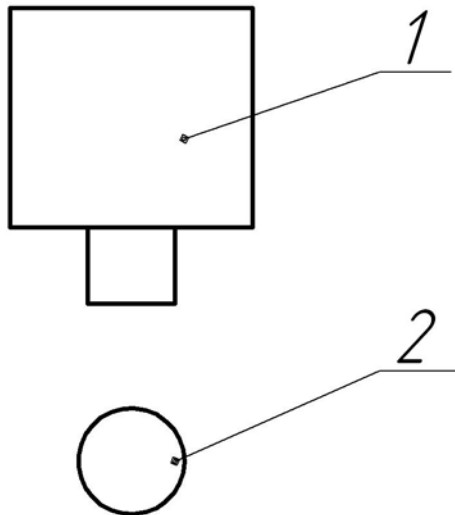


Рисунок 2 – Технологическая схема однооперационной однопозиционной машины-автомата: 1 – машина, 2 – оператор

В случае одновременного (параллельного) выполнения переходов

$$\sum t_{i\text{а}\text{д}} = \max\{t_1, t_2, \dots, t_n\}.$$



В большинстве случаев часть переходов выполняется последовательно, а часть – одновременно. В этом случае

$$\sum t_{i\dot{a}\ddot{o}} = \max\{t_1, t_2, \dots, t_m\} + (t_{m+1} + t_{m+2}, \dots, t_n), \quad m < n$$

где  $t_1, t_2, \dots, t_m$  – время переходов, выполняемых одновременно;

$t_{m+1} + t_{m+2}, \dots, t_n$  – времена переходов, выполняемых последовательно.

### 3.2 Многопозиционные машины-автоматы с ротором, вращающимся с остановками

На рис. 3 приведена технологическая схема многопозиционного литейного агрегата с ротором, вращающимся с остановками [3].

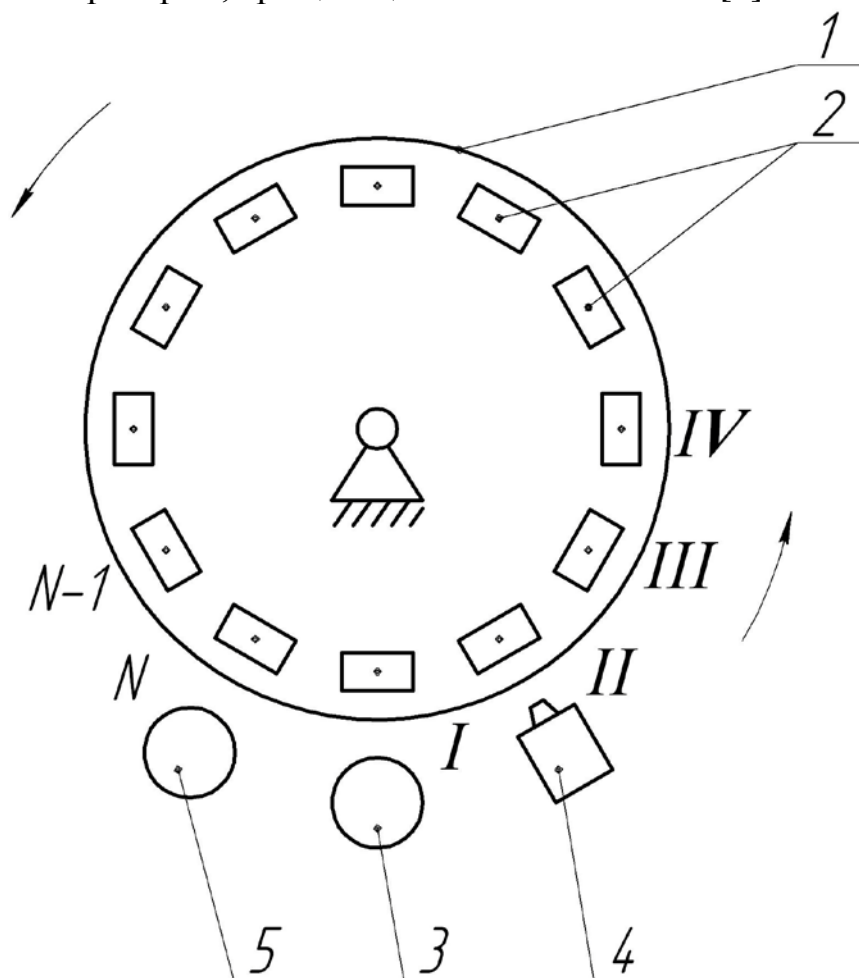


Рисунок 3 – Схема однооперационного многопозиционного литейного агрегата: 1 – транспортирующий ротор, 2 – пресс-формы, 4 – устройство для впрыска рабочей смеси, 3, 5 – операторы

Продолжительность процесса литья низа обуви (подошвы) является достаточно длительной и занимает по времени от 20 с до 40 с. Процесс происходит в пресс-форме, образующей замкнутое пространство для подошвы. В одной пресс-форме обрабатывается одновременно пара изделий. N пресс-форм 2 закреплены на роторе 1, совершающем повороты на угол  $\Delta\varphi = 360^\circ/N$

с последующими остановками. Оператор 3 производит загрузку заготовок обуви в пресс-форму, оператор 5 – выгрузку обработанных изделий из пресс-форм. Устройство 4 осуществляет впрыск рабочей смеси в замкнутое пространство пресс-форм для формирования подошв.

Заготовка в течение технологического цикла обработки занимает  $N$  позиций. На позиции I (см. рис. 3) производится загрузка заготовок в пресс-форму, на позиции II – впрыск рабочей смеси в пресс-форму, на позициях III... $(N-1)$  – формирование подошв, на позиции  $N$  – выгрузка готовых изделий.

Время выполнения операции литья подошв составляет:

$$\dot{O}_{\ddot{u}} = t_{\zeta} + t_{\hat{a}} + \sum t_{\hat{a}\ddot{\delta}} , \quad (3.1)$$

где  $t_{\zeta}$  – время загрузки;

$t_{\hat{e}}$  – время выгрузки;

$\sum t_{\hat{a}\ddot{\delta}}$  – суммарное время обработки.

$$\sum t_{\hat{a}\ddot{\delta}} = t_{\hat{a}\ddot{\delta}} + t_{\hat{\delta}\ddot{\delta}} , \quad (3.2)$$

где  $t_{\hat{e}np}$  – время впрыска рабочей смеси;

$t_{\hat{f}opm}$  – время формирования подошвы.

Время между выходами из агрегата пары готовых изделий составляет:

$$\dot{O}_{\hat{\delta}} = t_{\hat{u}\hat{a}} + t_{\hat{u}\hat{\delta}} , \quad (3.3)$$

где  $t_{\hat{u}ov}$  – время поворота ротора 1 на угол  $\Delta\varphi = \frac{360^\circ}{N}$ ;

$t_{\hat{o}cm}$  – время остановки ротора.

Рассмотрим возможности уменьшения  $T_p$ . Время поворота  $t_{\hat{u}ov}$  ротора зависит от динамики привода, поэтому в рамках настоящих методических указаний не будем его рассматривать.

Время остановки лимитируется временами переходов, выполняемых на I, II и  $N$  позициях:

$$t_{\hat{u}\hat{\delta}} \geq \max\{t_{\zeta}, t_{\hat{a}}, t_{\hat{a}\ddot{\delta}}\}.$$

Из этого следует, что для уменьшения  $t_{\hat{o}cm}$  следует уменьшать  $\max\{t_{\zeta}, t_{\hat{a}}, t_{\hat{a}\ddot{\delta}}\}$ .

Рассмотрим определение позиций  $N$ . Наиболее длительным переходом в операции является формирование подошв. Время  $t_{\hat{f}opm}$  этого перехода распределяется на  $(N-3)$  позиций, поэтому

$$t_{\hat{\delta}\ddot{\delta}} \leq (N-3)(t_{\hat{u}\hat{a}} + t_{\hat{u}\hat{\delta}}), \quad (3.4)$$

откуда

$$N \geq \frac{t_{\hat{\delta}\ddot{\delta}}}{t_{\hat{u}\hat{a}} + t_{\hat{u}\hat{\delta}}} + 3. \quad (3.5)$$

Представляет интерес соотношение  $T_{on}$  и  $T_p$ .

Из (3.3), (3.4) следует:

$$T_{\delta} = \frac{t_{\delta i \delta i}}{N - 3}. \quad (3.6)$$

Из (3.1), (3.2) определим:

$$t_{\delta i \delta i} = T_{\delta i} - (t_{\zeta} + t_{\hat{a}} + t_{\hat{a} i \delta}). \quad (3.7)$$

Тогда из (3.6) и (3.7) определим:

$$T_{\delta} = \frac{T_{\delta i} - t_{\zeta} - t_{\hat{a}} - t_{\hat{a} i \delta}}{(N - 3)}.$$

Из последнего выражения следует, что время рабочего цикла меньше операционного более чем в  $(N-3)$  раза.

### ***3.3 Многопозиционные роторные машины-автоматы с ротором, вращающимся непрерывно***

В некоторых отраслях промышленности (пищевой, машиностроении) возможно разделение операции на переходы, выполняемые при непрерывном вращении ротора. Примером может служить заверточный автомат типа ГАШ-15 [1].

При вращении ротора 1 изделия 2 непрерывно перемещаются, и при этом производится обработка изделий с помощью рабочих инструментов 3. При этом рабочие инструменты могут быть неподвижными, как это показано на рис. 4, или перемещаться: совершать вращательное, колебательное и т. п. движения.

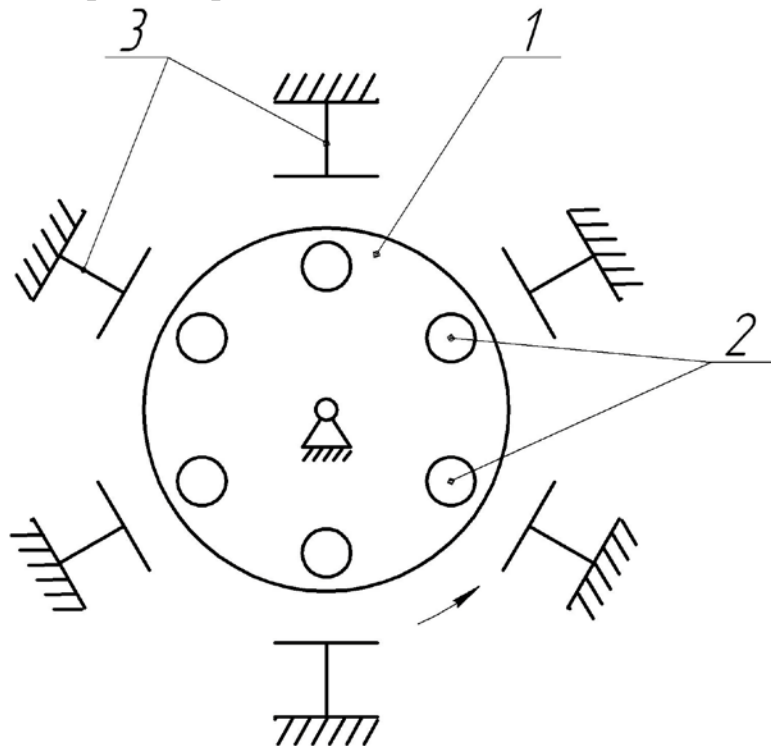


Рисунок 4 – Схема многопозиционной роторной машины-автомата:  
1 – транспортирующий ротор, 2 – обрабатываемые детали, 3 – рабочие инструменты

К числу рабочих инструментов относятся и устройства загрузки-выгрузки изделий, выполняемых автоматически или с участием оператора.

Время рабочего цикла  $T_p$  равно времени  $t_{нов}$  ротора на угловой шаг ротора  $\alpha_\delta = \frac{360^\circ}{N}$ , где  $N$  – число рабочих гнезд в роторе. При  $N = 6$  получим  $\alpha_\delta = 60^\circ$ . Очевидно, что  $t_{i\dot{a}} \geq \max\{t_I, t_{II}, \dots, t_N\}$ , где  $t_I, t_{II}, \dots, t_N$  – времена выполнения переходов, включая загрузку-выгрузку.

При непрерывном вращении ротора время рабочего цикла уменьшается за счет исключения времени остановки ротора.

### 3.4 Однооперационные многоголовочные машины-автоматы

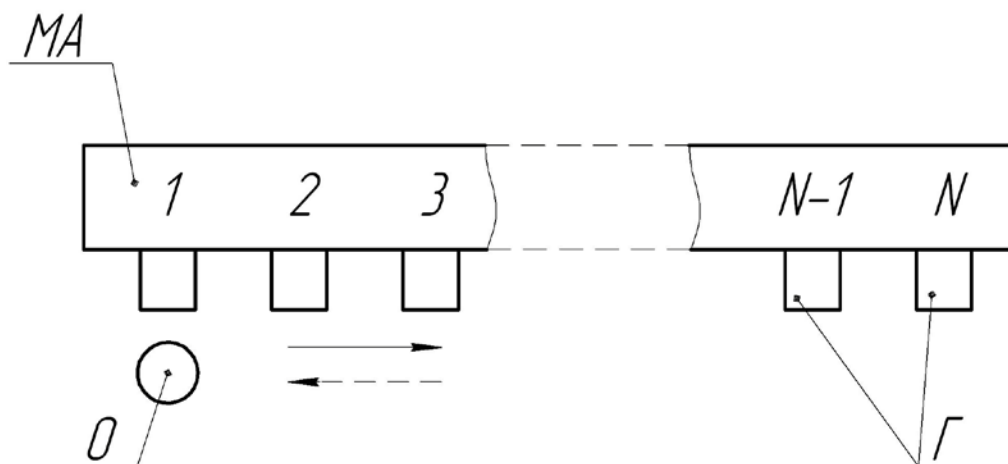


Рисунок 5 – Технологическая схема однооперационной многоголовочной машины-автомата: МА – машина-автомат, Г – головка (всего  $N$  головок), О – оператор

Головка – сборочная единица машины-автомата, содержащая комплект рабочих инструментов, предназначенных для обработки изделия. Примером машины-автомата рассматриваемого вида может служить многоголовочный вышивальный полуавтомат.

Сначала оператор О осуществляет съем пялец с вышитым изделием и загрузку пялец с тканью на всех головках и при этом перемещается вдоль машины-автомата. Затем запускается привод и производится синхронная обработка (вышивка) всех изделий. Время одного цикла обслуживания  $t_{обсл}$  полуавтомата составляет:

$$t_{i\dot{a}\ddot{e}} = (t_\zeta + t_{\dot{a}} + t_{i\dot{a}\ddot{d}})N + \sum t_{i\dot{a}\ddot{d}},$$

где  $t_\zeta$  – время загрузки пялец с тканью;

$t_{\dot{e}}$  – время выгрузки пялец с вышитым изделием;

$t_{nep}$  – среднее время перехода оператора от одной головки к другой;

$\sum t_{i\dot{a}\ddot{d}}$  – суммарное время обработки (вышивки) одного изделия.

За время  $t_{обсл}$  выпускается  $N$  изделий, поэтому время рабочего цикла составляет:

$$T_{\delta} = t_{\zeta} + t_{\hat{a}} + t_{\hat{a}\delta} + \frac{\sum t_{\hat{a}\delta}}{N}. \quad (3.8)$$

Для уменьшения  $T_p$  необходимо сокращать  $t_3$ ,  $t_6$  или, что наиболее существенно, увеличивать число головок  $N$ . При этом следует учесть, что с увеличением  $N$  увеличивается стоимость машины-автомата, занимаемая им площадь, снижается надежность работы.

Рассмотрим, как соотносятся времена операционного  $T_{on}$  и рабочего  $T_p$  циклов. Операционный цикл включает в себя  $t_{\zeta}, t_{\hat{a}}, \sum t_{\hat{a}\delta}$  :

$$T_{\hat{u}} = t_{\zeta} + t_{\hat{a}} + \sum t_{\hat{a}\delta}. \quad (3.9)$$

Из (3.9) определим  $\sum t_{\hat{a}\delta}$  :

$$\sum t_{\hat{a}\delta} = T_{\hat{u}} - t_{\zeta} - t_{\hat{a}}. \quad (3.10)$$

Подставив  $\sum t_{\hat{a}\delta}$  из (3.10) в (3.8), получим:

$$T_{\delta} = \frac{T_{\hat{u}} - t_{\zeta} - t_{\hat{a}}}{N} + (t_{\zeta} + t_{\hat{a}} + t_{\hat{a}\delta}).$$

Из последнего выражения следует, что в рассматриваемой машине-автомате время  $T_p$  примерно в  $N$  раз меньше  $T_{on}$ , т. к.  $(t_{\zeta} + t_{\hat{a}} + t_{\hat{a}\delta})$  обычно значительно меньше  $T_{on}$ .

### 3.5 Система однооперационных автономных машин-автоматов

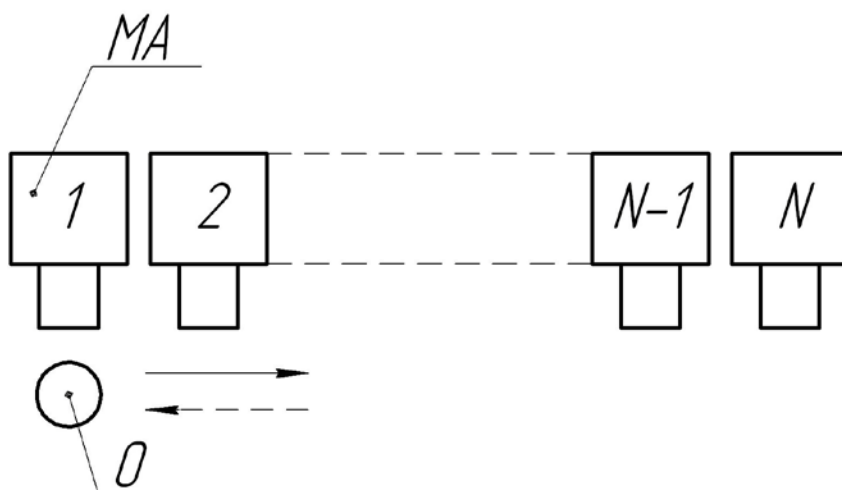


Рисунок 6 – Технологическая схема системы однооперационных машин-автоматов, обслуживаемых одним оператором:  
 МА – машина-автомат (всего  $N$ ), О – оператор

Все  $N$  машин-автоматов выполняют одну и ту же операцию. Оператор  $O$  производит выгрузку обработанного изделия и загрузку полуфабриката на машине-автомате 1, затем включает привод этой машины-автомата, начинается обработка изделия, затем оператор переходит к машине-автомату 2 и т. д. Безостановочная работа оператора по приведенному алгоритму возможна, если в момент прихода к машине-автомату 2 завершена обработка изделия на этой машине-автомате, т. е. выполняется условие

$$\sum t_{i\acute{a}\delta} = (t_{\zeta} + t_{\acute{a}} + t_{i\grave{a}\delta}) \times (N-1), \quad (3.11)$$

где  $\sum t_{i\acute{a}\delta}$  – суммарное время обработки изделия;

$t_{\zeta}$  – время загрузки;

$t_{\epsilon}$  – время выгрузки;

$t_{nep}$  – среднее время перехода оператора между машинами-автоматами.

При этом общее количество  $N$  машин-автоматов составит:

$$N = \frac{\sum t_{i\acute{a}\delta}}{t_{\zeta} + t_{\acute{a}} + t_{i\grave{a}\delta}} + 1, \quad (3.12)$$

а среднее время, приходящееся на выпуск одного изделия, определяется из формулы

$$\dot{O}_{\delta} = t_{\zeta} + t_{\acute{a}} + t_{i\grave{a}\delta}. \quad (3.13)$$

В том случае, когда число машин-автоматов меньше значения, определяемого из (3.12), время рабочего цикла  $T_p$  определяется из следующих соображений.

Время  $t_{обсл}$  одного цикла обслуживания оператором  $N$  полуавтоматов определится из формулы

$$t_{i\acute{a}\grave{a}\grave{e}} = (t_{\zeta} + t_{\acute{a}} + t_{i\grave{a}\delta}) \cdot (N-1) + \left( \sum t_{i\acute{a}\delta} - (t_{\zeta} + t_{\acute{a}} + t_{i\grave{a}\delta}) \cdot (N-1) \right). \quad (3.14)$$

Вторая часть формулы есть время ожидания оператором завершения обработки на каждой машине-автомате.

Выполняя преобразования (3.14), получим:

$$t_{i\acute{a}\grave{a}\grave{e}} = \sum t_{i\acute{a}\delta}.$$

За время  $t_{i\acute{a}\grave{a}\grave{e}}$  из системы выходит  $(N-1)$  изделий, поэтому:

$$T_{\delta} = \frac{\sum t_{i\acute{a}\delta}}{N-1}. \quad (3.15)$$

На практике более вероятен случай, когда число машин-автоматов  $N$  меньше предусмотренного формулой (3.12).

Рассмотрим, как в этом случае соотносятся  $T_{on}$  и  $T_p$ . Время операционного цикла  $T_{on}$  определяется из формулы

$$T_{\ddot{r}} = t_{\zeta} + t_{\acute{a}} + \sum t_{i\acute{a}\delta}.$$

Из этой формулы определим:

$$\sum t_{i\acute{a}\delta} = T_{\ddot{r}} - t_{\zeta} - t_{\acute{a}}.$$

Последнее выражение подставим в (3.15), в результате получим:

$$T_{\delta} = \frac{T_{\ddot{u}} - t_{\zeta} - t_{\hat{a}}}{N - 1}. \quad (3.16)$$

Из (3.16) следует, что при обработке на рассматриваемой системе машин-автоматов время рабочего цикла в  $(N-1)$  раз меньше  $T_{on}$ .

#### **4 Расчет времени рабочего цикла многооперационных машин-автоматов**

В многооперационной машине-автомате выполняется  $N$  операций. Как правило, обслуживание этих машин-автоматов производится одним оператором. Поэтому при той же длительности рабочего цикла по сравнению с однооперационной машиной получаем производительность труда в  $N$  раз большую.

##### ***4.1 Машина-автомат с единым устройством многооперационного транспортирования, движущимся с остановками***

На рис. 7 приведена технологическая схема агрегата контурной обработки подошв АКОП-9, который может быть отнесен к рассматриваемому типу машин-автоматов. На цепи транспортера 1 закреплено девять кареток 2. В каждой каретке имеется по два зажимных устройства для правой и левой заготовки подошв, а также – привод, обеспечивающий сложное движение каждой заготовки в процессе обработки.

За один цикл обработки изделия совершают перемещение по девяти позициям. На позиции I оператор 3 производит загрузку необработанных подошв и выгрузку обработанных. На позиции II производится фрезерование контура подошв с помощью фрезерных головок 4. На позиции III производится увлажнение обработанного контура подошв посредством головок 5. На позиции IV на увлажненную часть подошв наносится мыльная эмульсия с помощью головок 6. На позиции V производится подсушка подошв посредством сушильной установки 7. На позиции VI контур подошв уплотняется посредством головок 8. На позиции VII производится окраска торца подошв посредством красильной головки 9. Далее на позициях VIII и IX производится окончательная сушка обработанных контуров подошв.

Время между выходами из машины-автомата пары обработанных подошв равно

$$\dot{O}_{\delta} = t_{\ddot{m}\delta} + t_{\delta\delta}, \quad (4.1)$$

где  $t_{ocm}$  – время остановки транспортера;

$t_{mp}$  – время транспортирования заготовок между соседними позициями.

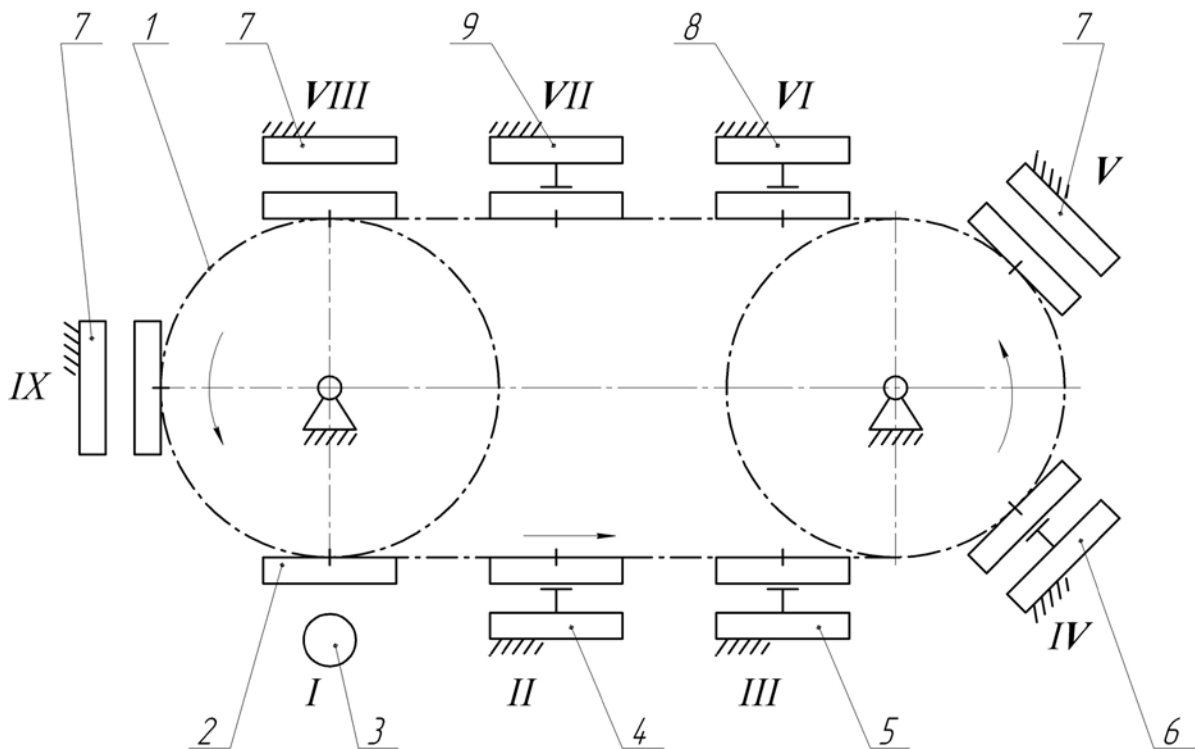


Рисунок 7 – Технологическая схема агрегата контурной обработки подошв АКОВ-9: 1 – цепной транспортер, 2 – каретки (всего 9), 3 – оператор, 4, 5, 6, 8, 9 – обрабатывающие головки, 7 – установки для сушки (всего 3), позиции: I – загрузка-выгрузка, II – фрезерование контура подошв, III – увлажнение, IV – нанесение мыльной эмульсии, V – подсушка, VI – уплотнение, VII – покраска торца, VIII, IX – сушка

Из (4.1) следует, что для уменьшения  $T_p$  нужно уменьшать время  $t_{ост}$ , т. к.  $t_{mp}$  определяется динамикой привода транспортера. Время остановки лимитируется длительностью выполняемых операций обработки на позициях II–IX и загрузки-выгрузки на позиции I.

#### 4.2 Роторная линия

Если несколько однооперационных многопозиционных роторных машин-автоматов с роторами, вращающимися непрерывно, соединить в одну линию и установить между роторами устройства передачи изделий с одного ротора на другой, то получим роторную линию. Изобретателем роторных линий является академик Л.Н. Кошкин. Принципиальная схема роторной линии показана на рис. 8. Линия состоит из загрузочного устройства 1, устройства выгрузки готовых изделий 2, рабочих роторов 3, транспортных (питающих и снимающих) роторов 4. На каждом рабочем роторе выполняется одна операция. Часть рабочих гнезд рабочего ротора занята переходами загрузки-выгрузки (приема-передачи деталей) или свободна. Оставшиеся гнезда заняты обработкой изделий.

Как видно из схемы, количество гнезд в роторе, в том числе рабочих, может быть различным. Однако длительность рабочего цикла  $T_p$  определяется



временем поворота каждого транспортного ротора на угловой шаг между гнездами:

$$\dot{O}_\delta = t_{\text{шаг}} .$$

Время  $T_p$  задает темп работы роторной линии и должно быть одинаковым для всех транспортных и рабочих роторов. Это возможно, если угловые скорости роторов  $\omega_i$  подчиняются равенству:

$$\omega_i = \frac{2\pi}{N_j \times t_{\text{шаг}}} .$$

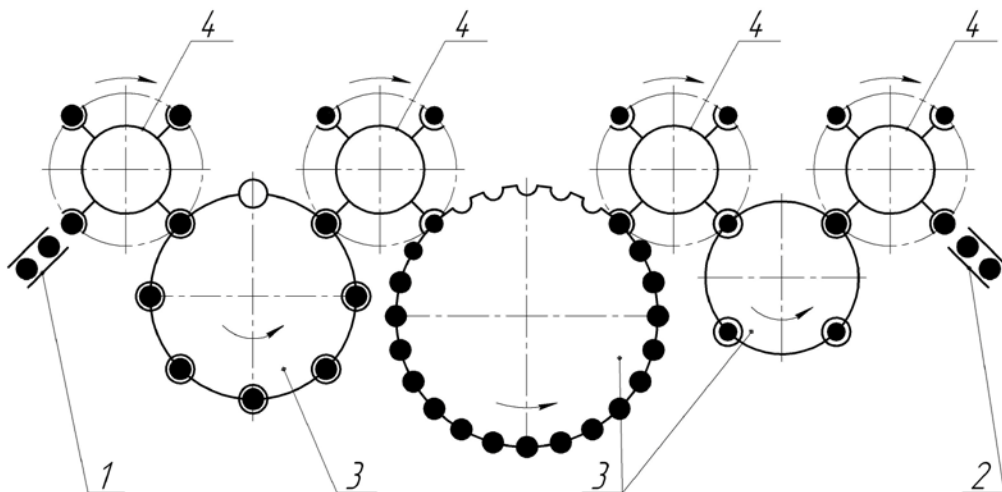


Рисунок 8 – Схема роторной линии: 1 – питатель (загрузка заготовок), 2 – приемник изделий, 3 – рабочие роторы, 4 – транспортные (питающие и снимающие) роторы

## 5 Расчет фактической производительности машин

В условиях реального производства технологическая машина не может работать непрерывно. Периодически имеют место простои по тем или иным причинам. Таковыми могут быть: смена инструмента, отказы в работе механизмов машины, перерывы в работе, предусмотренные регламентом или вызванные сбоями в организации производства, переналадка машины на выпуск нового ассортимента продукции. Кроме того, время, затраченное на выпуск бракованной продукции, должно быть также отнесено к потерям.

Перечисленные простои могут повторяться через определенный период времени либо иметь случайный характер. В последнем случае путем длительных наблюдений за работой машины может быть установлен период времени, в течение которого велика вероятность наступления простоя.

Предположим, путем наблюдений установлена наибольшая длительность одного из простоев, а все остальные простои имеют меньший период повторяемости. Обозначим этот период времени  $\Theta$ .

Тогда фактическая производительность за период  $\Theta$  определится из формулы

$$Q_{\delta} = \frac{Z_{\delta}}{\Theta}, \quad (5.1)$$

где  $Z_{\delta}$  – фактическое количество изделий, обработанных за время  $\Theta$ .

Время  $\Theta$  представим в виде:

$$\Theta = \Theta_{\delta} + \sum \Theta_i, \quad (5.2)$$

где  $\Theta_{\delta}$  – время работы машины за период  $\Theta$ ;

$\sum \Theta_i$  – суммарное время простоев.

Тогда

$$Z_{\delta} = \frac{\Theta_{\delta}}{T_{\delta}}. \quad (5.3)$$

Подставим в (5.1) выражения из (5.2), (5.3). В результате получим:

$$Q_{\delta} = \frac{\Theta_{\delta}}{T_{\delta}(\Theta_{\delta} + \sum \Theta_i)}.$$

Обозначим  $1/T_p = Q_m$ , имея ввиду, что размерности  $Q_m$  и  $T_p$  согласованы, тогда:

$$Q_{\delta} = Q_{\delta} \cdot \frac{\Theta_{\delta}}{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_i}. \quad (5.4)$$

Обозначим

$$\frac{\Theta_{\delta}}{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_i} = \eta_{\delta} \quad (5.5)$$

и назовем  $\eta_{\delta}$  коэффициентом использования машины. Тогда

$$Q_{\delta} = Q_{\delta} \cdot \eta_{\delta}.$$

Коэффициент использования  $\eta_n$  выражает потери производительности по причинам, зависящим как от совершенства конструкции машины, так и по причинам, от нее не зависящим.

Рассмотрим типовую структуру потерь времени на простои [3]

$$\sum \Theta_i = \Theta_{\delta} + \Theta_{i\acute{a}} + \Theta_{i\grave{a}\delta} + \Theta_{\acute{a}\delta} + \Theta_{i\delta\grave{a}}, \quad (5.6)$$

где  $\Theta_{\delta}$  – потери времени на смену инструмента;

$\Theta_{i\acute{a}}$  – потери времени на устранение отказов оборудования;

$\Theta_{i\grave{a}\delta}$  – потери времени на переналадку машины в связи с выпуском нового ассортимента продукции;

$\Theta_{\acute{a}\delta}$  – потери времени на выпуск бракованной продукции;

$\Theta_{i\delta\acute{a}}$  – потери времени по организационным причинам.

Первые четыре вида потерь в формуле (5.6) напрямую связаны с совершенством конструкции машины. Обозначим сумму этих потерь  $\sum \Theta_{\bar{n}}$ :

$$\sum \Theta_{\bar{n}} = \Theta_{\acute{e}} + \Theta_{i\acute{a}} + \Theta_{i\acute{a}\delta} + \Theta_{\acute{a}\delta}. \quad (5.7)$$

Подставим (5.7) в (5.6), а затем в (5.5):

$$\eta_{\acute{e}} = \frac{\Theta_{\delta}}{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_{\bar{n}} + \Theta_{i\delta\acute{a}}}. \quad (5.8)$$

Умножим числитель и знаменатель правой части уравнения (5.8) на  $(\Theta_{\delta} + \sum \Theta_{\bar{n}})$ :

$$\eta_{\acute{e}} = \frac{\Theta_{\delta}}{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_{\bar{n}}} \cdot \frac{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_{\bar{n}}}{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_{\bar{n}} + \Theta_{i\delta\acute{a}}}.$$

Обозначим  $\frac{\Theta_{\delta}}{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_{\bar{n}}} = \eta_{\delta\acute{a}\delta}$ ,  $\frac{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_{\bar{n}}}{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_{\bar{n}} + \Theta_{i\delta\acute{a}}} = \eta_{\zeta}$ ,

где  $\eta_{\delta\acute{a}\delta}$  – коэффициент технического использования;

$\eta_{\zeta}$  – коэффициент загрузки.

Тогда  $\eta_{\acute{e}} = \eta_{\delta\acute{a}\delta} \cdot \eta_{\zeta}$ .

Иногда необходимо оценить степень использования машины за период, превышающий время  $\Theta$ , например за весь срок эксплуатации. При этом можно воспользоваться коэффициентом эксплуатации:

$$\eta_{\acute{y}} = \frac{\sum N_i}{N_{\acute{y}}},$$

где  $N_{\acute{y}}$  – календарный срок службы машины-автомата (срок эксплуатации);

$\sum N_i$  – суммарная календарная длительность периодов работы машины в

течение  $N_{\acute{y}}$ ,  $\sum N_i = N_{\acute{y}} - \sum \tau_{i\delta}$  ;

$\sum \tau_{i\delta}$  – суммарная календарная длительность планово-предупредительных ремонтов машины-автомата за срок службы.

Суммарная степень использования машины за срок эксплуатации оценивается общим коэффициентом использования

$$\eta_{i\acute{e}} = \eta_{\acute{e}} \cdot \eta_{\acute{y}}.$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шаумян, Г. А. Автоматы и автоматические линии / Г. А. Шаумян. – Ленинград : Машгиз, 1961. – 552 с.
2. Капустин, И. И. Машины-автоматы и автоматические линии в швейном и обувном производствах : учебное пособие для вузов / И. И. Капустин, И. И. Галынкер. – Москва : Легкая индустрия, 1966. – 422 с.
3. Волчкевич, Л. И. Надежность автоматических линий / Л. И. Волчкевич. – Москва : Машиностроение, 1969. – 305 с.