

Министерство высшего и среднего специального  
образования Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени С.П.Королева

Е.М.Лавров, А.Н.Викторова

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ  
МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ ПОТОКОВ  
В АВИАСТРОЕНИИ

Конспект лекций по курсу  
"Организация производства"

Куйбышев 1979

В учебных планах подготовки инженеров по специальности 0535,0539,0537,0538,0705 в курсе "Организация, планирование и управление авиационным предприятием" изучается раздел "Поточные методы организации производства" в объеме 8 часов.

Большое внимание при изучении этого раздела уделяется методике проектирования и расчета многономенклатурных потоков и одной из наиболее прогрессивных ее форм - групповых потоков. В учебной литературе нет описаний этой формы потоков. Поэтому в данном конспекте лекций основной акцент сделан на организации групповых потоков. Показано их место в общей системе поточного производства в авиастроении, связь с другими видами потоков.

Материал изложен в объеме и порядке, предусмотренных учебной программой.

Темплан 1979, поз.2153.

Рецензенты: Ф.И. Парамонов, Г.В. Иванов

Утверждено редакционно-издательским советом института 4.01.78

## § I. ХАРАКТЕРИСТИКА ПОТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Эффективность производственной деятельности любого промышленного предприятия прежде всего обеспечивается научной организацией производственного процесса. Рационально организованный производственный процесс означает: строгое разделение его этапов (стадий) между отдельными подразделениями предприятия и их специализация; максимальная загрузка оборудования; наличие графиков-расписаний работы каждого участника производственного процесса; использование прогрессивного межоперационного транспорта; применение наиболее совершенной системы оперативного управления.

Наиболее полное воплощение этих и ряда других требований научной организации производственного процесса достигается в условиях поточного производства. Именно при этом методе благодаря специальному подбору номенклатуры изделий (агрегатов, деталей), глубокой обработке технологических процессов, правильному выбору и расстановке оборудования и производственных рабочих, согласованию всех основных, вспомогательных и обслуживающих процессов во времени, обеспечивается непрерывность и ритмичность производства, высокая производительность труда, лучшее качество выпускаемой продукции, или другими словами - высокая эффективность производства. Этот метод организации производственных процессов пока еще недостаточно применяется в авиапромышленности из-за сложности и многодетальности авиационных изделий, небольшой серийности их выпуска и повышенных требований к обслуживанию и оперативному управлению такими производствами. Однако и в этих

условиях можно и нужно шире применять этот прогрессивный метод, тем более что за последнее время значительно возрос уровень унификации и технологичности конструкций новой авиационной техники, что повышает массовость производства многих деталей и узлов, входящих в разные изделия и дает возможность применять различные формы многономенклатурных потоков.

В заводской практике поточные методы организации производства осуществляются путем проектирования и внедрения поточных линий, где:

за каждым рабочим местом строго закреплены определенные операции технологического процесса или группа однородных узлов;

рабочие места (оборудование) расположены по ходу технологического процесса;

продолжительность выполнения всех работ, закрепленных за каждым рабочим местом одинакова (или кратна ритму работы поточной линии);

выпуск продукции с поточной линии осуществляется через равные промежутки времени;

все работы по выпуску продукции и обслуживанию рабочих мест регламентируются системой взаимосогласованных календарных графиков.

Выполнение этих требований при проектировании и эксплуатации поточных линий обеспечивает высокую экономическую эффективность этого метода организации производства.

Закрепление за каждым производственным участком (поточной линией) ограниченной номенклатуры однородной продукции, а за каждым рабочим местом небольшого количества операций создает предпосылки для значительного роста производительности труда как за счет применения более производительного оборудования и оснастки, так и за счет совершенствования трудовых навыков рабочих.

Рациональное обслуживание рабочих мест на поточных линиях, организованное по специальным графикам, позволяет устранить потери рабочего времени, что также повышает производительность труда. Ритмичность и непрерывность производства на поточных линиях, использование эффективных технологических процессов и высокая дисциплина труда обеспечивают сокращение длительности производственного цикла изготовления продукции, снижение потребности в оборотных средствах и, в конечном итоге, снижение себестоимости продукции.

Поточное производство отличается большей управляемостью. Здесь проще регулировать и координировать работу производственных и обслуживающих участков в масштабе всего завода. В зависимости от количества изделий (деталей, СЕ) закрепленных для обработки на поточной линии они делятся на однономенклатурные, многономенклатурные и групповые. В некоторой учебной и научной литературе вместо слов "однономенклатурные", "многономенклатурные" часто используются слова "однопредметные" и "многопредметные".

## § 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ

Практика работы машиностроительных предприятий выработала большое разнообразие поточных форм организации производства. Основные из них показаны в табл. I.

Т а б л и ц а I

Схема классификации поточных линий



Под однономенклатурными поточными линиями принято понимать такие, на которых осуществляется производство одного изделия (узла, детали).

На многономенклатурных поточных линиях обрабатывается два и более изделий. Эти линии применяются в том случае, если трудоемкость обработки одного изделия недостаточна для полной загрузки рабочих мест линии, а в конструкции изделия имеются однородные детали и узлы, которые можно обрабатывать или собирать на одних и тех же рабочих местах.

По степени одновременности обработки изделий на многономенклатурных потоках они делятся на постоянные и переменные.

На постоянных линиях все закрепленные за ними изделия обрабатываются одновременно и за каждый ритм выпускается комплект изделий.

На переменных - обработка изделий ведется попеременно. В течение какого-то времени производится обработка одного изделия, затем линия перенастраивается на производство другого изделия, третьего и т.д. Затем цикл повторяется. Выпуск каждого изделия ведется по своему ритму.

В зависимости от степени непрерывности производственного процесса изготовления изделия на поточных линиях они подразделяются на прерывные и непрерывные.

На непрерывных поточных линиях благодаря высокой синхронизации технологического процесса изделия при переходе с одного рабочего места на другое не пролеживают. Если при переходе изделия с одного рабочего места на другое имеют место перерывы - такие линии называются прерывными.

Под групповыми поточными линиями принято понимать такие, на которых обрабатываются десятки и сотни наименований деталей (узлов) по одинаковому технологическому маршруту и на одном оборудовании.

По способу поддержания ритма все поточные линии делятся на линии с регламентированным и свободным ритмом. Первые применяются на непрерывных поточных линиях, вторые - на всех остальных. В качестве межоперационного транспорта используются различные типы конвейеров, которые могут служить и средством перемещения изделий и передвижным верстаком, оснащенным необходимыми площадками для крепления изделия.

Если конвейер движется непрерывно, его называют непрерывным. Если же конвейер во время выполнения операции остановлен и передвигается по истечении ритма на один шаг по специальному световому или звуковому сигналу, его называют пульсирующим.

При производстве крупных изделий могут быть организованы поточные линии, на которых изделия на протяжении всей обработки остаются неподвижными (в одной зоне), а рабочие (бригада) после каждого ритма переходят с одного изделия на другое. Особенно часто так организуется работа при ремонтах и техническом обслуживании самолетов в гражданской авиации.

Степень совершенства любой поточной линии определяется двумя факторами: степенью механизации и степенью непрерывности процесса производства. С этой точки зрения наиболее эффективными являются конвейерные линии сборки изделий и автоматические линии по производству отдельных деталей и узлов.

### § 3. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПОТОКОВ В ЦЕХАХ АГРЕГАТНОЙ СБОРКИ АВИАЗАВОДОВ

Процессы сборки агрегатов летательных аппаратов значительно отличаются от процессов механической обработки деталей и сборки небольших узлов.

Основные из этих особенностей:

наличие подгоночных операций;

необходимость применения сложных и громоздких приспособлений-стапелей, стандов;

большая длительность цикла сборки;

значительные различия в квалификационной характеристике выполняемых операций;

сравнительно большое количество операций, выполняемых отдельными исполнителями;

необходимость выполнения некоторых операций одновременно несколькими рабочими.

Все эти особенности должны учитываться при организации поточных линий сборки агрегатов или летательного аппарата в целом. С этой целью при расчете количества рабочих мест и рабочих, операции технологического процесса компонуются в сборочные задания и сбо-

рочные объединения.

Сборочное задание — это набор операций, выполняемых одним или несколькими исполнителями в течение отрезка времени равного или кратного такту, на одном рабочем месте и на одном агрегате одновременно.

Сборочное объединение — набор сборочных заданий, которые выполняются параллельно несколькими исполнителями (или несколькими группами исполнителей) на протяжении отрезка времени равного или кратного такту, на одном сборочном месте и на одном агрегате одновременно.

При компоновке сборочных заданий и сборочных объединений технолог должен учитывать следующее:

1. В сборочные задания следует включать технологически однородные операции (слесарные, клепальные, монтажно-сборочные), чем обеспечивается лучшая специализация исполнителей, а следовательно, и лучшее освоение ими работ;

2. Объединения также должны состоять из однородных заданий, так как это облегчает работу мастеров, руководящих работами на стендах поточной линии;

3. Должна соблюдаться наиболее целесообразная последовательность сборки с тем, чтобы выполненные ранее монтажи не мешали выполнению последующих работ;

4. В целях сокращения длительности цикла изготовления агрегата сборку отдельных узлов следует производить вне потока и выполнять параллельно со сборкой агрегата.

Основным техническим документом, по которому строится работа поточной линии является цикловой график сборки. Он показывает в какой последовательности выполняется технологический процесс сборки данного агрегата, какие работы выполняются на одном агрегате параллельно, какова длительность выполнения каждого сборочного задания и общая длительность сборки агрегата, количество рабочих и их загрузка. В цикловом графике должно быть предусмотрено время на контроль агрегата в процессе сборки, операции входного контроля (осмотра) следует проводить вне потока. Форма циклового графика сборки приведена в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

№ рабочего места, сленда	№ сборочного объединения	№ сборочного задания	№ операции	Наименование и краткое содержание операций технологического процесса	Норма времени на операцию, Н-ч	Количество одновременно работающих	Планируемый $\lambda_{\text{вн}}$	Цикловое время, ч	Дни, смены			
									I		2	
									1	2	1	2
I	I	I	1	Установка нижней панели секции	16	2	1,0	8				
			2	Установка стрингера 3I, правый борт	3,7	2	1,2	1,5				
			3	Установка стрингера 3I, левый борт	3,7	2	1,2	1,5				
			4	Установка боковой панели	12	2	1,2	5,0				

#### § 4. РАСЧЕТ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ

Ранее мы говорили, что в случае, если одна деталь не обеспечивает полной загрузки поточной линии, а конструкция изделия имеет аналогичные детали, то для обеспечения полной загрузки за поточной линией закрепляется несколько деталей. Рассмотрим специфику расчета таких линий.

Особенности расчета постоянных  
многономенклатурных поточных линий

Особенностью расчета таких поточных линий является то, что при синхронизации процессов изготовления изделия за каждым рабочим местом закрепляется такое количество операций техпроцессов изготовления всех деталей поточной линии, суммарная длительность которых равна ритму (такту).

Порядок такого закрепления проиллюстрируем на примере расчета постоянной многономенклатурной поточной линии сборки изделий "А" и "Б".

И с х о д н ы е    д а н н ы е :

Программа выпуска - 52 комплекта в сутки;

Режим работы - 2 см x 8 ч;

Перерывы на отдых - 5% рабочего времени;

Технологические процессы и нормы времени по операциям приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а    3

Наименование операции					
№ операции	Изделие А		Изделие Б		
	<i>оп. мин</i>		<i>оп. мин</i>		
1	Нарезка резьбы в стакане	6	1	Запрессовка подшипников	6,5
2	Ввернуть пробку	6	2	Запрессовка втулок	6
3	Сверление 2 <sup>x</sup> отверстий в пробках	5,5	3	Установка контрольных шпилек	4,5
4	Запрессовка подшипников	3,5	4	Подгонка и запрессовка I-го блока шестерен	3
5	Запрессовка втулки	2,5	5	Сборка механизма горизонтального перемещения	7,5
6	Установка контрольных шпилек	5			
7	Подгонка и запрессовка I-го блока шестерен	5			

№ операции	Наименование операции <i>t<sub>оп</sub>, мин</i>	
	Изделие А	Изделие Б
8	Сборка механизма горизонтального перемещения (сектор, эксцентрик)	10

$$R = \frac{\Phi_{\text{плд}}}{N} = \frac{2 \times 8 \times 60 \times 0,95}{52} = 17,5 \text{ мин.}$$

На основе полученного такта проводим распределение операций сборки по рабочим местам и определяем их количество. Результаты расчета количества рабочих мест показаны в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

№ Рабочего места	№ Операции изделия А	<i>t<sub>оп</sub></i> мин	№ Операции изделия Б	<i>t<sub>оп</sub></i> , мин	$\sum t_{\text{оп}}$ , мин
1	1, 2, 3	17,5	-	-	17,5
2	4,5	6	1,2	11,5	17,5
3	6,7	10	3,4	7,5	17,5
4	8	10	5	7,5	17,5

Как видно из табл. 3, на каждом рабочем месте, кроме первого, производится сборка обоих изделий. Синхронизация достигнута полная.

Особенности расчета переменных  
многономенклатурных поточных линий

Особенностью такого вида поточных линий является то, что в течение определенного времени на линии обрабатывается или собирается одно изделие, потом другое и т.д.

Причем, каждая деталь или изделие имеет свой такт изготовления. Этим и определяется специфика расчета переменных многономенклатурных поточных линий.

Расчет такта выпуска каждой конкретной детали (мин) ведется по формуле

$$R_i = \frac{F_{пол} \eta_i}{N_{дет i}} ; \quad (1)$$

где  $F_{пол}$  — полезный фонд времени работы поточной линии;

$\eta_i$  — коэффициент, учитывающий занятость поточной линии обработкой деталей  $i$ -го наименования;

$N_{дет i}$  — программа выпуска деталей  $i$ -го наименования, шт.

Коэффициент  $\eta_i$  определяется как отношение трудоемкости обработки деталей  $i$ -го наименования к трудоемкости обработки деталей всех наименований:

$$\eta_i = \frac{T_i N_{дет i}}{\sum T_i N_{дет i}} ; \quad (2)$$

где  $T_i$  — общая трудоемкость изготовления детали  $i$ -го наименования.

Пусть, например, требуется определить такт сборки узлов А и Б, собираемых на одной и той же поточной линии, если известно, что  $N_{год} = 4000$  изд.  $T_A = 78$  мин;  $T_B = 40$  мин. Узлы "А" и "Б" идут в количестве по 9 шт. на изделие. Режим работы 2 см. х 8 ч.

Величины

$$\eta_A = \frac{78 \times 9}{78 \times 9 + 40 \times 9} = 0,65 ;$$

$$\eta_B = \frac{40 \times 9}{78 \times 9 + 40 \times 9} = 0,35.$$

Такт сборки узла А и Б соответственно составляют:

$$R_A = \frac{(252,8 \times 2 + 6 \times 8 \times 2) 0,95 \times 0,65 \times 60}{4000 \times 9} = 4,2 \text{ мин.};$$

$$R_B = \frac{(252 \times 8 \times 2 + 6 \times 8 \times 2) 0,95 \times 0,35 \times 60}{4000 \times 9} = 2,2 \text{ мин.}$$

Переменные многономенклатурные поточные линии могут быть организованы только для таких деталей, у которых:

- длительность одноименных операций пропорциональна их тактам или

- длительность одноименных операций пропорциональна их общей трудоемкости изготовления, т.е.

$$t_A : t_B = R_A : R_B ; \quad (3)$$

$$t_A : t_B = T_A : T_B . \quad (4)$$

Поясним это положение. Одноименные операции деталей, обрабатываемых на переменных потоках, должны выполняться на одних и тех же рабочих местах. Их количество определяется по формуле

$$K_{p.m} = \frac{t}{R} , \quad (5)$$

где  $t$  - трудоемкость выполнения операции, мин.;

$K_{p.m}$  - количество рабочих мест, необходимых для выполнения операции, шт.

Поэтому на переменных поточных линиях должно соблюдаться следующее условие:

$$\frac{t_A}{R_A} = \frac{t_B}{R_B} \quad (6)$$

или  $t_A : t_B = R_A : R_B . \quad (7)$

Докажем второе положение.

Такт работы переменной поточной линии при обработке детали каждого наименования равен

$$R_A = \frac{\Phi_{пол} T_A}{N_{детя}} = \frac{\Phi_{пол} T_A N_{детя}}{N_{детя} \sum_i T_i N_{детя}} = \frac{\Phi_{пол} T_A}{\sum_i T_i N_{детя}}$$

По аналогии

$$R_B = \frac{\Phi_{пол} T_B}{\sum_i T_i N_{детя}}$$

Отсюда следует, что отношение тактов на переменных поточных линиях может быть представлено как

$$R_A : R_B = \frac{\Phi_{пол} T_A}{\sum_i T_i N_{детя}} : \frac{\Phi_{пол} T_B}{\sum_i T_i N_{детя}}$$

Или, сократив правую часть выражения на величину  $\frac{\Phi_{пол}}{\sum_i T_i N_{детя}}$ , получим следующую зависимость

$$t_A : t_B = T_A : T_B \quad (8)$$

При несоблюдении условия пропорциональности организация переменной многономенклатурной поточной линии экономически не целесообразна, так как не будет обеспечена полная загрузка рабочих мест.

## § 5. РАСЧЕТ ГРУППОВЫХ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ

Однономенклатурные и многономенклатурные поточные линии могут быть организованы при достаточно больших масштабах выпускаемой продукции и определенном постоянстве ее номенклатуры. В условиях производства авиационной продукции, где имеет место частая смена или модернизация объекта производства, и масштаб её выпуска невелик, такие потоки применяются редко, особенно в механических и заготовительно-штамповочных цехах. Здесь наилучшей формой организации производственного процесса являются групповые потоки, основанные на применении групповых методов обработки деталей.

Применение групповых поточных линий позволяет не только упорядочить (регламентировать) процесс обработки деталей во времени, но и повысить производительность труда за счет более четкой специализации участков и рабочих мест.

Расчет групповых поточных линий складывается из следующих этапов:

1. Анализ и классификация деталей и узлов.
2. Разработка групповых и сводного технологического процесса обработки деталей и узлов.
3. Расчет ритма работы поточной линии.
4. Расчет количества и состава рабочих мест.
5. Определение оптимального размера партии деталей, запускаемых в обработку.
6. Расчет и построение графика работ групповой поточной линии.

### Анализ и классификация деталей и узлов

Анализ и классификация деталей (изделий) производится для уточнения номенклатуры и конструктивно-технологических особенностей деталей (изделий), обрабатываемых цехом и его участками.

Классификатор является основой для специализации каждого участка и рабочего места, основой для разработки групповых технологических процессов.

Порядок классификации деталей (изделий) по конструктивно-технологическим признакам изучается в курсе "Технология производства", поэтому здесь останавливаться на этом вопросе мы не будем.

### Разработка групповых и сводного технологического процесса обработки деталей и узлов

Составлению сводного технологического процесса обработки деталей, закрепляемых за поточной линией, предшествует разработка групповых технологических процессов на каждую группу конструктивно однородных деталей (класс).

При разработке групповых и сводного технологического процессов необходимо исходить из следующего:

- групповой (или сводный) маршрут должен включать в себя все операции обработки каждой детали в технологическом порядке их выполнения;

- планировать выполнение однородных операций на одном оборудовании при условии сокращения номенклатуры применяемого оборудования и затрат времени на его переналадку.

Для примера рассмотрим приведенный в табл. 5. групповой технологический процесс обработки деталей А, Б, В, Г, закрепляемых за поточной линией.

Т а б л и ц а 5

№ операции сводного технологического процесса	Наименование операций	Тип оборудования	Д е т а л и								
			А		Б		В		Г		$\Sigma t_{on}$
			$N_{on}$	$t_{on}$	$N_{on}$	$t_{on}$	$N_{on}$	$t_{on}$	$N_{on}$	$t_{on}$	
1	Разметка	верст.	5	6	5	3	5	8	5	3	20
2	Токарная обработка	1616	10	5	10	3	10	7	10	5	20
3	Фрезерование	610М	15	4	-	-	15	9	15	7	20
4	Сверление	2125	20	4	15	3	20	3	-	-	10
5	Ун.фрезерование	679	25	2	20	7	25	6	20	5	20
6	Сверление	2175	30	3	25	2	30	4	25	1	10
7	Шлифование	3151	-	-	30	5	35	8	30	7	20

В графе  $t_{on}$  табл.5 дана фактическая длительность операций с учётом  $K_{вн}$ ,  $T_{п-з}$  и количества деталей, идущих на одно изделие.

Аналогичным образом составляется и сводный технологический процесс всей поточной линии, только в качестве составляющих выступают не отдельные детали, а технологические процессы классификационных групп деталей.

#### Расчет ритма работы поточной линии

Расчет ритма работы групповой поточной линии производится так же как и на однопредметных потоках, т.е.

$$\rho_z = \frac{\Phi_{пол}}{N}$$

где  $N$  - программа выпуска в комплектах.

Следует иметь ввиду, что ритм работы потока в рассматриваемых условиях носит чисто расчетный характер, так как запуск и выпуск

деталей производится не поштучно, а партиями.

В случае, если на проектируемой групповой поточной линии будут обрабатываться детали (узлы), входящие в различные изделия - вместо ритма определяется период повторяемости запуска.

Период повторяемости запуска рассчитывается для каждой детали, исходя из годовой программы ее выпуска, стоимости и возможности длительного хранения. Период повторяемости может быть равен неделе, двум неделям, месяцу.

### Расчет количества и состава рабочих мест

Это распределение производится на основе сводного техпроцесса обработки деталей и ритма работы потока. При распределении исходят из того, чтобы суммарная длительность обработки всех деталей, закрепленных за каждым рабочим местом, была равна ритму работы.

В случае, если длительность  $t_{on}$  меньше ритма, то за этим рабочим местом закрепляются две и более операций, с тем, чтобы обеспечить полную загрузку.

Рассмотрим распорядок распределения операций сводного техпроцесса по рабочим местам для нашего примера (табл. 5). Количество рабочих мест и их специализация показаны в табл. 6.

Т а б л и ц а 6

№ рабочего места	Наименование рабочего места	Тип оборудования	Д е т а л и								$\Sigma t_{on}$	? загрузки	
			А		Б		В		Г			оборудов	рабочих
			$N_{on}$	$t_{on}$	$N_{on}$	$t_{on}$	$N_{on}$	$t_{on}$	$N_{on}$	$t_{on}$			
1	Разметочное	верст	5	6	5	3	5	8	5	3	20	1,0	1,0
2	Токарное	1Б1в	10	5	10	3	10	7	10	5	20	1,0	1,0
3	Фрезерное	610г	15	4	-	-	15	9	15	7	20	1,0	1,0
4	Сверлильное	2125	20	4	15	3	20	3	-	-	10	0,5	1,0
5	Фрезерное	679	25	2	20	7	25	6	20	5	20	1,0	1,0
4	Сверлильное	2175	30	3	25	2	30	4	25	1	10	0,5	1,0
6	Шлифовальное	3151	-	-	30	5	35	8	30	7	20	1,0	1,0

Как видно из табл. 6, мы имеем на потоке 6 рабочих мест, из них одно (четвертое) – совмещенное, т.е. обслуживается одним производственным рабочим.

### Определение оптимального размера партии деталей, запускаемых в обработку

Как уже отмечалось выше, основной особенностью групповых потоков является то, что запуск деталей в обработку здесь ведется партиями.

Под партией запуска принято понимать группу одноименных деталей, которые обрабатываются на рабочем месте непрерывно, с однократной затратой подготовительно-заключительного времени  $/t_{n-3}/$ .

На выбор размера партии влияют много факторов, в том числе:

величина  $t_{n-3}$ ;

длительность производственного цикла  $T_4$ ;

время обработки партии  $\sum T_{0n}$ ;

габариты обрабатываемых деталей.

Во всех случаях, когда трудоемкость обработки детали  $t_{0n}$  невелика, а затраты  $t_{n-3}$  значительны, выгодно запускать в обработку большие партии, так как доля  $t_{n-3}$ , приходящаяся на одну деталь, будет максимальной. И наоборот, если велика величина  $t_{0n}$ , лучше работать небольшими партиями – это сократит длительность производственного цикла, а стало быть и величину незавершенного производства, зависящую от значения  $T_4$ .

Исходя из вышесказанного, для расчета величины партии запуска используется эмпирическая формула, учитывающая соотношения

$t_{n-3}$  и  $t_{0n}$  шт:

$$n = \frac{\sum t_{n-3}}{\alpha \sum t_{0n}}, \quad (9)$$

где  $\sum t_{n-3}$  – сумма подготовительно-заключительного времени по всем операциям;

$\sum t_{0n}$  – суммарная трудоемкость обработки детали на поточной линии;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий простой станков в переналадках ( $\alpha = 0,03 + 0,15$ ).

Размер партии запуска может быть определен и укрупненными

методами. Например, методом приравнивания к сменной потребности данных деталей, стойкости инструмента, производительности оборудования.

## § 6. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА РАБОТЫ ГРУППОВОЙ ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ

Для построения графика работы поточной линии необходимо определить очередность запуска деталей в обработку и величины смещения начала работы на связанных подачей деталей рабочих местах, которые позволили бы вести бесперебойную обработку деталей на всех рабочих местах. Решение этих задач немеханизированным способом, вручную, требует больших затрат труда и времени, и даже при любых затратах труда невозможно дать их оптимальное решение. Так, при обработке десяти деталей число различных вариантов запуска составляет около  $3,6 \cdot 10^9$ , а при тридцати деталях —  $227 \cdot 10^{50}$ . Если допустить, что в 1 с можно оценить  $10^7$  вариантов, то в случае обработки тридцати деталей для выбора оптимального варианта потребуется  $76 \cdot 10^{13}$  лет непрерывной работы [2]. Поэтому возникла необходимость в моделировании производственных процессов.

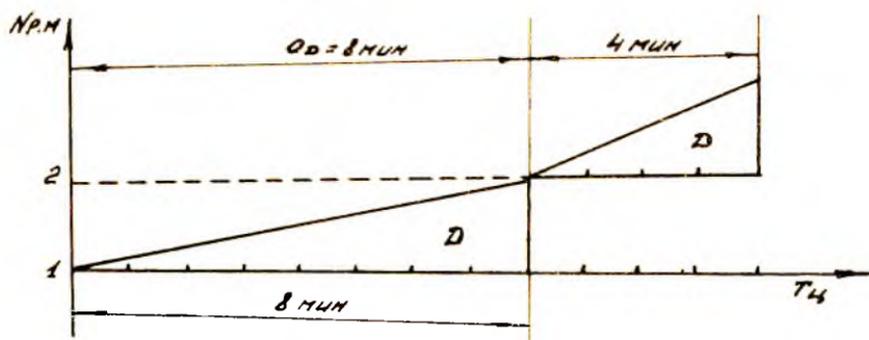
Профессором, д.э.н. Ф.И. Парамоновым была разработана математическая модель, описывающая движение деталей в процессе их обработки на групповых поточных линиях. Именно она и является организующим началом работы поточных линий такого типа.

Основой математической модели является величина смещения запуска деталей в обработку на связанных рабочих местах, зная ее можно построить цикловой график, который показывает движение партии деталей по рабочим местам поточной линии.

Порядок определения величины смещения рассмотрим на примере какой-либо конкретной пары взаимосвязанных рабочих мест, обрабатывающих только одну деталь.

Пусть, например, техпроцесс изготовления детали "Д" состоит из двух операций, с  $t' = 8$  мин. и  $t'' = 4$  мин.

График работы этих двух рабочих мест будет иметь вид, показанный на рис. 1.

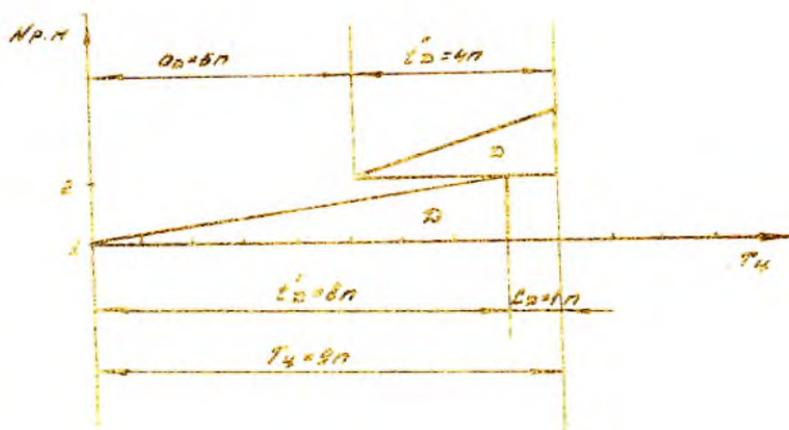


Р и с. I

Из схемы видно, что второе рабочее место может начать обработку детали "Д" только через  $a_D = 8$  минут, т.е. после того, как деталь будет обработана на первом рабочем месте. Эту величину  $a_D$  и называют смещением.

При обработке партии деталей передача их с одного рабочего места на другое производится поштучно или передаточными партиями; при этом начало работы на втором рабочем месте нужно сместить на такую величину, чтобы обеспечивалась непрерывная обработка всей партии.

Для определения величины смещения запуска партии "п" деталей "Д" в обработку на втором рабочем месте относительно первого, обратимся к схеме (рис. 2).



Р и с. 2

Из схемы видно, что мы имеем две размерные цепочки

$$a_D + t_D'' = t_D' + c_D.$$

Решая это линейное уравнение относительно  $a_D$ , получим

$$a_D = (t_D' - t_D'') + c_D. \quad (10)$$

Искомая величина смещения "а", как видно из формулы (10), определяется двумя факторами:

- неравенством времени обработки партии деталей на связанных рабочих местах ( $t_D' - t_D''$ );
- невозможностью одновременного окончания обработки партии деталей на тех же рабочих местах  $c_D$ .

Если разность ( $t' - t''$ ) в формуле (10) обозначить  $\delta$ , то

$$a_i = \delta_i + c_i, \quad (11)$$

где  $\delta_i$  - величина смещения из-за неравенства времени обработки деталей  $i$ -того наименования, мин;

$c_i$  - величина смещения из-за невозможности одновременного начала или окончания обработки партии деталей  $i$ -того наименования на тех же рабочих местах.

Значение  $c_i$  можно определить по формуле

$$c_i = n_{пер} t_{i \min}, \quad (12)$$

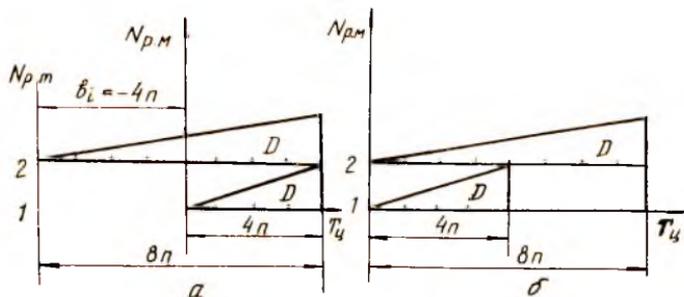
где  $n_{пер}$  - количество деталей в передаточной партии;

$t_{i \min}$  - время минимальной операции из двух смежных.

Для упрощения расчетов величина  $c_i$  может быть принята неизменной (1-3 часа), в зависимости от конкретных условий производства. В нашем примере (рис.2) мы приняли ее равной 1 мин. Тогда величина смещения второго рабочего места относительно первого составит

$$a_2 = (\delta_2 - 4n) + 1n = \delta_2 \text{ (мин)}.$$

Следует иметь ввиду, что элемент смещения  $\delta_i$  имеет место лишь в том случае, когда продолжительность последующей операции меньше предыдущей. Во всех других случаях  $\delta_i = 0$ . Поясним это на примере. Пусть  $t' = 4n$  мин., а  $t'' = 8n$  мин., тогда  $\delta_i = 4n - 8n = -4n$ .



Р и с. 3.

Значение  $\delta = -4n$  означает, что обработка детали  $D$  на втором рабочем месте должна начаться раньше, чем на первом (рис.3,а). Этого не может быть, так как деталь  $D$  на второе рабочее место может поступить только после ее обработки на первом. Поэтому величина смещения  $\delta$  при отрицательных значениях всегда принимается равной нулю (рис.3,б).

Теперь от рассмотрения частного случая перейдем к более общему, когда за каждым рабочим местом закреплена не одна, а несколько деталей. Определим интересующую нас величину смещения для первой пары рабочих мест примера, представленного в табл.6. В табл.7 покажем время обработки партий деталей А, Б, В, Г на первом и втором рабочих местах.

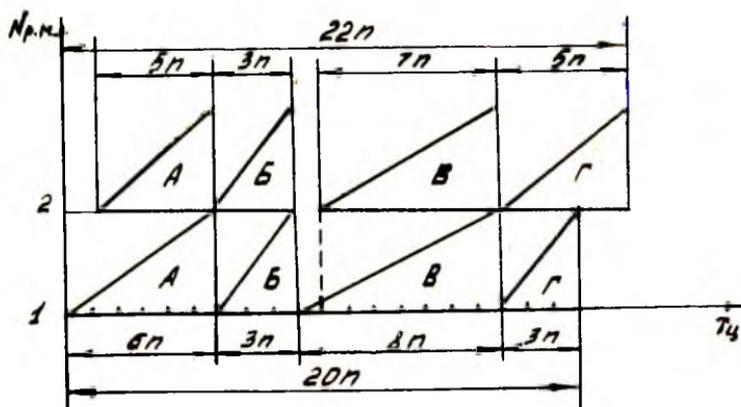
Т а б л и ц а 7

Рабочие места	Д е т а л и				Суммарная длительность обработки
	А	Б	В	Г	
Длительность обработки партии деталей, мин					
1	6 н	3 н	8 н	3 н	20 н
2	5 н	3 н	7 н	5 н	20 н

Рассчитаем элемент смещения, определяемый неравенством длительности операций, т.е. величину  $\delta_i$ , условно пренебрегая при

этой величиной  $\sigma_i$ .

Если расчет этой величины вести по каждой отдельно взятой детали, то обработка деталей может быть представлена схемой (рис.4).



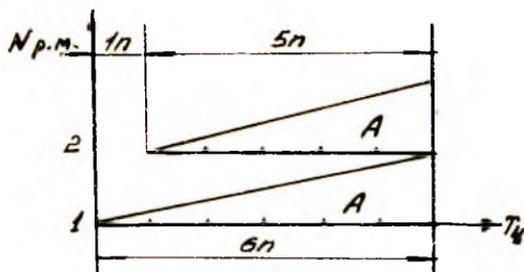
Р и с . 4.

Схема показывает, что при таком подходе к определению величины  $\sigma_i$  имеют место перерывы в работе второго рабочего места.

Из схемы следует также, что для устранения прерывности в обработке величину  $\sigma_i$  следует искать не изолированно по каждой детали (деталь А относительно детали А ; деталь Б относительно детали Б ), а относительно начала обработки всех деталей комплекта на первом рабочем месте. Причем, эту величину нужно искать последовательно для всех деталей. Сначала для первой детали, затем для первой и второй, затем для первой, второй и третьей и т.д.

Рассчитаем интересующую нас величину смещения с учетом сказанного.

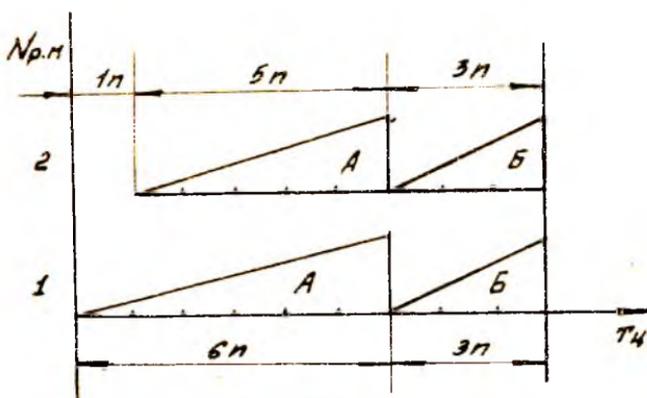
Величина смещения  $\sigma$ , определяемая деталью А (рис.5), составляет  $\sigma_A = 6n - 5n = +1n$ .



Р и с. 5.

Величина смещения, определяемая деталями А и Б составляет (рис.6)

$$b_{A+B} = (6n + 3n) - (5n + 3n) = +1n.$$



Р и с. 6.

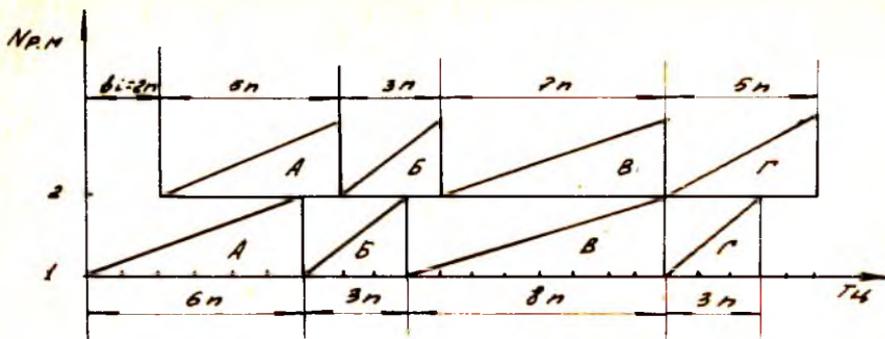
Величина смещения  $b$ , определяемая совокупностью деталей А, Б, В составляет

$$b_{A,B,B} = (6n + 3n + 8n) - (5n + 3n + 7n) = 2n.$$

Величина  $b$ , определяемая всеми четырьмя деталями,

$$b_{A,B,B,r} = (6n + 3n + 8n + 3n) - (5n + 3n + 7n + 5n) = 0n.$$

Из всех найденных значений  $b$  за искомую величину нужно принять наибольшую, т.е.  $b_i = 2n$ . Проверим это на схеме (рис.7).



Р и с. 7.

На основании вышеизложенного можно сформулировать следующее правило определения величины  $\beta_i$ .

Для определения величины  $\beta_i$  между связанными парами рабочих мест необходимо составить ряды длительности обработки партий деталей нарастающим итогом по каждому рабочему месту и из значений ряда предыдущего вычесть значения ряда последующего. Наибольшая величина из всех найденных и представляет собой искомую величину смещения  $\beta_i$  для данной пары рабочих мест.

Для удобства расчета величины смещения  $\beta_i$  значения длительности обработки по каждому рабочему месту нарастающим итогом целесообразно оформить в виде табл. 8.

Т а б л и ц а 8

Рабочие места	Д е т а л и			
	А	Б	В	Г
	Длительность обработки партии деталей нарастающим итогом, мин			
1	6n	9n	17n	20n
2	5n	8n	15n	20n

Мы рассмотрели общие случаи расчета величины смещения. Неважно знать частные случаи ее расчета. Рассмотрим их.

## § 7. ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ РАСЧЕТА ВЕЛИЧИНЫ СМЕЩЕНИЯ

При распределении операций сводного технологического процесса по рабочим местам может оказаться, что

- на некоторых рабочих местах будут обрабатываться не все детали, закрепленные за данной поточной линией;
- некоторые рабочие места будут связаны подачей деталей с двумя и более рабочими местами;
- за одним рабочим местом закреплено две и более несмежных операций сводного технологического процесса.

Это обуславливает некоторые особенности в расчете величины  $\delta_i$ .

### Ч а с т н ы й с л у ч а й I

За рабочим местом закреплены не все детали, обрабатываемые на поточной линии.

Пусть имеет место такое распределение операций сводного технологического процесса по рабочим местам, как указано в табл. 9.

Т а б л и ц а 9

Рабочие места	Д е т а л и			
	А	Б	В	Г
	длительность обработки партии нарастающим итогом, мин			
2	50	80	150	200
3	40	-	130	200
$\delta_{20}$	00	-	40	20
$\delta_{30}$	10	-	30	00

Из табл. 9 видно, что деталь Б на 3-ем рабочем месте не обрабатывается. В этом случае при расчете величины смещения  $\delta_i$  3-го рабочего места относительно 2-го необходимо проверить не возникнет ли простоя на 3-м рабочем месте из-за несвоевременной подачи детали "В" со 2-го рабочего места, так как 2-е рабочее место до обработки деталей В занято обработкой деталей А и Б,

а 3-е рабочее место - только обработкой деталей А.

С этой целью рассчитываются два значения  $\delta_i$ : лимитируемое началом обработки партии деталей ( $\delta_{iH}$ ) и значение  $\delta_{iK}$ , определяемое концом обработки партии деталей данного наименования ( $\delta_{iK}$ ). Величина смещения  $\delta_{iH}$  подсчитывается как разность времени обработки всех деталей, предшествующих детали данного наименования на связанной паре рабочих мест, т.е.

$$\delta_{iH} = \sum_0^{i-1} t_1 - \sum_0^{i-1} t_2. \quad (13)$$

Величина смещения, лимитируемая окончанием обработки данной детали, должна подсчитываться как разность времени ее обработки и деталей, предшествующих на этой же паре рабочих мест, т.е.

$$\delta_{iK} = \sum_0^i t_1 - \sum_0^i t_2. \quad (14)$$

Максимальное значение из двух найденных  $\delta_{iH}$  и  $\delta_{iK}$  представляет собою искомое смещение

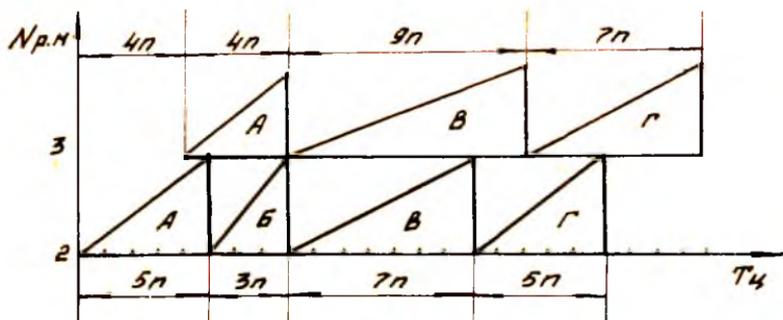
$$\delta_i = \max \left\{ \begin{array}{l} \sum_0^{i-1} t_1 - \sum_0^{i-1} t_2 \\ \sum_0^i t_1 - \sum_0^i t_2 \end{array} \right\}. \quad (15)$$

Для нашего примера

$$\delta_{iH} = 8n - 4n = 4n$$

$$\delta_{iK} = 15n - 13n = 2n.$$

Для проверки найденного значения  $\delta_i = 4n$ , обратимся к схеме (рис.8).



Р и с. 8.

## Ч а с т н ы й   с л у ч а й   2

Одно рабочее место связано с двумя и более рабочими местами

В этом случае при расчете величины смещения  $a_i$  данного рабочего места необходимо учитывать все связи. Максимальное из всех найденных значений  $a_i$ , приведенное к одной и той же системе отчета, и представляет искомую величину смещения. Поясним это на примере. Пусть имеет место такое распределение обработки деталей на 3-х рабочих местах, как это показано в табл. IО.

Т а б л и ц а   IО

Рабочие места	Д е т а л и			
	А	Б	В	Г
	Длительность обработки партии деталей нарастающим итогом, мин			
2	5л	8л	15л	20л
3	4л	-	13л	20л
4	4л	7л	10л	-

В этом примере 4-е рабочее место имеет связь с двумя рабочими местами. Детали А и В оно получает от 3-го рабочего места, а детали Б от 2-го рабочего места.

Очевидно, что при расчете величины смещения 4-го рабочего места, мы должны учесть его связь как с 3-м, так и со 2-м рабочими местами.

Величины смещения  $b_i$ , определяемые этими связями, приведены в табл. II.

Т а б л и ц а   II

Связанные пары рабочих мест	Д е т а л и				
	А	Б	В	Г	
	В е л и ч и н ы $b_i$				
4 и 2	0л	1л	1л	5л	-
4 и 3	0л	0л	-	-3л	3л

Из таблицы видно, что суммарные величины смещения здесь соответственно равны:

$$a_{4-2} = \delta_{4-2} + c_i = 5n + c_i ;$$

$$a_{4-3} = \delta_{4-3} + c_i = 3n + c_i .$$

Для сопоставления величин  $a$  их необходимо привести к одной координате отсчета. В качестве такой координаты примем начало обработки деталей на I-м рабочем месте, так как оно является исходным и смещение его принимается равным нулю.

Смещение  $A_4$ , определяемое связью 4-го рабочего места с 3-м, относительно начала обработки деталей на I-м рабочем месте определяется как

$$A_4 = a_{4-3} + a_{3-2} + a_{2-1} , \quad (I6)$$

а смещение  $A_4$ , определяемое связью 4-го рабочего места со 2-м, относительно начала обработки деталей на I-м рабочем месте определяется как

$$A_4 = a_{4-2} + a_{2-1} , \quad (I7)$$

где  $a_{2-1}$  - величина смещения 2-го рабочего места относительно I-го;

$a_{3-2}$  - величина смещения 3-го рабочего места относительно 2-го;

$a_{4-3}$  - величина смещения 4-го рабочего места относительно 3-го;

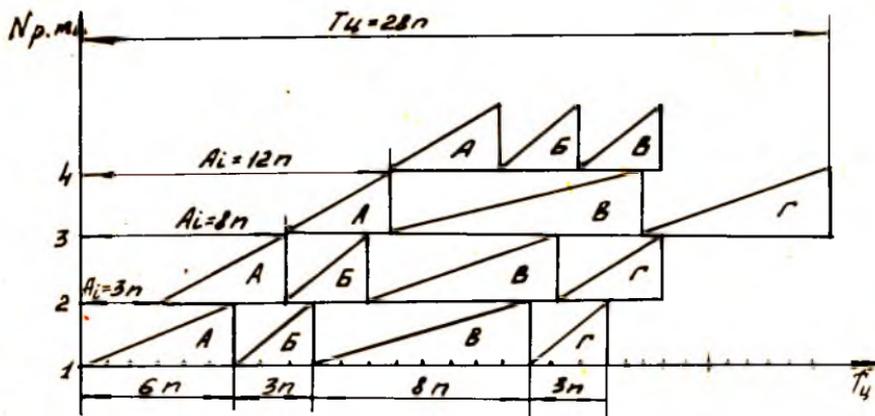
$a_{4-2}$  - величина смещения 4-го рабочего места относительно 2-го.

Подставив в формулы (I6) и (I7) значения  $\delta_i$ , рассчитанные в табл. 7.8.10, и прибавив величину  $c_i = 1n$ , получим

$$A_4 = (3n + 1n) + (4n + 1n) + (2n + 1n) = 12n ;$$

$$A_4 = (5n + 1n) + (2n + 1n) = 9n .$$

Максимальную величину  $A = 12n$  принимаем за искомую. Для проверки найденного значения  $A$  построим схему (рис.9).



Р и с. 9.

### Ч а с т н ы й с л у ч а й 3

За одним рабочим местом закреплено две и более несмежных операций сводного технологического процесса. В нашем примере таким рабочим местом является 4'-е (табл. 5). За ним закреплена 4-я операция сводного техпроцесса "Сверильная", выполняемая на станке 2I25, и 6-я операция, выполняемая на станке 2I75. Это рабочее место будет иметь две связи. Во-первых, оно связано с рабочим местом 5, так как предыдущую операцию выполняет 5-е рабочее место. Эта связь технологическая. Величина смещения, определяемая этой связью, подсчитывается по изложенным выше правилам. Во-вторых, рабочее место 4' связано с рабочим местом 4, так как операции 4 и 6 сводного процесса выполняет один и тот же рабочий. Эта связь организационная, и она требует, чтобы рабочий после обработки деталей А, Б, В на операции № 4 немедленно приступил к выполнению операции № 6 на рабочем месте № 4'.

В этом случае нельзя допустить ни простоя этого рабочего при переходе от операции № 4 к операции № 6, ни одновременного выполнения двух операций. Если смещение, определяемое технологической связью, не удовлетворяет этому требованию, то к нему необходимо добавить какую-то поправочную величину, учитывающую организационную связь.

В общем виде величина смещения в рассматриваемом случае может быть представлена как

$$A_i = A_i' + \sigma, \quad (18)$$

где  $A_i'$  - величина смещения  $i$ -го рабочего места относительно первого, учитывающая только технологическую связь;

$\sigma$  - величина смещения, учитывающая организационную связь.

Величина  $\sigma$  определяется как разность

$$\sigma = t_k' n - (A_i' - A_i), \quad (19)$$

где  $t_k' n$  - длительность обработки партий деталей на предыдущем совмещенном рабочем месте;

$A_i'$  - величина смещения последующего совмещенного рабочего места относительно первого рабочего места, определяемая технологической связью;

$A_i$  - величина смещения предыдущего совмещенного рабочего места относительно  $i$ -го рабочего места, определяемая технологической связью.

Величина  $\sigma$  должна быть обязательно положительной, отрицательное значение показывает, что работа на последующем совмещенном рабочем месте должна начаться раньше, чем это определено его технологической связью. В случае отрицательного значения к ней добавляется длительность ритма (или периода повторяемости) до тех пор, пока значение  $\sigma$  не станет положительным. Тогда формула (19) будет иметь вид

$$\sigma = t_k' n - (A_i' - A_i) + \gamma R, \quad (20)$$

где  $\gamma$  - количество ритмов (период повторяемости);  $\gamma = 1, 2, 3, \dots$

$R$  - ритм (период повторяемости).

Рассчитаем величину смещения 4-го рабочего места для нашего примера. С этой целью на основании табл. 5 составим таблицу длительности обработки партии деталей А, Б, В, Г нарастающим итогом (табл. 12). Результаты расчетов величин смещения показаны в табл. 13.

Т а б л и ц а 12

№ рабочих мест	Наименование операций	Тип оборудования	Д е т а л и			
			А	Б	В	Г
			Длительность обработки партий деталей нарастающим итогом, мин			
1	Слесарная обработка	верстан	6л	9л	17л	20л
2	Токарная обработка	1616	5л	8л	15л	20л
3	Фрезерование	610г	4л	-	13л	20л
4	Сверлильная обработка	2125	4л	7л	10л	-
5	Фрезерование	579	2л	9л	15л	20л
4	Сверлильная обработка	2175	3л	5л	9л	10л
6	Шлифовка	3151	-	5л	13л	20л

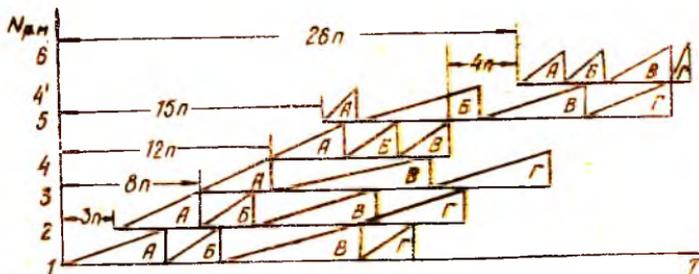
Т а б л и ц а 13

Связанные пары рабочих мест	А	Б	В	Г	$b_i$ max	$c_i$	$a_i$	$o'$	$A_i$
	величина смещения $b_i$								
2 и 1	0 +1л	+1л +1л	+1л +2л	+1л 0	+2л	1л	3л	-	3л
3 и 2	0 +1л	-	+4л +2л	+2л 0	+4л	1л	5л	-	8л
4 и 2	0 +1л	+1л +1л	+1л +5л	-	+5л	1л	6л	-	
4 и 3	0 0	-	-3л +3л	-	+3л	1л	4л	-	12л
5 и 3	0 +2л	-	-5л -2л	-2л 0	+2л	1л	3л	-	
5 и 4	0 +2л	+2л -2л	-2л -5л	-	+2л	1л	3л	-	15л

Продолжение табл. I3

Связан- ные па- ры рабо- чих мест	A	B	B	Г	$\delta_i$	$c_i$	$a_i$	$\sigma$	$A_i$
	Величина смещения				$max$				
4' и 5	0	-Iл	-4л	+6л	+10л	Iл	IIл	I6л	42л
6 и 4'	-	+3л	0	-4л	-10л	Iл	4л	-	46л

Как видно из табл. I3, величина смещения 4-го рабочего места, определяемая его технологической связью с 5-м рабочим местом, равна 26. Если эту величину принять за исходную, то из схемы обработки (рис. I0) видно, что четвертый рабочий будет простаивать на 4-м рабочем месте в ожидании работы отрезок времени равный 4л.



Р и с. I0

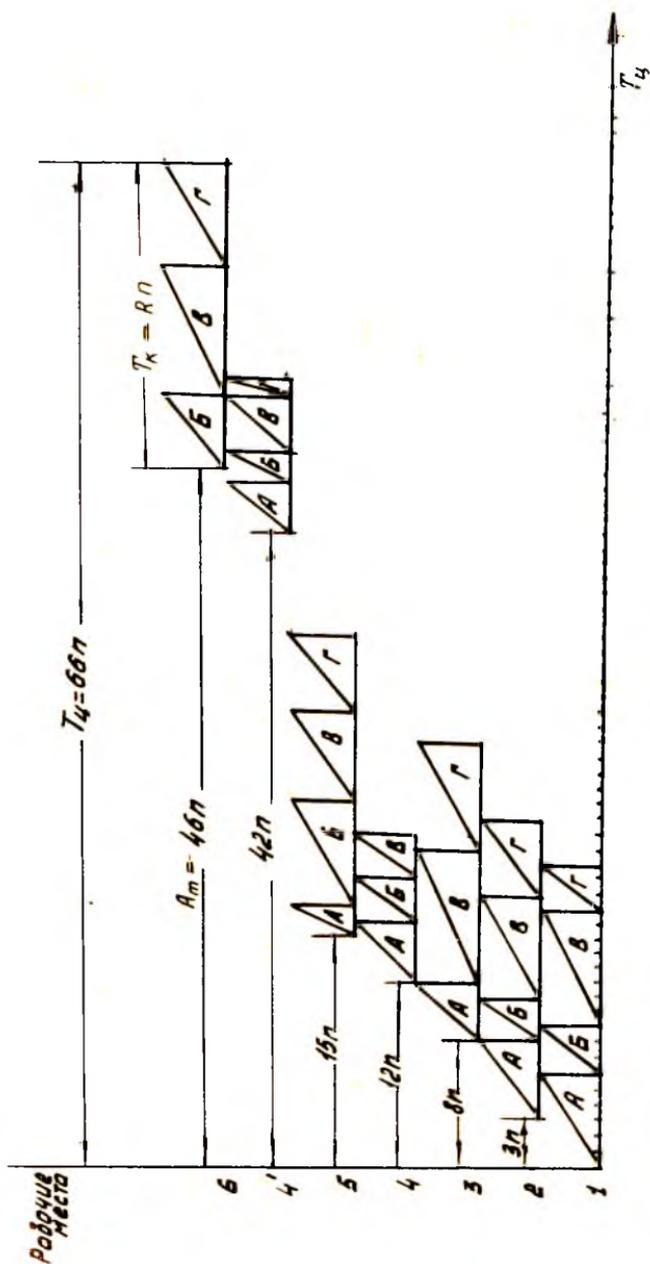
Для исключения этого перерыва и вводится организационная поправка  $\sigma$ , определяемая по формуле (20). В нашем примере

$$\sigma = 10л - (26л - 12л) + 1 \cdot 20л = 16л.$$

С учётом организационной связи величина смещения 4-го рабочего места составит

$$A_{4'} = 26л + 16л = 42л.$$

Величина смещения, равна 42л, обеспечивает непрерывную работу 4-го рабочего места (рис. II), не учёт организационного сме-



Р и с. II.

щения существенно удлиняет цикл обработки. Как видно из схемы обработки (рис. II), четвертый рабочий обрабатывает на 4-м рабочем месте детали А, Б, В второго периода повторяемости и только после этого приступит к обработке деталей А, Б, В, Г первого периода повторяемости на 4-м рабочем месте.

### § 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЧЕРЕДНОСТИ ЗАПУСКА ДЕТАЛЕЙ В ОБРАБОТКУ

На длительность производственного цикла обработки партии деталей большое влияние оказывает очередность их запуска, поэтому при расчете графиков работы таких участков мы должны исходить из того, чтобы выбранная очередность обеспечивала наиболее короткий цикл.

Длительность производственного цикла изготовления партии деталей для рассматриваемых условий, как это видно из циклограммы движения деталей в производстве (рис. II), определяется по формуле

$$T_{ц} = A_m + T_k ,$$

где  $A_m$  — величина смещения запуска партии деталей на последнем рабочем месте относительно первого;

$T_k$  — длительность обработки партии деталей на последнем рабочем месте.

В общем случае  $T_k = Rn$ , тогда

$$T_{ц} = A_m + Rn ,$$

где  $R$  — ритм работы поточной линии;

$n$  — размер партии запуска деталей в обработку.

Докажем, что очередность запуска деталей в обработку действительно оказывает влияние на длительность производственного цикла.

Пусть, например, имеет место такое распределение обработки партии деталей по рабочим местам, как это показано в табл. 14.

Рассчитаем длительность цикла обработки партии деталей в 200 шт при последовательности запуска А—Б—В—Г. Для этого, прежде всего, определим величину  $\sum_{i=1}^4 A_i$ . Расчет суммарной величин

ны смещения ( $\sum_{k=1}^4 A_k$ ) последнего (четвертого) рабочего места приведен в табл. 15.

Т а б л и ц а 14

Рабочие места \ Детали	А	Б	В	Г	Суммарная длительность обработки в мин.
	Длительность обработки партии деталей, мин				
1	3л	2л	5л	10л	20л
2	11л	-	2л	7л	20л
3	6л	1л	5л	8л	20л
4	4л	6л	7л	3л	20л

Т а б л и ц а 15

Рабочие места \ Детали	А	Б	В	Г	$\beta_i$	$\zeta_i$	$a_i$	$A_i$
	Длительность обработки партии деталей нарастающим итогом, мин							
1	3л	5л	10л	20л	-	-	-	-
2	11л	-	13л	20л	0	л	л	л
3	6л	7л	12л	20л	5л	л	6л	7л
4	4л	10л	17л	20л	2л	л	3л	10л

Итак, суммарная величина смещения последнего (четвертого) рабочего места  $A_m = 10$ , следовательно

$$T_y = 10л + 20л = 30л = 30 \cdot 200 = 6000 \text{ мин} = 100 \text{ ч}.$$

Определим длительность цикла обработки той же партии деталей при очередности запуска Г-В-Б-А. Расчет величины смещения приведен в табл. 16.

Длительность производственного цикла при такой очередности обработки будет:

$$T_y = 16л + 20л = 36л = 36 \cdot 200 = 7200 \text{ мин} = 120 \text{ ч}.$$

Второй вариант запуска, как видим, дает увеличение длительности цикла на 20 ч.

Т а б л и ц а 16

Рабочие места \ Детали	Г	В	Б	А	$\beta_i$	$\alpha_i$	$\alpha_i$	$A_i$
	Длительность обработки нарастающим итогом, мин							
1	10л	15л	17л	20л	-	-	-	-
2	7л	9л	-	20л	8л	л	9л	9л
3	8л	13л	14л	20л	0	л	л	10л
4	3л	10л	16л	20л	5л	л	6л	16л

Приведенный пример показывает, что на изменение цикла оказывает влияние  $A_i$ , а точнее —  $\beta_i$ , так как  $A_i = \beta_i + \alpha_i$ , а  $\alpha_i = const$ . Поэтому задача выбора оптимальной очередности запуска деталей в обработку сводится к отысканию условий, при которых  $\sum_{i=1}^m \beta_i = \min$  ( $m$  — количество рабочих мест в данной группе).

Оптимальный вариант очередности запуска деталей в обработку, при котором цикл будет наименьшим, можно найти путем его всех возможных вариантов запуска, число которых  $\rho = n!$  При 3-х деталях их 6, при 4-х — 24, при 7 — 5040. Естественно, что метод перебора всех вариантов запуска практически неприемлем, даже применяя для этого электронные вычислительные машины. Существует много методов определения оптимальной очередности запуска деталей в обработку, дающие разную точность, разную степень оптимальности. На наш взгляд наиболее простым и достаточно точным является комбинаторный метод Ф.И.Парамонова. Сущность его заключается в следующем.

Поскольку  $T_c$  зависит в конечном счете от величин  $\beta_i$ , а последние несут информацию о разности трудоемкости выполнения сменных операций и если эта разность будет отрицательной, то  $\beta_i$  будет вообще равна нулю. Отсюда можно вывести такое правило: при запуске группы деталей в обработку в первую очередь нужно обрабатывать те, у которых общая сумма разности ( $\sum \Delta$ ) предыдущих и последующих операций будет минимальной. Проверим это на нашем

примере. Расчет величины  $\Sigma \Delta$  приведен в табл. I7.

Таблица I7

Рабочие места	Детали	А	Б	В	Г
	Длительность обработки партии деталей, мин.				
I		3л	2л	5л	10л
2		11л	-	2л	7л
3		6л	1л	5л	8л
4		4л	6л	7л	3л
$\Delta$		- 8л	+ 1л	+ 3л	+ 3л
		+ 5л	- 5л	- 3л	- 1л
		+ 4л		- 2л	+ 5л
$\Sigma \Delta$		- 1л	- 4л	- 2л	+ 7л

Исходя из приведенного выше правила, первой должна обрабатываться деталь Б, затем В и так далее в порядке возрастания значений  $\Sigma \Delta$ .

Оптимальная очередность Б→В→А→Г. Расчет величины смещения для такой очередности обработки деталей приведен в табл. I8.

Таблица I8

Рабочие места	Детали	Б	В	А	Г	$b_i$	$c_i$	$a_i$	$A_i$
	Длительность обработки партии деталей нарастающим итогом, мин								
I		2л	7л	10л	20л	-	-	-	-
2		-	2л	13л	20л	5л	л	6л	6л
3		1л	6л	12л	20л	1л	л	2л	8л
4		6л	13л	17л	20л	0	л	л	9л

Длительность производственного цикла составит

$$T_{\text{ц}} = 2n + 20n = 29n = 29 \cdot 200 = 5800 \text{ мин} = 96,6 \text{ ч} .$$

Используя изложенную выше математическую модель процесса обработки деталей (изделий) на групповых потоках уже сейчас разработаны и успешно эксплуатируются алгоритмы и рабочие программы расчета всех основных параметров таких поточных линий с помощью современных ЭВМ. Это позволяет не только во много раз снизить затраты времени и труда на их проектирование, но и автоматизировать процесс оперативного управления ими. Это безусловно будет способствовать широкому внедрению групповых потоков в условиях серийного и мелкосерийного авиастроения.

#### Л и т е р а т у р а

1. Д у м л е р С.А. Поточные методы производства в машиностроении. М., Машгиз, 1958.
2. П а р а м о н о в Ф.И. Математические методы расчета многономенклатурных поточных линий. М., "Машиностроение", 1964.
3. П а р а м о н о в Ф.И. Механизация и автоматизация управления серийным производством. М., "Машиностроение", 1968.
4. Т и х о м и р о в В.И., П а р а м о н о в Ф.И. и др. Организация и планирование производства на авиадвигателестроительных заводах. М., "Машиностроение", 1972.
5. Р а з у м о в И.М., Ш у х г а л ь т е р Л.Я. Организация и планирование машиностроительного производства. М., "Машиностроение", 1974.

## О Г Л А В Л Е Н И Е

§ 1. Характеристика поточного производства.....	3
§ 2. Классификация поточных линий.....	5
§ 3. Особенности организации потоков в цехах агрегатной сборки авиазаводов.....	7
§ 4. Расчет многономенклатурных поточных линий.....	9
§ 5. Расчет групповых поточных линий.....	14
§ 6. Расчет и построение графика работы групповой поточной линии.....	19
§ 7. Частные случаи расчета величины смещения.....	26
§ 8. Определение очередности запуска деталей в обработку.....	35

Евгений Михайлович Д а в р о в ,  
Александра Николаевна В и к т о р о в а

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ ПОТОКОВ В АВИАСТРОЕНИИ

Редактор Д.С о к о л о в а  
Техн.редактор Н.К а л е н ю к

Подписано в печать 16.05.79. Б0 00210.  
Формат 60x84<sup>I</sup>/16. Бумага оберточная белая.  
Оперативная печать. Усл.п.л. 2,32. Уч.-изд.л. 2,28.  
Тираж 500 экз. Заказ № 2946 . Цена 8 коп.

Куйбышевский авиационный институт им. С.П.Королева,  
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Областная типография им. В.П.Мяги, г. Куйбышев,  
ул. Венцека, 60.