

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ

Г.А. Калинин, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и управления производством МИУ

Общепринятая методика расчета основных организационно-технических параметров поточных линий базируется на расчетном такте. В современной теории организации производства он принимается в качестве основного норматива и определяется как отношение эффективного фонда времени работы поточной линии за определенный плановый период к производственной программе запуска в натуральном выражении за тот же период, являясь функцией производственной программы [1, 2 и др.].

Отличительной особенностью предлагаемой методики является применение в качестве основного норматива рабочего такта, который определяется как максимальное отношение нормы времени на операции к числу единиц оборудования на соответствующей операции из всех операций на поточной линии. Нормативный рабочий такт является функцией нормы труда [3].

Методика расчета параметров однопредметных поточных линий

Вариант 1

Исходные условия: заданы строго фиксированные производственная программа и эффективный фонд времени работы, определен техпроцесс и нормы времени на операции, отсутствуют ограничения (по капитальным вложениям в оборудование, по производственным площадям и др.).

При организации поточных линий этот вариант характерен для осуществления частичных производственных процессов на крупных предприятиях, например, поточная линия механической обработки в структуре цеха.

Последовательность действий.

1. Определение расчетного числа единиц оборудования на операциях

$$Cp_i = \frac{N \cdot t_i}{60F_э}, \quad (1)$$

где: N – заданная производственная программа, шт.;

t_i – норма времени на i -й операции, мин.;

$F_э$ – эффективный фонд времени работы, ч.

2. Определение принятого числа единиц оборудования путем округления расчетного до целого (Cn_i).

3. Расчет отношений норм времени на операцию к числу единиц оборудования на соответствующей операции.

4. Определение рабочего такта ($r_{раб}$) по максимальному отношению из всех операций процесса

$$r_{раб} = \left(\frac{t_i}{Cn_i} \right) \max. \quad (2)$$

5. Расчет коэффициентов загрузки оборудования на операциях

$$Kз_i = \frac{Cp_i}{Cn_i}. \quad (3)$$

6. Определение среднего коэффициента загрузки линии

$$\bar{K}_3 = \frac{\sum_{i=1}^m C p_i}{\sum_{i=1}^m C n_i} \quad (4)$$

7. Число рабочих – операторов на i -й операции (P_{o_i})

$$P_{o_i} = \frac{C n_i \cdot S}{N_{м.о}}, \quad (5)$$

где: S – число рабочих смен;

$N_{м.о}$ – норма многостаночного обслуживания на i -й операции.

8. Общее число рабочих – операторов на поточной линии

$$P_{о.общ} = (1 + K\delta) \sum_{i=1}^m \frac{C n_i \cdot S}{N_{м.о}}, \quad (6)$$

где: $K\delta$ – коэффициент, учитывающий дополнительное число рабочих - операторов.

Вариант 2

Исходные условия: производственная программа задана в диапазоне значений t_{min} , эффективный фонд времени работы строго фиксирован, техпроцесс определен, установлены нормы времени на операциях, имеются ограничения по капитальным вложениям в оборудование и производственным площадям.

Этот вариант характерен при создании поточных линий на малых и средних предприятиях для осуществления полных, как правило, простых производственных процессов.

Последовательность действий.

1. Поиск альтернативных вариантов производственной структуры поточной линии пошаговым методом [3].

Алгоритм поиска альтернативных вариантов включает:

– определение первого (исходного) варианта. В нем на каждой операции принимается по одной единице оборудования. Рабочий такт равен максимальному значению нормы штучного времени из всех операций процесса;

– определение второго варианта. Во втором варианте количество оборудования увеличивается на единицу на той операции (или операциях), на которой норма штучного времени равна такту в первом варианте. Рабочий такт во втором и всех последующих вариантах определяется по максимальному отношению нормы штучного времени к количеству единиц оборудования на соответствующих операциях;

– третий вариант определяется аналогично на базе второго, а каждый последующий – на базе предыдущего.

Исходные данные к условному примеру приведены в табл. 1.

Таблица 1

Нормы штучного времени на операциях процесса

№ операции	1	2	3	4
Нормы штучного времени, мин	4,2	3,2	7,2	2,5

Максимальное значение нормы штучного времени $t_{max} = 7,2$ мин. При полной загрузке операции 3 и при условии работы на этой операции одного станка такт поточной линии $t_{раб} = 7,2$ мин. Остальные операции будут недогружены. Таким образом, исходный вариант предполагает, что на каждой операции установлено по одной единице оборудования и при двухсменном режиме работы с тактом 7,2 мин. можно выполнить исходную максимально возможную программу.

$N_{исх} = N_{max} = 60 \cdot 3150 / 7,2 = 26250$ (шт.).

Допустим далее, что ограничение по производственной программе составляет 100000 шт. Следовательно, в диапазоне от 26250 шт. до 100000 шт. следует найти все варианты производственной структуры поточной линии и соответствующие значения производственной

программы, при которых в каждом варианте одна или несколько операций будут загружены на 100%, т. е. применить пошаговый метод, изменяя производственную программу при неизменном фонде времени работы. Результаты такого поиска приведены в табл. 2.

После определения количества единиц оборудования и рабочего такта все остальные параметры, приведенные в табл. 2, определялись так же, как и в варианте 1.

В общем виде расчетный такт можно выразить формулой:

$$t_{раб_j} = \left(\frac{t_i}{C n_j} \right) \max, \quad (7)$$

где: $t_{раб_j}$ – такт потока в j -м варианте, мин;

$C n_j$ – принятое число единиц оборудования на i -й операции в j -м варианте.

Альтернативные варианты производственной структуры
однопредметной поточной линии

№ вар.	Произв прог. шт.	Фонд времени, шт.	Такт, ч	Средн. коэф. загрузки	Показатели	№ операции			
						1	2	3	4
1	26250	3150	7,2	0,59	Ср	0,58	0,44	1,00	0,35
					Спр	1	1	1	1
					Кз	0,58	0,44	1,00	0,35
2	45000	3150	4,20	0,64	Ср	1,00	0,77	1,72	0,60
					Спр	1	1	2	1
					Кз	1,00	0,77	1,72	0,60
3	52500	3150	3,60	0,79	Ср	1,17	0,89	2,00	0,70
					Спр	2	1	2	1
					Кз	0,59	0,89	1,00	0,70
4	59063	3150	3,20	0,77	Ср	1,33	1,00	2,28	0,80
					Спр	2	1	3	1
					Кз	0,67	1,00	0,76	0,80
5	75600	3150	2,50	0,85	Ср	1,66	1,26	2,85	1,00
					Спр	2	2	3	1
					Кз	0,83	0,63	0,95	1,00
6	78750	3150	2,40	0,81	Ср	1,94	1,33	3,00	1,04
					Спр	2	2	3	2
					Кз	0,97	0,67	1,00	0,52
7	90000	3150	2,10	0,81	Ср	2,00	1,52	3,43	1,19
					Спр	2	2	4	2
					Кз	1,00	0,76	0,86	0,60
8	105000	3150	1,80	0,86	Ср	2,39	1,78	4,00	1,39
					Спр	3	2	4	2
					Кз	0,78	0,89	1,00	0,70

В нашем примере поиск остановлен на восьмом варианте, так как максимальная производственная программа по условию составляет 100000 шт., а программа в восьмом варианте – 105000 шт. Следовательно, к рассмотрению принимаются варианты от первого до седьмого включительно.

При сложившейся производственной структуре рациональное функционирование линии может быть только с определенным тактом (например, в варианте 3 он равен 3,6 мин). Работать с меньшим тактом линия

не может, так как будет перегружена. Работа же с большим тактом свидетельствует о неполной загрузке линии.

Рациональное (нормальное) сочетание количества единиц оборудования на операциях должно быть таким, как это показано в альтернативных вариантах (табл. 3). Любые другие производственные структуры в диапазоне такта от 7,2 мин до 1,8 мин окажутся нерациональными, точно так же, как иные значения такта будут свидетельствовать о нерациональном использовании потенциала поточной линии.

Таблица 3

Варианты рациональной структуры поточной линии (пример)

Варианты	Такт, мин	Количество единиц оборудования на операциях				Общее к-во единиц оборудования
		1	2	3	4	
1	7,2	1	1	1	1	4
2	4,2	1	2	1	5	5
3	3,6	2	1	2	1	6
4	3,2	2	1	3	1	7
5	2,5	2	2	3	1	8
6	2,4	2	2	3	2	9
7	2,1	2	2	4	2	10
8	1,8	3	2	4	2	11

Так как конечной задачей является выбор оптимального варианта организации производственного процесса, то при представлении альтернативных вариантов следует ввести такие показатели, как необходимая производственная площадь и капитальные вложения в оборудование. Вместе с этим можно исключить некоторые

промежуточные данные. В результате получим необходимую информацию для осуществления выбора оптимального варианта (табл.5).

Сумма капитальных вложений и величина необходимой производственной площади являются ограничивающими условиями (см. табл. 4 и 5).

Таблица 4

Исходные данные для расчета капитальных вложений и производственных площадей (пример)

Наименование	№ операции			
	1	2	3	4
Капитальные вложения в единицу оборудования, млн. руб.	30,0	28,5	20,0	36,0
Производственная площадь под единицу оборудования, м ²	12,2	10,5	10,0	15,6

Таблица 5

Организационно-технические параметры поточной линии в альтернативных вариантах (пример)

№ вар.	Такт, мин	К-во оборуд.	№ операции				Средн. коэф. загрузки	Капит. вложения, млн руб.	Произв. площадь, м ²
			1	2	3	4			
1	7,2	4	1	1	1	1	0,59	114,5	48,3
2	4,2	5	1	1	2	1	0,64	134,5	58,3
3	3,6	6	2	1	2	1	0,79	164,5	70,5
4	3,2	7	2	1	3	1	0,77	184,5	80,5
5	2,5	8	2	2	3	1	0,85	213,0	91,0
6	2,4	9	2	2	3	2	0,81	249,0	106,6
7	2,1	10	2	2	4	2	0,81	269,0	116,6
8	1,8	11	3	2	4	2	0,86	299,0	128,8

При выборе оптимального варианта организации однопредметной поточной линии в качестве критерия может быть выбран максимум загрузки оборудования.

Если выбор осуществляется по максимальному значению среднего коэффициента загрузки, то задача заключается в нахождении пошаговым методом альтернативных вариантов в пределах ограничивающих условий и выборе оптимального. Сначала необходимо исключить варианты, ограниченные по производственной программе (см. табл. 2). Если нет других ограничений, то в нашем примере следует выбрать вариант 5, в котором коэффициент загрузки принимает максимальное значение $K_z = 0,85$. Вариант 8 исключен из-за ограничения по программе. Если имеются другие ограничения, например, по максимуму капитальных вложений и (или) по производственной площади, то необходимо последовательно проанализировать их

влияние на выбор. Если ограничение по капитальным вложениям составляет, например, 200,0 млн. руб., то это не позволяет выбрать вариант 5 (см. табл. 5). Выбор ограничивается четырьмя вариантами, из которых следует остановиться на третьем, где более высокий коэффициент загрузки ($K_z = 0,79$). Аналогично отбирают варианты с учетом ограничения по производственным площадям.

Основным критерием оптимальности, как известно, является экономичность процесса, которая может быть выражена показателем минимума удельной технологической себестоимости. В этом случае сначала определяют альтернативные варианты с учетом ограничивающих условий, а затем рассчитывают удельную технологическую себестоимость по каждому варианту. Выбор из них оптимального варианта осуществляется по минимуму удельной технологической себестоимости.

Вариант 3

Исходные условия: производственная программа задана в диапазоне значений min-max, эффективный фонд времени работы не регламентирован, техпроцесс определен, установлены нормы времени на операциях.

Этот вариант дает проектировщику возможность поиска оптимального варианта

путем варьирования производственной программы и эффективного времени работы.

Последовательность действий.

1. Поиск альтернативных вариантов производственной структуры поточной линии пошаговым методом (см. вариант 2). Результаты поиска приведены в табл.6 по исходным данным табл.1.

Таблица 6

Альтернативные варианты производственной структуры однопредметной поточной линии

№ варианта	Такт, мин	Средн. коэф. загрузки	Показатели	№ операции			
				1	2	3	4
1	7,2	0,59	ti	4,2	3,2	7,2	2,5
			Ср	0,58	0,44	1,00	0,35
			Спр	1	1	1	1
2	4,20	0,64	Кз	0,58	0,44	1,00	0,35
			Ср	1,00	0,77	1,72	0,60
			Спр	1	1	2	1
3	3,60	0,79	Кз	1,00	0,77	1,72	0,60
			Ср	1,17	0,89	2,00	0,70
			Спр	2	1	2	1
4	3,20	0,77	Кз	0,59	0,89	1,00	0,70
			Ср	1,33	1,00	2,28	0,80
			Спр	2	1	3	1
5	2,50	0,85	Кз	0,67	1,00	0,76	0,80
			Ср	1,66	1,26	2,85	1,00
			Спр	2	2	3	1
6	2,40	0,81	Кз	0,83	0,63	0,95	1,00
			Ср	1,94	1,33	3,00	1,04
			Спр	2	2	3	2
7	2,10	0,81	Кз	0,97	0,67	1,00	0,52
			Ср	2,00	1,52	3,43	1,19
			Спр	2	2	4	2
8	1,80	0,86	Кз	1,00	0,76	0,86	0,60
			Ср	2,33	1,78	4,00	1,39
			Спр	3	2	4	2
			Кз	0,78	0,89	1,00	0,70

2. Анализ вариантов и поиск оптимального по производственной программе, эффективному фонду времени работы с учетом ограничений, если они оговорены.

Если задана, например, производственная программа, то эффективный фонд времени, необходимый для ее выполнения, определяется по формуле:

$$F_n = V_{\text{раб}} \cdot N \quad (8)$$

Если задан фонд времени работы, то максимальная программа, которая может быть выполнена с его использованием, определяется по формуле:

$$N_{\text{max}} = \frac{F_{\text{эф}}}{V_{\text{раб}}} \quad (9)$$

Например, предварительный анализ показал, что по наличию капитальных вложений

и производственных площадей можно осуществить вариант 6 (см. табл.6). Если, например, производственная программа составляет 75000 деталей, то необходимый эффективный фонд времени работы равен 3000 ч. (2.4 * 75000 / 60). Если же в этом варианте использовать годовой эффективный фонд времени (3150 ч.), то максимальная производственная программа составит 78750 деталей. (60 * 3150 / 2.4).

Методика расчета параметров многопредметных поточных линий

Многопредметные поточные линии характерны для крупносерийного производства. Они могут функционировать как непрерывно-поточные, так и прерывно-поточные.

Если рассматривать функционирование такой линии в относительно короткий период времени, т. е. когда она налажена на изготовление деталей определенного наименования (типоразмера), то она работает как однопредметная. Однако методика формирования производственной структуры и определения основных организационно-технических параметров многопредметной поточной линии имеет свои особенности, так как несмотря на то, что в каждый данный момент линия работает как однопредметная, организационно-технические параметры ее меняются с изменением предмета производства.

Применительно к многопредметным поточным линиям разработаны методы расчета частных тактов. Однако формировать производственную структуру многопредметной линии аналогично однопредметной не представляется возможным, т.к. неизвестно, по какому частному такту следует вести расчет. К сожалению, авторы, как правило, ограничиваются описанием методов расчета частных тактов и не показывают, как рассчитать требуемое число единиц оборудования (рабочих мест) на многопредметной поточной линии.

Методика определения основных организационно-технических параметров многопредметной поточной линии включает следующие действия:

1. Определение расчетного числа единиц оборудования на операциях поточной линии по формуле:

$$Cp_i = \frac{\sum_{j=1}^n N_j t_{ij}}{60 F_{эф}}, \quad (10)$$

где: Cp_i – расчетное число единиц оборудования на i -й операции;

N_j – годовая производственная программа по деталям j -го наименования;

t_{ij} – норма штучного времени на i -й операции детали j -го наименования, мин.;

$F_{эф}$ – годовой эффективный фонд времени работы, ч.;

n – количество наименований деталей, закрепленных за многопредметной линией.

2. Определение принятого числа единиц оборудования на операциях поточной линии (Cn_i) путем округления расчетного числа до целого.

3. Расчет отношений норм штучного времени по всем операциям и всем деталям к принятому числу единиц оборудования на соответствующих операциях.

4. Определение частных рабочих тактов поточной линии для деталей каждого наименования по максимальному отношению норм штучного времени к количеству единиц оборудования по формуле:

$$r_{раб_j} = \left(\frac{t_{ij}}{Cn_i} \right) \max. \quad (11)$$

5. Определение фонда времени работы линии, необходимого для изготовления деталей j -го наименования (F_{H_j}):

$$F_{H_j} = N_j r_{раб_j}. \quad (12)$$

6. Проверка соблюдения условия:

$$F_{эф} \geq \sum_{j=1}^n F_{H_j}. \quad (13)$$

Если это условие не соблюдается, то необходимо проверить правильность расчетов.

7. Расчет коэффициента загрузки i -й операции при обработке деталей j -го наименования по формуле:

$$Kz_{ij} = \frac{t_{ij}}{r_{раб_j} Cn_i}. \quad (14)$$

8. Расчет среднего коэффициента загрузки i -й операции по изготовлению деталей всех наименований:

$$\bar{K}z_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^n t_{ij}}{Cn_i \sum_{j=1}^n r_{раб_j}}. \quad (15)$$

9. Расчет загрузки линии при обработке деталей j -го наименования по формуле:

$$Kz_j = \frac{\sum_{i=1}^m t_{ij}}{r_{раб_j} \sum_{i=1}^m Cn_i}. \quad (16)$$

10. Расчет среднего коэффициента загрузки поточной линии по формулам:

$$\bar{K}z = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m t_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m r_{раб_j} Cn_i}. \quad (17)$$

$$\bar{K}z = \frac{\sum_{i=1}^m Cp_i}{\sum_{i=1}^m Cn_i}. \quad (18)$$

Примечание. При расчетах по формулам (17) и (18) могут быть незначительные расхождения результатов из-за округления величин, входящих в формулы.

Проиллюстрируем методику примером.

Исходные данные по закрепленным за многопредметной линией деталям приведены в табл. 7. Эффективный годовой фонд времени работы поточной линии принят 3150 ч.

Таблица 7

Исходные данные

№ детали	Производственная программа, шт.	Нормы штучного времени на операциях, мин			
		1	2	3	4
1	15000	4,5	3,8	5,6	6,7
2	15000	5,0	7,3	3,6	5,7
3	15000	7,2	5,6	6,4	3,9
4	10000	4,2	–	5,2	6,4

Произведя расчеты по формулам, получаем соответствующие результаты.

Расчетное число единиц оборудования на операциях: на 1-й – 1.56; на 2-й – 1.33; на 3-й – 1.51; на 4-й – 2.14. Принятое число соответственно: 2; 2; 2; 3.

Отношение норм штучного времени к принятому числу единиц оборудования на операциях:

- по детали №1: 2,25; 1,9; 2,8; 2,23;
- по детали №2: 2,5; 3,65; 1,8; 1,9;
- по детали №3: 3,6; 2,8; 3,2; 1,3;
- по детали №4: 2,1; –; 2,6; 2,13.

Частные такты определяются по максимальному отношению норм штучного времени к количеству единиц оборудования по каждому наименованию деталей:

- по детали №1: 2,8 мин.; – по детали №2: 3,65 мин.; – по детали №3: 3,6 мин.; – по детали №4: 2,6 мин.

Определение необходимого фонда времени для выполнения программы по каждому наименованию деталей:

- по детали №1: $15000 * 2,8 = 42000$ мин.;
- по детали №2: $15000 * 3,65 = 54750$ мин.;

- по детали №3: $15000 * 3,6 = 54000$ мин.;
- по детали №4: $10000 * 2,6 = 26000$ мин.

Определение суммарного фонда времени, необходимого для изготовления деталей всех наименований:

$$42000 + 54750 + 54000 + 26000 = 176750 \text{ (мин.)} = 2946 \text{ (ч.)}$$

Сопоставление суммарного фонда времени, необходимого для изготовления деталей всех наименований (2946 ч.), с эффективным годовым фондом времени работы поточной линии (3150 ч.) свидетельствует о выполнении условия (13).

Коэффициенты загрузки рассчитываются по формулам (14), (15), (16), (17), (18).

Средний коэффициент загрузки поточной линии в приведенном примере равен 0,73.

Примечание. Если при анализе полученных параметров однопредметной или многопредметной поточной линии представляется целесообразным и возможным заменить на некоторых операциях технологическое оборудование или оснастку с целью изменения норм времени, то необходимо произвести новые расчеты параметров с учетом этих изменений.

Литература

1. Организация и планирование машиностроительного производства (производственный менеджмент): Учебник / К.А.Грачева, М.К.Захарова, Л.А.Одинцова и др.; под ред. Ю.В. Скворцова, Л.А. Некрасова. М.: Высшая школа, 2003.

2. Сачко Н.С. Теоретические основы организации производства. Минск: Дизайн ПРО, 1997. 320 с.

3. Калинин Г.А. Концепция рациональной организации многооперационных производственных процессов // Труды Минского института управления. 2005. №2. С.39–47.

Резюме

В качестве основного норматива поточного производства принят не расчетный, а рабочий такт. Методика определения параметров однопредметных поточных линий включает три варианта: при жестко заданных производственной программе и эффективном фонде времени работы; при производственной программе в диапазоне значений min - max и определенном фонде времени; при производственной программе в диапазоне значений min - max и нерегламентированном фонде времени работы. Методика определения параметров многопредметной линии отличается тем, что вначале определяется расчетное и принятое число единиц оборудования (рабочих мест) на операциях, а затем частные рабочие такты и другие параметры.

Применен пошаговый метод поиска альтернативных вариантов производственной структуры поточной линии. Методика проиллюстрирована примерами.

Summary

The explosion rather than a calculation stroke is set as the main standard of mass line production. The method of defining the mono-subject production line parameters includes three variants: when the production programme and the effective fund of the time of production are set rigidly; when the results of the production programme should stay within the range of the min-max value and the fund of the time of production is specified; when the results of the production programme should stay within the range of the min-max value and the fund of the time of production is unspecified. The difference of the method of defining the multi-subject production line is in the fact that the calculation stroke and the accepted number of equipment units (work places) on operation is defined in the beginning and particular explosion strokes and other parameters are defined after that.

A step by step method of searching for alternative variants of the production structure of a mass production line is applied. The method is illustrated by examples.