

ОПТИМИЗАЦИЯ ГРУППОВОЙ ОБРАБОТКИ НА РОТОРНЫХ ЛИНИЯХ

Е.М. Коровин, А.Н. Лунёв, Р.Ш. Хасанов



**КОРОВИН
Евгений
Михайлович**

Кандидат технических наук, доцент кафедры Технологии производства двигателей КГТУ им. А.Н. Туполева. Специалист в области оптимизации технологических процессов механической обработки. Автор 115 научных трудов.

Введение

Колебание спроса на продукцию массового производства в условиях рыночной экономики ставит задачу поиска экономичного, производительного и гибкого оборудования. Одним из направлений решения этой задачи при изготовлении малогабаритных изделий с малым технологическим временем является применение групповых методов обработки на производительном роторном оборудовании [1]. В настоящей работе впервые решается задача системной оптимизации групповой обработки на роторных линиях [2].



**ЛУНЕВ
Александр
Николаевич**

Профессор, доктор технических наук. Заведующий кафедрой технологии производства двигателей КГТУ им. А.Н. Туполева. Специалист в области точности обработки аэродинамических поверхностей. Автор 180 научных трудов.



**ХАСАНОВ
Радик
Шавкятович**

Аспирант кафедры технологии производства двигателей КГТУ им. А.Н. Туполева. Специализируется в области групповой обработки деталей на автоматических роторных линиях. Автор 4 публикаций.

1. Задача исследования

Для решения поставленной задачи роторное оборудование должно отвечать следующим дополнительным требованиям.

1. Автономное регулирование производительности операционных роторов из-за различного основного времени для отдельных операций.
2. Малое время на групповую наладку или замену блоков, а также настройку технологических параметров (усилий, производительности и др.).
3. Линия должна компоноваться из автономных операционных роторных автоматов, разделенных накопителями.

Компоновка гибкой автоматической линии для групповой обработки деталей показана на рис. 1. Автоматические роторные линии должны состоять из автономных операционных роторов с равным количеством позиций (Z), разделенных операционными накопителями. Заготовки последовательно проходят операции для формирования на выходе линии деталей.



Рис. 1. Компоновка гибкой автоматической линии для групповой обработки:

З – заготовки, Н – накопитель, 1... Zi ... – позиции роторов, К – операция, Д – деталь

Для определения времени изготовления деталей каждой номенклатуры на переналаживаемом роторном автомате и линии в целом рассмотрим кинематику ротора (рис. 2) [2].

Время (в мин) изготовления i -й партии из n_i деталей на j -й операции определяется из выражения:

$$T_{ij} = \frac{6 \cdot \tau_{ij} \cdot n_i}{\alpha_p \cdot Z}, \quad i = 1 \dots n, j = 1 \dots k, \quad (1)$$

где τ_{ij} – оперативное время обработки i -й детали на j -й операции, с; n_i – программа выпуска деталей для i -й номенклатуры, шт.

Традиционный метод оптимизации загрузки и управления групповой обработкой [3] включает определение очередности запуска заданных n_i с известными τ_{ij} , расчет величин смещений (опережений) запуска b_i и длительность цикла τ_c обработки всех типов деталей (номенклатур) на групповой линии.

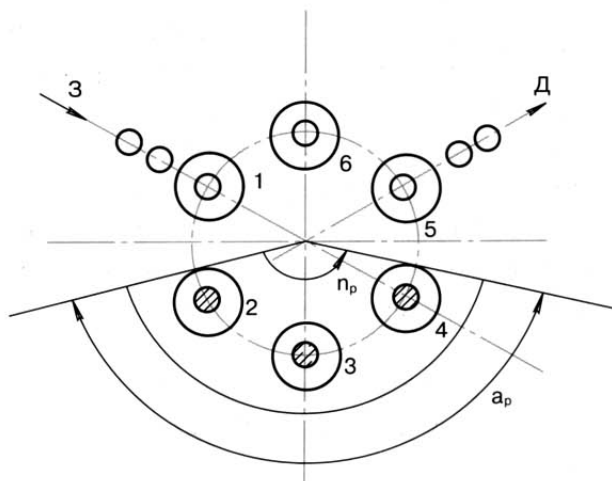


Рис. 2. Схема роторного автомата:
1–6 – переналаживаемые (или сменные) операционные блоки; α_p – рабочий угол циклограммы, град; n_p – транспортная частота вращения ротора, мин⁻¹

Предлагаемый итерационный алгоритм системной оптимизации дополняет традиционный метод [3] поиском эффективных номенклатур по критерию прибыли в начале и поиском резервов сокращения τ_c в конце.

Математическая задача исследования ставится следующим образом. Для заданных матрицы предложений $[\tau_{nk}]$ и времени цикла T требуется найти эффективную матрицу $[\tau_{lk}]$ и график обработки L номенклатур, обеспечивающих после их реализации максимальную прибыль P :

$$P = \sum_{i=1}^L n_i \left[c_i - M_i - \sum_{j=1}^{K_i} C_j \left(\frac{\tau_{nij}}{n_i} + \frac{\tau_{ij}}{60} \right) \right] = \max, \quad (2)$$

где L – число выбранных эффективных номенклатур из заданных N ; n_i – размер партии для деталей i -й номенклатуры, шт. ($i = 1 - N$); c_i – цена реализации одного изделия i -й номенклатуры, руб.; M_i – стоимость заготовки для

производства детали i -й номенклатуры, руб.; K_i – число операций для производства деталей i -й номенклатуры, шт.; C_j – стоимость станкоминуты для j -й операции, руб; τ_{nij} – подготовительно-заключительное время j -й операции для деталей i -й номенклатуры, мин; τ_{ij} – оперативное время выполнения j -й операции для деталей i -й номенклатуры, с.

В зависимости (2) выражение в круглых скобках представляет собой трудоемкость выполнения j -й операции для одной детали i -й номенклатуры, после умножения которой на стоимость станкоминуты C_j получим операционную себестоимость. Выражение в квадратных скобках – прибыль P_i от реализации одной детали i -й номенклатуры.

2. Алгоритм оптимизации групповой обработки

Предлагаемый алгоритм системной оптимизации загрузки и управления групповой поточной линией носит итерационный характер и включает следующие этапы.

1. Расчет прибыли для деталей i -й номенклатуры ($i = 1 - N$).
 2. Ранжирование N номенклатур в порядке убывания прибыли P_i .
 3. Задание начального значения технологических номенклатур из условия
- $$L = \text{целое} \left(\frac{N}{2} \right).$$
4. Определение очередности запуска L номенклатур по методу [3].

5. Расчет по методу [3] величин смещений b_i и значения расчетного цикла τ_u производства деталей L номенклатур на K позициях многономенклатурной линии.

6. Проверка условия

$$\tau_u \leq T. \quad (3)$$

7. При $\tau_u < T$ матрица дополняется следующей номенклатурой из ранжированного ряда N и выполняется переход к этапу 4.

8. При $\tau_u > T$ из L удаляется последняя номенклатура и выполняется переход к этапу 5.

9. Итерационный поиск L эффективных номенклатур из N продолжается до первого нарушения ограничения (3) на этапе 7 или 8.

10. Выполняется построение и анализ циклового графика производства деталей L номенклатур на K позициях поточной линии для поиска резервов снижения τ_u , так как метод [3] в ряде случаев дает завышенное значение τ_u .

5. Пример оптимизации групповой обработки

Ниже приведены результаты реализации разработанного алгоритма для десяти заданных номенклатур ($N = 10$), обрабатываемых на восьмиоперационной роторной линии ($K = 8$). В табл. 1 приведены значения оперативного времени τ_{ij} для i -й номенклатуры ($i = 1 - 10$), обрабатываемой на j -й операции ($j = 1 - 8$). Соответствующие значения подготовительно-заключительного времени τ_{nij} и стоимость станкоминуты C_j для j -й операции представлены в табл. 2.

Таблица 1

Оперативное время τ_{ij} , с

Детали, i	Операции, j							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	12	8	0	9	0	10	14	11
2	11	10	11	0	12	9	0	8
3	10	0	8	9	11	0	12	12
4	0	16	0	14	0	12	0	8
5	8	0	14	0	8	12	13	0
6	0	15	0	10	6	0	9	12
7	14	0	11,98	0	8	15	0	9
8	0	8	9,78	0	12	0	14	16
9	16	0	13,38	12	0	10	8	8
10	12	16	0	14	0	10	16	0

Таблица 2

Подготовительно-заключительное время τ_{nij} (мин) и стоимость станкоминуты C_j , руб

Детали, i	Операции, j							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	60	45	0	55	0	85	90	50
2	55	40	30	0	85	50	0	55
3	50	0	30	45	85	0	40	90
4	0	85	0	55	0	50	0	60
5	30	0	60	0	90	40	55	0
6	0	85	0	45	30	0	60	40
7	70	0	30	0	70	90	0	30
8	0	45	80	0	35	0	60	55
9	90	0	70	50	0	40	60	50
10	45	85	0	70	0	35	50	0
C_j	0,25	0,4	0,17	0,12	0,35	0,3	0,45	0,5

В табл. 3 приведены стоимость заготовки M_i , цена реализации c_i и размер партии n_i для i -й номенклатуры.

Ранжирование 10-ти заданных номенклатур по прогнозируемой прибыли (2) позволило выбрать из них 5 наиболее эффективных.

Трудоемкость производства ($\tau_{ij} \times n_i$) для пяти эффективных по прибыли P_i номенклатур при заданном $T = 5760$ мин (12 смен) приведена в табл. 4.

В табл. 5 приведены величины смещений b_j , рассчитанные по методу [3].

Таблица 3

Размер партий n_i , стоимость заготовки M_i и цена реализации c_i для i -й детали

Параметр	Детали, i									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_i , шт.	6400	6080	5200	5600	5450	5800	7040	7360	7680	5750
M_i , руб.	3,0	2,5	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,2	3,4	3,6
c_i , руб.	12	11	10	9	8	9	10	11	12	10

Таблица 4

Время (мин) изготовления i -й партии деталей на j -й операции (1) и прибыль P_i (2) от реализации L эффективных номенклатур

Детали, i	Время изготовления i -й партии деталей на j -й операции, мин								P_i , руб
	1	2	3	4	5	6	7	8	
9	768	0	642	576	0	480	384	384	63586
1	480	320	0	360	0	400	560	440	55114
8	0	368	450	0	552	0	644	736	54439
2	418	380	418	0	456	342	0	304	49595
7	616	0	527	0	352	660	0	396	48564
Σ	2282	1068	2048	936	1360	1882	1588	2260	271298

Таблица 5

Величины смещений b_j для связанных пар операций

Детали, i	Пары связанных операций													
	1-2		2-3		3-4		4-5		5-6		6-7		7-8	
2	0	38	0	-38	0	418	0	-456	0	114	0	342	0	-304
1	38	198	-38	282	418	58	-456	-96	114	-286	342	182	-304	-184
8	198	-170	282	190	58	518	-96	-648	-286	266	182	-462	-184	-276
9	-170	598	190	-452	518	584	-648	0	266	-214	-462	-366	-276	-276
7	598	1214	-452	-979	584	1111	0	-352	-214	-522	-366	294	-276	-672
$b_{i \max}$	1214		282		1111		0		266		342		0	

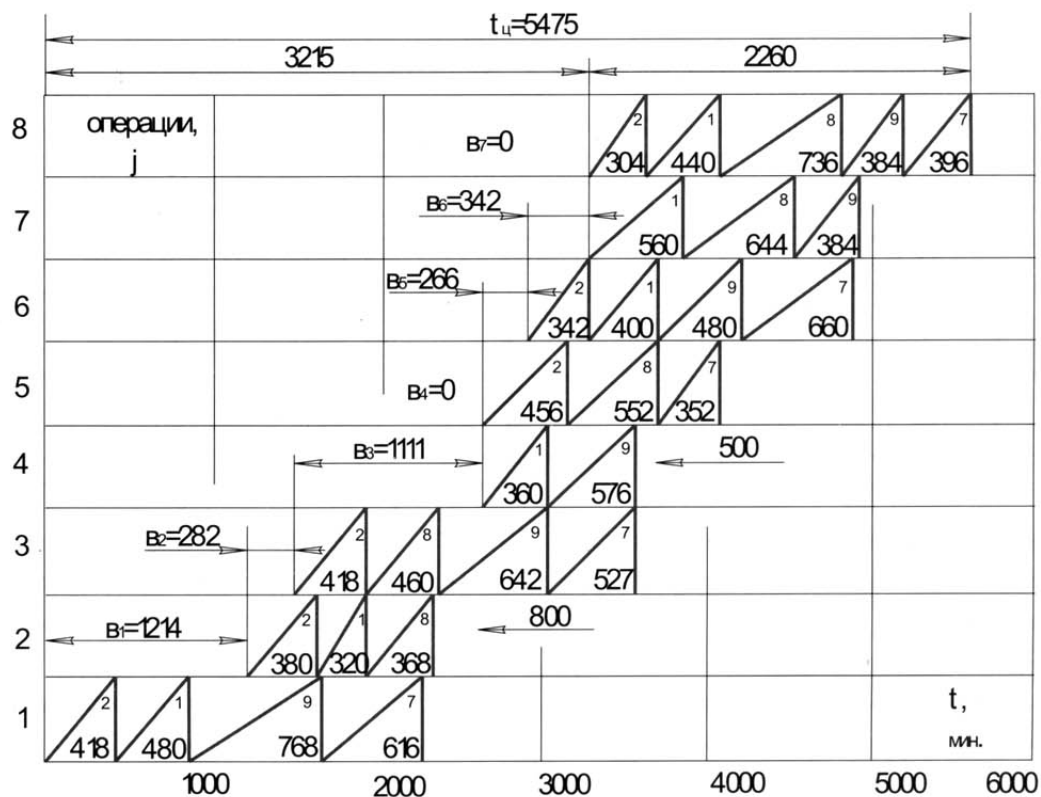


Рис. 3. Расчетный цикловой график

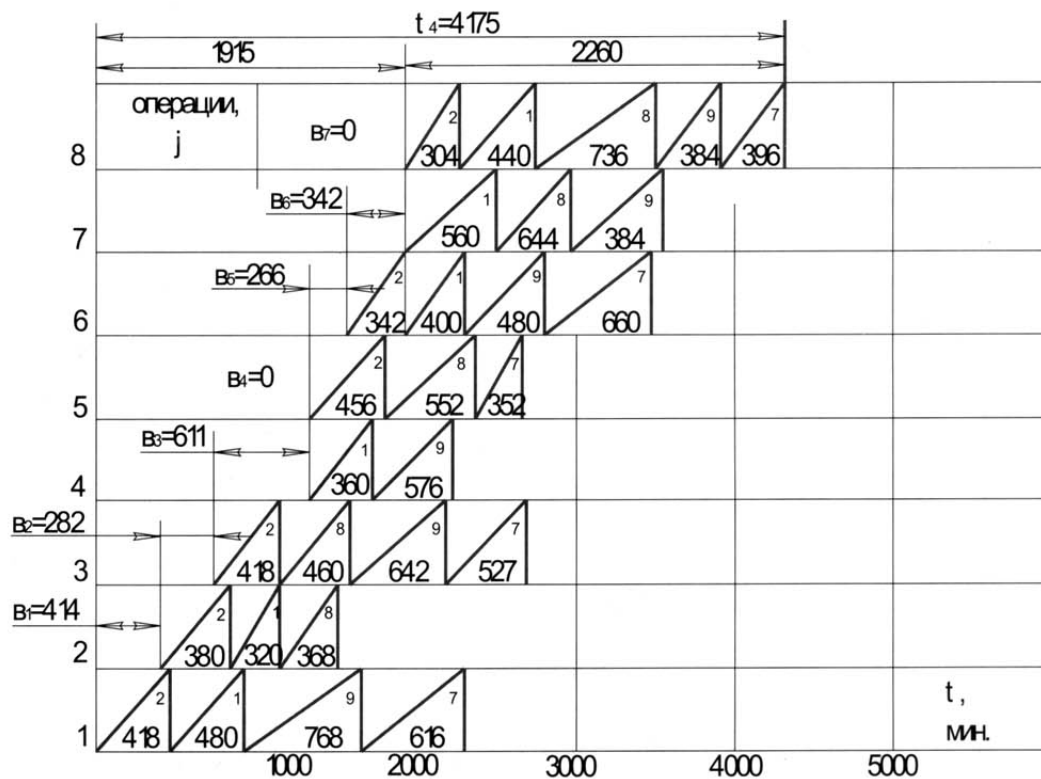


Рис. 4. Улучшенный цикловой график

Согласно методу [3] расчетное значение цикла определяется выражением

$$\tau_{\text{ц}} = \sum_{j=1}^{k-1} b_{j \max} + \sum_{i=1}^L \tau_{ki} \quad (4)$$

и в данном случае составит

$$\tau_{\text{ц}} = (1214 + 282 + 1111 + 0 + 266 + 342 + 0) + (384 + 440 + 736 + 304 + 396) = 5475 \text{ мин.}$$

Цикловой график (рис. 3), построенный по данным табл. 4 и 5, показывает наличие резервов сокращения $\tau_{\text{ц}}$ за счет снижения b_1 на 800 мин и b_3 на 500 мин. Улучшенный вариант циклового графика приведен на рис. 4. Как видно, величина цикла уменьшилась до значения

$$\begin{aligned} \tau_{\text{ц}} &= 5475 - (800 + 500) = \\ &= 4175 \text{ мин} < T = 5760 \text{ мин,} \end{aligned}$$

что позволяет включить для обработки на поточной линии дополнительные номенклатуры из ранжированного ряда N и перейти к этапу 4 алгоритма.

Заключение

Разработанный алгоритм системной оптимизации загрузки и управления групповой обработкой на роторных линиях позволяет значительно повысить серийность производства и эффективность эксплуатации линий при колебании спроса на выпускаемую продукцию в условиях рыночной экономики.

Список литературы

1. Коровин Е.М., Лунев А.Н. Гибкие производственные системы в авиадвигателестроении. Казанский авиационный институт. Казань, 1989. – 84 с.
2. Клусов И.А. Проектирование роторных машин и линий. М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
3. Парамонов Ф.И. Моделирование процессов производства. М.: Машиностроение, 1984. – 292 с.