



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

**Кафедра «Экономика и организация машиностроительного
производства»**

**ОПЕРАТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ
НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ
ПРЕДПРИЯТИИ**

Лабораторный практикум

**Минск
БНТУ
2015**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Экономика и организация машиностроительного
производства»

ОПЕРАТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Лабораторный практикум
для студентов всех форм получения образования по специальности
1-27 01 01 «Экономика и организация производства»

Минск
БНТУ
2015

УДК 321.002:005.932(076.5)(075.8)

ББК 65.291.212я7

О-61

Составитель

Е. Н. Костюкевич

Рецензенты:

А. А. Коган, С. В. Дадалко

Оперативное планирование на машиностроительном предприятии : лабораторный практикум для студентов всех форм обучения по специальности 1-27 01 01 «Экономика и организация производства» / сост.: Е. Н. Костюкевич. – Минск : БНТУ, 2015. – 88 с.
ISBN 978-985-550-117-7.

Лабораторный практикум содержит методические указания по выполнению семи лабораторных работ по дисциплине «Оперативное планирование на машиностроительном предприятии», индивидуальные исходные данные по вариантам и порядок предоставления отчетов по результатам выполнения работы. Тематика лабораторных работ соответствует базовой программе дисциплины и охватывает все основные темы курса.

УДК 321.002:005.932(076.5)(075.8)

ББК 65.291.212я7

ISBN 978-985-550-117-7

© Белорусский национальный
технический университет, 2015

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа № 1 Разработка плана выпуска продукции по месяцам планового периода и объемные расчеты загрузки оборудования.....	5
Лабораторная работа № 2 Расчет размера партии обрабатываемых деталей.....	16
Лабораторная работа № 3 Расчет опережений запуска и выпуска деталей.....	32
Лабораторная работа № 4 Расчет календарного графика запуска-выпуска деталей в условиях серийного производства.....	42
Лабораторная работа № 5 Выбор оптимального варианта распределения номенклатуры производственной программы цеха по группам оборудования.....	53
Лабораторная работа № 6 Разработка календарных планов обработка партий деталей.....	61
Лабораторная работа № 7 Изучение системы планирования материальных потребностей производства.....	75
Литература	87

Введение

Лабораторный практикум предназначен для углубленного изучения теоретических задач, встречающихся в практике оперативно-производственного планирования на машиностроительных предприятиях.

В практикум включены семь работ по наиболее важным вопросам оперативно-производственного планирования:

формирование и распределение производственной программы;

планирование производственных мощностей на основе объемных и уточненных расчетов мощности;

расчет календарно-плановых нормативов для различных типов производства;

определение оптимального размера партии деталей и изучение факторов, влияющих на его величину;

составление оптимальных расписаний движения материальных потоков при многономенклатурном производстве;

планирование потребностей в материальных ресурсах при зависимом спросе.

Все темы лабораторных работ соответствуют базовой и рабочей учебным программам дисциплины «Оперативное планирование на машиностроительных предприятиях».

Лабораторная работа № 1

РАЗРАБОТКА ПЛАНА ВЫПУСКА ПРОДУКЦИИ ПО МЕСЯЦАМ ПЛАНОВОГО ПЕРИОДА И ОБЪЕМНЫЕ РАСЧЕТЫ ЗАГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ

Цель работы

1. Закрепление теории оперативно-производственного планирования.
2. Приобретение практических навыков построения и распределения производственной программы по подразделениям на плановые периоды и освоение методики проведения проверочных объемных расчетов производства и уточнения загрузки оборудования.
3. Приобретение практических навыков формализации подобных задач и их решения как вручную, так и с использованием таблиц EXCEL.

Краткие теоретические сведения

Построение производственной программы связано с распределением номенклатуры и количества различных подлежащих выпуску изделий по отрезкам планового периода (кварталам, месяцам). Это распределение должно удовлетворять ряду требований:

безусловное соблюдение директивных сроков выпуска изделий, а также сроков, указанных в хозяйственных договорах между предприятием (объединением) и потребителями его продукции;

равномерная загрузка производственных мощностей и рабочей силы;

равномерный либо возрастающий объем выпуска продукции по отрезкам планового периода;

обеспечение условий для повышения серийности производства.

При построении производственной программы номенклатура изделий, выпускаемых в каждом месяце, должна быть максимально сокращена. В связи с этим объем месячного выпуска изделий должен устанавливаться по максимально достигнутому цехом уровню их выпуска, т. е. должна быть обеспечена максимально возможная концентрация производства одних и тех же изделий в части планового периода (годового выпуска – в отдельные кварталы года, квар-

тального выпуска – в отдельные месяцы квартала) и в то же время должна быть обеспечена возможно меньшая прерывность производства каждого изделия. Так, изделия, выпуск которых предусмотрен в одном месяце или квартале года, планируются к изготовлению без перерыва в конце предыдущего и в начале следующего года. Изделия, выпуск которых концентрируется в одном месяце каждого квартала года, планируются к изготовлению в смежных месяцах, например в марте и апреле, августе и сентябре.

По любому варианту намеченной производственной программы необходимо производить проверочные объемные расчеты по загрузке оборудования и рабочей силы. Это обеспечивает своевременное выявление узких мест и диспропорций в их загрузке по отдельным периодам года. Объемные расчеты осуществляют в два приема – предварительно и уточненно. **Предварительные объемные расчеты** производят в целом по цеху сравнением требуемого для выполнения намеченной производственной программы фонда времени с используемым фондом времени. **Допустимое отклонение необходимого фонда от используемого $\pm 10\%$** . Уточненные объемные расчеты производят по каждой группе взаимозаменяемого оборудования (или профессии рабочих) каждого производственного участка в отдельности сравнением необходимых для выполнения намеченной производственной программы ресурсов (по оборудованию или рабочей силе) с ресурсами имеющимися, т. е. располагаемыми. Если потребные ресурсы меньше располагаемых, то намеченная производственная программа выполнима, если – больше располагаемых, но намеченный вариант производственной программы подлежит срочному пересмотру и изменению.

Для достижения цели объемных расчетов соответственно выполняются точные вычисления потребных и располагаемых ресурсов по каждой группе оборудования – уточняются содержание и общий объем работ, который должен быть выполнен в предстоящий период. На его основе осуществляется подробный расчет необходимых производственных ресурсов (оборудования, площадей, рабочей силы), который затем сопоставляется с наличными ресурсами.

Если нет возможности изменить производственную программу, должны быть разработаны мероприятия по ликвидации узких мест. Также могут быть разработаны мероприятия по устранению диспропорций в загрузке оборудования (или рабочей силы) по отдельным периодам планового года.

Порядок выполнения работы

Данная лабораторная работа включает два этапа:

- 1) построение производственной программы цеха;
- 2) проведение проверочных объемных расчетов производства.

Задание для 1-го этапа работы:

- 1) сформировать исходные данные на основе табл. 1.1;
- 2) распределить номенклатурно-количественное задание и объем работ механического цеха по месяцам планового полугодия 20__ года;
- 3) провести предварительные объемные расчеты загрузки оборудования по месяцам планового периода.

Таблица 1.1

Исходные данные по выпуску изделий и нормы трудоемкости изготовления комплектов деталей изделий по вариантам

Изделие	Задания на полугодие N_s , шт., по вариантам				Плановая трудоемкость комплекта деталей, нормо-ч	Месячный выпуск, достигнутый в конце отчетного года, $N_{в}$, шт.	Изделие	Задания на полугодие N_s , шт., по вариантам				Плановая трудоемкость комплекта деталей, нормо-ч	Месячный выпуск, достигнутый в конце отчетного года, $N_{в}$, шт.
	1, 5, 9	2, 6, 10	3, 7, 11	4, 8, 12				1, 5, 9	2, 6, 10	3, 7, 11	4, 8, 12		
А	6000	6000	6100	6200	13,8	1500	Г	4000	4000	4100	4000	4,1	1000
Б	3100	3000	3000	3000	18,6	1500	Д	4000	4000	4000	4000	6,6	2000
В	8000	8200	8000	8000	5,1	2000	Е	–	–	150	100	17	–

Пример распределения задания по месяцам первого полугодия 2014 г. и предварительные объемные расчеты загрузки оборудования приведены в табл. 1.2 и 1.3.

Пример распределения задания по месяцам первого полугодия 2014 года

Изделие	Трудоемкость изготовления комплекта деталей		Выпуск продукции и объем работ по месяцам полугодия													
	плано- вая, нормо-ч	с уче- том k _{в.п.} , ч	Январь		Февраль		Март		Апрель		Май		Июнь		Итого за полугодие	
			комп- лектов	тыс. ч	комп- лектов	тыс. ч	комп- лектов	тыс. ч	комп- лектов	тыс. ч	комп- лектов	тыс. ч	комп- лектов	тыс. ч	комп- лектов	тыс. ч
А	13,8	11,5	–	–	1500	17,25	1550	17,82	1550	17,82	1500	17,25	–	–	6100	70,14
Б	18,6	15,5	1500	23,25	–	–	–	–	–	–	–	–	1500	23,25	3000	46,5
В	5,1	4,25	2000	8,5	2050	8,71	–	–	–	–	2000	8,5	2050	8,71	8100	34,42
Г	4,1	3,4	–	–	1000	3,40	1100	3,74	1100	3,74	1000	3,4	–	–	4200	14,28
Д	6,6	5,5	–	–	–	–	2000	11	2000	11	–	–	–	–	4000	22
	Итого		–	31,75	–	29,36	–	32,56	–	32,56	–	29,15	–	31,96	–	187,34

Таблица 1.3

Пример проведения предварительных объемных расчетов загрузки оборудования по месяцам полугодия

Показатель	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Итого
Фонд времени на программу, тыс. ч:							
– необходимый	31,75	29,36	32,56	32,56	29,15	31,96	187,34
– с учетом планируемого роста производительности труда	31,42	28,78	31,61	31,3	27,76	30,15	181,02
Используемый фонд времени, тыс. ч	30,15	28,72	31,59	30,15	28,72	31,59	180,92
Отклонение потребного фонда от используемого: тыс. ч	+1,27	+0,06	+0,02	+1,15	–0,096	–1,44	–
%	+4,2	+0,2	+0,1	+3,8	–3,3	–4,5	–

Порядок проведения уточненных объемных расчетов загрузки оборудования участка корпусных деталей механического цеха на программу января приведен в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Исходные данные для уточненных объемных расчетов загрузки оборудования участка корпусных деталей механического цеха (формируется с учетом заданных для группы месяцев планового периода и полученных в предыдущих заданиях результатов расчета)

Показатель	Группа станков модели									Итого
	016	017	061	063	065	073	025	026	031	
Нормированное время на изготовление комплекта деталей по изделиям, мин:										
А	12,5	42,1	27,5	30,5	5	4,6	–	34	28,5	184,7
Б	14,6	53,7	43,6	30,1	6	6	–	35,7	31,2	220,9
В	–	15,2	9,5	–	–	2,3	3,2	4,2	3,3	37,7
Г	–	13,2	6,5	–	4	2,5	2,8	3,5	3	35,5
Д	5,6	6,5	–	–	3	4	2,5	7	–	28,6
Е	6	4,5	–	–	4,5	3,5	3,0	8	2,5	32

Окончание табл. 1.4

Показатель	Группа станков модели									Итого
	016	017	061	063	065	073	025	026	031	
Число станков (по вариантам $C_{\text{пр } i} 1.XX = C_{\text{max}}$)	1	6	5	3	1	1	1	3	3	24
Планируемый коэффициент $k_{\text{в.н}}$	1,2	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,18	1,18	–
Подготовительно-заключительное время, %	4	8	8	5	5	4	4	2	2	–
Планируемые потери времени на ремонт станков, %	6	8	8	5	6	5	4	2	2	–
Потери времени от брака и допол- нительных работ, %	2	2	2	2	2	2	2	2	2	–

По результатам расчетов проанализировать:

1) оптимальность проведенного распределения производственной программы;

2) использование мощности по месяцам.

Задание 2-го этапа работы. В соответствии с полученным на предыдущем этапе распределением программы выпуска по месяцам полугодия произвести уточненный объемный расчет загрузки оборудования участка корпусных деталей рассматриваемого цеха в соответствии с исходными данными табл. 1.4 и ведомостью расчетов согласно табл. 1.5.

Таблица 1.5

Пример ведомости уточненного объемного расчета загрузки
оборудования участка корпусных деталей механического цеха
на программу января 2014 года

Показатель	Группа станков модели									
	016	017	061	063	065	073	025	026	031	Всего
Норма времени по изделию Б: на один комплект, нормо-мин	14,6	53,7	43,6	33,1	6	6	–	35,7	31,2	223,9
на программу, нормо-ч	365	1342,5	1090	827,5	150	150	–	892,5	780	5597,5
Норма времени по изделию В: на один комплект, нормо-мин	–	15,2	9,5	–	–	2,3	3,2	4,2	3,3	37,7
на программу, нормо-ч	–	506,6	316,6	–	–	76,6	106,6	140	110	1256,4
Итого на программу, нормо-ч	365	1849,1	1406,6	827,5	150	226,6	106,6	1032,5	890	6853,9
Затраты подготовительно- заключительного времени:										
%	4	8	8	5	5	4	4	2	2	–
нормо-ч	14,6	147,9	112,5	41,4	7,5	9	4,2	20,6	17,8	375,5
Потери от брака и дополни- тельных работ:										
%	2	2	2	2	2	2	2	2	2	–
нормо-ч	7,3	37	28,1	16,5	3	4,5	2,1	20,6	17,8	136,9
Требуемый фонд времени на программу с учетом потерь, нормо-ч	386,9	2034	1547,2	885,4	160,5	240,1	112,9	1073,7	925,6	7366,3
Планируемый коэффициент выполнения норм	1,2	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,18	1,18	–
Требуемый фонд времени на программу с учетом выпол- нения норм времени, ч	322,4	768,6	1345,3	804,9	145,9	218,2	102,6	909,9	784,4	5401,3

Показатель	Группа станков модели									Всего
	016	017	061	063	065	073	025	026	031	
Число станков	1	6	5	3	1	1	1	3	3	24
Возможный фонд времени оборудования, ч	352	2112	1760	1056	352	352	352	1056	1056	7969,4
Плановые потери времени на ремонт:										
%	6	8	8	5	6	5	4	2	2	–
ч	21,1	168,9	140,8	52,8	21,1	17,6	14,1	21,1	21,1	478,6
Располагаемый фонд времени оборудования, ч	330,9	1943,1	1619,2	1003,2	330,9	334,4	337,9	1034,9	1034,9	7969,4
Коэффициент загрузки оборудования	0,97	0,91	0,83	0,8	0,44	0,65	0,3	0,88	0,76	–
Излишек:										
ч	8,5	174,5	273,9	198,3	185	116,2	235,3	125	250,5	1567,2
единиц оборудования	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Недостаток	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ч	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
единиц оборудования	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Коэффициент сменности	1,94	1,82	1,66	1,6	0,88	1,3	0,6	1,76	1,52	–

Программа на изделия по месяцам берется на основе распределения по данным табл. 1.2.

Пример выполнения задания и порядок проведения уточненных объемных расчетов загрузки оборудования участка корпусных деталей механического цеха на программу января приведен в табл. 1.5.

Варианты исходных данных для выполнения работы

Порядок формирования исходных данных по вариантам для 1-го этапа работы:

1. По табл. 1.1 номер варианта определяется месяцем рождения студента (ZZ).

2. Те, у кого месяц рождения приходится на 1-е полугодие, распределяют задание по месяцам первого полугодия 20__года; у кого – на 2-е полугодие, проводят распределение задания на второе полугодие 20__года.

3. Задания на полугодие N_3^* и достигнутый месячный выпуск продукции N_B^* по вариантам корректируют с учетом даты рождения, т. е.

$$N_3^* = N_3(1 + XX/100 \%);$$

$$N_B^* = N_B(1 + XX/100 \%),$$

где N_3 – исходное значение планового задания;

N_B – исходное значение достигнутого месячного выпуска;

XX – дата рождения.

4. Плановую трудоемкость в нормо-часах увеличить на процент, соответствующий номеру варианта (норма времени $\cdot (1 + ZZ/100 \%)$), т. е., например, если месяц рождения – июнь ($ZZ = 6$), то норму времени 2,36 необходимо умножить на 1,06 с округлением в большую сторону.

5. Первоначальный станочный парк цеха 95 единиц. По вариантам его величина должна быть скорректирована: $95(1 + XX/100 \%)$. Полученное значение округляется в большую сторону до целого значения.

6. Полученные величины планового задания и достигнутого месячного выпуска необходимо привести к кратным величинам.

Дополнительные условия для всех вариантов:

1. По производственным условиям не допускается сочетание в одном месяце выпуска изделий А и Б.

2. В соответствии с оформленными договорами с заказчиками предусматривается поставка изделий А, Б, В, Г, Д равными количествами в обоих кварталах полугодия.

3. Производство изделий Е осваивается во II квартале полугодия.

4. Режим работы цеха двухсменный.

5. Средний коэффициент выполнения норм выработки $k_{\text{вн}}$ по цеху в целом, достигнутый в последнем месяце отчетного периода, равен 1,2.

6. Планируемый рост производительности труда на конец полугодия 6 %.

7. Для оценки величины располагаемых фондов участка по месяцам необходимо использовать данные производственного календаря при сорокачасовой рабочей неделе на соответствующий плановый период (год).

Формирование исходных данных по вариантам для 2-го этапа работы:

1. Для уточнения объемных расчетов загрузки оборудования участка корпусных деталей механического цеха используются данные, приведенные в табл. 1.4.

2. Для вариантов 1–3 уточненный объемный расчет производится для января, февраля и марта.

3. Для вариантов 4–6 уточненный объемный расчет производится для апреля, мая и июня.

4. Для вариантов 7–9 уточненный объемный расчет производится на июль, август, сентябрь.

5. Для вариантов 10–12 уточненный объемный расчет производится на октябрь, ноябрь, декабрь.

Содержание отчета

1. Цель работы и постановка задачи.

2. Исходные данные в соответствии с вариантом.

3. Этапы решения задачи с выполнением расчетов.

4. Расчетные ведомости по распределению программы на плановый период и предварительных объемных расчетов по цеху.

5. Расчетные ведомости по уточненным расчетам на каждый месяц планового периода в соответствии с вариантом.

6. По результатам расчетов сделать выводы об оптимальности проведенного распределения производственной программы и о том, как будут использоваться мощности на протяжении рассмотренного планового периода.

7. Дать ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Что такое производственная программа?

2. Какова цель построения производственной программы предприятия?

3. Каким требованиям должно удовлетворять распределение номенклатуры и количества различных подлежащих выпуску изделий по отрезкам планового периода?

4. На каком уровне должен устанавливаться объем месячного выпуска изделий и почему?

5. В чем сущность объемных расчетов загрузки производства?

6. Что такое производственная мощность?

7. От каких факторов зависит величина производственной мощности?

8. По каким признакам производится группировка оборудования для оценки мощности?

9. Как проводится уточненный проверочный расчет загрузки по группам оборудования?

Лабораторная работа № 2

РАСЧЕТ РАЗМЕРА ПАРТИИ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

Цель работы

1. Закрепление теоретических знаний по теме «Оперативное планирование серийного производства».
2. Изучение метода определения оптимального размера партий обрабатываемых деталей при различных критериях оптимальности, корректировка оптимальной величины до нормативной в соответствии с принятыми ограничениями.
3. Приобретение практических навыков в формализации подобных задач и их решения как вручную, так и с использованием EXCEL.

Краткие теоретические сведения

В машиностроении преобладают предприятия серийного производства, на которых выпускается более 80 % продукции. Кроме того, серийное производство имеет место на заводах массового и единичного производства. В целом около 90 % деталей машин обрабатывается по методам серийного производства [2]. Особенностью серийного типа производства является изготовление на рабочих местах деталей разных наименований. Для повышения производительности процесса детали обрабатывают партиями. Это обстоятельство обуславливает необходимость периодически переналаживать производственный процесс изготовления деталей.

В переналаживаемом производственном процессе можно выделить неизменяемые базовые элементы, элементы наладки и элементы регулирования или настройки.

К *неизменяемым базовым элементам* процесса относится базовое технологическое оборудование, а также транспортно-накопительные устройства, загрузочно-разгрузочное оборудование, т. е. оборудование без элементов наладки.

К *элементам наладки* относятся технологическая оснастка, в том числе инструмент, захваты и ориентирующие устройства, докумен-

тация технологического, инструментального и информационного обеспечения; специальное программное обеспечение управляющих систем станков с ЧПУ и т. п. Элементы наладки позволяют изменять качественные и количественные характеристики процесса путем замены одних элементов другими в пределах допускаемых базовым технологическим оборудованием.

Чем шире номенклатура изготавливаемых деталей, чем больше диапазон изменения качественных и количественных характеристик процесса, тем шире должен быть состав элементов наладки и тем большее время занимает процесс переналадки при переходе к обработке партий других деталей. Время, затрачиваемое на выполнение работ по переналадке производственного процесса, называется *подготовительно-заключительным* временем и является нормируемым элементом.

К *элементам регулирования* относятся те элементы технологического оборудования и наладки, которые позволяют изменять качественные и количественные характеристики процесса без замены одних элементов другими, только путем регулирования в заданных пределах. Время выполнения работ по регулированию процесса составляет относительно небольшую величину и не нормируется.

Под *партией деталей* понимается количество одинаковых деталей, изготавливаемых непрерывно на одном или нескольких рабочих местах с одной наладки оборудования, т. е. с однократной затратой подготовительно-заключительного времени.

Расчет экономически оптимального размера партии деталей

Размер партии оказывает большое влияние на эффективность изготовления деталей: чем больше партия деталей, тем ниже затраты на их изготовление, и наоборот. Однако с увеличением размера партии растут затраты на хранение деталей в период от момента начала изготовления первой детали партии до момента потребления последней детали партии на сборочной стадии производственного процесса изготовления изделия. Эти противоположные обстоятельства обуславливают определение такого размера партии, который принято называть экономически оптимальным [1].

Экономически оптимальный размер партии деталей соответствует минимальной себестоимости их изготовления и наименьшим

затратам на их хранение. Математически функцию суммарных затрат в общем виде можно представить в виде целевой функции, стремящейся к минимуму:

$$F(n) = A(n) + B(n) + C \rightarrow \min,$$

где A – затраты на переналадку оборудования;

B – затраты, связанные с хранением деталей, и издержки, обусловленные связыванием оборотных средств в составе незавершенного производства;

C – затраты, не зависящие от размера партии деталей и остающиеся постоянными.

Затраты на переналадку оборудования A складываются из двух частей:

во-первых, расходы на заработную плату, основную и дополнительную, плюс отчисления на социальное страхование работников, осуществляющих переналадку оборудования;

во-вторых, затраты, обусловленные простоем оборудования, определяющие стоимость часа простоя оборудования.

Кроме того, следует учесть дополнительные расходы, связанные с адаптацией производственного рабочего к новой работе и возникающие всякий раз при переходе к изготовлению партии деталей другого наименования, поскольку затрачиваемое время на обработку первых экземпляров будет значительно больше, чем последующих. При этом приноравливание производственного рабочего к новой работе сопровождается скрытым простоем оборудования, поскольку оно в это время не используется, и влияет на возможную производительность. Эти суммарные затраты на переналадку оборудования, отнесенные к одной детали партии, находятся в обратной зависимости от n – размера партии деталей. Чем больше партия деталей, тем меньшая величина затрат приходится на одну деталь партии.

Затраты группы B , связанные с хранением деталей, и издержки, обусловленные связыванием оборотных средств в составе незавершенного производства, могут быть определены детально или укрупненно. Ввиду сложности детальных расчетов часто рекомендуется использовать укрупненный метод. В этом случае затраты рассчитываются пропорционально себестоимости деталей C_d с учетом коэффициента u , который характеризует величину начисления

на средства, отвлекаемые в незавершенное производство. Минимальная величина этого коэффициента принимается на уровне банковского процента (0,1–0,14), а максимальная – прибавлением к этой величине нескольких процентов, компенсирующих расходы предприятия на содержание складских помещений. Последнее касается тех случаев, когда межоперационное пролеживание партий деталей осуществляется не на рабочих местах, а в специально приспособленных помещениях. Затраты этой группы находятся в прямой зависимости от размера партии: чем больше партия деталей, тем больше затраты, приходящиеся на одну деталь.

Затраты группы С включают такие статьи расходов, как сырье и материалы; топливо и энергия на технологические цели; основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих; начисления на заработную плату и другие затраты, которые не зависят от размера партии и остаются постоянными в себестоимости детали.

Характерной особенностью рассматриваемой целевой функции является то обстоятельство, что последняя имеет экстремум, точку перегиба, приближаясь к которой целевая функция убывает, достигает минимального значения, а затем начинает возрастать. Используя то обстоятельство, что первая производная функции в точке перегиба равна нулю, можно найти значение объема производства деталей в точке экстремума, которое будем именовать экономически оптимальным размером партии обрабатываемых деталей $n_{\text{опт}}$ (рис. 2.1).

Для расчета экономически оптимальной партии деталей предложено множество формул, отличающиеся степенью детализации расчета вышеперечисленных групп затрат.

При выполнении данного задания можно воспользоваться формулой [3]

$$n_{\text{опт}} = \sqrt{2NA / \gamma C_{\text{д}}},$$

где N – годовая программа производства деталей, шт.;

A – затраты на переналадку оборудования, тыс. руб.;

γ – коэффициент, характеризующий величину начислений на средства, отвлеченные в незавершенное производство, доли единицы;

$C_{\text{д}}$ – себестоимость детали, тыс. руб.

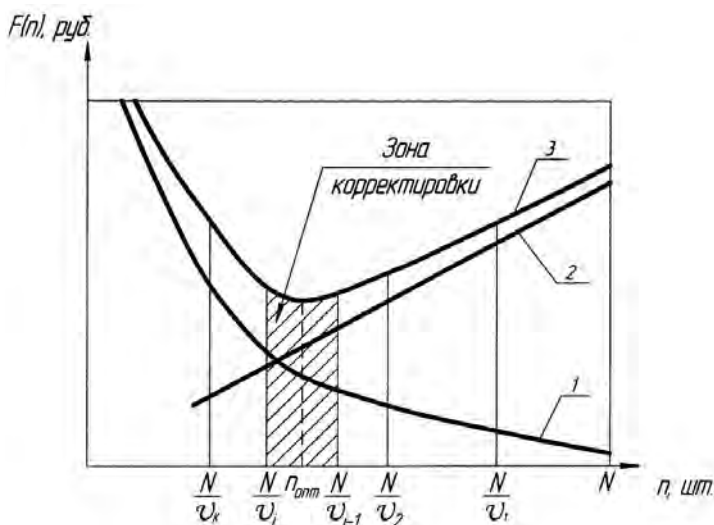


Рис. 2.1. График изменения затрат в зависимости от размера партии деталей:
 1 – затраты на переналадку оборудования; 2 – затраты, связанные с хранением партии деталей; 3 – кривая функции суммарных удельных затрат

Использование для расчета экономически оптимального размера партии деталей простейшей формулы обусловлено тем обстоятельством, что расчетная величина в дальнейшем подлежит корректировке по ряду ограничивающих условий.

Порядок выполнения работы

После получения у преподавателя варианта задания на выполнение лабораторной работы необходимо выполнить следующие действия:

1. Изучить теоретический материал, обратив внимание на следующие понятия:

- экономически оптимальный размер партии деталей;
- состав затрат, формирующих целевую функцию;
- нормативный размер партии деталей;
- перечень ограничений, влияющих на формирование нормативного размера партии деталей;

кратность производственной программе, обеспечение допустимых потерь времени на переналадку оборудования и др.

2. Ознакомиться с примером решения задачи по расчету размера партии деталей.

3. В соответствии с заданным вариантом задания подготовить исходные данные, необходимые для выполнения работы. После проверки преподавателем рассчитать значения S на ЭВМ.

4. Рассчитать экономически оптимальные партии деталей.

5. Представить целевую функцию графически и проанализировать ее, определяя оптимальные размеры партии и границы области ее нахождения.

6. Записать систему ограничений на основе исходных данных.

7. Изобразить на графике соответствующие границы ограничений.

8. Установить нормативные размеры партий деталей.

9. Подготовить отчет о работе.

Методические рекомендации по порядку расчетов

Расчет затрат

Затраты на заработную плату основных рабочих находят отражение в штучно-калькуляционном времени:

$$t_{\text{шт-к}} = t_{\text{шт}} + \frac{t_{\text{п-з}}}{n},$$

где $t_{\text{шт}}$ – штучное время;

$t_{\text{п-з}}$ – подготовительно-заключительное время;

n – величина партии деталей.

Принимая величину $t_{\text{шт}}$ независимой от n , для упрощения модели исключаем ее из рассмотрения. Остается только величина $t_{\text{п-з}}$, которую необходимо выразить в виде затрат. Таким образом, вторая группа затрат представляет собой затраты на наладку оборудования для запуска партии деталей данного наименования. В литературе эту часть производственных затрат в себестоимости деталей несколько расширяют и называют *затраты на подготовку производства партии деталей*, включая в них кроме затрат на переналадку

оборудования стоимость пробных деталей, оформление документации и т. п. Но, учитывая, что эти дополнительные затраты незначительны, ими можно пренебречь. Итак, затраты этой группы в модели будут представлены только затратами на наладку оборудования.

В общем виде затраты на наладку можно выразить заработной платой наладчиков с начислениями:

$$Z_n = t_{n-3} \cdot \text{Ч}_{\text{ср}} \cdot K_n \alpha,$$

где t_{n-3} – подготовительно-заключительное время;

$\text{Ч}_{\text{ср}}$ – средняя часовая тарифная ставка наладчиков данного цеха (участка);

K_n – количество наладчиков;

α – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату наладчиков.

Это будут затраты на запуск одной партии деталей. Затраты на годовую программу в N/n раз больше:

$$Z_{\text{нг}} = (N/n) t_{n-3} \cdot \text{Ч}_{\text{ср}} \cdot K_n \alpha,$$

где N – годовая программа для каждой детали, шт.

Третью группу затрат будут определять расходы, связанные с хранением партии деталей: чем больше партия деталей, тем больше объем незавершенного производства и больше материалов и живого труда «замораживаются» на более длительный срок. Требуется больше складских помещений, следовательно, возрастают затраты на амортизацию площадей склада, отнесенные к единице продукции.

В зависимости от периода времени нахождения деталей в производственном процессе эту группу расходов удобнее рассмотреть в два этапа. Первый этап – нахождение партии деталей в производстве. Второй этап – хранение партии деталей на складе в течение периода ее расходования.

На первом этапе, в процессе производства партии деталей, происходит возрастание величины незавершенного производства по мере затрат живого и общественного труда за время длительности производственного цикла $T_{\text{ц}}$. Незавершенное производство возрастает от величины стоимости материалов M до величины себестои-

мости C деталей партии, т. е. увеличивается на величину Π , которая включает затраты на заработную плату основных рабочих, амортизацию оборудования и другие статьи себестоимости.

Средняя величина незавершенного производства за $T_{ц}$

$$\text{НЗП} = (\Pi/2) + M = (M + C)n/2.$$

На втором этапе, в процессе равномерного потребления партии деталей со склада за время R (периодичность запуска-выпуска), незавершенное производство сокращается до нуля.

Средняя величина незавершенного производства за $T_{ц}$

$$\text{НЗП} = nC/2.$$

Затраты на хранение деталей в отчетной документации предприятия непосредственно не отражают, но их можно установить путем специальных расчетов. Потери от пролеживания, «замораживания» материалов или готовых деталей могут быть измерены прибылью, которую эти материалы могли бы принести за год на каждую условную единицу их стоимости.

Эти потери с известным допущением можно определить на основе нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений (установленного на уровне ставки по депозиту).

Тогда потери от пролеживания деталей определяются как

$$\Pi = ((M + C)T_{ц}/2 + CR/2)N\varepsilon_{ц}/365.$$

Затраты, связанные с использованием производственной площади на первом этапе и площади склада на втором этапе, можно определить по формуле

$$З = Npl_1T_{ц}/365 + N\varepsilon_1RL/(2 \cdot 365H),$$

где p – удельная площадь для хранения, м^2 ;

l_1 – затраты в год по эксплуатации 1 м^2 производственной площади;

ε_1 – вес готовой детали, кг;

L – затраты в год по эксплуатации 1 м^2 склада, у. е.;

H – норма нагрузки на 1 м^2 склада, $\text{кг}/\text{м}^2$.

Можно записать в развернутом виде целевую функцию, выражающую затраты на годовую программу N :

$$S = (N/n)t_{п-з} \cdot Ч_{сп} K_n \alpha + ((M + C)T_{ц}/2 + CR/2)NE_n/365 + \\ + N(pl_1 T_{ц} + \varepsilon_1 RL/(2H))/365 \rightarrow \min^* \quad (2.1)$$

Следует отметить, что в формуле (2.1) величина S не является полной себестоимостью годовой программы. Эта величина отражает только те статьи себестоимости, которые существенно зависят от величины партии.

Формирование ограничений

Используемые в формуле (2.1) величины длительности производственного цикла $T_{ц}$ и периодичность запуска-выпуска R зависят от размера партии n . Данная модель имеет целочисленное решение. Присваивая переменным векторам $T_{ц}$ и R ряд числовых значений в области существования модели, методом полного перебора можно найти минимальное значение S , которому будет соответствовать оптимальное значение n .

Однако величина партии деталей, запускаемой в производство, должна быть равна или кратна производственной программе, а также кратна программе на месяц.

Задаемся нормативным набором числа запусков партии в год: $V_{н1}, V_{н2}, \dots, V_{нj}, \dots, V_{нк}$.

Каждому значению $V_{нj}$ соответствует нормативная величина партии деталей $n_{нj}$, определяемая по формуле

$$n_{нj} = N/(V_{нj}),$$

где N – программа на год, шт.

Нормативная величина партии деталей не должна превышать значения стойкости инструмента, с помощью которого производится обработка данных деталей:

$$n_{ij} \leq N_{ст},$$

где $N_{ст}$ – стойкость инструмента в штуках.

В качестве нормативного набора числа запусков партии в год принимается числовой ряд: 1, 2, 4, 12, 24, 48.

Для каждого значения n_{ij} определяются соответствующие им значения $T_{цj}$ и R_j по формулам

$$T_{цj} = (n_{ij}t_{шт} + t_{п-з}) / (T_{см}k_{см}k_{вн}),$$

где $t_{шт}$ – норма времени, ч/шт.;

$T_{см}$ – продолжительность смены (8 ч);

$k_{см}$ – количество смен (принять две);

$k_{вн}$ – коэффициент выполнения норм (1,2–1,5);

$$R_j = n_{ij} / N_{сут},$$

где $N_{сут}$ – среднесуточная потребность, шт./сут:

$$N_{сут} = N / T_{год},$$

где $T_{год}$ – количество рабочих дней в году (например, 254 дня).

Корректировка экономически оптимального размера партии деталей

При расчете экономически оптимального размера партии на основе целевой функции учесть конкретные организационно-технические условия производства, в которых осуществляется изготовление партий деталей и которые оказывают существенное влияние на размер партии, не представляется возможным. Эти условия будем рассматривать как ограничения, накладываемые на целевую функцию расчета экономически оптимального размера партии по критерию «минимум затрат на изготовление и хранение». Ограничения могут влиять как на увеличение размера партии деталей, так и на его уменьшение. Корректировка вправо или влево по оси абсцисс от точки $n_{опт}$ несущественно увеличивает затраты на изготовление деталей, и ими можно пренебречь, тем более что факторы,

учитываемые при проведении корректировочных расчетов, в свою очередь, могут представлять экономическую целесообразность. После проведения корректировки полученный размер партии будем именовать *нормативным размером*.

Нормативный размер партии деталей – это размер партии, установленный в результате корректировки экономически оптимальной партии в соответствии с ограничениями, определяемыми условиями производства.

В практической деятельности предприятий, в зависимости от особенностей применяемого оборудования, технологической оснастки, стадий производственного процесса, могут использоваться следующие ограничения:

- кратность годовой производственной программе;
- допустимые потери времени на переналадку оборудования;
- стойкость технологической оснастки;
- емкость печей термообработки;
- вместимость поддонов, тары;
- кратность сменной производительности оборудования;
- кратность размеров партий на смежных стадиях производственного процесса.

Кратность годовой производственной программе. Это ограничение можно записать в виде следующего неравенства:

$$\frac{N}{v_{i-1}} \geq n_{\text{норм}} \geq \frac{N}{v_i},$$

где N – годовая программа производства детали.

Каждому размеру партии деталей n соответствует определенное число запусков партий в год v , определяемое по формуле

$$v = N/n.$$

Нормативный набор количества запусков партий в год $v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_k$ задан таким образом, что $v_i > v_{i-1}$. В литературных источниках рекомендуется следующий нормативный ряд чисел запусков партий в год: 1, 2, 4, 12, 24, 36, 72.

Оптимальной партии деталей соответствует оптимальное число запусков партий в год:

$$v_{\text{опт}} = N/n_{\text{опт}}.$$

Тогда нормативная партия деталей должна быть выбрана из следующего ряда:

$$N; N/v_1, N/v_2, \dots, N/v_i, \dots, N/v_k.$$

Разместим этот ряд на оси абсцисс и выделим зону корректировки (см. рис. 2.1). Корректировка ведется в три этапа. На первом этапе проверяется условие $n_{\text{опт}} > N$. Если это условие соблюдается, то принимается $n_{\text{норм}} = N$. Если условие не соблюдается, то переходят ко второму этапу, на котором проверяется условие $n_{\text{опт}} < N/v_k$. Если соблюдается второе условие, то принимается $n_{\text{норм}} = N/v_k$. Если не выполняется второе условие, то переходят к третьему этапу, на котором проверяются условия

$$n_{\text{опт}} > N/v_1, \dots, n_{\text{опт}} > N/v_i, \dots, n_{\text{опт}} > N/v_k,$$

т. е. определяется, в какой из интервалов:

$$[N, N/v_1], \dots, [N/v_{i-1}, N/v_i], \dots, [N/v_{k-1}, N/v_k]$$

попадает значение $n_{\text{опт}}$. Из двух значений интервала $[N/v_{i-1}, N/v_i]$ выбирают ближайшее [4].

Допустимые потери времени на переналадку оборудования. Это ограничение можно записать в виде следующего неравенства:

$$n_{\text{норм}} \geq n_{\text{мин}}.$$

В соответствии с этим ограничением рассчитывается минимальный размер партии по формуле [1]

$$N_{\text{мин}} = (1 - \alpha_n)t_{\text{п-зи}}/\alpha_n t_{\text{шт.}i}, \quad (2.2)$$

где α_n – коэффициент допустимых потерь времени на переналадку оборудования: принимается равным от 0,02 для крупносерийного типа производства до 0,12 – для мелкосерийного и единичного типов производства;

$t_{п-зи}$ – подготовительно-заключительное время на наладку оборудования i -й операции, мин;

$t_{шт.i}$ – штучное время выполнения i -й операции, мин.

Расчет по формуле (2.2) рекомендуется производить в случае возможности выделить из множества операций одну – ведущую – операцию по признаку максимальной длительности.

Стойкость технологической оснастки. Это ограничение можно записать в виде следующего неравенства:

$$n_{\text{норм}} \leq n_{\text{стк}}.$$

Данное ограничение должно использоваться в случае применения технологической оснастки, имеющей ресурс в количестве изготавливаемых деталей $n_{\text{стк}}$. Это могут быть штампы в прессовом или кузнечном производстве, пресс-формы и кокили в литейном. Также должна присутствовать кратность $n_{\text{норм}}$ емкости печей при проведении операций термообработки, вместимости поддонов, тары и других устройств, используемых при транспортировке деталей, сменной производительности оборудования; кратность размеров партий на различных стадиях производственного процесса изготовления изделия.

Варианты исходных данных для выполнения работы

Каждый студент в качестве исходных данных принимает первые четыре строчки колонок табл. 2.1, начиная с номера своей фамилии в списке группы, и строку из табл. 2.2, соответствующую номеру варианта, выданного преподавателем.

Таблица 2.1

Исходные данные по номеру фамилии студента в списке группы

№ студ.	$t_{пз}$, ч/парт.	$t_{шт}$, ч/шт.	N , шт./год	M , тыс. руб./шт.	C , тыс. руб./шт.	ε_1 , кг	P , M^2	α_n	$N_{ст.}$, шт.
1	1,5	0,070	10500	0,150	0,321	0,425	0,0008	0,09	5000
2	3,0	0,120	9500	0,080	0,223	0,850	0,0013	0,08	4000
3	2,0	0,120	8000	0,130	0,305	0,900	0,0015	0,1	1500
4	1,5	0,030	5000	0,200	0,500	1,015	0,0014	0,09	4500
5	4,0	0,140	4000	0,080	0,224	0,720	0,0010	0,08	3500
6	2,5	0,080	3800	0,050	0,153	0,560	0,0009	0,1	900
7	3,0	0,003	1300	0,013	0,062	0,450	0,0007	0,09	2000
8	1,5	0,050	1500	0,015	0,091	0,650	0,0009	0,08	1000
9	2,5	0,102	2000	0,030	0,109	0,700	0,0010	0,1	1800
10	4,5	0,042	4000	0,103	0,208	0,925	0,0013	0,09	3500
11	3,4	0,023	5500	0,112	0,287	0,240	0,0018	0,08	3000
12	2,2	0,012	8900	0,080	0,256	1,120	0,0015	0,1	1500
13	2,0	0,031	9600	0,015	0,335	2,350	0,0019	0,09	3000
14	2,3	0,025	15000	0,013	0,064	0,312	0,0005	0,08	5000
15	4,0	0,013	3800	0,090	0,213	0,915	0,0130	0,1	1000
16	3,0	0,042	2900	0,040	0,122	0,850	0,0009	0,09	2000
17	2,2	0,123	8000	0,055	0,181	0,970	0,0008	0,08	3000
18	1,5	0,030	4900	0,150	0,200	1,150	0,0010	0,1	1000
19	1,8	0,081	6500	0,120	0,403	2,015	0,0018	0,09	2000
20	2,5	0,200	7000	0,122	0,452	1,950	0,0013	0,08	3000
21	4,5	0,110	14000	0,210	0,524	3,016	0,0016	0,1	1000
22	3,0	0,092	20500	0,180	0,355	2,250	0,0015	0,09	5000
23	2,5	0,065	25000	0,130	0,316	1,970	0,0013	0,07	5000
24	1,5	0,024	3600	0,098	0,197	1,015	0,0009	0,12	1800
25	1,8	0,052	9000	0,095	0,198	1,020	0,0010	0,12	4000
26	3,0	0,023	10500	0,080	0,209	2,060	0,0013	0,09	5000
27	4,5	0,110	13000	0,140	0,323	2,020	0,0012	0,08	1000
28	2,5	0,120	12500	0,105	0,354	2,125	0,0014	0,1	3000
29	2,0	0,080	8000	0,099	0,182	1,014	0,0009	0,09	3000
30	1,5	0,030	5000	0,065	0,141	0,930	0,0008	0,08	1000

Таблица 2.2

Исходные данные по вариантам

№ варианта	$Ч_{ср}$, тыс. руб./ч	α	K_n , чел.	L , тыс. руб./год	l_1 , тыс. руб./год	H , $кТ/м^2$	E_n
1	0,600	1,3	2	9,5	13,4	2500	0,15
2	0,638	1,3	1	10,0	10,5	3000	0,15

№ варианта	$Ч_{\text{ср}}$, тыс. руб./ч	α	K_n , чел.	L , тыс. руб./год	l_1 , тыс. руб./год	H , кт/м ²	E_n
3	0,600	1,4	3	8,7	15,6	1500	0,15
4	0,630	1,3	4	12,0	20,4	1000	0,15
5	0,670	1,3	1	10,0	15,0	2500	0,15
6	0,576	1,3	1	9,5	10,0	1500	0,15
7	0,600	1,3	3	8,5	22,4	3000	0,15
8	0,640	1,4	2	10,0	13,0	2500	0,15
9	0,600	1,3	4	11,4	18,5	1500	0,15
10	0,550	1,4	1	10,2	12,0	3000	0,15

Выбранные из табл. 2.1 и 2.2 исходные данные представляют собой входную информацию в программе расчета на ЭВМ значений величин S_j . Результаты расчета выдаются в виде табл. 2.3.

Таблица 2.3

Пример вывода расчетных данных

Количество запусков в год			1	2	4	12	24	48	96
Деталь	Программа	Партия	14400	7200	3600	1200	600	300	150
31	14400	Затраты	246,3	127,4	72,2	54,1	77,7	140	272,2
Деталь	Программа	Партия	7500	3750	1875	625	312	156	78
32	7500	Затраты	151,7	82	53,2	61,1	103,6	197,9	391
Деталь	Программа	Партия	6000	3000	1500	5000	250	125	62
33	6000	Затраты	68,3	44,1	41,7	83,9	159,9	315,9	629,9
Деталь	Программа	Партия	12800	6400	3200	1066	533	266	133
34	12800	Затраты	142,2	78,2	53,2	67,7	118,1	227,6	450,8

Содержание отчета

Отчет о лабораторной работе оформляется в соответствии с общими требованиями.

Проанализировав полученные расчетные значения n_{nj} и S_j , студент устанавливает размер партии запуска. Выбирается такое значение n_{nj} , которому соответствует минимальное значение S_j с учетом ограничения по стойкости инструмента.

Для каждой детали графически представляется функция $F(n_{ij}; S)$ и производится анализ полученных графиков с определением оптимального размера партии детали и границ области, в которой он находится.

Отчет содержит:

1. Исходные данные, оформление в виде таблиц (см. табл. 2.1 и 2.2).
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Порядок расчета параметров, зависящих от размера партии.
4. Выходную таблицу (см. табл. 2.3).
5. График функции $F(n_{ij}; S)$ по каждой детали.
6. Выводы по определению границ изменения размеров партий деталей и определение на их основе нормативной величины партии деталей каждого из наименований.

Контрольные вопросы

1. Какова главная или основная причина, вызывающая необходимость периодически перенастраивать производственный процесс в серийном типе производства?
2. Какие элементы относятся к неизменяемым базовым элементам процесса?
3. Какие элементы относятся к элементам наладки?
3. Какие элементы относятся к элементам регулирования?
4. Дайте определение партии деталей.
5. Поясните понятие «экономически оптимальный размер партии деталей».
6. Какие группы затрат формируют целевую функцию для расчета экономически оптимального размера партии деталей?
7. Поясните понятие «нормативный размер партии деталей».
8. Какие ограничения используются при расчете нормативного размера партии деталей?
9. Составьте пошаговый алгоритм определения нормативного размера партии деталей.

Лабораторная работа № 3

РАСЧЕТ ОПЕРЕЖЕНИЙ ЗАПУСКА И ВЫПУСКА ДЕТАЛЕЙ

Цель работы

1. Закрепление теоретических знаний по сущности и структуре календарного плана, а также приобретение навыков по расчету календарно-плановых нормативов: длительности изготовления деталей, опережения запуска и выпуска партий деталей.
2. Приобретение практического навыка построения графиков запуска-выпуска партий изделий при их обработке.

Краткие теоретические сведения

Под *опережением* понимается время начала или окончания предыдущих операций по отношению к последующим. Оно характеризует отрезок времени, на который необходимо заранее осуществить запуск и выпуск деталей.

Решение задачи заключается в расчете длительности изготовления деталей и определении количества дней опережения запуска и выпуска относительно начала сборки изделия.

В ходе решения задачи строится технологический график изготовления деталей и сборочных единиц, входящих в изделие. Начиная с максимального номера операции, рассчитывается время начала и окончания выполнения каждой операции (в сутках).

При расчете начало сборки изделия $O_{зсб}$ принимается равным нулю. Расчет цикла изготовления ведется последовательно на все детали и сборочные единицы, начиная с минимальной ступени вхождения.

Минимальная ступень вхождения – это сборочная единица, входящая непосредственно в изделие.

Трудоемкость изготовления детали-операции

$$T_{oi} = \frac{nt_{шт-к.i}}{T_{см} K_c K_B}, \text{ сут.},$$

где n – количество деталей или сборочных единиц;

$t_{шт-к.i}$ – штучно-калькуляционное время на выполнение одной операции, мин;

$T_{см}$ – продолжительность смены, мин;

K_c – число смен в сутки;

K_v – коэффициент выполнения норм.

Этапы определения опережений

1. Определяется опережение выпуска для максимального номера операции

$$O_{vi \max} = O_{zi}^{сб},$$

где $O_{zi}^{сб}$ – опережение начала сборки для сборочных единиц с минимальной степенью вхождения.

Для последующих ступеней вхождения $O_{zi}^{сб}$ – опережение запуска сборочной единицы предыдущей ступени вхождения, куда входит рассматриваемая деталь.

2. Определяется опережение выпуска для номера операции $i_{\max-1}, \dots, i_{\min}$:

$$O_{vi} = O_{zi}^n + пр,$$

где O_{zi}^n – опережение запуска предыдущего номера операции, ч;

пр – межоперационное пролеживание, принимаемое в размерах, кратных одной смене, 1/2 смены, на каждый межоперационный интервал.

3. Определяется опережение запуска:

$$O_{zi} = O_{vi} + T_{oi},$$

где O_{vi} – опережение выпуска рассматриваемой операции.

4. После расчета опережений на операции определяется опережение запуска и выпуска деталей:

$$O_{zj} = O_{zi}^{\min},$$

где O_{zi}^{\min} – опережение запуска минимального номера операции рассматриваемой детали.

Определяется опережение выпуска максимального номера операции i_{\max} для рассматриваемой детали:

$$O_{vj} = O_{vi}^{\max}.$$

O_{zi} и O_{vj} округлить до целых чисел.

5. Далее по календарю, относительно даты начала сборки, определяются даты запуска и выпуска деталей, при этом учитываются только рабочие дни.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методическими указаниями и условными примерами решения задачи.

2. Провести расчеты опережений на основе следующих данных:

а) о входимости деталей в изделие и технологические данные обработки деталей (табл. 3.1);

б) о выполнении норм выработки (табл. 3.2).

Таблица 3.1

Данные о входимости деталей в изделие и технологические данные обработки деталей

Вариант	Изделие	Деталь, сборочная единица	Степень входжения	Куда входит	Кол-во деталей	Номер операции	Наименование операции	Штучно-калькуляционное время на операцию, мин	Кол-во смен	Продолжительность смены, мин	Дата начала сборки изделия
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	A	010	1	A	15	1	Слесарная	480	1	480	05.03.2014
						2	Сверлильная	62	1	480	
						3	Слесарная	520	1	480	
		011	2	010	30	1	Токарная	90	2	480	

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
						2	Фрезерная	136	2	480	
						3	Сверлильная	190	2	480	
		012	1	А	40	1	Фрезерная	190	2	480	
						2	Сверлильная	60	2	480	
						3	Шлифовальная	62	2	480	
						4	Сверлильная	54	2	480	
		013	2	010	50	1	Револьверная	90	2	480	
						2	Токарная	242	2	480	
						3	Сверлильная	115	2	480	
						4	Шлифовальная	116	2	480	
2	Б	020	1	Б	10	1	Слесарная	582	1	480	22.04.2014
						2	Сверлильная	131	1	480	
						3	Слесарная	598	1	480	
		021	2	020	20	1	Фрезерная	310	2	480	
						2	Сверлильная	131	2	480	
							Шлифовальная	115	2	480	
		030	1	Б	20	1	Сверлильная	112	1	480	
						2	Слесарная	592	1	480	
		031	2	030	36	1	Револьверная	150	2	480	
						2	Сверлильная	60	2	480	
						3	Токарная	121	2	480	
						4	Шлифовальная	116	2	480	
		032	1	Б	20	1	Револьверная	119	2	480	
						2	Токарная	72	2	480	
3	А	010	1	А	50	1	Слесарная	610	1	480	05.06.2014
						2	Слесарная	600	1	480	
		014	2	010	50	1	Револьверная	60	2	480	
						2	Токарная	131	2	480	
						3	Фрезерная	116	2	480	
						4	Сверлильная	72	2	480	
		015	1	А	100	1	Револьверная	115	2	480	
						2	Токарная	150	2	480	
						3	Фрезерная	120	2	480	
		016	2	010	100	1	Фрезерная	156	2	480	
						2	Сверлильная	72	2	480	
						3	Строгальная	220	2	480	
						4	Слесарная	30	2	480	
4	А1	100	1	А1	20	1	Слесарная	620	1	480	08.08.2014
						2	Сверлильная	210	1	480	
						3	Слесарная	540	1	480	
		101	2	100	20	1	Фрезерная	240	2	480	
						2	Строгальная	220	2	480	
						3	Сверлильная	120	2	480	

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
						4	Координатно-расточная	300	1	480	
		102	3	101	40	1	Револьверная	70	2	480	
						2	Сверлильная	30	2	480	
		103	1	A1	80	1	Револьверная	110	2	480	
						2	Токарная	130	2	480	
						3	Фрезерная	240	2	480	
						4	Сверлильная	70	2	480	
		104	2	100	80	1	Токарная	120	2	480	
						2	Фрезерная	140	2	480	
						3	Сверлильная	72	2	480	
5	B1	200	1	B1	10	1	Слесарная	540	1	480	04.09.2014
						2	Шлифовальная	120	1	480	
						3	Слесарная	520	1	480	
		201	2	200	20	1	Строгальная	200	2	480	
						2	Фрезерная	150	2	480	
						3	Сверлильная	120	2	480	
						4	Шлифовальная	72	2	480	
		202	2	200	40	1	Револьверная	120	2	480	
						2	Токарная	130	2	480	
						3	Фрезерная	142	2	480	
						4	Сверлильная	64	2	480	
6	01 A	020	1	01A	15	1	Слесарная	540	1	480	04.06.2014
						2	Слесарная	420	1	480	
		021	2	020	30	1	Фрезерная	220	2	480	
						2	Шлифовальная	152	2	480	
						3	Слесарная	64	2	480	
		022	2	020	60	1	Револьверная	58	2	480	
						2	Токарная	116	2	480	
						3	Сверлильная	30	2	480	
						4	Шлифовальная	118	2	480	
7	Г1	10Г	1	Г1	15	1	Слесарная	510	1	480	09.09.2014
						2	Фрезерная	122	1	480	
						3	Слесарная	520	1	480	
		101	2	10Г	30	1	Токарная	142	2	480	
						2	Зубофрезерная	156	2	480	
						3	Сверлильная	24	2	480	
						4	Шлифовальная	68	2	480	
		102	1	Г1	15	1	Строгальная	256	2	480	
						2	Фрезерная	302	2	480	
						3	Сверлильная	144	2	480	
						4	Шлифовальная	130	2	480	
		104	3	101	60	1	Револьверная	112	2	480	
						2	Токарная	121	2	480	
						3	Сверлильная	48	2	480	

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8	01Б	10Б	1	01Б	10	1	Слесарная	520	1	480	09.06.2014
						2	Слесарная	540	1	480	
		010	2	10Б	20	1	Строгальная	322	2	480	
						2	Фрезерная	341	2	480	
						3	Шлифовальная	119	2	480	
		011	2	10Б	40	1	Фрезерная	504	2	480	
						2	Сверлильная	121	2	480	
						3	Координатно-расточная	420	2	480	
						4	Шлифовальная	118	2	480	
		012	1	01Б	10	1	Токарная	302	2	480	
						2	Токарная	401	2	480	
						3	Сверлильная	118	2	480	
						4	Шлифовальная	121	2	480	
9	A10	110	1	A10	12	1	Слесарная	510	1	480	03.04.2014
						2	Слесарная	520	1	480	
		111	1	A10	12	1	Строгальная	402	2	480	
						2	Фрезерная	385	2	480	
						3	Сверлильная	122	2	480	
						4	Шлифовальная	156	2	480	
		112	2	110	36	1	Токарная	202	2	480	
						2	Револьверная	121	2	480	
						3	Сверлильная	58	2	480	
						4	Шлифовальная	61	2	480	
		113	2	110	48	1	Револьверная	122	2	480	
						2	Токарная	118	2	480	
						3	Шлифовальная	102	2	480	
10	1БА	110	1	1БА	20	1	Слесарная	501	1	480	05.06.2014
		111	2	110	40	1	Револьверная	150	2	480	
						2	Токарная	121	2	480	
						3	Шлифовальная	119	2	480	
		112	2	110	40	1	Фрезерная	128	2	480	
						2	Слесарная	60	2	480	
						3	Сверлильная	54	2	480	
						4	Шлифовальная	62	2	480	
		113	3	111	40	1	Револьверная	132	2	480	
						2	Токарная	118	2	480	
						3	Шлифовальная	63	2	480	
		114	1	1БА	20	1	Строгальная	242	2	480	
						2	Фрезерная	254	2	480	
						3	Шлифовальная	123	2	480	
11	10А	010	1	10А	10	1	Слесарная	502	1	480	18.09.2014
						2	Фрезерная	485	1	480	
						3	Слесарная	562	1	480	

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		001	2	010	20	1	Токарная	240	2	480	
						2	Токарная	185	2	480	
						3	Шлифовальная	114	2	480	
		002	1	10А	10	1	Слесарная	620	1	480	
						2	Сверлильная	118	1	480	
						3	Слесарная	162	1	480	
		003	2	010	20	1	Строгальная	252	2	480	
						2	Фрезерная	171	2	480	
						3	Сверлильная	56	2	480	
						4	Шлифовальная	88	2	480	
12	10Г	020	1	10Г	10	1	Слесарная	624	1	480	24.07.2014
						2	Сверлильная	168	1	480	
						3	Слесарная	690	1	480	
		021	2	020	10	1	Строгальная	690	2	480	
						2	Фрезерная	168	2	480	
						3	Сверлильная	84	2	480	
						4	Координатно-расточная	768	1	480	
		022	2	020	20	1	Токарная	204	2	480	
						2	Токарная	168	2	480	
		023	1	10Г	40	1	Фрезерная	168	2	480	
						2	Фрезерная	114	2	480	
						3	Сверлильная	66	2	480	
						4	Шлифовальная	48	2	480	

Таблица 3.2

Данные о выполнении норм выработки

Наименование операции	Коэффициент выполнения норм
Токарная	1,05
Фрезерная	1,08
Револьверная	1,02
Сверлильная	1,12
Шлифовальная	1,07
Строгальная	1,01
Зубофрезерная	1,20
Слесарная	1,04
Координатно-расточная	1,10

3. Построить график запуска деталей в производство и определить опережение выпуска деталей.

4. Результаты расчетов занести в таблицу по форме табл. 3.3.

Результаты расчета оформить в виде табл. 3.3.

Таблица 3.3

Пример заполнения таблицы (вариант 14)

Изделие	Дата начала сборки	Код детали сборочной единицы	Кол-во дней опережения выпуска	Кол-во дней опережения запуска	Дата выпуска	Дата запуска
10	24.07.20104	020	0	32	24.07.2014	19.06.2014
		021	32	53	19.06.2014	24.05.2014
		022	32	57	19.06.2014	11.06.2014
		023	0	18	24.07.2014	03.07.2014

Пример расчета

(вариант 14, деталь 20)

Определение трудоемкости по операциям:

$$T_1 = \frac{nt_{\text{штк.}i}}{T_{\text{см}} K_c K_B} = \frac{10 \cdot 624}{480 \cdot 1 \cdot 1,04} = 12,5 \text{ сут.};$$

$$T_2 = \frac{nt_{\text{штк.}i}}{T_{\text{см}} K_c K_B} = \frac{10 \cdot 168}{480 \cdot 1 \cdot 1,12} = 3,1 \text{ сут.};$$

$$T_3 = \frac{nt_{\text{штк.}i}}{T_{\text{см}} K_c K_B} = \frac{10 \cdot 690}{480 \cdot 1 \cdot 1,04} = 13,8 \text{ сут.}$$

Определение опережений запуска и выпуска:

$$O_{B3} = O_3^{\text{об}} = 0;$$

$$O_3 = B_3 + T_3 = 0 + 13,8 = 13,8 \text{ сут};$$

$$O_{B2} = O_{B3} + \text{пр} = 13,8 + 1 = 14,8 \text{ сут};$$

$$O_{32} = O_{B3} + T_2 = 14,8 + 3,1 = 17,9 \text{ сут};$$

$$O_{B1} = O_{32} + \text{пр} = 17,9 + 1 = 18,9 \text{ сут};$$

$$O_{31} = O_{B1} + T_1 = 18,9 + 12,5 = 31,4 \text{ сут}.$$

Определение опережений запуска и выпуска детали:

$$O_{B20} = 0, \quad O_{320} = 32 \text{ сут}.$$

Определение даты запуска и выпуска:

$$D_{\text{вып}20} = 24.07.2014; \quad D_{\text{зап}20} = 19.06.2014.$$

График запуска и выпуска деталей представлен на рис. 3. 1.

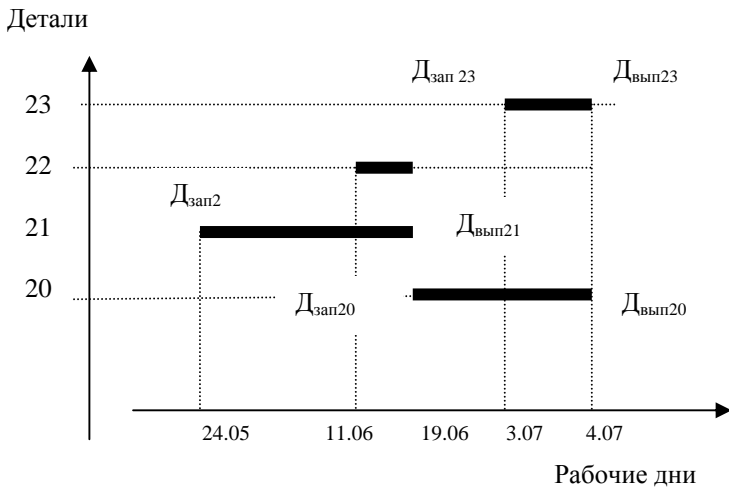


Рис. 3.1. График запуска и выпуска деталей

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Исходные данные по варианту.
4. Порядок расчета по соответствующему варианту.
5. График опережений.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое календарно-плановые нормативы (КПН)?
2. Перечислите КПН серийного производства.
3. Что такое опережение запуска-выпуска?
4. От каких величин зависит величина опережения?
5. В чем измеряется величина опережения запуска-выпуска?
6. Как определить длительность операционного цикла?
7. Как соотносятся между собой опережения запуска и выпуска?
На какую величину они отличаются друг от друга?

Лабораторная работа № 4

РАСЧЕТ КАЛЕНДАРНОГО ГРАФИКА ЗАПУСКА-ВЫПУСКА ДЕТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Цель работы

1. Закрепление теоретических знаний по оперативно-календарному планированию серийного производства.
2. Изучение методов построения календарных графиков запуска-выпуска деталей и приобретение практических навыков расчетов с использованием таблиц EXCEL.

Краткие теоретические сведения

Внутрицеховое оперативно-календарное планирование – завершающий этап оперативно-производственного планирования. Его целью является согласование во времени и пространстве частичных производственных процессов. Согласование во времени – это установление календарных сроков запуска и выпуска деталей в соответствии с заранее намеченными условиями. Согласование в пространстве означает определение рабочих мест для выполнения отдельных операций технологического процесса. Эти цели достигаются разработкой календарных графиков изготовления деталей по рабочим дням планового периода и по рабочим местам, а также выдачей сменно-суточного задания.

Проблема составления оптимальных планов-графиков серийного производства давно привлекает внимание математиков и экономистов. Она возникает в связи с тем, что очередность запуска заготовок или деталей в обработку оказывает влияние на степень загрузки оборудования и общую длительность производственного цикла. Решение задачи в общем виде затруднено из-за множества возможных вариантов, увеличивающихся прогрессивно с ростом числа изделий и оборудования. Центральной проблемой при формировании календарных графиков серийного производства является различие трудоемкости технологических операций при изготовлении деталей, что приводит к затруднениям при практическом размещении плана производства работ на конкретном составе оборудования.

Проиллюстрируем сказанное на примере.

Пусть необходимо сформировать график обработки деталей двух наименований на поточной линии, состоящей из двух станков.

Данные о трудоемкости операций при обработке деталей приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Трудоемкость операций при обработке деталей

Шифр детали	Трудоемкость операции при обработке деталей на станках, дни	
	А	В
Д ₁	5	6
Д ₂	2	3

Для приведенного примера возможны два варианта очередности запуска деталей – Д₁Д₂ и Д₂Д₁.

На рис. 4.1 в масштабе представлены графики изготовления деталей, соответствующие вариантам очередности.

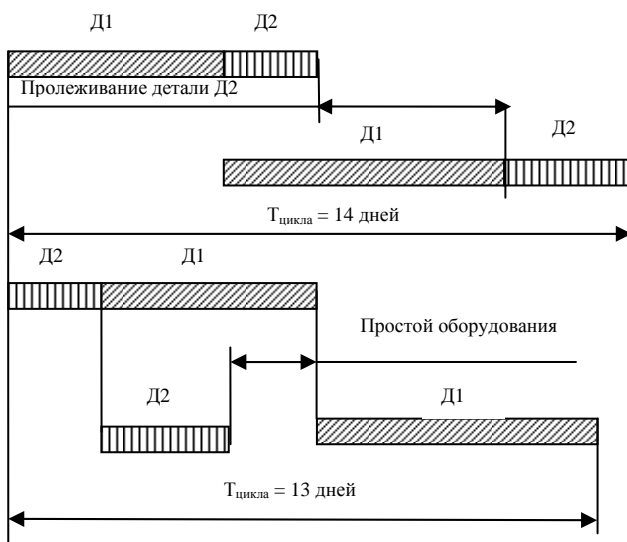


Рис. 4.1. Графики изготовления деталей

Из графиков видно, что различный порядок запуска деталей существенно влияет на загрузку станков и продолжительность цикла изготовления деталей. Очевидно, что наиболее эффективным вариантом будет запуск деталей в последовательности D_2D_1 .

В приведенном случае оптимальное решение найдено методом прямого перебора вариантов очередности. Однако с увеличением количества деталей и станков расчет усложняется, поскольку резко возрастает число возможных комбинаций очередности их исполнения. Например, для составления оптимального расписания работ для 20 деталей необходимо проанализировать примерно $2,43^{18}$ вариантов графика, что затруднительно даже при условии использования современных вычислительных средств. Для решения подобных задач рекомендуется использовать приближенные методы, основанные, как правило, на использовании математического программирования. Особое место занимают эвристические методы решения задачи календарного планирования. Главной особенностью таких методов является учет конкретных производственных условий, выбор критериев оценки качества календарного графика и формирование набора формальных правил, обеспечивающих получение заданного результата. Рассмотрим один из эвристических методов решения задачи. Метод может быть использован для расчета графиков запуска партий деталей в кузнечных цехах, на участках и в цехах производства стандартных изделий, на автоматах, в цехах получения деталей методами литья под давлением и т. п., где процесс производства хотя и включает несколько операций, но среди них можно выделить одну ведущую. При этом производственный процесс рассматривается как однооперационный.

Формализация задачи

При решении задачи учитываются следующие условия:

1. Все детали в течение планируемого периода жестко закреплены за определенной группой взаимозаменяемого оборудования.
2. В данный момент на рабочем месте обрабатывается только партия деталей данного наименования.
3. Партия деталей обрабатывается без повторного захода и перерывов. Критерием качества графика является максимальное удовлетворение потребляющих подразделений деталями и обеспечение

ритмичности их работы путем поддержания необходимого уровня межцеховых заделов.

Последовательность включения деталей в график устанавливается путем определения функции предпочтения (F_i). Из очереди деталей, ожидающих обработки, для запуска выбирается та, по которой имеется наименьший задел или что то же – наименьшая разность между величинами фактического и нормативного опережений:

$$F_i = O_{\phi i} - O_{ni}, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

где $O_{\phi i}$ – фактическое опережение запуска i -й детали, дни;

O_{ni} – нормативное опережение запуска i -й детали, дни;

m – количество наименований деталей.

Фактическое опережение запуска $O_{\phi i}$ рассчитывается на основании данных о фактическом заделе $Z_{\phi i}$ на момент расчета графика и среднесуточного расхода деталей N_{ci} в течение планируемого периода:

$$O_{\phi i} = \frac{Z_{\phi i}}{N_{ci}};$$

$$N_{ci} = \frac{N_i}{K_p},$$

где N_i – количество деталей i -го наименования, которое необходимо изготовить в планируемом периоде, шт.;

K_p – количество рабочих дней в планируемом периоде.

$$N_i = N_{\text{пл}i} - (Z_{\phi i} - Z_{ni}),$$

где $N_{\text{пл}i}$ – план сдачи i -х деталей в планируемом периоде, шт.;

Z_{ni} – норма задела по детали i , шт.

Деталь с наименьшим значением функции F_i запускается в обработку на j -м оборудовании с наиболее ранней датой высвобождения.

В случае равенства значений F у нескольких деталей в обработку запускается та, длительность цикла которой является наибольшей.

Поскольку в группе несколько единиц взаимозаменяемого оборудования, первоочередной запуск партии деталей с максимальной длительностью цикла создает возможность параллельной обработки деталей с одинаковой функцией предпочтения. Повышается вероятность того, что пока на данном станке идет обработка запущенной партии, высвободится другой станок группы.

После закрепления детали за оборудованием для нее производится пересчет функции:

$$F_i' = F_i + R_i,$$

где R_i – периодичность запуска/выпуска партии i -х деталей, дни.

Деталь помещается в очередь на обработку в соответствии с новым значением функции F_i' . Одновременно рассчитывается дата D_{vj} высвобождения j -го оборудования:

$$D_{vj} = D_{zi} + T_{ци},$$

где D_{zi} – дата запуска детали i ;

$T_{ци}$ – длительность цикла обработки партии i -х деталей, дни.

Перед каждым закреплением детали за оборудованием проверяется условие

$$N_{плi} \geq n_i V_i,$$

где n_i – размер партии i -х деталей;

V_i – количество запусков партий i -х деталей.

Если условие не выполняется, i -я деталь исключается из очереди.

Цикл повторяется до тех пор, пока не останется ни одной единицы оборудования с датой высвобождения в планируемом периоде, т. е. $D_{vj} \geq K_p$.

После того, как график сформирован, проверяются, соответствует ли количество назначенных к запуску деталей плановому.

Порядок выполнения работы

1. Каждому студенту получить исходные данные (любые 10 строк из табл. 4.2, заданные преподавателем).

Таблица 4.2

Исходные данные для формирования графика обработки деталей

Номер детали	$N_{пл}$, шт.	Z_n , шт.	$Z_{ф}$, шт.	R , дни	T_n , дни	n , шт.
1	2	3	4	5	6	7
1	1700	212	250	8	6	567
2	9000	1125	1000	12	10	4500
3	4500	562	500	12	9	2250
4	3500	437	600	12	8	1750
5	20000	2500	2600	24	20	20000
6	3000	375	400	12	10	1500
7	1300	162	130	8	6	433
8	4300	537	600	24	22	4300
9	3300	412	300	24	20	3300
10	1500	187	200	12	8	750
11	3700	337	500	12	10	1350
12	2100	262	300	12	6	1050
13	1500	187	200	8	4	500
14	1400	175	150	8	6	407
15	25000	3125	1000	24	78	25000
16	15000	1875	1500	24	16	15000
17	8000	1000	1500	24	15	8000
18	3700	462	500	12	10	1850
19	1900	237	228	8	4	633
20	17000	2125	2000	24	10	17000
21	6500	812	800	24	12	6500
22	7000	875	900	24	12	7000
23	3700	462	400	12	8	1850
24	3900	487	500	12	6	1950
25	10300	1287	1300	24	15	10300
26	7500	937	950	24	17	7500
27	8300	1037	1500	24	14	8300

Окончание табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7
28	1500	187	200	8	2	500
29	2200	275	200	12	6	1100
30	3600	450	100	12	8	1800
31	1200	150	200	8	4	400
32	3300	412	400	12	8	1650
33	4000	500	600	24	15	4000
34	15000	1875	2000	24	13	15000
35	7000	875	800	24	20	7000
36	4500	562	300	12	6	2250
37	3000	375	600	12	4	1500
38	12000	1500	1500	24	18	12000
39	2500	312	400	12	10	1250
40	5000	625	3000	24	14	5000

2. Подготовить входную информацию для ввода по форме, представленной в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Входная информация и результаты промежуточных расчетов

Номер детали	$N_{пл}$, шт.	$Z_{ц}$, шт.	$Z_{ф}$, шт.	R , дни	$T_{ц}$, дни	N_i , шт.	$O_{\Phi i}$, дн.	F_i	F'_i

3. После проверки преподавателем ввести информацию в расчетные формулы таблицы EXCEL.

4. Результаты расчета представить в виде таблицы (табл. 4.4).

5. По результатам вычислений необходимо построить календарный график запуска-выпуска деталей (рис. 4.2) и проанализировать его.

6. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 4.4

Результаты расчетов в соответствии с графиком

Номер детали	Номер станка	Дата начала обработки	Дата окончания обработки
31	1	18	21
	4	23	26
32	1	22	29
	4	1	8
33	2	7	21
34	1	5	17
35	3	1	20
36	2	1	6
	3	21	26
37	1	1	4
	4	19	22
38	5	1	18
39	2	22	31
	4	9	19
40	–	–	–

Но- мер станка	Рабочие дни, месяца																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29			
1	37				34													31				32										
2	36						33												39													
3	35																				36											
4	32								39											37				31								
5	38																	31				36										

Рис. 4.2. Календарный график запуска деталей

Пример расчета

Для углубленного изучения алгоритма формирования календарного графика рассмотрим порядок расчета вручную. Исходные данные приведены в табл. 4.2.

Пусть необходимо сформировать календарный график запуска-выпуска деталей № 31–40.

Шаг 1. Определяем значения функции:

$$N_{31} = 1200 - (200 - 150) = 1150 \text{ шт.};$$

$$N_{с31} = \frac{1150}{24} = 48 \text{ шт.};$$

$$O_{ф31} = \frac{200}{48} = 4,17 \text{ шт.};$$

$$F_{31} = 4,17 - 6 = -1,83.$$

Аналогично определяем остальные значения F_i .

Заносим результаты в табл. 4.3 и определяем очередность запуска деталей.

В соответствии с очередностью закрепляем деталь 37 за станком 1 и определяем дату его высвобождения:

$$D_1 = 0 + 4 = 4.$$

Заносим результат в календарный график (табл. 4.5) и результаты расчетов в соответствии с графиком – в таблицу (см. табл. 4.4).

Шаг 2. Определяем новое значение функции:

$$F'_{37} = -8,10 + 12 = 3,90.$$

Формируем новую очередность деталей.

Далее, действуя аналогично шагу 1, помещаем результаты расчетов в табл. 4.3, 4.4 и рис. 4.2.

За 16 шагов получаем календарной график запуска-выпуска деталей на заданный период.

На каждом из шагов проверяется условие (4.1). Детали, по которым условие не выполняется, исключаются из очереди, а соответствующие графы табл. 4.4 не заполняются.

Полученный календарный график (см. рис. 4.2) обеспечивает выпуск деталей № 31, 33, 37, 38 в количестве, предусмотренном планом.

По деталям № 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39 план может быть выполнен, но в полном объеме деталь № 40 к запуску не назначена.

Недовыполнение плана по ряду деталей свидетельствует о наличии дефицита фонда времени оборудования.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Исходные данные, оформленные в виде таблицы (см. табл. 4.2).
4. Последовательность расчета по деталям.
5. Таблица вводных данных и результатов расчета (см. табл. 4.3).
6. Календарный график запуска-выпуска деталей, оформленный в виде таблицы (см. табл. 4.4).
7. Результаты расчетов по итогам разработанного календарного графика (см. рис. 4.2).
8. Выводы.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается внутрицеховое планирование?
2. Какие подразделения выполняют этапы внутрицехового планирования?
3. В связи с чем возникает проблема определения очередности запуска разноименных партий деталей в обработку?
4. В чем суть эвристических методов решения задачи календарного планирования?
5. Сформулируйте задачу последовательности включения деталей в график.
6. Что означает функция предпочтения?

Лабораторная работа № 5

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НОМЕНКЛАТУРЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ЦЕХА ПО ГРУППАМ ОБОРУДОВАНИЯ

Цель работы

1. Закрепление теоретических знаний по оперативно-производственному планированию на машиностроительном предприятии.
2. Приобретение практических навыков по выполнению объемных расчетов на стадии разработки производственных заданий цехами и участками.

Основные теоретические сведения

Управление производственными процессами на современном машиностроительном предприятии требует решения большого числа задач, среди которых объемные расчеты занимают одно из центральных мест. Сущность таких расчетов заключается в определении соответствия планируемого объема работ, рассчитанного на основе плана производства и пропускной способности оборудования, которым располагают цехи и участки, и сопоставлении этих расчетов.

В результате такого сопоставления выявляются как резервы производственных мощностей, так и «узкие» места в производстве.

Обычно календарные расчеты являются важной предпосылкой для решения задач по оптимальному распределению номенклатуры программы цеха по группам производственного оборудования.

Задача выбора оптимального варианта распределения номенклатуры производственной программы цеха по отдельным группам оборудования является типичной задачей линейного программирования, и поэтому ее решение основывается на использовании общеизвестных моделей оптимального планирования.

При наличии в цехе взаимозаменяемого оборудования различной производительности производственную программу необходимо так распределить между отдельными группами оборудования, чтобы время на обработку было минимальным и при этом обеспечивалась бы максимальная загрузка каждого станка.

Прежде чем приступить к выполнению объемных расчетов, все оборудование цеха необходимо сгруппировать как по признаку однородности выполняемых технологических операций, так и по сходству основных параметров.

Должны учитываться только те потери рабочего времени, которые носят неизбежный характер, и только в минимальных размерах.

Также правильно следует выбрать время и единицу измерения загрузки оборудования:

для станков – станко-час;

для кузнечно-прессовых машин – молоточас;

для площадей – квадратный метр на час.

Необходимость группировки оборудования обычно возникает только в условиях серийного и единичного производства.

Исходными данными для объемных расчетов и распределения номенклатуры изделий по группам оборудования, как правило, являются: фонд времени работы оборудования и рабочих в планируемом периоде;

производственная программа на соответствующий период;

наличный парк оборудования, площадей и численность рабочих;

действующий техпроцесс, содержащий данные о последовательности выполнения операций, технологические нормы времени на выполнение операций, степень их выполнения.

В общем виде задача выбора оптимального варианта распределения изделий по группам оборудования формулируется следующим образом.

Необходимо так распределить номенклатуру изделий по группам оборудования, чтобы обработка производилась с минимальными затратами времени и при этом обеспечивалась максимальная загрузка станков каждой группы.

Экономико-математическая модель задачи данного типа имеет следующий вид:

$$L(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} x_{ij} \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^n a_{ij}x_{ij} \leq A_j \quad (j = 1, 2, \dots, m);$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = B_i \quad (i = 1, 2, \dots, n);$$

$$x_{ij} > 0.$$

Значения величин, входящих в целевую функцию:

n – количество деталей, обрабатываемых на j -й группе оборудования;

m – количество групп оборудования;

a_{ij} – нормы времени обработки изделия i -го вида на j -м оборудовании;

A_j – фонд времени работы j -го вида оборудования;

B_i – программа выпуска изделия i -го вида.

Порядок выполнения работы

После окончания ознакомления с методическими указаниями по данной работе получить у преподавателя допуск на выполнение работы и индивидуальное задание.

Исходная информация для построения приведенной экономико-математической модели представлена в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Исходные данные (пример)

Группа станков	Месячный фонд времени, ч	Трудоемкость обработки партий деталей, ч							
		К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	К8
А	60	20	15	10	5	10	5	12	5
Б	70	5	10	15	10	8	9	8	20
В	62	10	5	8	5	3	6	4	10
Итого	192	35	30	33	20	21	20	24	35

Количество групп оборудования m ($j = 1, 2, 3, \dots, m$).

Рассмотрим конкретные данные по трем группам оборудования, которые приводятся в табл. 5.1.

Партии деталей К₁ и К₂ считаются обязательной номенклатурой для обработки в данном месяце. Остальная номенклатура является выборочной, из которой могут выбираться детали для данного месяца.

Если включать в обработку в данном месяце детали первых пяти партий, то в этом случае загрузка оборудования группы А составит

$$\frac{20+15+10+5+10}{60} \cdot 100 = 100 \%;$$

группы Б

$$\frac{5+10+15+10+8}{70} \cdot 100 = 68,6 \%;$$

группы В

$$\frac{10+5+8+5+3}{62} \cdot 100 = 50 \%.$$

Средняя загрузка всего оборудования

$$\frac{35+30+33+20+21}{192} \cdot 100 = 72,4 \%.$$

Однако это не оптимальный вариант. Для отыскания оптимального варианта необходимо произвести расчеты, которые можно вести с помощью табл. 5.2.

Таблица 5.2

Распределение деталей по группам оборудования (пример)

Этапы решения	Фонд времени, ч	Трудоемкость, ч								Остаток фонда времени, ч
		К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	К8	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	60	20	15	10	5	10	5	12	5	25
	70	5	10	15	10	8	9	8	20	55
	62	10	5	8	5	3	6	4	10	47

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	–	–	–	$10^{2,5}$	5^5	$10^{2,5}$	5^5	$12^{2,1}$	5^5	20
	–	–	–	$15^{3,7}$	$10^{5,5}$	$8^{6,9}$	$9^{6,1}$	$8^{6,9}$	$20^{2,7}$	35
	–	–	–	$8^{3,9}$	$5^{9,4}$	$31^{5,7}$	$6^{7,8}$	$4^{11,7}$	$10^{4,7}$	37
Разность		–	–	–	4,04	13,2	2,8	9,6	2,3	–
3	–	–	–	10^2	5^4	10^2	5^4	$12^{1,7}$		15
	–	–	–	$15^{2,3}$	$10^{3,5}$	$8^{4,6}$	$9^{3,8}$	$8^{3,4}$	–	26
	–	–	–	$8^{4,6}$	$5^{7,4}$	$3^{12,3}$	$6^{6,2}$	$4^{9,2}$	–	31
Разность		–	–	–	3,9	10,3	2,4	7,55	–	–
4	–	–	–	–	5^3	$10^{1,5}$	–	$12^{1,2}$	–	5
	–	–	–	–	$10^{2,6}$	$8^{3,2}$	–	$8^{3,2}$	–	11
	–	–	–	–	$5^{6,2}$	$3^{10,3}$	–	$4^{7,7}$	–	23
Разность		–	–	–	3,6	8,6	–	–	–	–
5	–	–	–	–	$5^{1,0}$	$10^{0,5}$	–	$12^{0,4}$	–	–
	–	–	–	–	$10^{1,1}$	$8^{1,4}$	–	$8^{1,4}$	–	1
	–	–	–	–	$5^{4,6}$	$3^{7,7}$	–	$4^{3,7}$	–	18
Разность		–	–	–	–	–	–	–	–	–

Порядок вычислений и выбор изделий номенклатуры производится в следующей последовательности.

На первом этапе вычислений в программу обработки включаются изделия обязательной номенклатуры (в нашем примере это изделия K_1 и K_2). Фонд времени, необходимый для их обработки, исключается из фонда времени каждой группы оборудования. Остаток фонда указывается в последней графе расчетной таблицы по каждой группе оборудования.

На втором этапе вычислений сначала в левую часть расчетной таблицы (см. табл. 5.2) в столбец фонда времени переносится оставшийся фонд времени по каждой группе оборудования. Затем определяются частные от деления остатков фонда времени каждой группы оборудования на соответствующую трудоемкость обработки каждой партии деталей, не включенной в программу обработки. Результат записывается в правом верхнем углу каждой клетки, соответствующей данной группе оборудования и данному изделию. Например, для детали партии K_3 частные будут 2,5; 3,7; 5,9. После нахождения частных по всем группам оборудования определяют разность частных по каждой партии изделий. Для этого из большего

частного вычитается меньшее, и результат заносится в итоговую строку против соответствующего изделия (партии). Наконец, путем сопоставления полученных разностей определяют наименьшую из них. В нашем примере такой является разность 2,3, соответствующая партии K_8 . Отсюда следует, что партия деталей K_8 исключается из выборочной номенклатуры и заносится в программу для обработки в данном месяце.

Третий этап вычисления аналогичен второму с той лишь разницей, что фонд времени работы оборудования теперь уменьшается на время, необходимое для обработки партии изделий K_8 .

В результате вычислений, проведенных на этом этапе, определяется следующий комплект деталей, который имеет наименьшую разность (в нашем примере это K_6).

Четвертый и пятый этапы вычислений аналогичны второму и третьему. Вычисления на этих этапах позволяют определить остальные комплекты деталей для включения их в обработку в данном месяце. В нашем примере это партии K_3 и K_4 , которые имеют наименьшие значения разностей на своих этапах.

По результатам произведенных расчетов определяется оптимальный вариант, который может быть представлен в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Оптимальный вариант программы цеха

Группа оборудования	Располагаемый фонд времени	Закрепление изделий по группам оборудования к очередной обработке						Загрузка	
		K_1	K_2	K_8	K_6	K_3	K_4	н-ч	в %
А	60	20	15	5	5	10	5	60	100
Б	70	5	10	30	9	15	10	69	100
В	62	10	5	10	6	8	5	44	71
Итого	192	35	30	35	20	33	20	173	90

Это оптимальный вариант программы цеха (участка), обеспечивающий максимальную загрузку оборудования.

В процессе вычислений у двух комплектов (партий) наименьшая разность значений частных может оказаться одинаковой. Предпочте-

ние следует отдавать тому комплекту, который имеет наибольшую суммарную трудоемкость обработки на всех группах оборудования.

В столбцах, имеющих частные меньше единицы, разность не определяется, так как они не оказывают влияния на выбор номенклатуры изделий, подлежащих включению в обработку.

На первом этапе вычислений обязательная номенклатура может содержать более двух комплектов изделий, количество групп оборудования и количество комплектов также могут быть больше, чем в рассмотренном примере.

Варианты исходных данных для выполнения работы

Работу по оптимальному распределению изделий номенклатуры по оборудованию необходимо выполнить при одних и тех же исходных данных (табл. 5.4) методом наименьших разностей.

Таблица 5.4

Исходные данные к работе по вариантам
(выбираются по 10 номенклатурных позиций, указанных преподавателем)

Вариант	Группы оборудования						Трудоемкость обработки комплектов (ч)						
	Располагаемый фонд времени						Комплект деталей	А	Б	В	Г	Д	Итого
А	Б	В	Г	Д	Итого								
1	50	30	40	70	40	230	К ₁	10	5	10	15	5	45
2	60	20	30	70	50	230	К ₂	15	5	5	20	10	55
3	70	50	40	60	40	260	К ₃	10	10	15	5	5	45
4	80	40	50	70	40	280	К ₄	20	5	10	15	5	55
5	40	90	30	50	50	260	К ₅	5	30	5	10	5	55
6	30	70	40	60	70	270	К ₆	10	15	5	15	10	55
7	20	60	70	70	50	270	К ₇	5	10	15	15	5	50
8	70	50	60	80	40	300	К ₈	10	5	10	20	5	50
9	50	60	70	90	40	310	К ₉	15	20	25	25	10	95
10	30	70	80	50	40	270	К ₁₀	5	10	15	10	10	50
11	40	60	30	70	80	280	К ₁₁	10	15	5	15	15	60
12	70	30	50	60	80	290	К ₁₂	15	5	20	15	20	75
13	60	50	40	70	60	280	К ₁₃	20	10	5	15	10	60
14	50	60	30	80	40	260	К ₁₄	15	20	5	20	10	70
15	30	70	50	60	50	260	К ₁₅	5	15	10	15	10	55
16	20	60	70	70	70	290	К ₁₆	5	15	15	15	15	65

Содержание отчета

1. Ответы на контрольные вопросы.
2. Исходные данные для выполнения работы (см. табл. 5.4), выданные преподавателем.
3. Условие задачи и метод ее решения.
4. Схема расчетной таблицы, составленной по форме, приведенной в методических указаниях.
5. Исходный (неоптимальный) вариант производственной программы.
6. Ход вычислений по каждому этапу с использованием расчетной таблицы.
7. Таблица оптимального варианта производственной программы.
8. Краткие выводы и обоснование оптимального плана.
9. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте задачу выбора оптимального варианта распределения номенклатуры производственной программы цеха по отдельным группам оборудования.
2. Опишите задачу выбора оптимального варианта с помощью экономико-математической модели.
3. Сформулируйте критерий оптимизации целевой функции.
4. Перечислите исходные данные для решения оптимизации плана производства изделий.
5. Кратко сформулируйте порядок определения оптимальной программы цеха (участка), обеспечивающей максимальную загрузку оборудования.

Лабораторная работа № 6

РАЗРАБОТКА КАЛЕНДАРНЫХ ПЛАНОВ ОБРАБОТКИ ПАРТИЙ ДЕТАЛЕЙ

Цель работы

1. Закрепление теоретических знаний по теме «Разработка календарных планов обработки партии деталей. Внутрицеховое планирование».

2. Изучение постановки и решения задач оптимизации календарного планирования на основе использования методов математического программирования на короткие плановые периоды времени при разном количестве рабочих мест и при обработке объектов производства партиями; приобретение практических навыков в формализации подобных задач и их решения вручную.

Краткие теоретические сведения

Оперативно-производственное планирование на предприятии содержит два важнейших этапа: этап календарного планирования и этап оперативного регулирования в реальном масштабе времени.

На этапе календарного планирования для каждого производственного подразделения предприятия (группы станков, участка, цеха) разрабатывается календарный план на короткий период времени. Целью календарного планирования является разработка расписания последовательности выполнения отдельных операций или работ, в котором содержатся даты запуска, даты выпуска партий деталей, другие события технологического маршрута. Как правило, расписание разрабатывается на месяц. На основе расписания формируются сменно-суточные задания на очередные рабочие дни.

По мере реализации календарного плана, в результате осуществления функции контроля, система оперативного управления получает данные о фактически имеющихся возмущениях и их последствиях – отклонении текущего хода производства от запланированного. Когда эти отклонения выходят за пределы допустимого, необходимо регулировать ход производства, т. е. осуществлять управляющие воздействия в виде решения об использовании резервов ресурсов или их перераспределении. Данная работа посвящена

рассмотрению вопросов и подготовке решений на первом этапе – этапе календарного планирования.

Прежде всего рассмотрим, какие организационно-производственные условия были почвой, на которой возникла задача оптимизации календарных планов. Речь, по сути, идет о производствах, в которых номенклатура обрабатываемых деталей изменяется практически в каждом плановом периоде или изменяется количество обрабатываемых деталей в заказе при неизменной номенклатуре. Эти условия характерны для цехов и участков единичного и мелкосерийного типов производства. Вместе с тем в условиях массового типа производства можно встретить группы станков, на которых обрабатываются малотрудоемкие детали, изготовление которых ведется партиями, при этом запуск партий в производство осуществляется по потребности, т. е. нет надобности устанавливать их регулярную периодичность. Таким образом, цех, участок или группа станков, работающие по заказам, могут присутствовать в различных типах производства.

Задача оптимизации календарного планирования выглядит следующим образом. Имеется определенный набор заказов, каждый из которых связан с изготовлением определенной позиции номенклатуры в рамках плана производства деталей на конкретный период. Состав и структура номенклатуры и количественные значения деталей конкретной позиции номенклатуры должны быть определены на предыдущих этапах планирования.

Выполнение i -го заказа будем называть процессом, состоящим из конкретного количества операций. Под *операцией* будем понимать наименьшую структурную единицу процесса, выполняемую в рамках одного рабочего места над одним объектом или одной передаточной партией деталей. Операции могут быть основные, вспомогательные и обслуживающие. При выполнении основных операций происходит изменение размеров, формы, свойств или контроль состояния объекта производства.

Вспомогательными операциями являются:

транспортирование передаточной партии деталей со склада к рабочему месту, от одного рабочего места к другому;

переналадка оборудования на обработку партии деталей другого наименования.

Календарный план составляется в виде расписания выполнения основных операций, привязанных к конкретным рабочим местам.

При этом длительность выполнения вспомогательных операций отдельно не рассматривается, время их выполнения включается в длительность выполнения основной операции.

Для выполнения совокупности заказов производственная система располагает некоторым множеством ресурсов. В качестве ресурсов выступают средства материального обеспечения (станки, приспособления, инструмент), производственный персонал соответствующей квалификации, энергетическое и информационное обеспечение. Главным и единственным ресурсом при календарном планировании рассматривается рабочее место, обеспеченное всем необходимым набором остальных ресурсов.

Необходимо составить такую календарную последовательность выполнения запланированных заказов, которая оптимизировала бы или позволяла получить близкие к оптимальным значения показателя, определяемых в качестве критериев оптимизации. *Оптимальное решение* – это определение таких значений переменных, при которых целевая функция в рамках ограничений, заданных моделью, достигла бы максимума или минимума. При этом все задания, включенные в план производства, должны быть выполнены.

Приступая к рассмотрению задачи, отметим, что в основе ее решения лежат теория расписаний и теория очередей с приоритетами, поэтому необходимо ознакомиться с используемой терминологией и характерными элементами подобных задач.

Несколько передаточных партий деталей одного наименования в плановом периоде рассматриваются как один заказ, выполняемый в виде нескольких передаточных партий. Такое положение возникает всякий раз, когда периодичность запуска-выпуска партий деталей меньше продолжительности планового периода. При решении задачи календарного планирования на последовательность выполнения операций над передаточными партиями одного наименования никаких ограничений не накладывается.

Критерий оптимальности. Критерий оптимальности представляет собой показатель эффективности, на который не наложены ограничения. Для рассматриваемой задачи одним из первых был сформулирован критерий «минимальная календарная продолжительность выполнения плана». В англоязычной литературе – total schedule time; schedule completion time.

В защиту этого критерия свидетельствует то, что он позволяет сократить календарную длительность выполнения заказов.

Для того чтобы оценивать расписание, вторым наиболее важным показателем является коэффициент загрузки оборудования, который характеризует эффективность использования станков и представляет собой отношение длительности занятости станков выполнением заданий к общему времени, когда станки доступны и могут быть использованы. Расписание определяет расположение интервалов простоев каждого станка и их общую продолжительность, что и будет влиять на оценку расписания.

Задача Джонсона. Задача Джонсона является одной из первых математических работ по календарному планированию в единичном и мелкосерийном производстве, а ее результаты просты и эффективны. Она формулируется следующим образом.

«Имеется n изделий, которые должны пройти обработку сначала на одной операции (на одном станке), а затем – на второй. Каждую операцию можно выполнить только на одном станке. Одновременно на станке может обрабатываться только одно изделие» [2].

Для формального описания задачи возьмем $2n$ констант A_i и B_i , $i = 1, 2, \dots, n$. Пусть A_i – сумма подготовительно-заключительного и времени длительности цикла обработки партии для i -й детали на первом станке, а B_i – на втором. Будем искать оптимальный вариант плана запуска деталей в производство, который минимизирует суммарную календарную длительность обработки всех деталей.

Существует простое правило выбора решения по критерию минимум «календарная продолжительность выполнения плана», которое можно представить в виде следующей последовательности шагов.

1. Записать A и B в две колонки.

i	A_i	B_i
1	A_1	B_1
2	A_2	B_2
\dots	\dots	\dots
n	A_n	B_n

2. Просмотреть все продолжительности обработки и найти среди них наименьшую.

3. Если она относится к A_1 (к первому станку), деталь в графике расположить первой.

4. Если деталь относится к B_2 (т. е. ко второму станку), расположить соответствующую деталь последней.

5. Повторить эти шаги в отношении оставшихся деталей. Таким образом мы продвигаемся с обеих сторон графика к его середине.

6. Если попадают равные числа A_i и B_i , то деталь с меньшим нижним индексом располагается первой.

Для иллюстрации метода приводим упрощенный пример.

i	A_i	B_i
1	3	4
2	4	1
3	7	4
4	5	8
5	2	2
6	1	2

Правило дает оптимальную последовательность (6, 5, 1, 4, 3, 2). На рис. 6.1 приведен график очередности обработки партий деталей при последовательном виде движения.

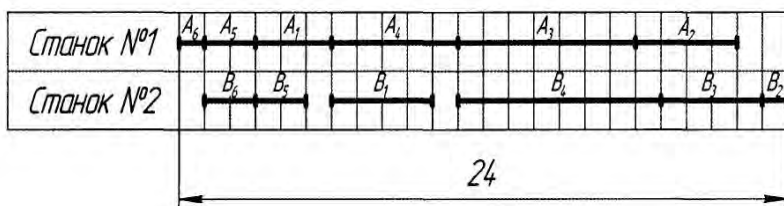


Рис. 6.1. График обработки n деталей ($n = 6$) на двух станках

Общее время задержек для такой очередности составляет 5 нормо-ч, что соответствует коэффициенту загрузки оборудования 89,6 % ($43 \cdot 100/48 = 89,6$ %). Любой другой вариант последовательности обработки будет хуже, что можно проверить, построив другие варианты.

Алгоритм В. А. Петрова. Математическая формулировка задачи формулируется следующим образом. В производственном плане некой производственной системы (участка, линии) имеется n партий деталей d_i ($i = 1, 2, \dots, n$), обрабатываемых на m рабочих местах m_j ($j = 1, 2, \dots, m$) с одинаковыми или однонаправленными (с пропуском отдельных операций) технологическими маршрутами. Обработка партий деталей строится по методу последовательного вида движения партий деталей по операциям технологического процесса, т. е. каждая последующая операция начинается только после окончания изготовления всей партии деталей на предыдущей операции.

Заданы трудоемкости обработки i -й партии деталей на j -м рабочем месте, т. е.

$$t_{ij} = n_i t_{штij} + t_{п-зij},$$

где t_{ij} – трудоемкость обработки i -й партии деталей на j -м рабочем месте, ч;

n_i – размер i -й партии деталей, шт.;

$t_{штij}$ – штучное время, нормо-ч;

$t_{п-зij}$ – подготовительно-заключительное время, нормо-ч.

Совокупность трудоемкостей обработки представлена в виде следующей матрицы:

$$A = \begin{pmatrix} t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1j}, \dots, t_{1m} \\ t_{21}, t_{22}, \dots, t_{2j}, \dots, t_{2m} \\ \dots \\ t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{ij}, \dots, t_{im} \\ \dots \\ t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nj}, \dots, t_{nm} \end{pmatrix}.$$

Критерием целевой функции является минимум совокупной длительности цикла обработки заданного множества партий деталей $T_{цс}$.

Вследствие различной трудоемкости выполнения операций в загрузке станков могут возникать либо пролеживания партий деталей в ожидании высвобождения станков для последующих операций (t_{Moj}), либо перерывы в работе этих станков в ожидании поступления партий деталей с предшествующей операции ($t_{перij}$), что отражено на рис. 6.2.

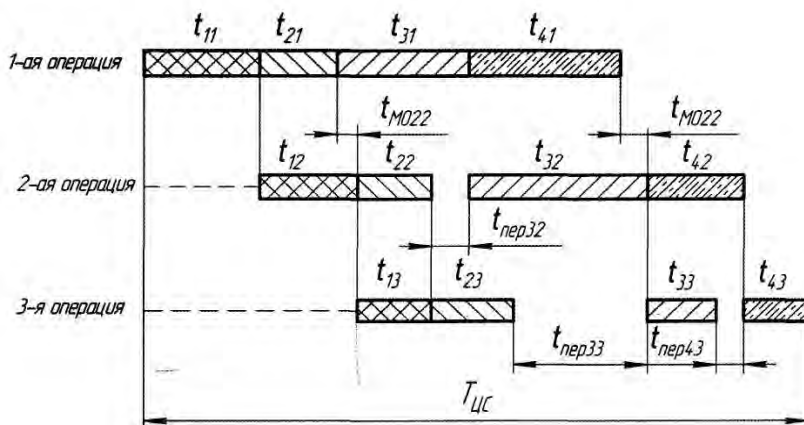


Рис. 6.2. График обработки партий деталей ($i = 4$) с одинаковыми технологическими маршрутами

Время совокупной длительности цикла обработки заданного множества партий деталей $T_{цс}$, согласно графику, может быть выражено следующей зависимостью:

$$T_{цс} = \sum_{j=1}^{m-1} t_{ij} + \sum_{i=1}^n t_{im} + \sum_{i=1}^{n-1} t_{нперi}$$

В соответствии с условием задачи целевая функция может быть записана в следующем виде:

$$T_{цс} = \sum_{j=1}^{m-1} t_{1j} + \sum_{i=1}^n t_{im} + \sum_{i=1}^{n-1} t_{нперi} \rightarrow \min.$$

Для решения задачи В. А. Петровым предложен алгоритм, суть которого состоит в следующем. Матрица пооперационных трудоемкостей обработки партий деталей для количества станков три и более делится по количеству операций на две равные части. При нечетном количестве станков средний столбец матрицы относится как к первой, так и ко второй половинам матрицы. Определяются суммы трудоемкостей обработки по первой и второй половинам матрицы, которые соответственно обозначим через P_{i1} и P_{i2} [3].

При четном числе операций

$$P_{i1} = \sum_{j=1}^{m/2} t_{ij}$$

и

$$P_{i1} = \sum_{j=(m/2)+1}^m t_{ij}.$$

При нечетном числе операций

$$P_{ij} = \sum_{j=1}^{(m+1)/2} t_{ij}$$

и

$$P_{i2} = \sum_{j=(m+1)/2}^m t_{ij}.$$

Определяется разность сумм трудоемкости обработки по операциям второй и первой частей матрицы

$$\lambda_i = P_{i2} - P_{i1}.$$

По рассчитанным значениям P_{i1} , P_{i2} и λ_i формируются четыре подоптимальных варианта очередности обработки изделий в соответствии со следующими правилами:

Правило 1. Из множества партий деталей первыми в обработку запускаются детали с неотрицательными параметрами λ_i , распо-

лагаемые в порядке возрастания суммарной трудоемкости их обработки по операциям первой половины матрицы P_{i1} , и вторыми – детали с отрицательным значением λ_i , располагаемые в порядке уменьшения суммарной трудоемкости их обработки по операциям второй половины матрицы P_{i2} . При равенстве P_{i1} и P_{i2} раньше запускаются изделия с большим параметром λ_i .

Правило 2. Детали запускаются в обработку в порядке уменьшения разности сумм трудоемкостей партий по операциям второй и первой частей λ_i . При равенстве положительных λ_i раньше запускаются детали с меньшим P_{i1} . При равенстве отрицательных λ_i раньше запускаются детали с большим P_{i2} .

Правило 3. Правило формулируется аналогично первому, но предусматривает упорядочение деталей в очереди в пределах подмножеств деталей сначала со значением $\lambda_i > 0$, затем $\lambda_i = 0$ и наконец $\lambda_i < 0$.

Правило 4. В первую очередь запускаются детали с $\lambda_i > 0$ парами. В каждой паре первой в очередь включается деталь с наибольшей трудоемкостью обработки в матрице P_{i2} , а подбираемая к ней вторая деталь – с наименьшей трудоемкостью обработки в первой части матрицы P_{i1} . Вторую и третью очереди составляют детали с $\lambda_i = 0$ и $\lambda_i < 0$, которые запускаются такими же парами.

По указанным правилам формируются четыре модели календарного плана обработки, пример которых приведен на рис. 6.3.

Для анализа графика воспользуемся показателями, которые характеризуют, во-первых, эффективность использования оборудования, во-вторых, соблюдение принципов организации производства.

Для оценки использования оборудования во времени рассчитаем коэффициент внутрициклового загрузки j -го станка, который определим как отношение суммарной трудоемкости запланированных операций на данном станке к фактической занятости станка выполнением операций по варианту очередности:

$$k_j = \sum_{i=1}^n t_{ij} / \left(\sum t_{im} + \sum t_{перим} \right).$$

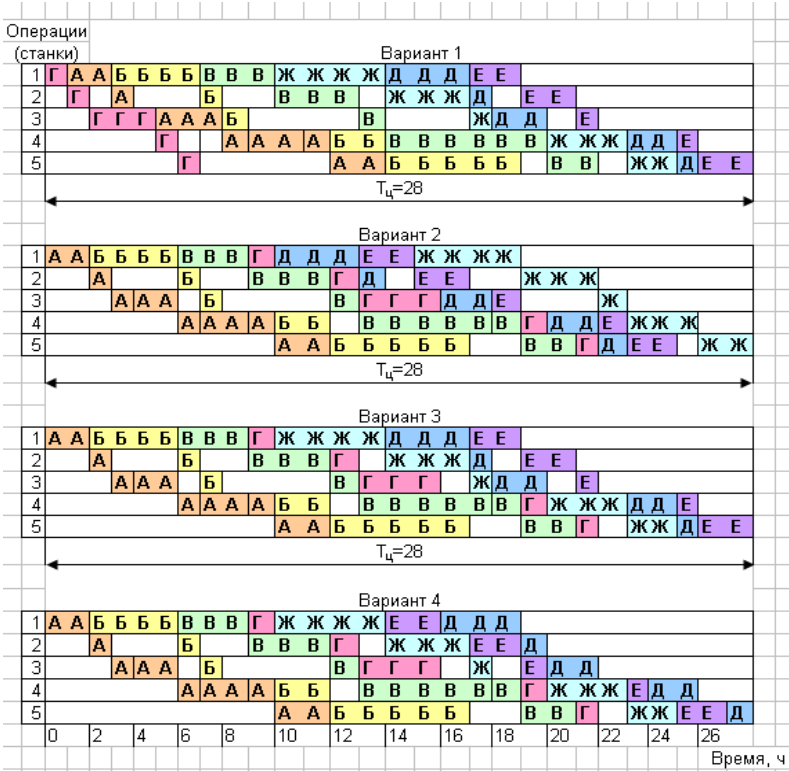


Рис. 6.3. Варианты календарных графиков обработки

С точки зрения соблюдения принципов организации производственных процессов определим коэффициент непрерывности, который характеризует долю перерывов между последовательными технологическими операциями обработки партии деталей в длительности производственного цикла. Коэффициент непрерывности определяется как отношение трудоемкости партии к длительностью цикла технологического процесса по формуле

$$k_i = \sum_{j=1}^m t_{ij} / \left(\sum t_{im} + \sum t_{перим} \right).$$

После построения вариантов графиков очередности произведем расчет коэффициентов внутрициклового загрузки станков и коэффициентов непрерывности обработки партий деталей.

Вариант с минимальной продолжительностью совокупной длительности цикла обработки $T_{\text{цс}}$ принимается в качестве календарного плана.

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя вариант задания, ознакомиться с исходными данными, представленными в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Расчетная таблица

Изделия	Трудоемкость обработки по операциям, ч						P_{i1}	P_{i2}	λ_i	Подоптимальные варианты очередности обработки			
	1	2	3	4	5	Итого				I	II	III	IV
А	2	1	3	4	2	12	6	9	3	2	1	1	1
Б	4	1	1	2	5	13	6	8	2	3	2	2	2
В	3	3	1	6	2	15	7	9	2	4	3	3	3
Г	1	1	3	1	1	7	5	5	0	1	4	4	4
Д	3	1	2	2	1	9	6	5	-1	6	5	5	7
Е	2	2	1	1	2	8	5	4	-1	7	6	6	6
Ж	4	3	1	3	2	13	8	6	-2	5	7	7	5
Итого	19	12	12	19	15	77							

2. Изучить теоретический материал, обратив особое внимание на следующие понятия: календарное планирование; цель календарного планирования; критерий оптимальности; задача для n деталей и двух станков; задача для n деталей и m станков.

3. Ознакомиться с примером решения задачи по расчету размера партии деталей.

4. В соответствии с заданным вариантом задания подготовить исходные данные, необходимые для выполнения работы.

5. Составить график обработки партий деталей по алгоритму А. В. Петрова для четырех вариантов очередности.

Пример

На участке обрабатываются семь изделий на пяти станках. Исходные данные и результаты определения подоптимальных вариантов приведены в табл. 6.1.

По каждому из вариантов строится календарный график обработки (см. рис. 6.3).

Для анализов графиков рассчитываются длительности цикла, коэффициенты непрерывности работы оборудования (загрузка) и обработки партий деталей, количество внутрицеховых простоев. Результаты заносятся в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Расчет коэффициентов

Вариант	Длительность цикла, ч	Коэффициент загрузки оборудования						Коэффициент непрерывности обработки								Число внутрицикловых простоев
		по операциям					на участке в среднем	по деталям						по заказу в среднем		
		1	2	3	4	5		А	Б	В	Г	Д	Е		Ж	
I	28	1	0,6	0,6	0,9	0,68	0,75	0,92	0,81	1	1	0,75	0,73	0,87	0,87	11
II	28	1	0,6	0,6	0,95	0,83	0,79	1	0,87	1	0,54	0,64	0,67	1	0,82	10
III	28	1	0,63	0,63	0,95	0,83	0,81	1	0,87	1	0,54	0,75	0,67	0,81	0,81	11
IV	28	1	0,67	0,63	0,95	0,83	0,82	1	0,87	1	0,54	0,69	0,61	0,81	0,79	10

Коэффициенты непрерывности обработки всего заказа и изделий ($K_{н.з}$ и $K_{н.и}$) и загрузка оборудования по операциям ($K_{з.о}$) и в среднем при выполнении заказа ($K_{з.и}$) определяются по формулам:

$$K_{н.з} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m t_{ij}}{\sum_{i=1}^k T_{цi}}$$

и

$$K_{цj} = \frac{\sum_{j=1}^m t_j}{T_{цi}}$$

$$K_{3j} = \frac{\sum_{i=1}^k t_i}{T_{цj}}$$

и

$$K_{3.0} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m t_{ij}}{\sum_{j=1}^m T_{цj}}$$

где $T_{цi}$ – длительность календарного цикла обработки i -й детали по графику;

$T_{цj}$ – длительность календарного цикла работы оборудования на j -й операции при выполнении заказа (определяется по графику).

Число внутрицикловых перерывов работы оборудования определяется по графику (см. рис. 6.3).

Варианты исходных данных для выполнения работы

Исходные данные по формированию последовательности обработки партий деталей на станках с однонаправленными технологическими маршрутами приведены в табл. 6. 3.

Таблица 6.3

Исходные данные для расчета по вариантам

Изделия	Трудоемкость обработки в часах по операциям							
	1	2	3	4	5	6	7	8
А	1	3	1	2	4	5	1	4
Б	3	2	1	4	5	6	7	3
В	2	3	4	5	6	1	1	3
Г	3	1	2	4	5	1	3	5
Д	3	4	2	4	1	2	4	1
Е	6	5	6	1	3	2	1	6
Ж	1	6	1	2	3	5	4	2
И	2	2	4	2	1	6	1	4

Варианты заданий формируются по табл. 6.3 и предусматривают обработку шести изделий на участке в составе пяти станков (структура исходных данных задается по вариантам преподавателем).

Содержание отчета

1. Исходные данные в табличной форме.
2. Итоги решения задачи в виде графика.
3. Расчеты коэффициентов использования оборудования.
4. Обоснование принятого решения.

Контрольные вопросы

1. Какова цель календарного планирования производства?
2. На какие периоды времени разрабатываются календарные планы?
3. Как называется документ, выражающий итоги календарного планирования?
4. Дайте краткую формулировку задачи Джонсона.
5. Дайте краткое пояснение алгоритма А. В. Петрова.
6. Назовите критерий оптимизации решения задачи календарного планирования.

Лабораторная работа № 7

ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ ПРОИЗВОДСТВА

Цель работы

1. Ознакомиться с системой планирования материальных потребностей производства – material requirements planning (MRP) – и изучить такие понятия, как:

- зависимый спрос;
- входные параметры системы MRP;
- функционирование системы MRP;
- выходные параметры системы MRP;
- законы построения циклового графика.

2. Научиться:

- выполнять календарно-плановые расчеты на основе производственного расписания и структуры изделия;
- строить укрупненный цикловой график в заданных условиях ограничений;
- по графику определять длительность производственного цикла.

Краткие теоретические сведения

Когда спрос на продукт вытекает из планов производства определённых изделий, говорят, что имеется зависимый спрос.

Зависимый спрос – это потребность в продукте, который представляет собой заготовку или составную часть для использования в производстве конечного продукта.

Планирование материальных потребностей производства – это система на основе компьютерной базы данных, которая разработана для управления и планирования производственных запасов зависимого спроса (т. е. сырьевых материалов, запчастей и сборочных узлов). План производства определённого количества конечной продукции «переводят на язык запросов» на компоненты и сырьевые материалы, используя производственные данные, чтобы определить, когда и сколько заказывать.

Первичные входные данные системы MRP

Первичными входными параметрами для MRP являются:

- 1) контрольный график, определяющий, сколько потребуется продукта и когда;
- 2) список материалов, определяющих состав конечного продукта;
- 3) информация о производственных ресурсах, определяющая количество материальных запасов.

Контрольный график

Контрольный график (в отечественных аналогах – производственное расписание) – один из трёх основных входных параметров MRP, определяющий вид конечного продукта, его количество и срок производства. В табл. 7.1 изображён фрагмент контрольного графика.

Таблица 7.1

Пример контрольного графика

Изделие/ количество	Недели							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>X</i>				100				150

Контрольный график делит плановый период на последовательность временных интервалов, которые в краткосрочных планах часто выражены в неделях и месяцах или кварталах – в долгосрочных.

Список материалов

Список материалов – перечень всех сырьевых материалов, частей, подузлов и узлов, которые необходимы для производства одной единицы изделия.

Перечень имеет иерархическую структуру: он показывает количество каждого элемента, необходимого для завершения одной единицы изделия на каждом последующем уровне сборки.

Наглядно представление о списке материалов может дать дерево структуры изделия (рис. 7.1, а). Конечный продукт располагается на вершине дерева, ниже – основные компоненты и узлы, участвующие в сборке готового изделия, под каждым основным компонентом – необходимые составляющие его компоненты более низкого уровня и т. д.

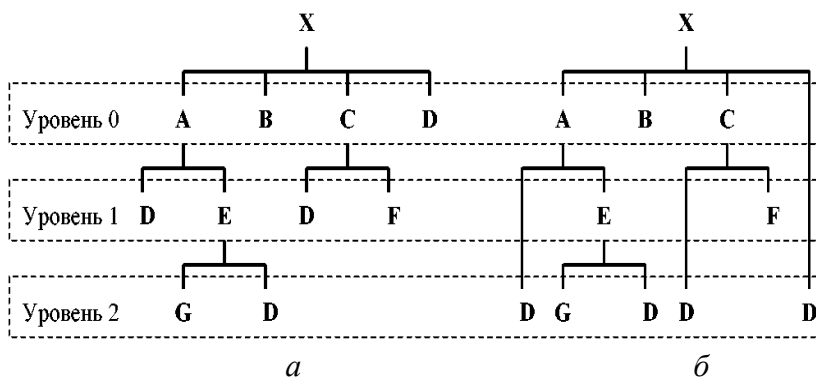


Рис. 7.1. Дерево структуры изделия

Когда производственные потребности высчитываются в системе MRP, рассматривается уровень за уровнем дерева структуры изделия, начиная с вершины. Если составляющий компонент встречается более чем на одном уровне, определение его количества усложняется. Иногда в таком случае используется упрощение – кодирование по нижнему уровню, которое включает реструктуризацию списка материалов таким образом, чтобы дублирующиеся элементы группировались на низшем уровне своего появления (рис. 7.1, б).

Данные по материально-производственным запасам

Данные по материально-производственным запасам – информация о состоянии каждого элемента производства в определённый период времени.

Эти данные включают:

основные данные:

– общие материальные потребности производства;

- график поступлений запасов;
- величину наличных запасов;

дополнительные данные:

- поставщик;
- время производства;
- размер партии;

изменяемые данные:

- поступление запасов;
- расход запасов;
- отмена заказа и др.

Функционирование MRP

MRP обрабатывает требования по конечному продукту, уточнённые контрольным графиком, и перестраивает их в **синхронизированные по времени требования** по сборочным узлам, деталям и сырью, используя список материалов для смещения по времени производства. Временная синхронизация производственных потребностей видна на диаграмме (рис. 7.2).

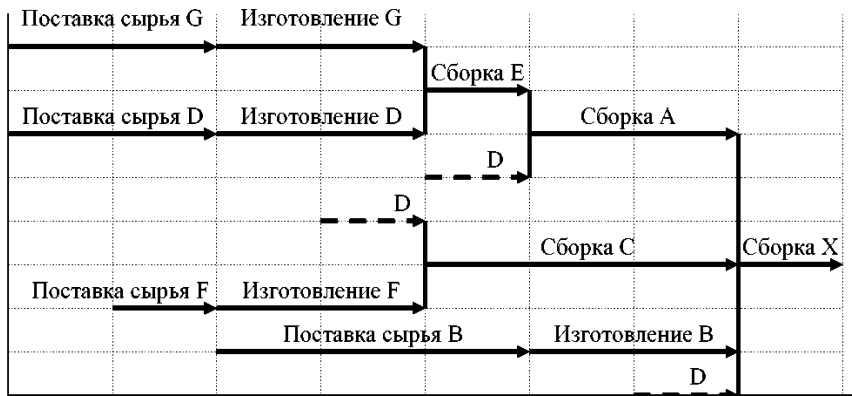


Рис. 7.2. Диаграмма синхронизированных по времени производственных требований

Количества, которые получаются из переработки списка материалов, не принимающие в расчёт данные о запасах и заказах, называются **общей (валовой) потребностью**.

Материалы, которые действительно нужно получить для соответствия количеству, указанному в контрольном графике, называются **чистыми материально-производственными потребностями**.

Определение чистых материальных потребностей составляет ядро MRP. Оно выполняется путём вычитания из величины общей потребности суммы наличных запасов и запланированных поставок по графику, а затем к полученному результату прибавляются требования по резервному запасу, если они необходимы.

Распределение поставок по времени и размерам определяется по заказам-релизам. График получения заказанных материалов определяется плановыми заказами.

Функционирование системы MRP отражают календарно-плановые расчеты, основой которых являются производственное расписание и структура изделия.

На основании календарно-плановых расчетов можно составить укрупненный цикловой график изготовления изделия.

Обновление данных в системе MRP

Две основные системы, используемые для обновления данных в MRP:

1) *регенеративная система* – является пакетной системой, которая собирает все изменения, имеющие место в пределах определённого интервала времени, и периодически обновляет систему. На основе этого разрабатывается скорректированный план производства;

2) *система чистых изменений* – представляет собой подход, при котором данные обновляются постоянно. Здесь основной производственный план модифицируется с отражением всех изменений по мере их появления. В базовый план вносятся изменения, но полностью его не обновляют.

Выходные данные в системе MRP

Система MRP может предоставлять:

1) ***первичные отчёты*** – основные выходные параметры, включающие:

плановые заказы – график, показывающий величину и время будущих заказов;

выполнение заказа – разрешение на выполнение плановых заказов;

изменения в плановых заказах – информацию о пересмотре даты и величины заказа, его отмене;

2) вторичные отчёты – основные выходные параметры, включающие:

отчёты по контролю за исполнением – используются для оценки работы системы;

отчёты по планированию – используются для прогнозирования будущих требований по запасам;

отчёты об исключительных ситуациях – определяют основные несоответствия (просроченные заказы, большой процент от брака, ошибки в отчетности, требования на несуществующие детали).

Система MRP и планирование производственных мощностей

Контрольный график, используемый в качестве входного параметра для системы MRP, может оказаться невыполнимым с точки зрения требований по производственной мощности, необходимой для его реализации.

Планирование требований по производственной мощности – это процесс определения краткосрочных потребностей производственных мощностей.

Этот процесс осуществляется на основе полученных выходных данных системы MRP, которые преобразуются в требования по мощности в форме отчётов по загрузке для каждого подразделения. Подобные отчёты показывают сравнительную картину известных и предполагаемых требований по загрузке с планируемой пропускной способностью. Отсутствие несогласований позволяет утвердить производственный график. В случае наличия отклонений возможно увеличение производственных мощностей или изменение контрольного графика производственного процесса с дальнейшей его обработкой в системе MRP.

Варианты исходных данных для выполнения работы

Изготовление изделия *A*, структура которого представлена по вариантам на рис. 7.3, является сложным производственным процессом. Для процесса заданы ограничения:

- каждая деталь изделия изготавливается на собственном оборудовании;
- максимальная партия обработки деталей – 100 штук;
- длительность простых процессов изготовления деталей не зависит от размера партии.

Первая цифра варианта											
0						1					
A											
D (2)		B (1)		C (2)		G (2)		E (1)		F (1)	
		G (1)		F (1)				E (2)		G (3)	
2						3					
A											
B (2)		C (1)		F (2)		G (2)		D (1)		E (1)	
		E (1)		F (2)		G (2)		E (1)		G (1)	
4						5					
A											
B (2)		C (1)		E (3)		F (2)		G (1)		D (1)	
D (1)		E (1)		E (3)		F (2)		G (1)		F (3)	
6						7					
A											
B (2)		C (1)		E (1)		F (1)		G (2)		D (1)	
D (3)		E (1)		F (1)		G (2)		D (1)		E (1)	
8						9					
A											
B (1)		C (1)		D (1)		E (1)		F (1)		G (3)	
E (2)		E (4)		F (2)		G (4)		D (1)		G (3)	

Рис. 7.3. Схема структуры изделия А по вариантам

Размер партии, изготавливаемой за одну операцию сборки, не ограничивается. Производственное расписание представлено по вариантам в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Производственное расписание по вариантам

Первая цифра варианта	Дни планового периода												
	1	...	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	-	...	-	110	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	...	-	-	-	-	-	-	90	-	-	-	-
2	-	...	-	-	130	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	...	-	-	-	-	-	-	-	140	-	-	-
4	-	...	-	-	-	-	-	-	-	-	180	-	-
5	-	...	-	-	-	-	-	110	-	-	-	-	-
6	-	...	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-
7	-	...	-	-	-	-	-	-	-	-	-	190	-
8	-	...	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120
9	-	...	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-

Время обработки и наличный запас для каждого структурного элемента изделия А по вариантам представлены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Время обработки t и наличный запас Z для структурных элементов изделия A по вариантам

Элемент	Вторая цифра варианта																			
	0		1		2		3		4		5		6		7		8		9	
	t	Z	t	Z	t	Z	t	Z	t	Z	t	Z	t	Z	t	Z	t	Z	t	Z
A	1	10	2	-	1	10	2	10	1	-	2	10	1	-	1	10	1	10	2	10
B	1	10	1	20	2	20	1	10	2	10	1	-	1	10	2	10	1	10	1	10
C	2	20	1	10	2	-	1	30	1	20	1	10	3	20	2	10	1	20	1	10
D	3	-	2	10	1	10	2	10	2	10	1	10	1	140	1	50	1	50	1	100
E	1	10	1	70	3	100	3	-	3	120	1	50	1	30	1	100	1	120	1	-
F	2	50	2	30	1	40	1	80	1	40	3	150	2	10	2	50	1	50	2	50
G	2	-	2	60	1	30	1	100	1	10	1	30	2	10	2	-	2	-	1	130

Требуется:

- 1) выполнить календарно-плановые расчеты по изделию. Результаты свести в таблицу, аналогичную табл. 7.7;
- 2) построить укрупненный цикловой график изготовления изделия A с учетом заданных ограничений и определить по графику длительность производственного цикла.

Порядок выполнения работы

Структура изделия A представлена на рис. 7.4. и в табл. 7.4. В скобках указано количество однородных элементов.

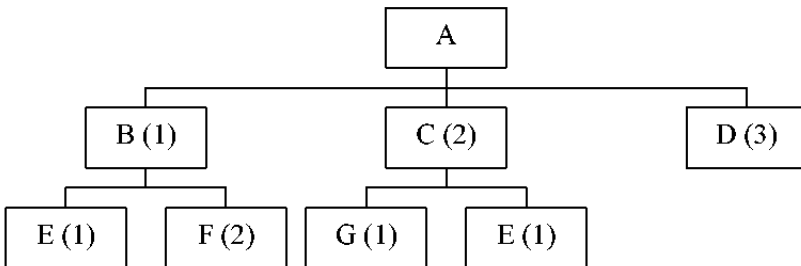


Рис. 7.4. Структура изделия A

Изделие A состоит из деталей D, E, F, G и сборочных единиц B, C .

Таблица 7.4

Схема структуры изделия *A*

A				
B (1)		C (2)		D (3)
E (1)	F (2)	G (1)	E (1)	

Производственное расписание представлено в табл. 7.5.

Таблица 7.5

Производственное расписание

Изделие	Дни планового периода							
	1	..	5	6	7	8	9	10
A	-	...	-	-	-	-	-	100

Время обработки и наличный запас для каждого структурного элемента изделия *A* представлены в табл. 7.6.

Таблица 7.6

Время обработки *t* и наличный запас *Z* для структурных элементов изделия *A*

Элемент	<i>t</i>	<i>Z</i>
A	1	-
B	1	20
C	2	30
D	1	200
E	1	150
F	1	40
G	2	20

В рамках календарно-плановых расчетов сначала находится валовая потребность по каждому структурному элементу Q_v , затем чистая потребность $Q_{\text{ч}}$ и время опережения, т. е. время начала процесса изготовления структурного элемента. Совокупные расчеты по календарному планированию сводятся в табл. 7.7.

Таблица 7.7

Календарно-плановые расчеты

t	Z	Элемент	Расчетные данные	Дни планового периода										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	-	A	Q_B											100
			Z											-
			$Q_Ч$											100
			Опережение											100
1	20	B	Q_B										100A	
			Z										20	
			$Q_Ч$										80A	
			Опережение										80A	
2	30	C	Q_B									200A		
			Z									30		
			$Q_Ч$									170A		
			Опережение									170A		
1	200	D	Q_B									300A		
			Z									200		
			$Q_Ч$									100A		
			Опережение									100A		
1	150	E	Q_B							170C	80B			
			Z							150	-			
			$Q_Ч$							20C	80B			
			Опережение							20C	80B			
1	40	F	Q_B								160B			
			Z								40			
			$Q_Ч$								120B			
			Опережение								120B			
2	20	G	Q_B							170C				
			Z								20			
			$Q_Ч$								150C			
			Опережение								150C			

На основании полученных данных строится цикловой график процесса изготовления изделия A (рис. 7.5). Опережение показывает время начала выполнения процесса изготовления структурного элемента.

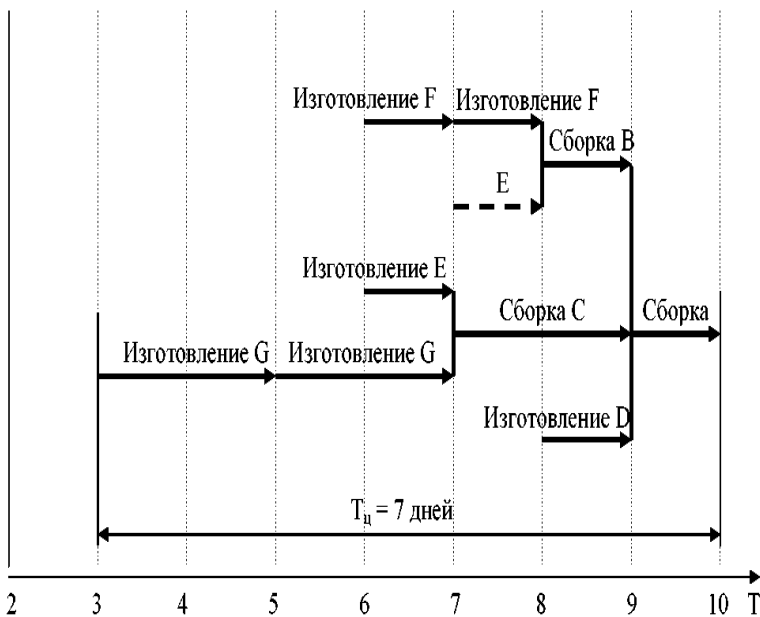


Рис. 7.5. Цикловой график производственного процесса изготовления изделия *A*

Установленные ограничения касаются деталей *F* и *G*, так как материальные потребности по этим деталям превышают минимальный размер партии, поэтому простые циклы изготовления этих деталей будут удвоены, что может оказать влияние на длительность цикла.

Поскольку деталь *E* является составной частью сборочных единиц *B* и *C*, а общая потребность по этой детали не превышает установленной производственной партии в 100 штук, то возможно изготовление *E* за один раз соответственно наиболее ранним срокам потребности. Первоначально потребность в детали *E* возникает для сборочной единицы *C*, поэтому начать изготовление надо не позже, чем в пятый день. Тогда на сборку *B* деталь *E* не изготавливается, а поступает из вновь образовавшегося запаса.

Анализ построенного циклового графика показывает, что удвоение цикла изготовления детали *F* не оказывает влияния на общую длительность производственного цикла по изделию *A*. В то же время удвоение цикла изготовления детали *G* увеличивает общий производственный цикл на два дня.

Содержание отчета

1. Ответы на контрольные вопросы.
2. Исходные данные для выполнения работы по соответствующему варианту.
3. Расчет показателей планирования по системе MRP.
4. Итоги календарно-плановых расчетов.
5. Цикловой график производственного процесса изготовления изделия.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое зависимый спрос?
2. Дать понятие системы MRP.
3. Какие данные являются входными для системы MRP?
4. Как функционирует MRP?
5. Дать понятие общей валовой потребности.
6. Дать понятие чистой материально-производственной потребности.
7. Какие данные являются выходными для системы MRP?
8. Система MRP и планирование производственных мощностей.

Литература

1. Аникин, Б. А. Логистика / Б. А. Аникин. – М : Инфра-М, 2004. – 368 с.
2. Канке, А. А. Логистика : учебник / А. А. Канке, И. П. Кошева. – М. : Инфра-М, 2007. – 384 с.
3. Кузьбожев, Э. Н. Логистика : учебное пособие / Э. Н. Кузьбожев. – М. : КноРус, 2006. – 224 с.
4. Логистика. Тренинг и практикум : учебное пособие / В. М. Вайн, Б. А. Аникин ; под ред. Б. А. Аникина. – М. : Велби, 2007. – 448 с.
5. Родькина, Т. А. Логистика : учебное пособие / Т. А. Родькина, Б. А. Аникин; под ред. Б. А. Аникина. – М. : Велби, 2007. – 408 с.
6. Неруш, Ю. М. Логистика в схемах и таблицах : учебное пособие / Ю. М. Неруш. – М. : Велби, 2007. – 192 с.
7. Неруш, Ю. М. Логистика / Ю. М. Неруш. – М. : Юнити-Дана, 2003. – 495 с.
8. Практикум по логистике : учебное пособие / под ред. Б. А. Аникина. – М. : Инфра-М, 2006. – 276 с.
9. Розер, С. М. Логистика : словарь терминов / С. М. Розер, А. Н. Родников. – М. : ВИНТИ РАН, 2007. – 412 с.
10. Вуд, Д. Ф. Современная логистика / Д. Ф. Вуд, Д. Л. Вордлоу; под ред. Дж. С. Джонсон. – М. : Вильямс, 2004. – 624 с.
11. Новицкий, Н. И. Организация, планирование и управление производством : учебно-методическое пособие / Н. И. Новицкий, В. П. Пашуто ; под ред. Н. И. Новицкого. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 576 с.
12. Сачко, Н.С. Организация и оперативное управление машиностроительным производством : учеб. / Н. С. Сачко. – Минск : Новое знание, 2005. – 636 с.
13. Организация, планирование и управление машиностроительным предприятием : учебное пособие для вузов / под ред. Н. С. Сачко, И. М. Бабука. – Минск : Вышэйшая школа, 1988. – 272 с.
14. Расчет оптимальной партии деталей в АСУП / И. М. Бабук [и др.]. – Минск : БелНИИНТИ, 1974. – 40 с.
15. Дудорин, В. И. Моделирование в задачах управления производством / В. И. Дудорин. – М. : Статистика, 1960. – 232 с.
16. Конвей, Р. Теория расписаний : пер. с англ. / Р. В Конвей, В. Л. Максвелл, Л. В. Миллер. – М. : Наука, 1975. – 360 с.

17. Календарное планирование : пер. с англ. / сост.: Дж. Ф. Мут и Дж. Л. Томпсон; общ. ред. и предисловие В. В. Головинского. – М. : Прогресс, 1966. – 466 с.

18. Петров, В. А. Групповое производство и автоматизированное оперативное управление / В. А. Петров. – Л. : Машиностроение, 1975. – 312 с.

19. Интернет-источник : http://citforum.edunet.kz/cfin/mrp_erp/mrp_erp03.shtml – дата доступа 12.09.2014.

Учебное издание

**ОПЕРАТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ
НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

Лабораторный практикум
для студентов всех форм получения образования по специальности
1-27 01 01 «Экономика и организация производства»

Составитель:

КОСТЮКЕВИЧ Елена Николаевна

Редактор *Т. Н. Микулик*

Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 24.10.2014. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,00. Тираж 100. Заказ 1379.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.