7. ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ В КОНСТРУИРОВАНИИ И ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

7.1. Расчетные соотношения и формулы

Таблица 7.1

Выражение	Номер	Выражение	Номер
$F(x_1,\ldots,x_n) \to ext$	7.1	$Q_j \le Q_{j\text{доп}}$	7.2
$Q_j \ge Q_{j\text{доп}}$	7.3	$x_{i\,\min} \le x_i \le x_{i\,\max}$; $i=1,\ldots,n$	7.4
$F = \sum\limits_{j=1}^{m} \alpha_j q_j$	7.5	$\sum\limits_{j=1}^{m} \alpha_j = 1$; $0 < \alpha_j < 1$	7.6
$F = \sqrt[m]{\prod\limits_{j=1}^{m} q_j^{\alpha_j}}$	7.7	$\prod\limits_{j=1}^{m} \alpha_j = 1$	7.8
$q_j = \dfrac{Q_j^{(i)} - Q_j^*}{Q_{je} - Q_j^*}$	7.9	$\alpha_j = \dfrac{\alpha_j[\%]}{\sum\limits_{j=1}^{m} \alpha_j[\%]}$	7.10
$F \to \max$	7.11	$\partial F / \partial x_1 = 0, \ldots, \partial F / \partial x_n = 0$	7.12

Примечания. 1. Выражением (7.5) табл. 7.1 пользуются при выполнении условия (7.6), выражением (7.7) – условия (7.8).

2. При выполнении нормировки показателей по соотношению (7.9) условием оптимальности решений является выражение (7.11).

7.2. Пояснение параметоров

F – целевая функция – математическое выражение, по значению которого судят об оптимальности конструкции или процесса;

$x_1,\ldots, x_n$ – оптимизируемые параметры – параметры, заметно влияющие на значение функции F;

n – количество оптимизируемых параметров;

ext – минимум или максимум функции F выражения (7.1) в зависимости от того, что является лучшим с точки зрения технико-экономических свойств конструкции или процесса;

$x_{i\min}, x_{i\max}$ – минимальное и максимальное допустимые значения i–го оптимизируемого параметра; $i = 1, \ldots, n$;

Q_j – j-й технико-экономический показатель (далее, показатель), являющийся важным, но не вошедшим в целевую функцию F и зависящий хотя бы от одного оптимизируемого параметра из числа $x_1,\ldots, x_n$;

$Q_{j\text{доп}}$ – допустимое значение j-го показателя, не вошедшего в состав целевой функции F (представляет собой вещественное число);

q_j – безразмерное нормированное значение j–го показателя;

α_j – весовой коэффициент j–го показателя ($0 < \alpha_j \leq 1$) ;

m – количество рассматриваемых показателей;

$Q_j^{(i)}$ – текущее (в i–м варианте) значение j–го показателя;

Q_j^* – критическое (допустимое) значение j–го показателя;

Q_{je} – экстремальное, но реально достижимое значение j–го показателя;

$\alpha_j[\%]$ – абсолютное значение весового коэффициента j-го показателя, указанное заказчиком и выраженное в процентах.

7.3. Типовые примеры

Пример 7.1. РЭУ включает три составных элемента (блока). Требуется методом динамического прогнозирования определить количество резервных элементов каждого вида, обеспечивающих заданный уровень надежности РЭУ, а именно: для вероятности отказа q в течение заданного суммарного времени работы $t_з$ должно выполняться условие $q \leq 0{,}025$; суммарная стоимость резервируемого устройства Ц должна быть минимальной. Вероятность отказа и стоимость, приходящиеся на один элемент (блок), приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Элемент	Вероятность отказа элемента, q_i	Стоимость элемента, $Ц_i$ (усл. ед.)
1	0,2	5
2	0,1	4
3	0,15	3

Решение. Схема устройства с учетом резервирования приведена на рис. 7.1.

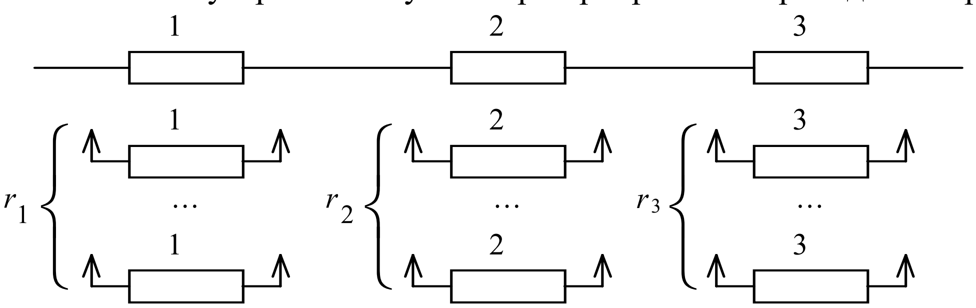

Рис. 7.1. Схема расчета надежности устройства

Как следует из условия примера, в качестве целевой функции F выражения (7.1) рассматривается суммарная стоимость резервируемого устройства, т.е. F = Ц. Оптимальному решению будет соответствовать условие Ц $\rightarrow min$.

Технико-экономическим показателем Q_j , не вошедшим в целевую функцию F, является уровень надежности резервируемого устройства. В этом качестве рассматривается вероятность отказа устройства за время $t_з$, причем должно выполняться ограничение (7.2) , в нашем случае условие $q \le 0{,}025$. Оптимизируемыми параметрами $x_i(i=1,...,n)$ выражения (7.1), как следует из условия примера, являются величины r_i, $i=1,...,3$ (см. рис. 7.1).

При реализации метода динамического программирования на первом шаге в анализ включаем элементы 1-го и 2-го видов. Далее рассматриваем варианты решений, полученных из элементов 1-го и 2-го видов, и строим табл. 7.3.

Таблица 7.3

Характеристики для элемента вида 1	Характеристики для элемента вида 2			
	$r_2=0$ 0,1/4	$r_2=1$ 0,01/8	$r_2=2$ 0,001/12	$r_2=3$ 0,0001/16
$r_1=0$ 0,2/5	0,3/9	0,21/13	0,201/17	0,2001/21
$r_1=1$ 0,04/10	0,14/14	0,05/18	0,041/22	0,0401/26
$r_1=2$ 0,008/15	0,108/19	0,018/23*	0,009/27**	0,0081/31****
$r_1=3$ 0,0016/20	0,1016/24	0,0116/28	0,0026/32***	0,0017/36

В ячейках табл. 7.3 информация, записанная в виде простой дроби, означает следующее:

числитель – суммарная вероятность отказа элементов 1-го и 2-го видов с учетом резервирования, $q_{1,2}$;

знаменатель –суммарная стоимость элементов 1-го и 2-го видов с учетом резервирования, $Ц_{1,2}$.

Значения $q_{1,2}$ и $Ц_{1,2}$ подсчитаны по формулам

$$q_{1,2} = q_1^{r_1+1} + q_2^{r_2+1} - q_1^{r_1+1} q_2^{r_2+1} \approx q_1^{r_1+1} + q_2^{r_2+1};$$

$$Ц_{1,2} = Ц_1(1+r_1) + Ц_2(1+r_2),$$

где r_1, r_2 – количество резервных элементов соответственно 1-го и 2-го видов.

Из табл. 7.3 видно, что в анализ на втором шаге следует включить ячейки (варианты), помеченные знаками «*».Каждый из этих вариантов на втором шаге будет рассматриваться как одна компонента. Причем, ячейка, помеченная как «****», с малой степенью риска может и не включаться в дальнейший анализ, потому что примерно при той же стоимости она заметно уступает ячейке «***» по уровню надежности.

В данном случае из табл.7.3 для анализа на втором шаге взяты четыре ячейки. При возникновении сомнений в достаточности выбора ячеек для дальнейшего анализа табл. 7.3 должна была быть продолжена вниз (при $r_1 = 4$) и вправо (при $r_2 = 4$) и с учетом этого выбраны варианты для дальнейшего анализа.

На втором шаге в анализ включаем элемент вида 3 и снова рассматриваем две компоненты, а именно: совместное решение по элементам 1 и 2, т.е. ячейки, помеченные знаками «*», и элемент вида 3.

Затем строим таблицу с учетом отмеченных двух компонент (табл. 7.4).

Таблица 7.4

Характеристики для элемента вида 3	Варианты из табл. 7.3			
	$r_1=2$; $r_2=1$ 0,018/23	$r_1=2$; $r_2=2$ 0,009/27	$r_1=3$; $r_2=2$ 0,0026/32	$r_1=2$; $r_2=3$ 0,0081/31
$r_3=0$ 0,15/3	0,168/26	0,159/30	0,1526/35	0,1581/34
$r_3=1$ 0,023/6	0,041/29	0,032/33	0,0256/38	0,0311/37
$r_3=2$ 0,003/9	0,021/32	0,012/36	0,0056/41	0,0111/40

Информация табл. 7.4 получена с использованием формул

$$q_{1,2,3}=q_{\Sigma}=q_{1,2}+q_3^{r_3+1}-q_{1,2}q_3^{r_3+1}\approx q_{1,2}+q_3^{r_3+1};$$

$$Ц_{1,2,3}=Ц_{\Sigma}=Ц_{1,2}+Ц_3\cdot(1+r_3),$$

где r_3 – количество резервных элементов 3-го вида.

Из табл. 7.4 видно, что оптимальному решению отвечает вариант (ячейка)

$$r_1=2;\ r_2=1;\ r_3=2.$$

При этом суммарная стоимость резервируемого устройства составляет 32 усл. ед., а вероятность отказа устройства $q=0{,}021$.

Пример 7.2. Предприятие получило заказ на изготовление 1000 печатных плат. Эти изделия могут быть изготовлены двумя технологическими способами. При изготовлении первым способом затраты S для предприятия равны

$$S_1=2+0{,}4x_1+0{,}3x_1^2 \text{ усл. ед.},$$

а при изготовлении вторым способом

$$S_2=1+1{,}2x_2+0{,}1x_2^2 \text{ усл. ед.},$$

где x_1, x_2 – количество печатных плат, изготовленных соответственно первым и вторым способами.

Требуется определить, сколько плат следует изготовить каждым из способов, чтобы суммарные затраты предприятия были минимальными.

Решение. 1. Из условия примера видно, что в качестве целевой функции F выступают суммарные затраты предприятия на изготовление партии печатных плат в количестве 1000 шт. Причем должно выполняться условие

$$F=S_1+S_2\to\min.$$

2. Технико-экономических показателей, на которые накладываются ограничения вида (7.2) или (7.3), в данном случае нет.

3. Оптимизируемыми параметрами являются x_1 и x_2.

Согласно условию примера на параметры x_1 и x_2 должны быть наложены ограничения

$$x_1+x_2=1000, \qquad (7.13)$$

$$x_1, x_2 \geq 0. \quad (7.14)$$

4. С учетом затрат S_1 и S_2 целевая функция F представляется через оптимизируемые параметры x_1 и x_2 выражением

$$F = S_1 + S_2 = 2 + 0{,}4x_1 + 0{,}3x_1^2 + 1 + 1{,}2x_2 + 0{,}1x_2^2 = 3 + 0{,}4x_1 + 0{,}3x_1^2 + 1{,}2x_2 + 0{,}1x_2^2. \quad (7.15)$$

5. Математическая постановка задачи состоит в определении таких значений x_1 и x_2, при которых целевая функция (7.15) минимальна при условиях (7.13) и (7.14).

6. Сначала найдем решение задачи чисто аналитическим способом, сводя исследование на условный экстремум функции F к исследованию на безусловный экстремум функции

$$F_1 = 3 + 0{,}4x_1 + 0{,}3x_1^2 + 1{,}2(1000 - x_1) + 0{,}1(1000 - x_1)^2.$$

Функция F_1 получена путем подстановки в уравнение (7.15) выражения $x_2 = 1000 - x_1$, найденного из условия (7.13).

Найдем стационарную точку x_1^* функции F_1 из условия $dF_1 / dx_1 = 0$.

$$dF_1 / dx_1 = 0{,}4 + 0{,}6x_1 - 1{,}2 - 0{,}2(1000 - x_1) = 0 \qquad \text{или}$$

$$0{,}8x_1 - 200{,}8 = 0,$$

откуда $x_1^* = 251$.

Следовательно, $x_2^* = 1000 - x_2^* = 749$.

Так как $\frac{d^2F}{dx_1^2}(x_1^*, x_2^*) > 0$, то функция F (см. (7.15)) в найденных точках имеет минимальное значение.

7. Найдем решение задачи методом случайного поиска на ЭВМ [1, с.244].
Результаты решения при шаге поиска $h = 0{,}0001$:

$$x_1 = 251{,}06; \; x_2 = 748{,}94; \; F = 76002{,}6.$$

С учетом целочисленности величин x_1 и x_2 принимаем

$$x_{1\,\text{опт}} = 251; \; x_{2\text{опт}} = 749.$$

Как видим, эти значения совпадают с результатами решения, полученными расчетно-аналитическим способом.

Пример 7.3. РЭС летательного аппарата включает четыре блока. Отказ одного из них приводит к отказу РЭС в целом. Для повышения надежности РЭС может использоваться раздельное резервирование замещением для каждого блока. С позиций заказчика (потребителя) РЭС важнейшими являются такие технико-экономические показатели, как надежность (вероятность безотказной работы P за заданное время), масса M, габариты V и стоимость C. Значимость надежности составляет примерно 100%, массы – 80%, габаритов – 60%, стоимости –30%.

Требуется определить, какое число резервных блоков каждого типа необходимо предусмотреть, чтобы в совокупности обеспечить оптимальные (лучшие) значения указанных технико-экономических показателей для РЭС в целом. В табл. 7.5 приведена информация о блоках.

Таблица 7.5

Блок	Значения характеристик, приходящихся на один блок			
	Надежность(p_i)	Масса (m_i), кг	Объем (v_i), дм^3	Стоимость (c_i)
1	0,93	2,3	3	75
2	0,80	1,0	5	45
3	0,99	2,5	3,5	35
4	0,95	1,5	4,2	62

В табл.7.6 приведены критические (предельно допустимые) значения технико-экономических показателей Q_j^*, указанные заказчиком.

Таблица 7.6

Показатель	P	M, кг	V, дм^3	C, усл. ед.
Значение	0,9	30	50	1000

Решение. 1.Так как по условию примера в той или иной степени важны все четыре технико-экономические показателя, то сформируем целевую функцию в виде выражения (7.5).

Получим $$F=\alpha_P P_0+\alpha_M M_0+\alpha_V V_0+\alpha_C C_0, \tag{7.16}$$

где α_j — весовой коэффициент j-го показателя, $j \to P, M, V, C$.

Индекс «0» означает, что берутся нормированные значения соответствующих технико-экономических показателей. Эти значения для текущего (i-го) варианта решения будем определять по выражению (7.9).

Нормированные значения технико-экономических показателей *P, M, V, C* включены в целевую функцию (7.16). Однако на сами показатели *P, M, V, C* должны быть наложены ограничения. С учетом физической сущности этих показателей и данных табл.7.6 вид этих ограничений должен быть таким:

$$P\geq 0{,}9;\ M\leq 30\ \text{кг};V\leq 50\ \text{дм}^3;\ C\leq 1000\ \text{усл. ед.}$$

2. Весовые коэффициенты α_j функции (7.16) определим исходя из значимости технико-экономических показателей, указанной заказчиком, и условия (7.6).

Для подсчета значений α_j воспользуемся выражением (7.10).

Получим $\alpha_P \approx 0{,}37$; $\alpha_M \approx 0{,}3$; $\alpha_V \approx 0{,}22$; $\alpha_{\text{c}} \approx 0{,}11$.

3. Для подсчета нормированных значений показателей используем выражение (7.9). Для этого определим Q_{je} для каждого из них. Для показателей *M*, *V* и *C* примем значения, соответствующие случаю отсутствия резервных блоков.

Пользуясь данными табл. 7.5, находим

$$M_e = 7{,}3 \text{ кг}; \; V_e = 15{,}7 \text{ дм}^3; \; C_e = 217 \text{ усл. ед.}$$

Для показателя P (вероятности безотказной работы) примем $P_e = 1$.

4. Нетрудно установить, что оптимизируемыми параметрами в данном примере будут являться: r_i – количество резервных блоков каждого типа, $i = 1, \ldots, 4$. Установим на $r_1, \ldots, r_4$ ограничения вида (7.4).

Учитывая особенности резервирования, ясно, что $r_{i\min} = 0$. Значения $r_{i\max}$ найдем исходя из того, чтобы не были превышены значения M^*, V^* и C^*, указанные в табл.7.6. Получим

$$r_{1\max}^{(M)} = \frac{M^* - M_e}{m_1} = \frac{30 - 7{,}3}{2{,}3} = 9{,}87 \Rightarrow 9.$$

Аналогично $\quad r_{1\max}^{(V)} = 11; \quad r_{1\max}^{(C)} = 10.$

В качестве $r_{1\max}$ принимаем меньшее значение из трех полученных, т.е. $r_{1\max} = 9$.

Применяя рассмотренный подход, находим $r_{2\max} = 6$; $r_{3\max} = 9$; $r_{4\max} = 8$.

5. Представим текущие значения P, M, V и C через оптимизируемые параметры $r_1, \ldots, r_4$.

Логическая схема (модель) расчета надежности РЭС с учетом резервирования имеет вид, показанный на рис.7.2.

Будем считать, что основные и резервные элементы одинаковы, а резерв нагруженный.

Используя приемы анализа безотказности РЭУ при наличии резервирования замещением с нагруженным режимом работы резервных элементов [1, с.203 — 205], получим

$$P = (1 - (1 - p_1)^{r_1 + 1}) \ldots (1 - (1 - p_4)^{r_4 + 1}) = \prod_{i=1}^{4} (1 - (1 - p_i)^{r_i + 1}).$$

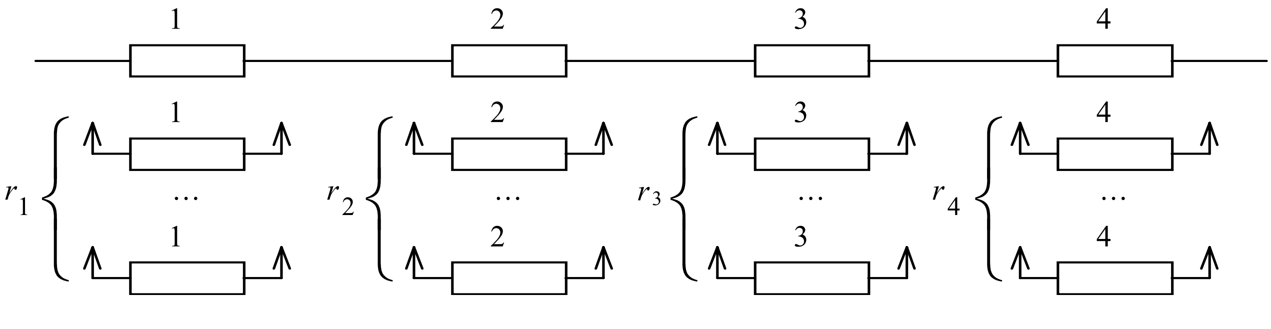

Рис. 7.2. Логическая схема резервируемого РЭС

Для показателей M, V, и C очевидным является следующее:

$$M=\sum_{i=1}^{4} m_i\,(1+r_i)\,; \qquad V=\sum_{i=1}^{4} V_i\,(1+r_i)\,; \qquad C=\sum_{i=1}^{4} c_i\,(1+r_i)\,.$$

6. Уточняем условие оптимальности для выражения (7.5). Так как в нем использованы нормированные значения *M*, *V*, и *C*, то условием оптимальности является $F \to \max$.

7. Реализуем метод случайного поиска [1, с.244 — 248].

Результаты решения на ЭВМ с учетом целочисленности параметров $r_1, \ldots, r_4$ таковы:

$$r_1 = 1; \quad r_2 = 2; \quad r_3 = 0; \quad r_4 = 1.$$

Пример 7.4. Для изготовления несущих конструкций РЭУ трех типов (А, В, С) необходимо выполнить механические, электрохимические, монтажно-сборочные работы. Средние затраты времени, приходящиеся на одно изделие каждого типа по каждому типу работ, указаны в табл. 7.7. В ней же указан общий месячный фонд рабочего времени по каждому виду работ, а также прибыль от реализации одного изделия.

Таблица 7.7

Вид работ	Затраты времени (чел.-ч), приходящиеся на одно изделие			Общий месячный фонд рабочего времени (чел.-ч)
	А	В	С	
1. Механические	5	1	3	1408
2. Электрохимические	4	2	1	704
3. Монтажно-сборочные	3	4	2	880
Прибыль (усл. ед.)	10	14	12	

Требуется определить, сколько изделий и какого вида следует изготовить предприятию в данном месяце, чтобы прибыль от реализации была максимальной. По госзаказу предприятие должно изготовлять не менее 100 изделий типа А в месяц. На изготовление других изделий не имеется никаких ограничений.

Решение. 1. Предположим, что будет изготовлено x_1 единиц типа А, x_2 – типа В, x_3 – типа С. Тогда для изготовления такого количества изделий требуются затратить $5x_1 + x_2 + 3x_3$ чел.-ч на выполнение механических работ.

Так как общий месячный фонд рабочего времени для их выполнения не может превышать 1408, должно выполняться ограничение

$$5x_1 + x_2 + 3x_3 \le 1408\,.$$

Аналогичные рассуждения относительно возможности выполнения электрохимических и монтажно-сборочных работ приведут к неравенствам

$$4x_1 + 2x_2 + x_3 \le 704\,; \quad 3x_1 + 4x_2 + 2x_3 \le 880\,.$$

Поскольку ежемесячно предприятие обязано изготавливать не менее 100 изделий типа А и количество изготавливаемых изделий не может быть отрицательным, то должны выполняться также условия

$$x_1 \geq 100; \quad x_2 \geq 0; \quad x_3 \geq 0.$$

Суммарная прибыль П от реализации x_1 изделий типа А, x_2 изделий типа В и x_3 изделий типа С:

$$\Pi = 10x_1 + 14x_2 + 12x_3.$$

Таким образом, математическая постановка задачи такова: имеется система

$$\begin{cases} 5x_1 + x_2 + 3x_3 \leq 1408; \\ 4x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 704; \\ 3x_1 + 4x_2 + 2x_3 \leq 880; \\ x_1 \geq 100 \end{cases} \tag{7.17}$$

четырех линейных неравенств с тремя неизвестными $x_1,...,x_3$ и линейная целевая функция относительно этих же переменных:

$$F = \Pi = 10x_1 + 14x_2 + 12x_3. \tag{7.18}$$

Требуется найти такие неотрицательные значения переменных, рассматриваемых как оптимизируемые параметры, при которых функция (7.18) принимает максимальное значение, но при этом выполняются ограничения вида (7.17).

Так как функция (7.18) содержит только линейные неравенства, сформулированная задача является задачей линейного программирования и может быть решена методом линейного программирования.

Однако подобные задачи могут быть решены и методами нелинейного программирования. Решим сформулированную задачу методом случайного поиска на ЭВМ [1, с.244 — 248].

Целевая функция определяется выражением (7.17). Функции, задающие ограничение, описываются первыми тремя неравенствами системы (7.16).

Аналогично примеру 7.3 определяем ограничения, накладываемые на оптимизируемые параметры x_1, x_2 и x_3.

Результаты решения с учетом целочисленности оптимизируемых параметров $x_1,...,x_3$ таковы:

$$x_1 = 100; \quad x_2 = 0; \quad x_3 = 290.$$

7.4. Задачи для самостоятельного решения

7.1. Предприятие получило заказ на изготовление 1000 электронных измерительных приборов. Они могут быть изготовлены тремя технологическими способами. При изготовлении первым способом затраты S для предприятия равны

$$S_1 = 100 + 2x_1 + 1{,}5x_1^2 \text{ усл.ед.},$$

при изготовлении вторым способом

$$S_2 = 150 + 1{,}5x_2 + 1{,}2x_2^2 \text{ усл.ед.},$$

при изготовлении третьим способом

$$S_3 = 200 + 1{,}3x_3 \text{ усл.ед.},$$

где x_1, x_2, x_3 – количество приборов, изготовленных соответственно первым, вторым и третьим способами.

Требуется определить, сколько приборов следует изготовить каждым способом, чтобы суммарные затраты предприятия были минимальны. Задачу решить чисто аналитическим способом.

7.2. Решить задачу 7.1 методом случайного поиска на ЭВМ, используя рекомендации работы [3].

7.3. Для изготовления измерительных приборов трёх типов (обозначим их как A,B,C) необходимо выполнить механические, монтажно-сборочные и регулировочные работы. Средние затраты времени, приходящиеся на один прибор каждого типа по каждому виду работ, указаны в табл. 7.8 . В ней также указан общий месячный фонд рабочего времени по каждому виду работ, а также прибыль от реализации одного прибора.

Таблица 7.8

Вид работ	Затраты времени (чел.-ч), приходящиеся на один прибор			Общий месячный фонд рабочего времени (чел.-ч)
	A	B	C	
1.Механические	25	55	32	2816
2.Монтажно-сборочные	40	30	64	2012
3.Регулировочные	16	8	30	880
Прибыль, усл.ед.	27	21	38	—

Требуется определить, сколько приборов и какого вида следует изготовить предприятию в данном месяце, чтобы прибыль от реализации была максимальной. На изготовление приборов каждого вида ограничения не накладываются. Задачу решить аналитическими приемами.

7.4. Решить задачу 7.3 в предположении, что по госзаказу предприятие должно изготовить приборы видов A,B,C согласно данным табл. 7.9.

Таблица 7.9

Вариант		1	2	3	4	5	6	7	8
Госзаказ на изготовление приборов	A	-	50	80	-	-	-	100	100
	B	100	80	-	-	50	200	-	-
	C	-	-	-	30	10	-	50	-

Прочерк в табл. 7.9 означает, что на данный тип прибора никаких ограничений не наложено. Задачу решить аналитическими приемами.

7.5. Решить задачу 7.3 методом случайного поиска на ЭВМ, используя рекомендации работы [3].

7.6. Для варианта, указанного преподавателем, решить задачу 7.4 методом случайного поиска на ЭВМ, используя рекомендации работы [3].

7.7. Методом динамического программирования определить, с какими производственными допусками должны быть параметры элементов R,L и C, чтобы при гарантированой вероятности 0,95 обеспечивалось требование к точности выходного параметра y, а суммарная стоимость элементов при этом была минимальной. Математическая модель для выходного параметра:

$$y = 100 + 15R - 10L - 5C + 7RC$$

где R – в Омах, L – в мкГн, C – в пФ.

Номинальные значения параметров элементов:

$$R = 100 \text{ Ом}; \; L = 20 \text{ мкГн}; \; C = 220 \text{ пФ}.$$

Требование к точности выходного параметра:

$$\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right) \leq 10\%.$$

Затраты, приходящиеся на каждый процент повышения точности параметров элементов, указаны в табл. 7.10

Таблица 7.10

Элемент	Затраты, приходящиеся на каждый процент повышения точности параметра, усл.ед.
R	1,5
L	16
C	4,5

При решении задачи учесть дискретность производственных допусков, устанавливаемых на параметры резисторов и конденсаторов.

7.8. Решить задачу 7.7 методом случайного поиска на ЭВМ, используя рекомендации работы [3].