

На три базы поступили ящики с заготовками деталей, которые необходимо доставить на четыре завода. Исходные данные представлены в нижеследующей транспортной таблице.

Таблица 6.3

Таблица поставок

Заводы-потребители Базы-поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы баз-поставщиков
A_1	1	2	3	1	100
A_2	2	3	4	6	200
A_3	3	4	7	12	300
Потребности заводов-потребителей	100	100	300	300	

Определите оптимальный план доставки заготовок на заводы с учетом минимизации совокупных транспортных затрат.

Решение

Обозначим искомые объемы поставок от i -ой базы-поставщика к j -му заводу-потребителю через x_{ij} ($i = \overline{1,3}$; $j = \overline{1,4}$).

Математическая модель данной задачи будет иметь вид:

$$F(X) = x_{11} + 2x_{12} + 3x_{13} + x_{14} + 2x_{21} + 3x_{22} + 4x_{23} + 6x_{24} + 3x_{31} + 4x_{32} + 7x_{33} + 12x_{34} \rightarrow \min$$

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} = 100, \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = 200, \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} = 300, \\ x_{11} + x_{21} + x_{31} = 100, \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} = 100, \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} = 300, \\ x_{14} + x_{24} + x_{34} = 300, \\ x_{ij} \geq 0 \quad (\forall i = \overline{1,3}; j = \overline{1,4}). \end{cases}$$

I итерация:

1 этап: проверка сбалансированности запасов и потребностей.

Представленная транспортная задача является открытой, т.к. суммарная мощность баз-поставщиков меньше суммарной потребности заводов-потребителей на 200 ящиков:

$$\sum_{i=1}^3 a_i = 100 + 200 + 300 = 600,$$

$$\sum_{j=1}^4 b_j = 100 + 100 + 300 + 300 = 800,$$

$$\sum_{i=1}^3 a_i < \sum_{j=1}^4 b_j.$$

Сведем данную транспортную задачу к закрытой: введем фиктивную базу A_4 с недостающей мощностью $a_4 = 200$ ящиков:

$$a_4 = \sum_{j=1}^4 b_j - \sum_{i=1}^3 a_i = 800 - 600 = 200.$$

Зададим значения условных транспортных затрат на единицу груза от данной базы к заводам-потребителям равными нулю, результаты занесем в следующую таблицу.

Таблица 6.4

Таблица поставок

Заводы-потребители Базы-поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы баз-поставщиков
A_1	1	2	3	1	100
A_2	2	3	4	6	200
A_3	3	4	7	12	300
A_4	0	0	0	0	200
Потребности заводов-потребителей	100	100	300	300	

С учетом фиктивного поставщика математическая модель будет иметь вид:

$$F(X) = x_{11} + 2x_{12} + 3x_{13} + x_{14} + 2x_{21} + 3x_{22} + 4x_{23} + 6x_{24} + 3x_{31} + 4x_{32} + 7x_{33} + 12x_{34} \rightarrow \min$$

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} = 100, \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = 200, \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} = 300, \\ x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} = 200, \\ x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} = 100, \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} = 100, \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} = 300, \\ x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} = 300, \\ x_{ij} \geq 0 \ (\forall i = \overline{1,4}; j = \overline{1,4}). \end{cases}$$

2 этап: разработка исходного опорного плана.

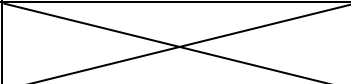
Для отыскания исходного опорного плана воспользуемся методом **минимальной стоимости**. Согласно таблице поставок (таблица 6.4) минимальная стоимость соответствует клеткам строки фиктивного поставщика. Рассмотрим, к примеру, клетку «4-3». Объем поставок для данной пары поставщик-потребитель составит:

$$x_{43} = \min\{a_4, b_3\} = \min\{200, 300\} = 200.$$

Запишем в клетку «4-3» объем поставок $x_{43}=200$ (таблица 6.5). Запасы фиктивного поставщика исчерпаны (зачеркиваем остальные клетки данной строки, они в дальнейших рассмотрениях не участвуют).

Таблица 6.5

Таблица поставок

Заводы-потребители Базы-поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы баз-поставщиков
A_1	1	2	3	1	100
A_2	2	3	4	6	200
A_3	3	4	7	12	300
A_4	<u>0</u>	<u>0</u>	0	<u>0</u>	200-200 = 0
Потребности заводов-потребителей	100	100	300-200 =100	300	

Из свободных клеток минимальная стоимость соответствует клеткам «1-1» и «1-4» ($c_{ij}=1$), выберем, к примеру, клетку «1-4». Вписываем в данную клетку объем поставок $x_{14}=100$ (таблица 6.6). Запасы первого поставщика исчерпаны (зачеркиваем остальные клетки данной строки, они в дальнейших рассмотрениях не участвуют).

Таблица 6.6

Таблица поставок

Заводы-потребители Базы-поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы баз-поставщиков
A_1	<u>1</u>	2	<u>3</u>	1	100-100=0
A_2	2	3	4	6	200
A_3	3	4	7	12	300
A_4	<u>0</u>	<u>0</u>	0	<u>0</u>	
			200		
Потребности заводов-потребителей	100	100	100	300-100 = 200	

Следующая свободная клетка с наименьшей стоимостью поставок единицы груза – клетка «2-1» ($c_{21}=2$). Объем поставок для данной пары поставщик-потребитель составит: $x_{21} = \min\{a_2, b_1\} = \min\{200, 100\} = 100$.

Запишем в клетку «2-1» объем поставок $x_{21}=100$ (таблица 6.7). Потребность первого завода-потребителя полностью удовлетворена (зачеркиваем незадействованную клетку данной колонки – «3-1», она в дальнейших рассмотрениях не участвуют).

Таблица 6.7

Таблица поставок

Заводы-потребители Базы-поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы баз-поставщиков
A_1	<u>1</u>	2	<u>3</u>	1	
				100	
A_2	2	3	4	6	200-100 = 100
	100				
A_3	3	4	7	12	300
A_4	<u>0</u>	<u>0</u>	0	<u>0</u>	
			200		
Потребности заводов-потребителей	100-100 = 0	100	100	200	

Оставшиеся запасы второго поставщика целесообразно направить для удовлетворения потребностей второго завода-потребителя, так как стоимость доставки единицы груза здесь наименьшая ($c_{22}=3$). Вписываем в соответствующую клетку объем поставок $x_{22}=100$ (таблица 6.8).

Таблица 6.8

Таблица поставок

Заводы-потребители Базы-поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы баз-поставщиков
A_1	<u>1</u>	2	<u>3</u>	1	
				100	
A_2	2	3	<u>4</u>	<u>6</u>	100-100 = 0
	100	100			
A_3	3	4	7	12	300
A_4	<u>0</u>	<u>0</u>	0	<u>0</u>	
			200		
Потребности заводов-потребителей		100-100 = 0	100	200	

Таким образом, потребность второго завода-потребителя полностью удовлетворена и мощность второго поставщика полностью задействована, поэтому вычеркиваем недействующие клетки «2-3», «2-4» и «3-2», в дальнейших рассмотрении они не участвуют.

Продолжая данные рассуждения, в результате получим следующее распределение поставок:

Таблица 6.9

Таблица поставок

Заводы-потребители Базы-поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы баз-поставщиков
A_1	1	2	3	1	100
A_2	2	3	4	6	200
A_3	3	4	7	12	300
A_4	0	0	0	0	200
Потребности заводов-потребителей	100	100	300	300	

Совокупные транспортные издержки для данного плана поставок составят (усл. ден. ед.):

$$F(X) = 1 \times 100 + 2 \times 100 + 3 \times 100 + 7 \times 100 + 12 \times 200 + 0 \times 200 = 3700.$$

3 этап: проверка вырожденности опорного плана.

Количество задействованных клеток в таблице поставок (таблица 6.9): $N=6$. Ранг r системы ограничений транспортной задачи равен:

$$r = m + n - 1 = 4 + 4 - 1 = 7.$$

Так как, $N < m + n - 1$, следовательно, опорный план транспортной задачи вырожденный. Определим количество фиктивных поставок:

$$k = (m + n - 1) - N = 7 - 6 = 1.$$

В любой свободной клетке таблицы поставок проектному параметру x_{ij} присвоим нулевое значение. Выберем, к примеру, клетку «3-2» (клетки для фиктивных поставок необходимо выбирать таким образом, чтобы в дальнейшем можно было корректно построить контур перераспределения поставок).

Таблица 6.10

Таблица поставок

Заводы-потребители Базы-поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы баз-поставщиков
A_1	1	2	3	1 100	100
A_2	2 100	3 100	4	6	200
A_3	3	4 0	7 100	12 200	300
A_4	0	0	0 200	0	200
Потребности заводов-потребителей	100	100	300	300	

4 этап: расчет потенциалов.

Для первой строки принимаем $\alpha_1=0$. Рассмотрим загруженную клетку «1-4»:

$$\alpha_1 + \beta_4 = c_{14} \Rightarrow 0 + \beta_4 = 1 \Rightarrow \beta_4 = 1.$$

Для загруженной клетки «3-4»: $\alpha_3 + \beta_4 = c_{34} \Rightarrow \alpha_3 + 1 = 12 \Rightarrow \alpha_3 = 11$.

Аналогично последовательно находим потенциалы строк и колонок по остальным загруженным клеткам, результаты расчетов представлены в таблице 6.11.

Таблица 6.11

Таблица поставок

Потребители Поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы поставщиков	α_i
A_1	1	2	3	1 100	100	0
A_2	2 100	3 100	4	6	200	10
A_3	3	4 0	7 100	12 200	300	11
A_4	0	0	0 200	0	200	4
Потребности потребителей	100	100	300	300		
β_j	-8	-7	-4	1		

5 этап: проверка плана на оптимальность.

По таблице 6.11 для незагруженных клеток проверим условие оптимальности ($\alpha_i + \beta_j \leq c_{ij}$, $(i, j) \in S$):

$$\langle\langle 1-1 \rangle\rangle: 0 - 8 < 1,$$

$$\langle\langle 1-2 \rangle\rangle: 0 - 7 < 2,$$

$$\langle\langle 1-3 \rangle\rangle: 0 - 4 < 3,$$

$$\langle\langle 2-3 \rangle\rangle: 10 - 4 > 4,$$

$$\langle\langle 2-4 \rangle\rangle: 10 + 1 > 6,$$

$$\langle\langle 3-1 \rangle\rangle: 11 - 8 = 3,$$

$$\langle\langle 4-1 \rangle\rangle: 4 - 8 < 0,$$

$$\langle\langle 4-2 \rangle\rangle: 4 - 7 < 0,$$

$$\langle\langle 4-4 \rangle\rangle: 4 + 1 > 0.$$

Опорный план не оптимальный, так как имеются клетки, для которых условие оптимальности не выполняется: $\langle\langle 2-3 \rangle\rangle$, $\langle\langle 2-4 \rangle\rangle$, $\langle\langle 4-4 \rangle\rangle$.

6 этап: поиск «вершины максимальной неоптимальности» (ВМН).

Для клеток $\langle\langle 2-3 \rangle\rangle$, $\langle\langle 2-4 \rangle\rangle$, $\langle\langle 4-4 \rangle\rangle$ рассчитаем оценки: $\Delta_{ij} = \alpha_i + \beta_j - c_{ij}$.

$$\Delta_{23} = \alpha_2 + \beta_3 - c_{23} = 10 - 4 - 4 = 2,$$

$$\Delta_{24} = \alpha_2 + \beta_4 - c_{24} = 10 + 1 - 6 = 5,$$

$$\Delta_{44} = \alpha_4 + \beta_4 - c_{44} = 4 + 1 - 0 = 5.$$

$$\Delta_{\max} = \max\{\Delta_{23}, \Delta_{24}, \Delta_{44}\} = \max\{2, 5, 5\} = 5.$$

Выбор ВМН неоднозначен (можно выбрать любую), примем клетку $\langle\langle 4-4 \rangle\rangle$ в качестве ВМН. Пометим ее в таблице поставок знаком \oplus (таблица 6.12).

Таблица 6.12

Таблица поставок

Потребители Поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы поставщиков	α_i
A_1	1	2	3	1 100	100	0
A_2	2 100	3 100	4	6	200	10
A_3	3	4 0	7 100	12 200	300	11
A_4	0	0	0 200	0 \oplus	200	4
Потребности потребителей	100	100	300	300	X	
β_j	-8	-7	-4	1		

7 этап: построение контура перераспределения поставок.

Построим контур перераспределения поставок (таблица 6.13).

Таблица 6.13

Таблица поставок

Потребители Поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы поставщиков	α_i
A_1	1	2	3	1 100	100	0
A_2	2 100	3 100	4	6	200	10
A_3	3	4 0	7 \oplus 100	12 \ominus 200	300	11
A_4	0	0	0 \ominus 200	0 \oplus	200	4
Потребности потребителей	100	100	300	300	X	
β_j	-8	-7	-4	1		

В таблице 6.13 начиная с ВМН разделим вершины на загружаемые \oplus и разгружаемые \ominus .

8 этап: определение минимального элемента в контуре перераспределения и перераспределение поставок по контуру.

В рамках построенного контура из клеток со статусом «разгружаемые» выберем клетку с наименьшим объемом поставок (полностью разгружаемую клетку):

$$x_{\min} = \min\{x_{34}, x_{43}\} = \min\{200, 200\} = 200.$$

Выбор неоднозначен, полностью разгружаем, к примеру, клетку x_{34} и загружаем ВМН ($x_{44}=200$). Для обеспечения соответствия объемов запасов и потребностей перераспределим поставки по контуру – разгрузим клетку «4-3» на 200 ящиков ($x_{43}=0$) и загрузим на этот же объем клетку «3-3» ($x_{33}=100+200=300$).

9 этап: получения нового опорного плана.

В результате перераспределения поставок по контуру получим новый опорный план (таблица 6.14).

Таблица 6.14

Таблица поставок

Потребители Поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы поставщиков
A_1	1	2	3	1 100	100
A_2	2 100	3 100	4	6	200
A_3	3	4 0	7 300	12	300
A_4	0	0	0 0	0 200	200
Потребности потребителей	100	100	300	300	X

Совокупные транспортные издержки для данного плана поставок составят (усл. ден. ед.):

$$F(X) = 1 \times 100 + 2 \times 100 + 3 \times 100 + 7 \times 300 + 0 \times 0 + 0 \times 200 = 2700.$$

II итерация:

1 этап: проверка вырожденности опорного плана.

Опорный план невырожденный.

2 этап: расчет потенциалов.

Результаты расчета потенциалов приведены в таблице 6.15.

Таблица 6.15

Таблица поставок

Потребители Поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы поставщиков	α_i
A_1	1	2	3	1 100	100	0
A_2	2 100	3 100	4	6	200	5
A_3	3	4 0	7 300	12	300	6
A_4	0	0	0 0	0 200	200	-1
Потребности потребителей	100	100	300	300	X	
β_j	-3	-2	1	1		

3 этап: проверка плана на оптимальность.

$$\text{«1-1»}: 0 - 3 < 1,$$

$$\text{«1-2»}: 0 - 2 < 2,$$

$$\text{«1-3»}: 0 + 1 < 3,$$

$$\text{«2-3»}: 5 + 1 > 4,$$

$$\text{«2-4»}: 5 + 1 = 6,$$

$$\text{«3-1»}: 6 - 3 = 3,$$

$$\text{«3-4»}: 6 + 1 < 12,$$

$$\text{«4-1»}: -1 - 3 < 0,$$

$$\text{«4-2»}: -1 - 2 < 0.$$

Опорный план не оптимальный, так как имеются клетка «2-3», для которой условие оптимальности не выполняется.

4 этап: поиск «вершины максимальной неоптимальности» (ВМН).

Клетку «2-3» примем в качестве ВМН. Пометим ее знаком \oplus (таблица 6.16).

Таблица 6.16

Таблица поставок

Потребители Поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы поставщиков	α_i
A_1	1	2	3	1 100	100	0
A_2	2 100	3 100	4 \oplus	6	200	5
A_3	3	4 0	7 300	12	300	6
A_4	0	0	0 0	0 200	200	-1
Потребности потребителей	100	100	300	300	X	
β_j	-3	-2	1	1		

5 этап: построение контура перераспределения поставок.

Построим контур перераспределения поставок (таблица 6.17).

Таблица 6.17

Таблица поставок

Потребители Поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы поставщиков	α_i
A_1	1	2	3	1 100	100	0
A_2	2 100	3 \ominus	4 \oplus	6	200	5
A_3	3	4 \oplus	7 \ominus	12	300	6
A_4	0	0	0 0	0 200	200	-1
Потребности потребителей	100	100	300	300	X	
β_j	-3	-2	1	1		

В таблице 6.17 начиная с ВМН разделим вершины на загружаемые \oplus и разгружаемые \ominus .

6 этап: определение минимального элемента в контуре перераспределения и перераспределение поставок по контуру.

В рамках построенного контура из клеток со статусом «разгружаемые» выберем клетку с наименьшим объемом поставок (полностью разгружаемую клетку):

$$x_{\min} = \min\{x_{22}, x_{33}\} = \min\{100, 300\} = 100.$$

Полностью разгружаем клетку x_{22} и загружаем ВМН ($x_{23}=100$). Для обеспечения соответствия объемов запасов и потребностей перераспределим поставки по контуру – разгрузим клетку «3-3» на 100 ящиков ($x_{33}=200$) и загрузим на этот же объем клетку «3-2» ($x_{32}=100$).

7 этап: получения нового опорного плана.

В результате перераспределения поставок по контуру получим новый опорный план (таблица 6.18).

Таблица 6.18

Таблица поставок

Потребители Поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы поставщиков
A_1	1	2	3	1 100	100
A_2	2 100	3	4 100	6	200
A_3	3	4 100	7 200	12	300
A_4	0	0	0 0	0 200	200
Потребности потребителей	100	100	300	300	X

Совокупные транспортные издержки для данного плана поставок составят (усл. ден. ед.):

$$F(X) = 1 \times 100 + 2 \times 100 + 4 \times 100 + 4 \times 100 + 7 \times 200 = 2500.$$

III итерация:

1 этап: проверка вырожденности опорного плана.

Опорный план невырожденный.

2 этап: расчет потенциалов.

Результаты расчета потенциалов приведены в таблице 6.19.

Таблица 6.19

Таблица поставок

Потребители Поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы поставщиков	α_i
A_1	1	2	3	1 100	100	0
A_2	2 100	3	4 100	6	200	3
A_3	3	4 100	7 200	12	300	6
A_4	0	0	0 0	0 200	200	-1
Потребности потребителей	100	100	300	300	X	
β_j	-1	-2	1	1		

3 этап: проверка плана на оптимальность.

$$\text{«1-1»}: 0 - 1 < 1,$$

$$\text{«1-2»}: 0 - 2 < 2,$$

$$\text{«1-3»}: 0 + 1 < 3,$$

$$\text{«2-2»}: 3 - 2 < 3,$$

$$\text{«2-4»}: 3 + 1 < 6,$$

$$\text{«3-1»}: 6 - 1 > 3,$$

$$\text{«3-4»}: 6 + 1 < 12,$$

$$\text{«4-1»}: -1 - 1 < 0,$$

$$\text{«4-2»}: -1 - 2 < 0.$$

Опорный план не оптимальный, так как имеются клетка «3-1», для которой условие оптимальности не выполняется.

4 этап: поиск «вершины максимальной неоптимальности» (ВМН).

Клетку «3-1» примем в качестве ВМН. Пометим ее знаком \oplus (таблица 6.20).

Таблица 6.20

Таблица поставок

Потребители Поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы поставщиков	α_i
A_1	1	2	3	1 100	100	0
A_2	2 100	3	4 100	6	200	3
A_3	3 \oplus	4 100	7 200	12	300	6
A_4	0	0	0 0	0 200	200	-1
Потребности потребителей	100	100	300	300	X	
β_j	-1	-2	1	1		

5 этап: построение контура перераспределения поставок.

Построим контур перераспределения поставок (таблица 6.21).

Таблица 6.21

Таблица поставок

Потребители Поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы поставщиков	α_i
A_1	1	2	3	1 100	100	0
A_2	\ominus 2 100	3	\oplus 4 100	6	200	3
A_3	\oplus 3	4 100	\ominus 7 200	12	300	6
A_4	0	0	0 0	0 200	200	-1
Потребности потребителей	100	100	300	300	X	
β_j	-1	-2	1	1		

В таблице 6.21 начиная с ВМН разделим вершины на загружаемые \oplus и разгружаемые \ominus .

6 этап: определение минимального элемента в контуре перераспределения и перераспределение поставок по контуру.

В рамках построенного контура из клеток со статусом «разгружаемые» выберем клетку с наименьшим объемом поставок (полностью разгружаемую клетку):

$$x_{\min} = \min\{x_{21}, x_{33}\} = \min\{100, 200\} = 100.$$

Полностью разгружаем клетку x_{21} и загружаем ВМН ($x_{31}=100$). Для обеспечения соответствия объемов запасов и потребностей перераспределим поставки по контуру – разгрузим клетку «3-3» на 100 ящиков ($x_{33}=100$) и загрузим на этот же объем клетку «2-3» ($x_{23}=200$).

7 этап: получения нового опорного плана.

В результате перераспределения поставок по контуру получим новый опорный план (таблица 6.22).

Таблица 6.22

Таблица поставок

Потребители Поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы поставщиков
A_1	1	2	3	1 100	100
A_2	2	3	4 200	6	200
A_3	3 100	4 100	7 100	12	300
A_4	0	0	0 0	0 200	200
Потребности потребителей	100	100	300	300	X

Совокупные транспортные издержки для данного плана поставок составят (усл. ден. ед.):

$$F(X) = 1 \times 100 + 4 \times 200 + 3 \times 100 + 4 \times 100 + 7 \times 100 = 2300.$$

VI итерация:

1 этап: проверка вырожденности опорного плана.

Опорный план невырожденный.

2 этап: расчет потенциалов.

Результаты расчета потенциалов приведены в таблице 6.23.

Таблица 6.23

Таблица поставок

Потребители Поставщики	B_1	B_2	B_3	B_4	Запасы поставщиков	α_i
A_1	1	2	3	1 100	100	0
A_2	2	3	4 200	6	200	3
A_3	3 100	4 100	7 100	12	300	6
A_4	0	0	0 0	0 200	200	-1
Потребности потребителей	100	100	300	300	X	
β_j	-3	-2	1	1		

3 этап: проверка плана на оптимальность.

$$\text{«1-1»}: 0 - 3 < 1,$$

$$\text{«1-2»}: 0 - 2 < 2,$$

$$\text{«1-3»}: 0 + 1 < 3,$$

$$\text{«2-1»}: 3 - 3 < 2,$$

$$\text{«2-2»}: 3 - 2 < 3,$$

$$\text{«2-4»}: 3 + 1 < 6,$$

$$\text{«3-4»}: 6 + 1 < 12,$$

$$\text{«4-1»}: -1 - 3 < 0,$$

$$\text{«4-2»}: -1 - 2 < 0.$$

Найденный опорный план оптимальный, так как для всех незагруженных клеток выполняется условие оптимальности. Оптимальное решение является единственным, так как все неравенства строгие.

Ответ: оптимальное распределение поставок:

$$X^* = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 100 \\ 0 & 0 & 200 & 0 \\ 100 & 100 & 100 & 0 \end{pmatrix}.$$

Данное распределение поставок обеспечит оптимальные транспортные издержки в размере 2300 усл. ден. ед.