

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА И КООРДИНАТ СКЛАДОВ В РЕГИОНЕ

# Определение месторасположения склада

Для определения месторасположения распределительного склада в регионе необходимо знать:

- месторасположение (координаты  $X$ ;,  $Y$ ;) фирм производителей и потребителей данной продукции (клиентов);
- объемы поставок продукции ( $Q$ );
- маршруты доставки (характеристику транспортной сети);
- затраты (или тарифы) на транспортные услуги ( $T$ ).

Вариант определения координат склада	Количество	Способ учета расстояний между объектами	Описание метода
1. Месторасположение склада выбирается на территории одного из объектов распределительной ети	Один	Кратчайшее расстояние: $r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2}$ где $x_i, y_i$ - координаты поставщика, потребителя; $x_c, y_c$ - координаты склада	Минимизация транспортной работы: $D_j = \sum Q_{ij} \times r_{ij} \rightarrow \min$
		“Манхэттенское расстояние”:	Минимизация транспортной работы: $D_j = \sum Q_{ij} \times d_{ij} \rightarrow \min.$
	Несколько складов (кол-во известно)	Оба способа учета расстояния между объектами $d_{ij} =  x_i - x_c  +  y_i - y_c $	Минимизация грузооборота (суммарных логистических затрат) на основе транспортно-производственной задачи
2. Расположение склада определяется с учетом координат размещения объектов складской распределительной системы	Один	“Манхэттенское расстояние”	$P_c = \begin{cases} Q_i  x_i - x_c  \rightarrow \min; \\ Q_i  y_i - y_c  \rightarrow \min \end{cases}$
3. Месторасположение склада определяется с учетом выбранного критерия оптимизации (физ. или экономического)	Один	Расстояние до объекта определяется от начала координат по оси X и Y	Метод центра тяжести: $x_c = \frac{\sum Q_i x_i}{\sum Q_i}; \quad y_c = \frac{\sum Q_i y_i}{\sum Q_i}$

Вариант определения координат склада	Кол-во	Способ учета расстояний между объектами	Описание метода
			Центр тяжести по тарифу: $x_c = \frac{\sum T_i x_i Q_i}{\sum T_i Q_i} \quad y_c = \frac{\sum T_i y_i Q_i}{\sum T_i Q_i}$
		Кратчайшее расстояние	Метод центра тяжести до расстояния: $x_c = \frac{\sum \frac{x_i}{d_i}}{\sum \frac{1}{d_i}} \quad y_c = \frac{\sum \frac{y_i}{d_i}}{\sum \frac{1}{d_i}}$
	Несколько складов (кол-во известно)	Кратчайшее расстояние "Манхэттенское расстояние"	Метод СПбГИЭУ* на основе транспортной задачи; прикладные пакеты программ

\* Метод СПбГИЭУ разработан на кафедре логистики и организации перевозок Санкт-Петербургского государственного инженерно-экономического университета.

## Пример 1.

Определить координаты склада при различных вариантах и способах учета расстояния между объектами (табл.2)

### 1 способ

Расстояние по формуле для кратчайших расстояний (1го и 2го поставщика):

$$r_{12} = \sqrt{(0 - 300)^2 + (575 - 500)^2} = 309,2 \approx 309$$

Значение транспортной работы для каждого пункта определяется как сумма произведений объема перевозок на расстояние:

$$P_1 = 300 \times 0 + 250 \times 309 + 150 \times 551 + 150 \times 474 + 75 \times 389 + 125 \times 500 + 100 \times 690 + 150 \times 601 = 481825 \text{ ткм.}$$

Координаты, км		Тариф за перевозку $T_i$ руб./ткм	Объем поставки (потребления) $Q_i$ , т
$x_i$	$y_i$		
<b>Поставщики</b>			
0	575	0,8	300
300	500	0,5	250
550	600	0,6	150
<b>Итого</b>			<b>700</b>
<b>Потребители (клиенты)</b>			
150	125	1	150
275	300	1	75
400	275	1	125
500	100	1	100
600	550	1	150
<b>Итого</b>			<b>600</b>

Пункт	$Q_i$ , т	Расстояния между пунктами, км							
		П1	П2	П3	К1	К2	К3	К4	К5
П1	300	0	309	551	474	389	500	690	601
П2	250	309	0	269	404	202	246	447	304
П3	150	551	269	0	621	407	358	502	71
К1	150	474	404	621	0	215	292	351	619
К2	75	389	202	407	215	0	127	301	410
К3	125	500	246	358	292	127	0	202	340
К4	100	690	447	502	351	301	202	0	461
К5	150	601	304	71	619	410	340	461	0
Транспортная работа, $P_i$ , ткм		481 825	<b>329 850</b>	461 825	516 925	367 975	389 725	563 675	479 150

50 ткм соответствует

распределительный центр.

## 2 способ ("Манхэттенское расстояние")

Склад не привязан к пунктам распределительной транспортной сети

По оси X:  $d_x = |x_2 - x_c| = |300 - 0| = 300$ ; транспортная работа  $P = d_x Q_2 = 300 \times 250 = 75\ 000$

По оси Y:  $d_y = |y_2 - y_c| = |500 - 575| = 75$ ; транспортная работа  $P = d_y Q_2 = 75 \times 250 = 18\ 750$

Минимальное значение по оси X соответствует координате  $x_c = 300$  и по оси Y -  $y_c = 500$ , где и будет располагаться распределительный центр. Транспортная работа:  $P = 229\ 375 + 184\ 375 = 413\ 750$ .

$Q_i$	$x_i$	$x_c = 0$		$x_c = 300$		$x_c = 550$		$x_c = 150$		$x_c = 275$		$x_c = 400$		$x_c = 500$		$x_c = 600$	
		$ x_i - x_c $	$d_{xi}Q_i$	$ x_i - x_c $	$d_{xi}Q_i$	$ x_i - x_c $	$d_{xi}Q_i$	$ x_i - x_c $	$d_{xi}Q_i$	$ x_i - x_c $	$d_{xi}Q_i$	$ x_i - x_c $	$d_{xi}Q_i$	$ x_i - x_c $	$d_{xi}Q_i$	$ x_i - x_c $	$d_{xi}Q_i$
300	0	0	0	300	90 000	550	165 000	150	45 000	275	82 500	400	120 000	500	150 000	600	180 000
250	300	300	75 000	0	0	250	62 500	150	37 500	25	6 250	100	25 000	200	50 000	300	75 000
150	550	550	82 500	250	37 500	0	0	400	60 000	275	41 250	150	22 500	50	7 500	50	7 500
150	150	150	22 500	150	22 500	400	60 000	0	0	125	18 750	250	37 500	350	52 500	450	67 500
75	275	275	20 625	25	1 875	275	20 625	125	9 375	0	0	125	9 375	225	16 875	325	24 375
125	400	400	50 000	100	12 500	150	18 750	250	31 250	125	15 625	0	0	100	12 500	200	25 000
100	500	500	50 000	200	20 000	50	5 000	350	35 000	225	22 500	100	10 000	0	0	100	10 000
150	600	600	90 000	300	45 000	50	7 500	450	67 500	325	48 750	200	30 000	100	15 000	0	0
<b>P по оси X</b>		390 625		229 375		339 375		285 625		235 625		254 375		304 375		389 375	
$Q_i$	$y_i$	$y_c = 575$		$y_c = 500$		$y_c = 600$		$y_c = 125$		$y_c = 300$		$y_c = 275$		$y_c = 100$		$y_c = 550$	
		$ y_i - y_c $	$d_{yi}Q_i$	$ y_i - y_c $	$d_{yi}Q_i$	$ y_i - y_c $	$d_{yi}Q_i$	$ y_i - y_c $	$d_{yi}Q_i$	$ y_i - y_c $	$d_{yi}Q_i$	$ y_i - y_c $	$d_{yi}Q_i$	$ y_i - y_c $	$d_{yi}Q_i$	$ y_i - y_c $	$d_{yi}Q_i$
300	575	0	0	75	22 500	25	7 500	450	135 000	275	82 500	300	90 000	475	142 500	25	7 500
250	500	75	18 750	0	0	100	25 000	375	93 750	200	50 000	225	56 250	400	100 000	50	12 500
150	600	25	3 750	100	15 000	0	0	475	71 250	300	45 000	325	48 750	500	75 000	50	7 500
150	125	450	67 500	375	56 250	475	71 250	0	0	175	26 250	150	22 500	25	3 750	425	63 750
75	300	275	20 625	200	15 000	300	22 500	175	13 125	0	0	25	1 875	200	15 000	250	18 750
125	275	300	37 500	225	28 125	325	40 625	150	18 750	25	3 125	0	0	175	21 875	275	34 375
100	100	475	47 500	400	40 000	500	50 000	25	2 500	200	20 000	175	17 500	0	0	450	45 000
150	550	25	3 750	50	7 500	50	7 500	425	63 750	250	37 500	275	41 250	450	67 500	0	0
<b>P по оси Y</b>		199 375		184 375		224 375		398 125		264 375		278 125		425 625		189 375	
<b>P</b>		<b>590 000</b>		<b>413 750</b>		<b>563 750</b>		<b>683 750</b>		<b>500 000</b>		<b>532 500</b>		<b>730 000</b>		<b>578 750</b>	

### 3 способ

### Определение координат склада по методу Центра тяжести

1) 
$$X_{c3.1} = \frac{390\ 625}{1300} = 300 \quad Y_{c3.1} = \frac{555\ 625}{1300} = 427$$

2) Расчет с учетом весовых коэффициентов в виде тарифа:

$$X_{c3.2} = \frac{320\ 125}{1055} = 303 \quad Y_{c3.2} = \frac{422\ 675}{1055} = 400$$

Исходные данные				По формулам для центра тяжести		По формулам с применением тарифов		
$x_i$	$y_i$	$T_i$	$Q_i$	$x_i Q_i$	$y_i Q_i$	$T_{ix} Q_i$	$T_i Q_i$	$T_{iy} Q_i$
0	575	0,8	300	0	172 500	0	240	138 000
300	500	0,5	250	75 000	125 000	37 500	125	62 500
550	600	0,6	150	82 500	90 000	49 500	90	54 000
150	125	1	150	22 500	18 750	22 500	150	18 750
275	300	1	75	20 625	22 500	20 625	75	22 500
400	275	1	125	50 000	34 375	50 000	125	34 375
500	100	1	100	50 000	10 000	50 000	100	10 000
600	550	1	150	90 000	82 500	90 000	150	82 500
Сумма		–	1300	390 625	555 625	320 125	1055	422 625

Транспортная работа при распоряжении склада в центре тяжести

1) 442 950 (229 375 + 213 575)

Исходные данные			C <sub>3.1</sub> (300; 427)		C <sub>3.2</sub> (303; 400)	
$x_i$	$y_i$	$Q_i$	$Q_i  x_i - x_c $	$Q_i  y_i - y_c $	$Q_i  x_i - x_c $	$Q_i  y_i - y_c $
0	250	300	90 000	44 400	90 900	52 500
250	550	250	0	18 250	750	25 000
550	600	150	37 500	25 950	37 050	30 000
150	125	150	22 500	45 300	22 950	41 250
275	300	75	1875	9525	2100	7500
400	275	125	12 500	19 000	12 125	15 625
500	100	100	20 000	32 700	19 700	30 000
600	550	150	45 000	18 450	44 550	22 500
Сумма			229 375	213 575	230 125	224 375

Транспортная работа :)

# Транспортная составляющая логистических издержек в зависимости от количества складов в регионе

Определение количества складов в регионе и координат их расположения.

Предполагается, что известны:

- координаты поставщика  $(x_i, y_i)$  и потребителя  $(x_j, y_j)$  ;
- объемы произведенной  $(Q_i)$  и потребляемой клиентурой  $(P_j)$  продукции;
- характеристики транспортной сети региона (например, для крупного города имеется сеть дорог, позволяющих осуществлять перевозки между поставщиками, потребителями и складами, количество и расположение которых требуется определить).



Результаты расчетов транспортной работы  
при разном количестве складов в регионе

Количество складов	Координаты склада, км; загрузка, т	Транспортная работа, ткм
Нет складов	—	249 500
Один склад	$x_A = 320$ км, $y_A = 370$ км	388 230
Два склада*	1-й вариант: склад А: $x_A = 200$ км; $y_A = 300$ км; 300 т; склад В: $x_B = 400$ км; $y_B = 300$ км; 400 т	334 250
	2-й вариант: склад А: $x_A = 300$ км; $y_A = 200$ км; 300 т; склад В: $x_B = 300$ км; $y_B = 400$ км; 400 т	343 875
Три склада**	склад А: $x_A = 200$ км; $y_A = 400$ км; 200 т; склад В: $x_B = 300$ км; $y_B = 200$ км; 300 т; склад С: $x_C = 400$ км; $y_C = 400$ км; 200 т	343 150
* Приведены результаты после нескольких итераций.		
** Приведен один из вариантов.		

# Алгоритм оценки влияния размещения складской сети на транспортные расходы

Первый этап.

$$L_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad P = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n L_{ij} \times Q_{ij} \times W_{ij} \rightarrow \min, \quad S = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Z_{ij} \times L_{ij} \times C_0,$$

$$Z_{ij} = Q_{ij} / q_{ij} \times \gamma_{ij} \quad \begin{array}{l} \text{- ПОС } i = (1, \dots, m) \\ \text{- ПОТ } j = (1, \dots, n) \end{array}$$

$Q_{ij}$  - объем груза, перевозимого от  $i$ -го поставщика к  $j$ -му потребителю

$W_{ij}$  - произведение весовых долей  $i$ -го поставщика и  $j$ -го потребителя

$Z_{ij}$  - количество груженных рейсов от  $i$ -го поставщика к  $j$ -му потребителю

$C_0$  - тариф на перевозку, у.е./км

$q_{ij}$  - номинальная грузоподъемность подвижного состава, используемого при перевозке от  $i$ -го поставщика к  $j$ -му потребителю

$\gamma_{ij}$  - коэффициент использования грузоподъемности подвижного состава используемого при перевозке от  $i$ -го поставщика к  $j$ -му потребителю

Второй этап.

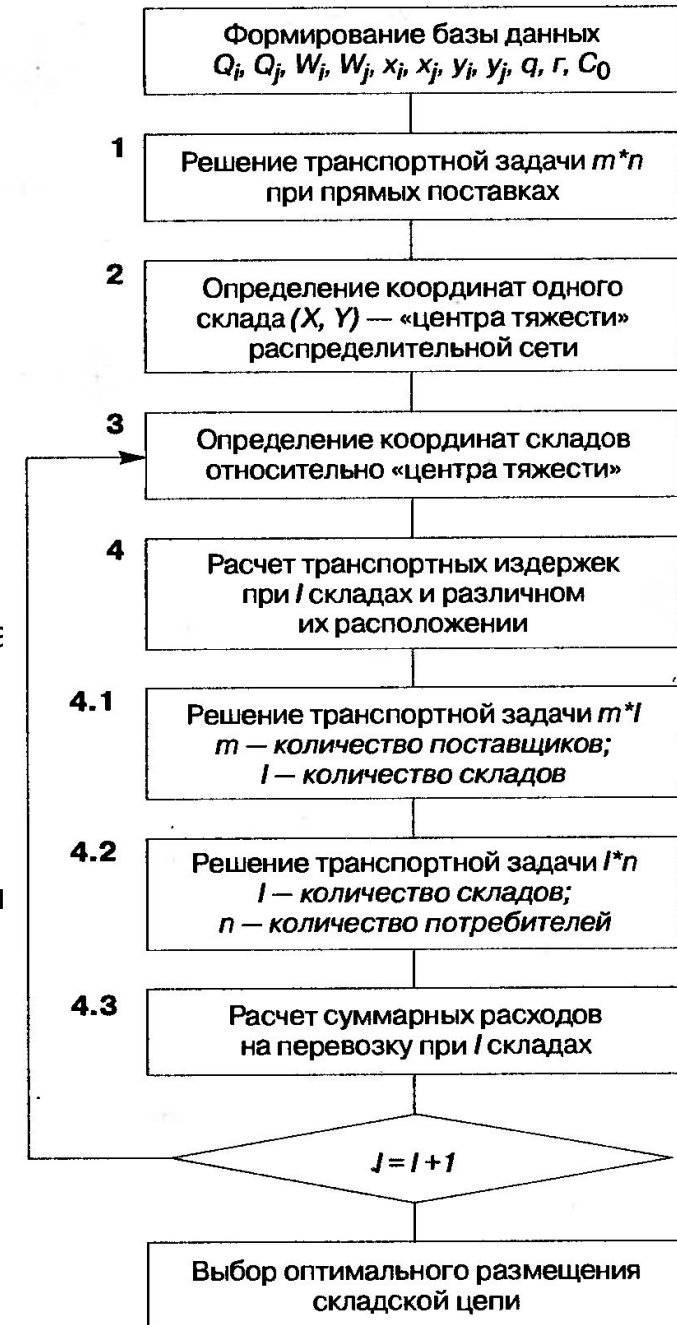
$$P = \sum_{i=1}^m L_i \times Q_i \times W_i + \sum_{j=1}^n L_j \times Q_j \times W_j \rightarrow \min, \quad S = \sum_{i=1}^m Z_i \times L_i \times C_0 + \sum_{j=1}^n Z_j \times L_j \times C_0,$$

$L_i, L_j$  - соот-но расстояние от склада до  $i$ -го поставщика и до  $j$ -го потребителя

$Q_i, Q_j$  - соот-но объем груза, перевозимый на склад от  $i$ -го поставщика и со склада до  $j$ -го потребителя.

-соот-но количество ездов от  $i$ -го поставщика до склада

$Z_i, Z_j$  и от склада до  $j$ -го потребителя.



### Третий этап.

- определяют расстояния между координатами максимально удалённых друг от друга пунктов:

$$\Delta X = \max(x_i, x_j) - \min(x_i, x_j); \quad \Delta Y = \max(y_i, y_j) - \min(y_i, y_j),$$

- выбирают минимальное расстояние и определяют радиус окружности R, на которой диаметрально располагаются склады:

$$\Delta = \min(\Delta X, \Delta Y);$$

склады располагают сначала горизонтально, а затем вертикально

$$R = 0,1 \times \Delta,$$

относительно осей координат;

- первоначально принятый радиус  $R = 0,1\Delta$  увеличивают до  $0,2\Delta$ , затем до  $0,3\Delta$  и т. д.

### Четвертый этап.

$$P = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l L_{ik} \times Q_{ik} \times W_{ik} + \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^n L_{kj} \times Q_{kj} \times W_{kj} \rightarrow \min,$$

$i = (1, \dots, m)$  - поставщики;  $k = (1, \dots, l)$  - склады;  $j = (1, \dots, n)$  - потребители;

$L_{ik}, L_{kj}$  - соответственно расстояние от i-го поставщика до k-го склада и от k-го склада до j-го потребителя;

$Q_{ik}, Q_{kj}$  - соответственно объёмы перевозок грузов от i-го поставщика до k-го склада и от k-го склада до j-го потребителя;

$W_{ik}, W_{kj}$  - соответственно произведение весовых долей i-го поставщика и k-го склада, k-го склада и j-го потребителя.

$Z_{ik}, Z_{kj}$  - соответственно количество гружёных рейсов от i-го поставщика до k-го склада и от k-го склада до j-го потребителя.

$$S = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l Z_{ik} \times L_{ik} \times C_0 + \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^n Z_{kj} \times L_{kj} \times C_0,$$

# Пример

Исходные данные для расчета

Поставщики			Потребители		
объем предложения, т	координаты, км		объем спроса, т	координаты, км	
	$x_i$	$y_i$		$Q_j$	$x_j$
100	200	125	100	575	400
50	300	400	50	400	100
150	550	300	150	400	250
150	150	725	150	700	600
750	275	300	750	200	350
125	800	675	125	275	575
300	500	100	300	600	700
500	750	550	500	550	650

Результаты расчета величины транспортных расходов в зависимости от количества складов и их расположения по первому варианту

Расположение складов	Радиус	Величина транспортных расходов, у. е. при количестве складов				
		нет	1 склад	2 склада	3 склада	4 склада
Горизонтальное	0,1Δ	52 409	148 078	126 092	125 452	123 671
Вертикальное		52 409	148 078	133 599	128 022	125 522
Горизонтальное	0,2Δ	52 409	148 078	111 697	110 445	106 461
Вертикальное		52 409	148 078	126 225	116 923	109 434
<b>Горизонтальное*</b>	0,3Δ	<b>52 409</b>	<b>148 078</b>	<b>108 477</b>	<b>106 532</b>	<b>114 798</b>
Вертикальное		52 409	148 078	128 903	111 843	104 116
Горизонтальное	0,4Δ	52 409	148 078	118 683	118 445	114 300
<b>Вертикальное**</b>		<b>52 409</b>	<b>148 078</b>	<b>137 870</b>	<b>114 171</b>	<b>110 587</b>

\* Минимум транспортных расходов при двух и трех складах.  
 \*\* Максимум транспортных расходов при одном складе.

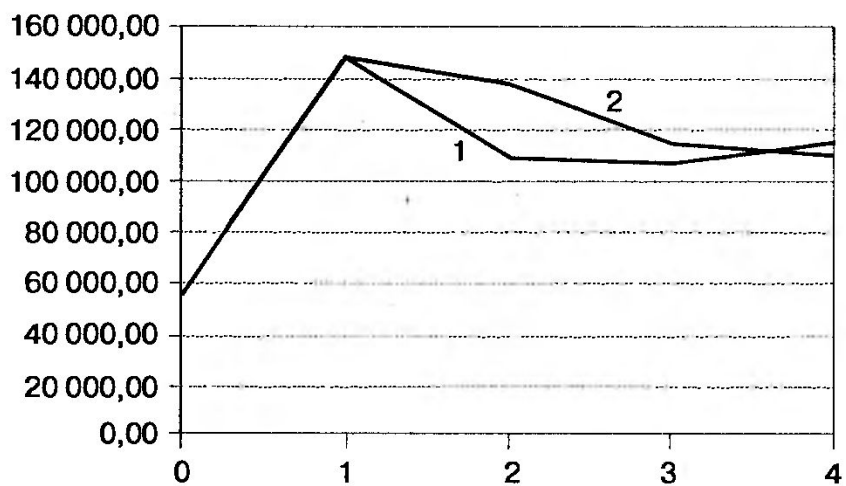
Результаты расчета величины транспортных расходов в зависимости от количества складов и их расположения по второму варианту

Расположение складов	Радиус	Величина транспортных расходов, у. е. при количестве складов				
		нет	1 склад	2 склада	3 склада	4 склада
Горизонтальное	0,1Δ	52 409	222 853	191 227	187 762	187 814
Вертикальное		52 409	222 853	200 311	193 342	188 478
Горизонтальное	0,2Δ	52 409	222 853	166 286	162 205	161 460
Вертикальное		52 409	222 853	188 636	174 965	162 833
<b>Горизонтальное*</b>	0,3Δ	<b>52 409</b>	<b>222 853</b>	<b>160 109</b>	<b>157 616</b>	<b>154 720</b>
Вертикальное		52 409	222 853	191 407	170 816	153 677
Горизонтальное	0,4Δ	52 409	222 853	177 474	178 676	161 772
<b>Вертикальное**</b>		<b>52 409</b>	<b>222 853</b>	<b>205 101</b>	<b>176 589</b>	<b>165 237</b>

\* Минимум транспортных расходов при двух и трех складах.  
 \*\* Максимум транспортных расходов при одном складе.

1 — Минимум транспортных расходов  
 2 — Максимум транспортных расходов

Транспортные расходы, у. е.

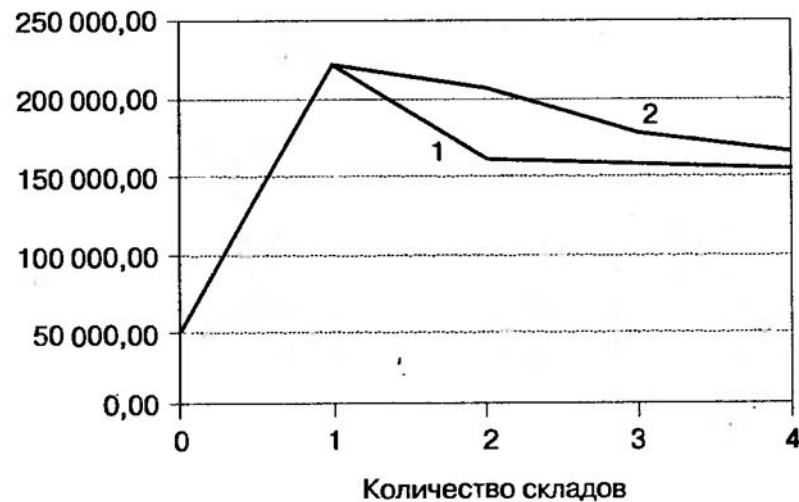


Количество складов

зависимость транспортных расходов от количества складов

и их расположения по первому варианту

Транспортные расходы, у. е.



Количество складов

зависимость транспортных расходов от

и их расположения по первому варианту

## Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

- 1) при прямых транзитных связях между производителями и потребителями величина транспортных расходов минимальна;
- 2) на величину транспортных расходов сильное влияние оказывает не только количество складов в распределительной сети, но и их пространственное расположение относительно поставщиков и потребителей;
- 3) величина транспортных расходов сильно возрастает при мелкопартионной отправке товаров со складов потребителям малотоннажным подвижным составом;
- 3) для конкретной распределительной сети можно найти оптимальное количество складов, при котором величина транспортных расходов будет минимальна, но при изменении координат поставщиков и потребителей, а также координат самих складов величина транспортных расходов изменится и надо будет искать новое решение;
- 4) полученные зависимости отличны от известных зависимостей , суммарных расходов на транспортировку от числа складов, при веденных в литературе;
- 5) дальнейшие исследования должны быть направлены на построение таких алгоритмов решения задачи оптимального размещения складской сети, которые позволили бы учесть наличие одного или нескольких складов в регионе, многоменклатурность товаров, а также другие факторы, влияющие на оптимальное месторасположение складской сети.