ПРОБЛЕМА СНАБЖЕНИЯ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПОДХОДЫ К ЕЕ РЕШЕНИЮ

Часть II

Аннотация. Статья посвящена применению методов управления поставками и запасами на автотранспортных предприятиях. Известно, что неэффективное управление запасами приводит к двум проблемам: образованию неликвидов и возникновению дефицита. На автотранспортных предприятиях обе эти проблемы приводят к существенным издержкам, поэтому остро стоит вопрос о разработке оптимальной стратегии управления запасами. В статье представлены примеры расчета показателей запасов на основе различных методик и проведен их сравнительный анализ.

Ключевые слова. Логистика снабжения, транспортные предприятия, методы управления запасами, распределение Пуассона, расчет показателей, стохастическое программирование.

Annotation. The article is devoted to use of methods in delivery and inventory management in transport companies. It is known that poor inventory management leads to two problems: illiquid assets and deficit. In transport companies both of these problems lead to significant costs, therefore an urgent need for developing an optimal policy of inventory management is particularly acute. The paper presents examples of inventory stocks parameters calculations based on various methods and their comparative analysis.

Key words. Supply logistics, transport companies, methods of inventory stocks management, Poisson's distribution, parameter calculations, stochastic programming.

Андрей Бочкарев
Санкт-Петербургский филиал НИУ ВШЭ, д.э.н., профессор департамента логистики и управления цепями поставок

Дарья Замалетдинова
Санкт-Петербургский филиал НИУ ВШЭ, аспирант

Задача выбора поставщиков и оптимизация размера партии поставки в условиях редкого спроса как задача стохастического программирования

В первой части статьи (журнал «Логистика» № 11 за 2015 год) рассмотрен подход к управлению запасами для товарных групп, относящихся к редким событиям, заключающийся в расчете показателей запаса при редком спросе на основе распределения Пуассона по методике, изложенной в работах [3, 4]. Существует альтернативный подход к формированию оптимальной стратегии управления запасами. В ряде зарубежных исследований предлагается математическая постановка задачи расчета размера партии поставки и выбора поставщиков с учетом площади складских помещений и бюджетных ограничений [7]. Решение данной задачи позволяет определить величину оптимального размера партии для каждого поставщика и минимизировать общие затраты на закупки, которые включают затраты на приобретение продуктов, транзакционные издержки для поставщиков и затраты на хранение для оставшихся запасов. Существуют различные методы ее решения. Предполагая, что спрос на ресурсы известен на весь период планирования, данную задачу можно представить в виде динамической модели линейного программирования. В условиях нестационарного спроса предложена математическая постановка этой задачи в виде модели стохастического программирования [1]. Поскольку редкий спрос на ресурсы также относится к категории нестационарного, по нашему мнению, целесообразно использовать стохастическую постановку данной задачи.

Рассмотрим содержательную постановку данной задачи. Некой компании требуется разработать оптимальную стратегию закупок материальных ресурсов на определенный период. Имеется несколько альтернативных поставщиков этих ресурсов. Необходимо определить оптимальный размер партии поставки для каждого поставщика и минимизировать общие затраты на закупки, которые включают затраты на приобретение материальных ресурсов, транзакционные издержки для поставщиков и затраты на хранение оставшихся запасов. Предполагается, что расход материальных ресурсов в рассматриваемом периоде планирования носит вероятностный характер. Например, расход этих ресурсов может быть отнесен к редким событиям, подчиненным распределению Пуассона.

Конкретизируем отдельные параметры и ограничения данной задачи для рассматриваемого примера со стартерами для двигателей и приведем пример ее численного решения.

Очевидно, что в нашем случае вероятность реализации того или иного сценария будет определяться на основании распределения Пуассона. Расчет этих вероятностей представлен в таблицах 6 и 7 в первой части статьи. Данные о прогнозах расхода запчастей и вероятностях реализации того или иного сценария спроса представлены в таблице 1.

Данные, представленные в таблице 1, показывают, что имеются три возможных сценария расхода запчастей:

1) низкий расход ($D_{1,2} \le 1$; $D_{2,2} = 1$; $D_{3,2} = 1$) с вероятностью $p_1 \approx 0{,}75$;
2) средний расход ($D_{1,2} = 2$; $D_{2,2} = 1$; $D_{3,2} = 1$) с вероятностью $p_2 \approx 0{,}20$;
3) высокий расход ($D_{1,2} = 3$; $D_{2,2} = 2$; $D_{3,2} = 2$) с вероятностью $p_3 \approx 0{,}05$.

Кроме того, примем для первого периода времени величину расхода равной $D_{1,1} = 1$, $D_{2,1} = 0$ и $D_{3,1} = 0$, а величину закупок, равной $X_{1,1,1} = 1$, все остальные значения $X_{i,j,1} = 0$, т.е. в первом периоде осуществлена закупка одной запчасти стартер MAN, которая в этом же периоде израсходована.

Тогда целевая функция задачи выбора поставщиков и оптимизации размера партии поставки в условиях изменяющегося спроса будет иметь вид:

$$TC = TC_0 + p_1 \cdot TC_1 + p_2 \cdot TC_2 + p_3 \cdot TC_3 \to \min \quad (4),$$

где TC_0 – общие затраты на закупки за первый период; TC_1, TC_2, TC_3 – соответственно общие затраты на закупки за второй период по 1, 2 и 3 сценариям; $p_1 = 0{,}75$, $p_2 = 0{,}20$ и $p_3 = 0{,}05$ – соответственно вероятность реализации 1, 2 и 3 сценариев.

Каждое из слагаемых TCs целевой функции (4) представляет собой подмодель следующего вида:

$$TC_s = \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t} P_{i,j} X_{i,j,t} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{t} O_j Y_{j,t} + \\ + \sum_{i=1}^{I}\sum_{t} H_i \left(\sum_{k=1}^{t}\sum_{j=1}^{J} X_{i,j,k} - \sum_{k=1}^{t} D_{i,k} \right) + \\ + f \cdot \left(\sum_{j=1}^{J}\sum_{t} \left(\min_{j} \left\{ P_{i,j} \right\} \Delta D_{i,k} \right) \right) \quad (5)$$

где $i \in \{1, \ldots, I\}$ – множество индексов запасных частей; $j \in \{1, \ldots, J\}$ – множество

Таблица 1.

Прогнозы расхода запчастей во втором периоде ($t = 2$)

Номенклатурная позиция	Величина расхода, $D_{i,t}$, ед.	Вероятность
Низкий расход (сценарий 1)		
Стартер MAN ($i = 1$)	$D_{1,2} \le 1$	$p_1 \approx 0{,}75$
Стартер CAT ($i = 2$)	$D_{2,2} = 0$	
Стартер ЛиАЗ ($i = 3$)	$D_{3,2} = 0$	
Средний расход (сценарий 2)		
Стартер MAN ($i = 1$)	$D_{1,2} = 2$	$p_2 \approx 0{,}20$
Стартер CAT ($i = 2$)	$D_{2,2} = 1$	
Стартер ЛиАЗ ($i = 3$)	$D_{3,2} = 1$	
Высокий расход (сценарий 3)		
Стартер MAN ($i = 1$)	$D_{1,2} = 3$	$p_3 \approx 0{,}05$
Стартер CAT ($i = 2$)	$D_{2,2} = 2$	
Стартер ЛиАЗ ($i = 3$)	$D_{3,2} = 2$	

индексов поставщиков; $t \in \{1, ..., T\}$ – множество индексов временных периодов; $D_{i,t}$ – спрос на запчасти i в период времени t; $P_{i,t}$ – цена запчасти i у поставщика j; H_i – затраты на хранение запасов запчасти i за период; Q_t – транзакционные издержки для поставщика j; $X_{i,j,t}$ – переменная, количество запчастей i, закупленных у поставщика j в период времени t; $Y_{j,t}$ – переменная, принимающая значение 1, если сделан заказ от поставщика j в период t, иначе 0.

Требуется вычислить значения переменных $X_{i,j,t}$ и $Y_{j,t}$, обращающих значение целевой функции в минимум. Первое слагаемое в выражении (5) представляет суммарную стоимость закупок запчастей, второе – суммарные транзакционные издержки, третье слагаемое – суммарные издержки на хранение запасов, четвертое – сумму штрафов за дефицит (дефицит в данной модели допустим, и представляет превышение спроса на запчасти i в период времени t $D_{i,t}$ над закупками в том же периоде $X_{i,j,t}$).

Математическая постановка данной задачи достаточно громоздкая, поэтому полностью в этой статье не рассматривается (ее математическая постановка отражена в работе [1]).

Результаты численного решения задачи, выполненные в Excel с помощью программы Premium Solver Pro (надстройки электронной таблицы Excel) представлены в таблицах 2–5.

Минимальные общие затраты на закупки за все периоды составляют:

$$TC = 82\,302{,}0 + 0{,}75 \times 9774{,}0 + \\ + 0{,}20 \times 143\,426{,}0 + 0{,}05 \times 287\,614{,}0 = \\ = 132\,698{,}4 \text{ руб.}$$

Таблица 2.

Результаты численного решения задачи (период 1)

№	Наименование показателя	Стартер MAN	Стартер CAT	Стартер ЛиАЗ	Затраты на приобретение, руб.	Бюджетные ограничения, руб.
1	Закупочная цена запчасти у поставщика X, P_{1j}, руб.	45 440,00	31 740,00	23 440,00	45 440	200 000
2	Закупочная цена запчасти у поставщика Y, P_{2j}, руб.	49 984,00	34 914,00	25 784,00	Переменная Y_{jt}	Транзакционные издержки, O_j, руб.
3	Закупочная цена запчасти у поставщика Z, P_{3j}, руб.	54 528,00	38 088,00	28 128,00		
4	Количество запчастей, закупленных у поставщика X, X_{1jt}, ед.	1	0	0	1	11 000
5	Количество запчастей, закупленных у поставщика Y, X_{2jt}, ед.	0	0	0	1	10 000
6	Количество запчастей, закупленных у поставщика Z, X_{3jt}, ед.	0	0	0	1	8000
7	∑ количество запчастей, закупленных у поставщиков, ед.	1	0	0		
8	Вспомогательная переменная, R_{jt}, ед.	0	1	2		
9	Расход запчастей в течение периода, D_{jt}, ед.	1	0	0	Сумма, $\sum S_{Tjt}$-1	
10	Текущий запас на начало периода, S_{Tjt-1}, ед.	0	1	2	3	
11	Издержки на хранение ед. товара/период, H_j, руб.	4544,00	3174,00	2344,00	Сумма, $\sum S_{Tjt}$	
12	Текущий запас на конец периода, S_{Tjt}, ед.	0	1	2	3	
13	Максимальный общий запас, $Smax_j$, ед.	4	2	2	8	
14	Издержки, связанные с дефицитом запчастей, F_j, руб.	0,00	0,00	0,00		
15	Общие затраты на закупки за период, TC_1, руб.	**82 302,0**				

Таблица 3.

Результаты численного решения задачи (период 2, сценарий 1)

№	Наименование показателя	Стартер MAN	Стартер CAT	Стартер ЛиАЗ	Затраты на приобретение, руб.	Бюджетные ограничения, руб.
1	Закупочная цена запчасти у поставщика X, P_{1j}, руб.	45 440,00	31 740,00	23 440,00	181 760	200 000
2	Закупочная цена запчасти у поставщика Y, P_{2j}, руб.	49 984,00	34 914,00	25 784,00	Переменная Y_{jt}	Транзакционные издержки, O_j, руб.
3	Закупочная цена запчасти у поставщика Z, P_{3j}, руб.	54528,00	38088,00	28128,00		
4	Количество запчастей, закупленных у поставщика X, X_{1jt}, ед.	4	0	0	1	11 000
5	Количество запчастей, закупленных у поставщика Y, X_{2jt}, ед.	0	0	0	0	10 000
6	Количество запчастей, закупленных у поставщика Z, X_{3jt}, ед.	0	0	0	0	8000
7	∑ количество запчастей, закупленных у поставщиков, ед.	4	0	0		
8	Вспомогательная переменная, R_{jt}, ед.	3	1	2		
9	Расход запчастей в течение периода, D_{jt}, ед.	1	0	0	Сумма, $\sum S_{Tjt}$-1	
10	Текущий запас на начало периода, S_{Tjt-1} ед.	0	1	2	3	
11	Издержки на хранение ед. товара/период, H_j, руб.	45 44,00	31 74,00	23 44,00	Сумма, $\sum S_{Tjt}$	
12	Текущий запас на конец периода, S_{Tjt}, ед.	3	1	2	6	
13	Максимальный общий запас, $Smax_j$, ед.	4	2	2	8	
14	Издержки, связанные с дефицитом запчастей, F_j, руб.	−204 480,00	0,00	0,00		
15	Общие затраты на закупки за период, TC_2, руб.	**9774,0**				

Таблица 4.

Результаты численного решения задачи (период 2, сценарий 2)

№	Наименование показателя	Стартер MAN	Стартер CAT	Стартер ЛиАЗ	Затраты на приобретение, руб.	Бюджетные ограничения, руб.
1	Закупочная цена запчасти у поставщика X, P_{1j}, руб.	45 440,00	31 740,00	23 440,00	19 9800	200 000
2	Закупочная цена запчасти у поставщика Y, P_{2j}, руб.	49 984,00	34 914,00	25 784,00	Переменная Y_{jt}	Транзакционные издержки, O_j, руб.
3	Закупочная цена запчасти у поставщика Z, P_{3j}, руб.	54 528,00	38 088,00	28 128,00		
4	Количество запчастей, закупленных у поставщика X, X_{1jt}, ед.	3	2	0	1	11 000
5	Количество запчастей, закупленных у поставщика Y, X_{2jt}, ед.	0	0	0	0	10 000
6	Количество запчастей, закупленных у поставщика Z, X_{3jt}, ед.	0	0	0	0	8000
7	∑ количество запчастей, закупленных у поставщиков, ед.	3	2	0		

Окончание таблицы 4

№	Наименование показателя	Стартер MAN	Стартер CAT	Стартер ЛиАЗ	Затраты на приобретение, руб.	Бюджетные ограничения, руб.
8	Вспомогательная переменная, R_{jt}, ед.	1	2	1		
9	Расход запчастей в течение периода, D_{jt}, ед.	2	1	1	Сумма, $\sum S_{Tjt}$-1	
10	Текущий запас на начало периода, S_{Tjt-1}, ед.	0	1	2	3	
11	Издержки на хранение ед. товара/период, H_j, руб.	4544,00	3174,00	2344,00	Сумма, $\sum S_{Tj}$	
12	Текущий запас на конец периода, S_{Tjt}, ед.	1	2	1	4	
13	Максимальный общий запас, $S\max_j$, ед.	4	2	2	8	
14	Издержки, связанные с дефицитом запчастей, F_j, руб.	–68 160,00	–47 610,00	35 160,00		
15	Общие затраты на закупки за период, TC_2, руб.	**14 3426,0**				

Таблица 5.

Результаты численного решения задачи (период 2, сценарий 3)

№	Наименование показателя	Стартер MAN	Стартер CAT	Стартер ЛиАЗ	Затраты на приобретение, руб.	Бюджетные ограничения, руб.
1	Закупочная цена запчасти у поставщика X, P_{1j}, руб.	45 440,00	31 740,00	23 440,00	191 500	200 000
2	Закупочная цена запчасти у поставщика Y, P_{2j}, руб.	49 984,00	34 914,00	25 784,00	Переменная Y_{jt}	Транзакционные издержки, O_j, руб.
3	Закупочная цена запчасти у поставщика Z, P_{3j}, руб.	54 528,00	38 088,00	28 128,00		
4	Количество запчастей, закупленных у поставщика X, X_{1jt}, ед.	3	1	1	1	11 000
5	Количество запчастей, закупленных у поставщика Y, X_{2jt}, ед.	0	0	0	0	10 000
6	Количество запчастей, закупленных у поставщика Z, X_{3jt}, ед.	0	0	0	0	8000
7	$\sum$ количество запчастей, закупленных у поставщиков, ед.	3	1	1		
8	Вспомогательная переменная, R_{jt}, ед.	0	0	1		
9	Расход запчастей в течение периода, D_{jt}, ед.	3	2	2	Сумма, $\sum S_{Tjt}$-1	
10	Текущий запас на начало периода, S_{Tjt-1}, ед.	0	1	2	3	
11	Издержки на хранение ед. товара/период, H_j, руб.	4544,00	3174,00	2344,00	Сумма, $\sum S_{Tj}$	
12	Текущий запас на конец периода, S_{Tjt}, ед.	0	0	1	1	
13	Максимальный общий запас, $S\max_j$, ед.	4	2	2	8	
14	Издержки, связанные с дефицитом запчастей, F_j, руб.	0,00	47 610,00	35 160,00		
15	Общие затраты на закупки за период, TC_1, руб.	**287 614,0**				

Обращает внимание то обстоятельство, что издержки, связанные с дефицитом товара F_j, возрастают в случае увеличения расхода запчастей, а текущий запас S_T поддерживается на минимальном уровне, который значительно ниже величины максимального желательного запаса $S\max$ (см. табл. 4 и 5). Следовательно, не обеспечивается требуемая надежность системы управления запасами, более того, она снижается при увеличении расхода запчастей, так как при наличии запаса текущая потребность удовлетворяется за его счет. В случае низкого расхода запчастей текущая потребность удовлетворяется за счет закупок запчастей у поставщиков, а текущий запас S_T увеличивается, что позволяет повысить надежность системы управления запасами. При этом переменная F_j – издержки, связанные с дефицитом запчастей, – может принимать как положительные, так и отрицательные значения, это позволяет наращивать текущий запас S_T в случае низкого расхода запчастей и снижать его в случае увеличения.

Сравнительный анализ расчетов, выполненных по двум методикам, представлен в таблице 6.

Прямое сравнение результатов расчетов, проведенных по этим двум методикам, затруднительно.

1. Периодичность поставок различна. Поскольку интенсивность расходования запаса невысока, первая методика делает нецелесообразной поставку запчастей чаще чем один раз в три месяца. По второй методике план поставок разрабатывается ежемесячно, на один месяц вперед. Благодаря ежемесячным поставкам возможно поддержание общего запаса на более низком уровне, но существенно снижается надежность системы управления запасами при высоком расходе запаса.
2. Вторая методика не разделяет общий запас на текущий и страховой. По сути, величина максимального желательного запаса $S\max$ – верхнее ограничение для величины текущего запаса $S_{Tj,t}$ в математической модели данной задачи. Рассчитывая вероятность наличия запаса $P(k)$ мы приняли, что текущий запас $S_{Tj,t}$ равен максимальному (общему) запасу $S\max$ (см. табл. 6).
3. При решении задачи расчета размера партии поставки и выбора поставщиков в условиях редкого спроса целевая функция требует минимизации общих затрат на закупки за все периоды планирования, а не минимизации суммарной стоимости запасов. Но суммарные издержки на хранение запасов являются одним из слагаемых целевой функции, поэтому при высоком расходе запасы в конце второго периода планирования обнуляются.
4. При решении задачи могут быть учтены дополнительные ограничения. В рассматриваемом примере – это бюджетные ограничения, которые приняты равными B_t = 200 000 руб./месяц для всех временных периодов t = 1, 2.

Заключение

Проведенное исследование показывает, что проблема управления запасами для товарных групп, относящихся к редким событиям, весьма сложна и требует серьезных усилий для своего решения. Рассмотрены два альтернативных подхода к решению:

1) расчет показателей запаса при редком характере спроса на основе распределения Пуассона по методике, изложенной в работах [3, 4];
2) решение задачи расчета размера партии поставки и выбора поставщиков в условиях редкого спроса как задачи стохастического программирования по методике, изложенной в работе [1].

Каждый альтернативный подход имеет свои преимущества и недостатки. Преимущество первого – в его относительной простоте. Недостаток данного подхода связан с редким характером спроса и, как следствие, результаты расчетов показывают, что необходимо увеличивать интервалы времени между поставками, что неизбежно приводит к увеличению общего запаса. Второй подход не накладывает никаких ограничений на периодичность поставок и позволя-

Таблица 6.

Сравнительный анализ результатов расчетов

Показатель	Номенклатурная позиция			Сумма
	стартер MAN	стартер CAT	стартер ЛиАЗ	
Расчет по методике [3, 4]				
Периодичность поставок, мес.	3	3	3	
Текущий (средний) запас S_T, ед.	2,5	1	1	4,5
Страховой запас S_c, ед.	4,5	3	3	10,5
Максимальный (общий) запас $S\max$, ед.	7	4	4	15
Вероятность наличия запаса $P(k)$	0,9958	0,9963	0,9963	
Среднегодовая стоимость единицы запаса, руб.	45 440	31 740	23 440	
Суммарная стоимость запасов, руб.	318 080	126 960	93 760	538 800
Расчет по методике [1] при низком расходе запаса				
Периодичность поставок, мес.	1	1	1	
$\sum$ количество запчастей, закупленных у поставщиков, ед.	4	0	0	
Расход запчастей в течение периода D_{jt}, ед.	1	0	0	
Текущий запас на начало периода, $S_{Tjt\text{-}1}$, ед.	0	1	2	3
Текущий запас на конец периода, S_{Tjt}, ед.	3	1	2	6
Вероятность наличия запаса $P(k)$	0,9810	0,9554	0,9952	
Среднегодовая стоимость единицы запаса, руб.	45 440	31 740	23 440	
Суммарная стоимость запасов, руб.	13 6320	31 740	46 880	214 940
Расчет по методике [1] при среднем расходе запаса				
Периодичность поставок, мес.	1	1	1	
$\sum$ количество запчастей, закупленных у поставщиков, ед.	3	2	0	
Расход запчастей в течение периода D_{jt}, ед.	2	1	1	
Текущий запас на начало периода, $S_{Tjt\text{-}1}$, ед.	0	1	2	3
Текущий запас на конец периода, S_{Tjt}, ед.	1	2	1	4
Вероятность наличия запаса $P(k)$	0,4060	0,9197	0,7358	
Среднегодовая стоимость единицы запаса, руб.	45 440	31 740	23 440	
Суммарная стоимость запасов, руб.	45 440	63 480	23 440	132 360
Расчет по методике [1] при высоком расходе запаса				
Периодичность поставок, мес.	1	1	1	
$\sum$ количество запчастей, закупленных у поставщиков, ед.	3	1	0	
Расход запчастей в течение периода D_{jt}, ед.	3	2	2	
Текущий запас на начало периода, $S_{Tjt\text{-}1}$, ед.	0	1	2	3
Текущий запас на конец периода, S_{Tjt}, ед.	0	0	1	1
Вероятность наличия запаса $P(k)$	0,0498	0,1353	0,7358	
Среднегодовая стоимость единицы запаса, руб.	45 440	31 740	23 440	
Суммарная стоимость запасов, руб.	0	0	23 440	23 440

ет поддерживать запасы на минимальном уровне, что является его преимуществом. Но данный подход имеет два существенных недостатка. Во-первых, расчеты более трудоемкие, требующие не только специальных знаний в области математического программирования, но и специализированного программного обеспечения. В частности, для численного решения рассматриваемого примера использована программа Premium Solver Pro, являющаяся надстройкой электронной таблицы Excel. Во-вторых, решение задачи позволяет определить величину оптимального размера партии для каждого поставщика и минимизировать общие затраты на закупки, которые включают затраты на приобретение ресурсов, транзакционные издержки для поставщиков, затраты на хранение для оставшихся запасов и издержки, связанные с дефицитом. Но в случае высокого расхода запчастей возможно снижение запасов до нулевого уровня и, соответственно, снижение надежности системы управления запасами.

Говоря о пассажирских автобусных парках, в которых должен поддерживаться высокий уровень технической готовности подвижного состава, простои автобусов в ожидании ремонта крайне нежелательны. Разумнее использовать первую рассматриваемую методику. Если же простои подвижного состава в ожидании ремонта допустимы, но недопустим перерасход бюджетных средств на закупку запчастей, то, по нашему мнению, целесообразно использовать вторую методику.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бочкарев А.А., Бочкарев П.А. Проблема выбора поставщиков и оптимизации размера партии поставки // Логистика и управление цепями поставок. – 2014. – № 1 (60). – С. 37–42.
2. Бочкарев А.А. Планирование и моделирование цепи поставок. – М.: Альфа-Пресс, 2008. – 192 с.
3. Лукинский В.В., Замалетдинова Д.А. Методы управления запасами: расчет показателей запаса для товарных групп, относящихся к редким событиям (часть 1) // Логистика. – 2015. – № 1. – С. 28–33.
4. Лукинский В.В., Замалетдинова Д.А. Методы управления запасами: расчет показателей запаса для товарных групп, относящихся к редким событиям (часть 2) // Логистика. – 2015. – № 2. – С. 24–27.
5. Шапиро Дж. Моделирование цепи поставок / Пер. с англ. под ред. В.С. Лукинского. – СПб.: Питер, 2006. – 720 с.
6. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Задачи и методы линейного программирования: Математические основы и практические задачи. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 320 с.
7. Chirawat Woarawichai, Tarathorn Kullpattaranirun, Vichai Rungreunganun Inventory Lot-Sizing Problem with Supplier Selection under Storage Space and Budget Constraints // IJCSI International Journal of Computer Science Issues. – March 2011. – Vol. 8, Is. 2.