

ПРОБЛЕМА СНАБЖЕНИЯ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПОДХОДЫ К ЕЕ РЕШЕНИЮ

Часть I

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

Введение

Эффективность и надежность функционирования автотранспортных предприятий (АТП), степень и качество выполнения поставленных социальных и экономических задач в значительной мере зависят от обеспечения их материальными ресурсами: топливом, смазочными и эксплуатационными материалами, шинами, агрегатами, запасными частями и другими ресурсами.

При традиционном подходе к управлению материальными ресурсами АТП повышение качества обеспечения запасными частями сводилось к наращиванию темпов и объемов их производства, а также к накоплению запасов на складах АТП.

Однако практика показывает несостоятельность такого подхода: в настоящее время

возник парадокс, заключающийся в остром дефиците одних запасных частей и избытке других (часто неликвидов) на складах АТП. Это объясняется серьезными проблемами в прогнозировании расхода запасных частей и планировании потребностей в материальных ресурсах. Указанные проблемы особенно остры для пассажирских автобусных парков, поскольку многие из них, будучи государственными унитарными предприятиями, обязаны планировать закупки запчастей на год вперед. Это приводит к тому, что в пассажирских автобусных парках по ряду товарно-номенклатурных позиций возникают избытки, которые переходят в неликвиды, а по другим товарно-номенклатурным позициям возникает дефицит, что приводит к простою подвижного состава. Например, по экспертным оценкам, на складах пассажирских автобусных парков Санкт-Петербурга неликвиды до-

стигают 80 млн рублей, а простои автобусов в ожидании ремонта из-за отсутствия запасных частей составляют в среднем от 20 до 30 дней в год. Следовательно, необходимо совершенствовать методы управления поставками и запасами материальных ресурсов в пассажирских автобусных парках.

Анализ статистики расхода запасных частей

Анализ деятельности пассажирских автобусных парков Санкт-Петербурга выявил следующие проблемы в управлении материальными ресурсами:

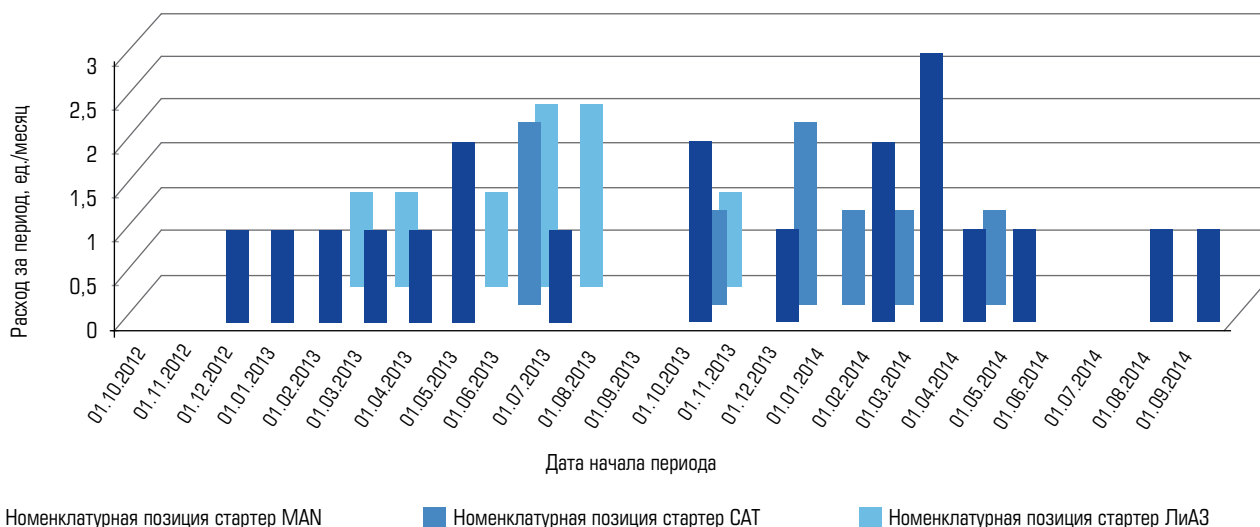
- 1) отсутствует прогноз потребности в материальных ресурсах на любой период времени;
- 2) не проводится анализ влияния различных факторов на расход запасных частей и агрегатов;

- 3) при определении плановой величины потребности в запасных частях не учитываются возраст автомобиля и интенсивность его эксплуатации;
- 4) не применяются экономико-математические методы для расчета потребности в запасных частях и их распределения;
- 5) пассажирские автобусные парки не располагают достоверной информацией о потребности в запасных частях даже на ближайший плановый период, не говоря уже о долгосрочных прогнозах.

Анализ номенклатуры запасных частей на складах пассажирских автобусных парков выявил еще одну проблему: динамика расходования запаса по многим позициям номенклатуры может быть отнесена к редким событиям. В таблице 1 и на рисунке 1 представлены данные складского учета одного из пассажирских автобусных парков по трем номенклатурным позициям: стартерам

Таблица 1
Данные о расходе трех видов запасных частей, ед./мес

Номенклатурная позиция	Расход за период времени																		Итого	$\lambda_{гр}$ ед./месяц						
	2012 год			2013 год						2014 год																
	IV кв.			I кв.			II кв.			III кв.			IV кв.			I кв.					II кв.			III кв.		
	01.10	01.11	01.12	01.01	01.02	01.03	01.04	01.05	01.06	01.07	01.08	01.09	01.10	01.11	01.12	01.01	01.02	01.03			01.04	01.05	01.06	01.07	01.08	01.09
Стартер MAN			1	1	1	1	2		1			2		1	2	3	1	1				1	1	20	0,83	
Стартер CAT								2				1	2	1	1		1							8	0,33	
Стартер ЛиАЗ				1	1		1	2	2			1												8	0,33	



▲ Рисунок 1.
Динамика расхода трех видов запасных частей, ед./мес

Таблица 2

Вероятности наличия запаса для номенклатурной позиции стартер MAN

Величина запаса	Среднее количество заявок a , ед.			
	0,83333	2,5	5	10
0	0,4346	0,08208	0,00674	0,0000
1	0,79676	0,2873	0,04043	0,0005
2	0,94767	0,54381	0,12465	0,00277
3	0,98958	0,75758	0,26503	0,01034
4	0,99832	0,89118	0,44049	0,02925
5		0,95798	0,61596	0,06709
6		0,98581	0,76218	0,13014
7		0,99575	0,86663	0,22022
8			0,93191	0,33282
9			0,96817	0,45793
10			0,9863	0,58304
11			0,99455	0,69678
12				0,79156
13				0,86446
14				0,91654
15				0,95126
16				0,97296
17				0,98572
18				0,99281

Таблица 3.

Вероятности наличия запаса для номенклатурных позиций стартер CAT/стартер ЛиАЗ

Величина запаса	Среднее количество заявок a , ед.			
	0,33333	1	2	4
0	0,71653	0,36788	0,13534	0,01832
1	0,95538	0,73576	0,40601	0,09158
2	0,99518	0,9197	0,67668	0,2381
3		0,98101	0,85712	0,43347
4		0,99634	0,94735	0,62884
5			0,98344	0,78513
6			0,99547	0,88933
7				0,94887
8				0,97864
9				0,99187

для двигателей MAN, Caterpillar и ЛиАЗ, – которые показывают, что расход этих запасных частей может быть отнесен к редким событиям.

Расчет показателей запаса

Воспользуемся распределением Пуассона, для того чтобы рассчитать вероятность наличия запасов при различных сроках поставки. Вероятность наличия запасов $P(k)$ определяется по формуле:

$$P(k) = \sum_{k=0}^N p(k) = \sum_{k=0}^N \frac{a^k}{k!} e^{-a}, \quad (1)$$

где a – среднее количество заявок за интервал времени Δt ;

k – количество заявок, $k = 0, 1, 2, \dots, N$.

Параметр a рассчитывается для различных интервалов времени Δt по формуле:

$$a = \lambda \Delta t, \quad (2)$$

где λ – интенсивность потока заявок (замен) запасных частей, ед./месяц.

Вероятность наличия запасов по формуле (1) рассчитаем с учетом λ_i для различных значений Δt , равных 1, 3, 6 или 12 месяцев, что соответствует поставкам с периодичностью 1 квартал, полугодие или год.

Для номенклатурной позиции Стартер MAN имеем:

при $\Delta t = 1$ месяц: $a = 0,833 \cdot 1 = 0,833$ ед.;

при $\Delta t = 3$ месяца: $a = 0,833 \cdot 3 = 2,5$ ед.;

при $\Delta t = 6$ месяцев: $a = 0,833 \cdot 6 = 5,0$ ед.;

при $\Delta t = 12$ месяцев: $a = 0,833 \cdot 12 = 10,0$ ед.

Для номенклатурных позиций «Стартер CAT»/«Стартер ЛиАЗ» имеем:

при $\Delta t = 1$ месяц: $a = 0,333 \cdot 1 = 0,333$ ед.;

при $\Delta t = 3$ месяца: $a = 0,333 \cdot 3 = 1,0$ ед.;

при $\Delta t = 6$ месяцев: $a = 0,333 \cdot 6 = 2,0$ ед.;

при $\Delta t = 12$ месяцев: $a = 0,333 \cdot 12 = 4,0$ ед.

Результаты расчетов представлены в таблицах 2 и 3.

Будем рассматривать параметр a распределения Пуассона в качестве текущего запаса S_T . Тогда страховой запас S_c определяется по формуле:

$$S_s = S_{\max} - a = S_{\max} - S_T, \quad (3)$$

где S_{\max} – максимальная величина запаса или общий запас, соответствующий заданной или выбранной вероятности $P(k)$.

В таблицах 2 и 3 для каждой номенклатурной позиции рассчитана величина общего запаса S_{\max} при различной периодичности поставок.

Например, представленные в табл. 2 данные показывают, что при периодичности поставок стартеров для двигателей автобусов MAN, равной одному месяцу ($\Delta t = 1$), ин-

тенсивности расхода запаса $a = 0,833$ ед./месяц и наличия на складе общего запаса, составляющего 4 единицы ($k = 4$), вероятность наличия запаса на складе в любой момент времени будет равна:

$$P(k = 4) = \sum_{k=0}^4 \frac{0,833^k}{k!} e^{-0,833} = 0,99832.$$

Аналогично в табл. 2 и 3 рассчитаны значения вероятностей наличия максимального (общего) запаса при всех возможных сочетаниях параметров k и a .

Возможные варианты формирования стратегии управления запасами с фиксированной периодичностью, кратной количеству месяцев поставки, для рассматриваемых номенклатурных позиций при различных сроках поставки представлены в таблицах 4 и 5.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что для обеспечения высокой надежности системы управления запасами ($P(k) \geq 0,99$) по всем номенклатурным позициям необходимо поддерживать значительные величины максимального (общего)

Таблица 4.

Возможные варианты формирования запаса при различных сроках поставки для номенклатурной позиции стартер MAN

Показатель	Периодичность поставок			
	1 месяц	3 месяца	6 месяцев	12 месяцев
	Среднее количество заявок			
	$a = 0,833$	$a = 2,5$	$a = 5$	$a = 10$
Текущий (средний) S_T , ед.	0,83	2,50	5,00	10,00
Страховой S_c , ед.	3,17	4,50	6,00	8,00
Максимальный (общий) S_{max} , ед.	4,00	7,00	11,00	18,00
Вероятность наличия запаса $P(k)$	0,99831557	0,9957533	0,99454691	0,9928135
Среднегодовая стоимость единицы запаса, руб.	45 440,00	45 440,00	45 440,00	45 440,00
Суммарная стоимость запасов, руб.	181 760,00	318 080,00	499 840,00	817 920,00

Таблица 5.

Возможные варианты формирования запаса при различных сроках поставки для номенклатурных позиций стартер CAT/стартер ЛиАЗ

Показатель	Периодичность поставок			
	1 месяц	3 месяца	6 месяцев	12 месяцев
	Среднее количество заявок			
	$a = 0,333$	$a = 1$	$a = 2$	$a = 4$
Текущий (средний) S_T , ед.	0,33	1,00	2,00	4,00
Страховой S_c , ед.	1,67	3,00	4,00	5,00
Максимальный (общий) S_{max} , ед.	2,00	4,00	6,00	9,00
Вероятность наличия запаса $P(k)$	0,99518238	0,99634015	0,99546619	0,99186776
Среднегодовая стоимость единицы запаса, руб.:				
стартер CAT	31 740,00	31 740,00	31 740,00	31 740,00
стартер ЛиАЗ	23 440,00	23 440,00	23 440,00	23 440,00
Суммарная стоимость запасов, руб.:				
стартер CAT	63 480,00	126 960,00	190 440,00	285 660,00
стартер ЛиАЗ	46 880,00	93 760,00	140 640,00	210 960,00

Примечание.

В табл. 4 и 5 максимальный (общий) запас S_{max} и вероятность наличия запаса $P(k)$ взяты из табл. 2 и 3; текущий запас S_T принят равным a ; страховой запас S_c рассчитан по формуле (3).

запаса S_{\max} , которые существенно возрастают при увеличении периода времени между поставками. Рассматриваемые виды товарно-материальных ценностей по критерию среднегодовой стоимости единицы запаса относятся к группе А, т.е. к категории наиболее дорогостоящих запасных частей. По данным складского учета, среднегодовая стоимость стартера MAN составляет 45 440 руб., стартера CAT – 31 740 руб., стартера ЛиАЗ – 23 440 руб. При увеличении периода времени между поставками с 1 до 12 месяцев суммарная стоимость запасов по каждой номенклатурной позиции возрастает в 4,5 раза (см. табл. 4 и 5).

Учитывая, что на складах пассажирских автобусных парков Санкт-Петербурга поддерживается запас более чем по 2500 номенклатурным позициям, стратегия поддержания запаса на максимальном уровне является неоправданно дорогостоящей, приводящей к значительным неликвидам, о чем было сказано выше. Очевидно, что спрос на запасные части является вероятностным. Поэтому, по нашему мнению, при расчетах необходимо учитывать различные стратегии спроса на запасные части, который может быть низким, средним или высоким. Причем вероятность реализации того или иного

сценария в условиях редкого спроса должна определяться на основе расчета параметров распределения Пуассона.

Расчет параметров распределения Пуассона

На основании эмпирических данных о расходах запаса необходимо построить теоретическое распределение Пуассона и проверить гипотезу о согласии эмпирического и теоретического распределений.

Расчет параметров распределения Пуассона для исходных данных о величине расхода трех видов запасных частей (см. табл. 1) представлен в таблицах 6 и 7.

Согласно схеме применения критерия χ^2 находим, что для данных о расходе стартеров MAN:

- число степеней свободы составляет:

$$v = k - s = 3 - 1 = 2,$$

где k – число интервалов (для величины запаса); s – число наложенных связей (параметр a);

- рассчитанное значение критерия $\chi^2 = 0,916$;
- табличное значение критерия $\chi^2 = 5,99$ при $v = 2$ и $p = 0,05$.

Следовательно, эмпирические данные согласуются с распределением Пуассона.

Находим χ^2 для данных о расходе запчастей стартер CAT/стартер ЛиАЗ:

- число степеней свободы составляет:

$$v = k - s = 2 - 1 = 1;$$

- рассчитанное значение критерия $\chi^2 = 1,703$;
- табличное значение критерия $\chi^2 = 3,84$ при $v = 1$ и $p = 0,05$.

Следовательно, эмпирические данные согласуются с распределением Пуассона.

Следует отметить, что расчеты в таблицах 6 и 7 проведены для данных, которые не объединены в интервалы (поквартально или по полугодиям), так как такое объединение ухудшает согласие теоретического и эмпирического распределений. Более подробно рассматриваемая методика расчета показателей запаса при редком характере спроса на основе распределения Пуассона изложена в работах [3, 4].

В первой части статьи нами рассмотрен подход к управлению запасами для товарных групп, относящихся к редким событиям, заключающийся в расчете показателей запаса при редком характере спроса на основе распределения Пуассона по методике, изложенной в работах [3, 4]. Во второй части



Таблица 6.

Результаты статистической обработки данных о расходе запчастей стартер MAN

Величина расхода, k	$n_s(k)$	$p_s(k)$	$k \cdot p_s(k)$	$p_T(k)$	$P_T(k)$	$n_T(k)$	$\frac{(n_s(k) - n_T(k))^2}{n_T(k)}$
0	9	0,375	0,000	0,435	0,435	10,430	0,196
1	11	0,458	0,458	0,362	0,797	8,692	0,613
2	3	0,125	0,250	0,151	0,948	3,622	0,107
3	1	0,042	0,125	0,042	0,990	1,006	0,000
Итого	24	0,95833	$a = 0,833$			22,744	$\chi^2 = 0,916$

Таблица 7.

Результаты статистической обработки данных о расходе запчастей стартер CAT/стартер ЛиАЗ

Величина расхода, k	$n_s(k)$	$p_s(k)$	$k \cdot p_s(k)$	$p_T(k)$	$P_T(k)$	$n_T(k)$	$\frac{(n_s(k) - n_T(k))^2}{n_T(k)}$
0	18	0,750	0,000	0,717	0,717	17,197	0,038
1	4	0,167	0,167	0,239	0,955	5,732	0,523
2	2	0,083	0,167	0,040	0,995	0,955	1,142
Итого	24	1	$A = 0,333$			23,884	$\chi^2 = 1,703$

Примечание.

В табл. 6 и 7 используются следующие условные обозначения: $n_s(k)$ – эмпирическая частота; $p_s(k)$ – частость; $k \cdot p_s(k)$ – вероятность (теоретическая частость); $p_T(k)$ – интегральная вероятность, рассчитанная по формуле (1); $n_T(k)$ – теоретическая частота;

$\frac{(n_s(k) - n_T(k))^2}{n_T(k)}$ – результаты расчета критерия согласия χ^2 Пирсона.

статьи будет рассмотрен альтернативный подход к формированию оптимальной стратегии управления запасами, заключающийся в решении задачи определения оптимального размера партии поставки и выбора поставщиков в условиях редкого спроса как задачи стохастического программирования по методике, изложенной в работе [1].

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. Лукинско-го. – 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.