

УДК 629.113

Стратегическое управление складом автомобильных запасных частей

В статье выдвигается гипотеза о том, что спрос на автомобильные запасные части у крупных компаний, занимающихся их реализацией, представляет собой смесь вероятностных распределений. Предложен метод определения спроса на автомобильные запасные части предприятий транспорта на основе расщепления смесей вероятностных распределений. Рассмотрены ограничения области применения данного метода и перспективы его использования на практике.

Ключевые слова: управление запасами; складская логистика; автомобильные запасные части.

Процесс управления складом запасных частей на практике зачастую создает немало проблем, так как затрагивает целый ряд нетривиальных задач. При этом ошибки в принимаемых решениях способны оборачиваться значительными потерями. Так, например, необоснованные закупки могут привести к наличию на складе излишков одних деталей и дефициту других. Частой ошибкой, встречающейся на практике, является решение заказывать впрямь насколько позволяет бюджет или, наоборот, – решение заказывать детали и материалы на основе средних значений спроса, не учитывая особенностей поведения самого спроса. В обоих случаях это приводит к снижению оборачиваемости и росту склада.

Процесс пополнения склада запасных частей имеет сложную, многофакторную структуру, что не позволяет ввести упрощенные расчеты при составлении заказов.

Таким образом, задачи, связанные с управлением складом автомобильных запасных частей и материалов, являются многокритериальными. Критериями оценки эффективности работы склада могут служить оборачиваемость запасов Z , уровень обслуживания U , средний складской запас N , уровень дефицита D и др. [1]. Вследствие этого возникает необходимость как в нахождении оптимальных значений этих параметров, так и в разработке интеллектуальной технологии управления складом.

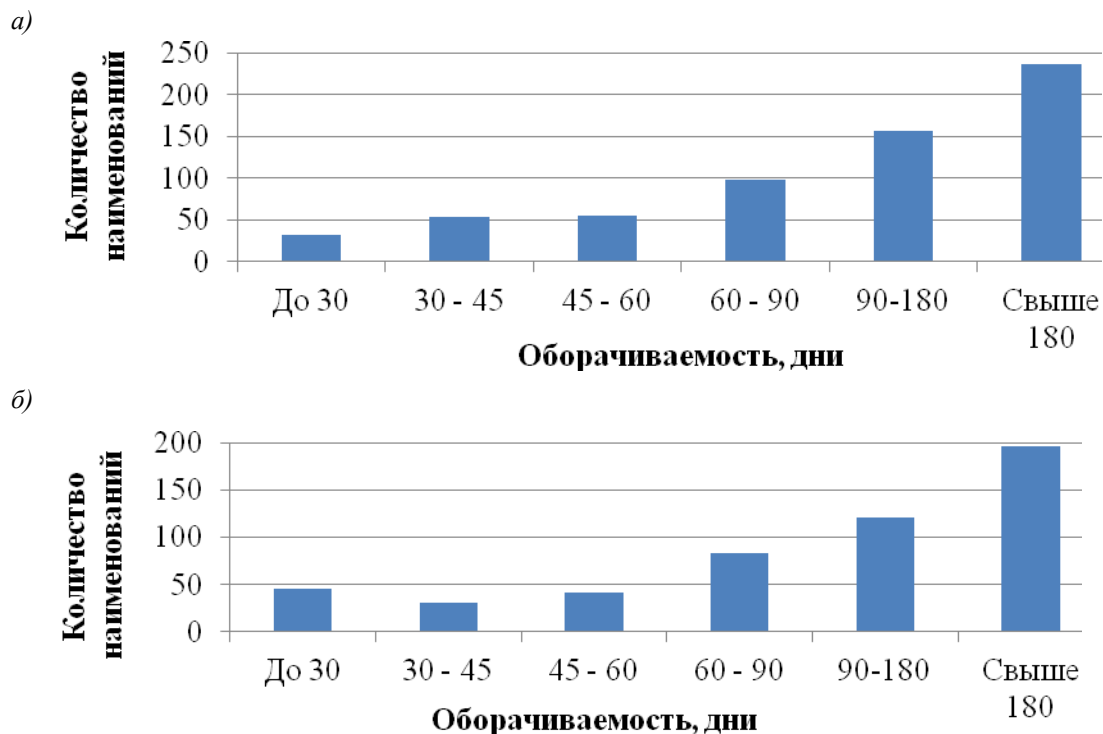


Рис. 1. Гистограмма распределения оборачиваемости запасов: а – группа А, б – группа В

Рассмотрение данных ABC-анализа товарных запасов одной из красноярских компаний, занимающихся продажей запасных частей для автомобилей КамАЗ, показывает несостоятельность эвристических методов управления запасами (рис. 1). Группу А составляет примерно 600–630 наименований запчастей со средней стоимостью на складе 5,5 млн р., годовым объемом продаж около 26,6 млн р. и оборачиваемостью 4,85 раз в год (или 75 дней). Группа В состоит примерно из 500–520 наименований со средней стоимостью на складе 4,8 млн р., годовым объемом продаж около 13,1 млн р. и оборачиваемостью 2,73 раз в год (или 134 дня).

Основной проблемой в процессе управления складом автомобильных запасных частей является оценка потребности в них в каждый момент времени. Широко известные способы прогнозирования, например, на основе трендов и коэффициентов сезонных и прочих колебаний обычно не дают удовлетворительных результатов, поскольку не отражают в полной мере природу возникновения спроса. Как правило, спрос на запасные части в магазинах или на предприятиях автомобильных дилеров невозможно описать достаточно точно с помощью известных законов распределения случайных величин.

Причиной тому является неоднородность спроса: в зависимости от типа предприятия спрос может представлять собой смесь вероятностных распределений [2]. На рис. 2 показана динамика спроса на запасные части в дилерской СТО марки КамАЗ, типичная для большинства аналогичных компаний. Как видно из графиков, наряду с приобретением одной-двух деталей или комплектов зачастую присутствуют значения 5, 10, 15 шт. и т.д. В данном случае очевиден факт одновременного наличия как розничных, так и оптовых покупателей.

Целью настоящего исследования являлось выявление групп потребителей автомобильных запасных частей и нахождение показателей спроса для каждой из них из вариационного ряда общего ежедневного спроса.

Нами выдвигается гипотеза, что спрос на запасные части у крупных компаний, занимающихся их реализацией, представляет собой смесь вероятностных распределений [2]. Можно предположить, что расчленение смесей вероятностных распределений на компоненты и определение значений параметров каждой компоненты позволит получить функцию плотности $f(x)$, описывающую распределение анализируемого спроса во всей генеральной (объединенной) совокуп-

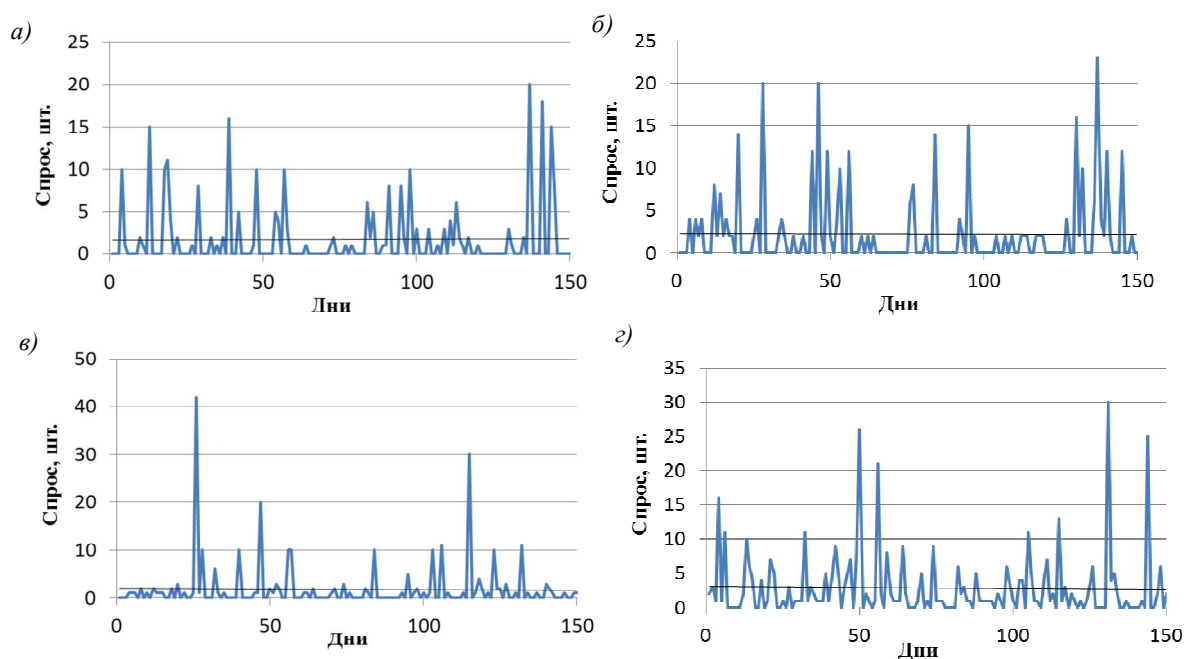


Рис. 2. Динамика продаж запасных частей: а – шланг тормозной задний; б – полукольцо коленчатого вала; в – прокладка поддона; з – фильтр воздушный

ности. Это позволит на основе имитационного моделирования определить оптимальные значения параметров управления складом запасных частей [1]. На базе данной методики в дальнейшем возможно получение более точных оценок показателей надежности автомобилей, так как на основе интегрального спроса на запасные части в регионах и размера соответствующего парка автомобилей получаются слишком искаженные результаты ввиду задержек в цепях поставок сетей посредников.

В общем виде уравнение функции плотности можно записать как:

$$f(x) = p_1 f_1(x) + p_2 f_2(x) + \dots + p_n f_n(x), \quad (1)$$

где $p_1, p_2, \dots, p_n$ – априорные вероятности появления наблюдений именно из данного компонента смеси; $f_1, f_2, \dots, f_n$ – функции плотности распределения компонентов смеси; n – число компонентов смеси.

В каждом конкретном случае значение n может изменяться, но очевидно, что это конечное число и маловероятно, что оно может принимать хотя бы двузначные значения. Исходя из наблюдений наиболее часто n равно четырем (рис. 3). Если условно обозначить первые четыре компонента как розницу, мелкий, средний и крупный опт, то тогда p_1, p_2, p_3, p_4 представляют собой вероятности появления соответственно розничного поку-

пателя, мелкого, среднего и крупного оптовика. В свою очередь, эти вероятности также могут описываться вероятностными законами распределения.

Область применения предлагаемого метода ограничивается идентифицируемостью смесей распределения. Согласно [3] различными являются конечные смеси из распределений: 1) нормальных (в том числе многомерных); 2) экспоненциальных; 3) пуассоновских; 4) Коши. В нашем случае распределение спроса на запасные части должно описываться пуассоновским законом, как единственным подходящим дискретным вероятностным распределением. В данном случае первым ограничением, связанным с условиями возникновения пуассоновского потока случайных событий, является то, что заявки должны поступать по одной, а не группами по две, три и т.д. Второе ограничение связано с тем, что поступление заявок за день (за некоторый интервал времени) не должно зависеть от того, сколько их было в другие дни. Третье ограничение состоит в том, что среднее число заявок (спрос) на запасные части за единицу времени должно быть постоянно.

Положим, что вероятность появления покупателей запасных частей за определенный период описывается пуассоновским законом

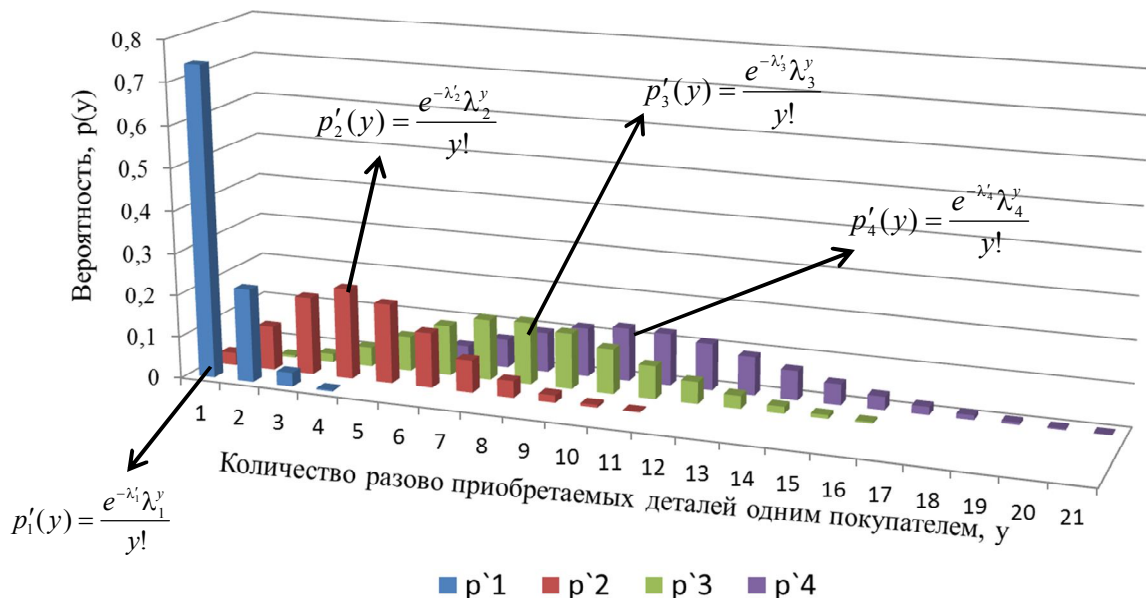


Рис. 3. Распределение спроса на запасные части по количеству деталей, проданных одному покупателю за одну покупку

распределения с параметром λ , а количество разово приобретаемых ими деталей – пуассоновским законом распределения с параметром λ' [4].

Согласно предположению о подчинении вероятностей появления покупателей закону Пуассона, вероятности появления определенного количества покупателей каждой группы определяются по формулам:

$$p_1(x) = \frac{e^{-\lambda_1} \lambda_1^x}{x!}, \quad p_2(x) = \frac{e^{-\lambda_2} \lambda_2^x}{x!}, \quad \dots, \\ p_k(x) = \frac{e^{-\lambda_k} \lambda_k^x}{x!}, \quad (2)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$ – параметры функций распределения вероятностей появления покупателей первой, второй, ..., k -й группы соответственно; x – количество покупателей.

Вероятность того, что за определенный период (один день) не появится ни один покупатель первой группы:

$$p_1(0) = e^{-\lambda_1}. \quad (3)$$

Следовательно, вероятность отсутствия покупателей за определенный период можно определить как:

$$p(0) = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_k)}. \quad (4)$$

Согласно предположению о подчинении вероятностей покупки определенного количества деталей одним покупателем закону Пуассона, вероятности покупки определенного количества деталей покупателем каждой группы определяются по формулам:

$$p'_1(y) = \frac{e^{-\lambda'_1} \lambda'^y_1}{y!}, \quad p'_2(y) = \frac{e^{-\lambda'_2} \lambda'^y_2}{y!}, \quad \dots, \\ p'_k(y) = \frac{e^{-\lambda'_k} \lambda'^y_k}{y!}, \quad (5)$$

где $\lambda'_1, \lambda'_2, \dots, \lambda'_k$ – параметры функций распределения вероятностей появления покупателей первой, второй, ..., k -й группы соответственно; $p'_1(y), p'_2(y), \dots, p'_k(y)$ – вероятности покупки y деталей покупателями первой, второй, ..., k -й группы соответственно за одну покупку; y – количество купленных деталей одним покупателем (натуральное число).

Причем для каждой группы покупателей выполняется неравенство

$$y^1_{cp} > y^2_{cp} > \dots > y^{k-1}_{cp} > y^k_{cp}, \quad (6)$$

где $y^1_{cp}, y^2_{cp}, \dots, y^k_{cp}$ – математическое ожидание количества деталей, которое может приобрести один покупатель запасных частей первой, второй, ..., k -й группы соответственно.

Исходя из приведенных выше формул определим вероятность покупки одной детали за определенный период. Одна деталь может быть продана за определенный интервал времени только розничному покупателю, при условии что других покупателей за этот период не будет, следовательно

$$p(1) = e^{-\lambda_1} \lambda_1 e^{-\lambda'_1} e^{-(\lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_n)}, \quad (7)$$

или

$$p(1) = p(0) \lambda_1 e^{-\lambda'_1}, \quad (7')$$

т.е. вероятность покупки за определенный период одной детали равна совместной вероятности появления одного розничного покупателя, вероятности, что он возьмет одну деталь и вероятности отсутствия покупателей второй, третьей и т.д. групп.

Допустим, за определенный интервал времени (один день) было приобретено x одинаковых деталей несколькими покупателями. Обозначив количество групп (классов) покупателей как k , а количество клиентов каждой группы как n , можно представить x как

$$x = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n S_{ij}, \quad (8)$$

где S_{ij} – количество деталей, приобретенных одним i -м покупателем j -й группы.

Таким образом, задача по нахождению функции плотности смеси вероятностных распределений спроса сводится к нахождению для каждого x всех возможных вариантов наборов значений S_{ij} , удовлетворяющих условию (8).

Тогда функцию плотности смеси вероятностных распределений можно представить в виде:

$$f(x) = \sum_{q=1}^m \left[\prod_{j=1}^k \prod_{i=1}^n p(n_{ij}) p(S_{ij}) \right]_q, \quad (9)$$

где m – количество всех возможных вариантов наборов значений S_{ij} , удовлетворяющих условию (8); p_{ij} – вероятность появления только i -го количества покупателей j -й группы за определенный период; $p(S_{ij})$ – вероятность покупки S деталей i -м покупателем j -й группы за один раз.

Учитывая, что вероятность появления определенного количества покупателей и приобретения ими определенного количества деталей подчиняется закону Пуассона, можно представить выражение (9) в виде:

$$f(x) = \sum_{q=1}^m \left(\prod_{j=1}^k \prod_{i=1}^n \frac{e^{-\lambda_j} \lambda_j^{z_j}}{z_j!} f(S_{ij}) \right), \quad (10)$$

где z_j – количество покупателей j -й группы; λ_j – параметр пуассоновского распределения вероятности появления определенного количества покупателей j -й группы за определенный период.

Если количество классов k заранее неизвестно, то его можно определить с помощью критерия хи-квадрат Пирсона. Положим, что для ряда последовательных значений $k = 1, 2$, и т.д. уже вычислены такие значения параметров $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$ и $\lambda'_1, \lambda'_2, \dots, \lambda'_k$, при которых соответствующие функции правдоподобия достигают максимума или значение критерия хи-квадрат достигает минимума, т.е. при которых теоретическое распределение наиболее подходит фактическому. Очевидно, что с увеличением числа классов k , теоретическое распределение будет приближаться к фактическому, а значение критерия хи-квадрат уменьшаться. В то же время число степеней свободы с ростом k также будет уменьшаться – на две единицы при увеличении k на единицу, так как каждому классу (компоненте смеси распределения) соответствует два параметра (λ_k и λ'_k).

Таким образом, при условии справедливости гипотезы H_k : «истинное число компонентов смеси (классов потребителей) равно k », для заданного значения α должно соблюдаться неравенство

$$\chi^2(k) - \chi^2(k+1) < \chi^2_{p-2k-1, 1-\alpha} - \chi^2_{p-2k-3, 1-\alpha}, \quad (11)$$

где k – количество компонентов смеси (классов); p – число интервалов.

На основе данных многочисленных компаний, занимающихся продажей запасных частей для автомобилей КамАЗ, был проведен имитационный эксперимент [5, 6].

В процессе моделирования изменялись два входных параметра системы управления запасами (СУЗ) – минимальный $N_{\min}$ и максимальный $N_{\max}$ уровни складских запасов. Коэффициент $N_{\min}$ изменяли в пределах от 10

до 30 (что означает среднее потребление соответственно за десять дней и за месяц) с шагом 5, а $N_{\max}$ от $N_{\min} + 10$ до $N_{\min} + 30$ с шагом 5 для каждого $N_{\min}$.

Используя полученные данные, можно подобрать оптимальные значения $N_{\min}$ и $N_{\max}$ в зависимости от целей и приоритетов компании. Приоритетным параметром СУЗ для компаний, занимающихся только продажей запасных частей, является максимизация прибыли. Поэтому оптимальными будут такие параметры СУЗ, при которых сумма издержек, связанных с хранением запасов, и недополученной прибыли по причине дефицита становится минимальной:

$$I_{\text{деф}} + I_{\text{скл}} \rightarrow \min, \quad (12)$$

где $I_{\text{деф}}$ – упущенная прибыль по причине дефицита на складе; $I_{\text{скл}}$ – складские издержки.

В свою очередь, упущенная прибыль и издержки от хранения равны:

$$I_{\text{деф}} = D P V_{\text{спрос}}, \quad (13)$$

$$I_{\text{скл}} = V_{\text{скл}} (Y_{\text{хр}} + Y_{\text{зс}}), \quad (14)$$

где D – доля упущенных продаж от всего объема спроса (дефицит), %; P – доля прибыли компании в отпускной стоимости деталей; $V_{\text{спрос}}$ – общий годовой спрос, р.; $V_{\text{скл}}$ – средний запас на складе, р.; $Y_{\text{хр}}$ – доля затрат на хранение запаса в его стоимости, %; $Y_{\text{зс}}$ – затраты на обеспечение запасов, связанные с замораживанием средств, % от его стоимости.

Результаты имитационного моделирования и определение значений $N_{\min}$ и $N_{\max}$ представлены графически на рис. 4. Точка (или область), где затраты принимают минимальное значение, проецируется на плоскость $0N_{\min}N_{\max}$ и показывает оптимальные значения входных параметров СУЗ (в данном случае оптимальными будут $N_{\min} = 20$ и $N_{\max} = 35$).

Для дилерских предприятий, компаний, эксплуатирующих и/или обслуживающих крупный парк автомобилей, цель совершенствования СУЗ может отличаться от вышеприведенной. В первом случае важным является такой фактор, как уровень обслуживания клиентов, т.е. отношение удовлетворенных требований на склад запасных частей к их общему количеству. Во втором – потери от простоя автомобильной техники значительно влияют на выбор оптимальных значений входных параметров СУЗ.

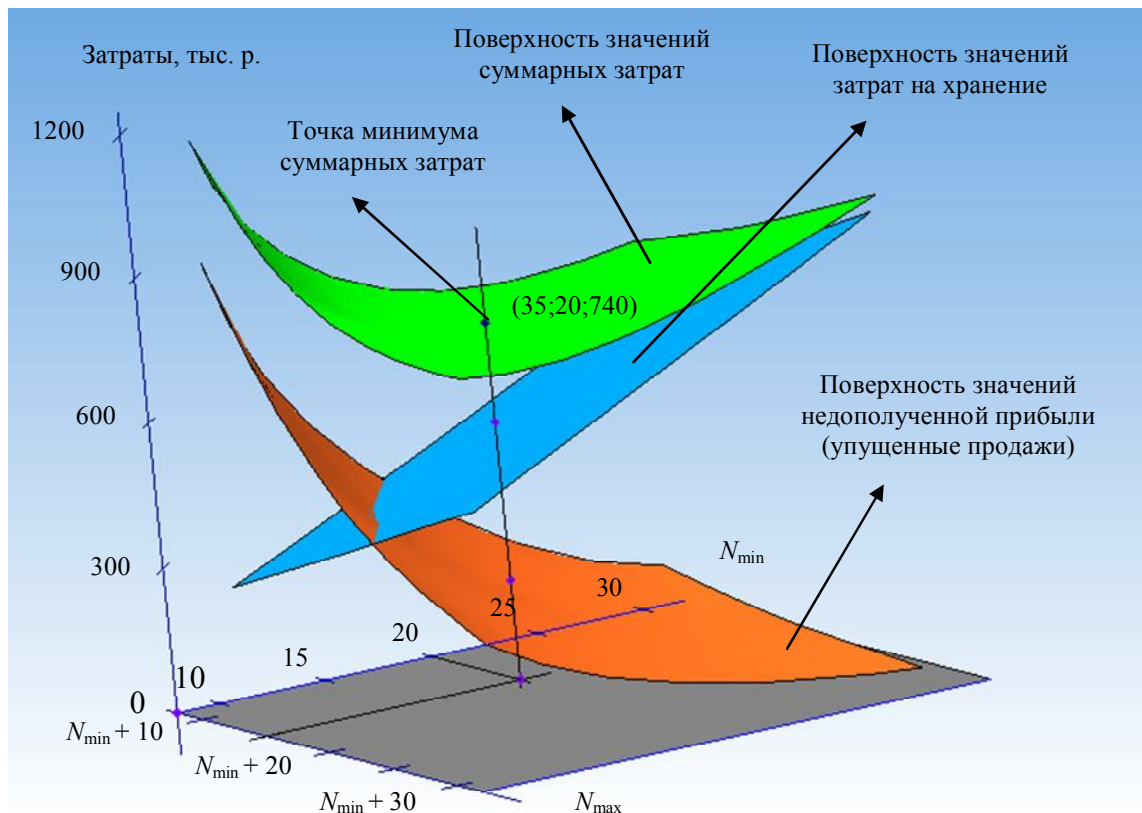


Рис. 4. Определение значений $N_{\min}$ и $N_{\max}$, при которых достигается максимальная прибыль

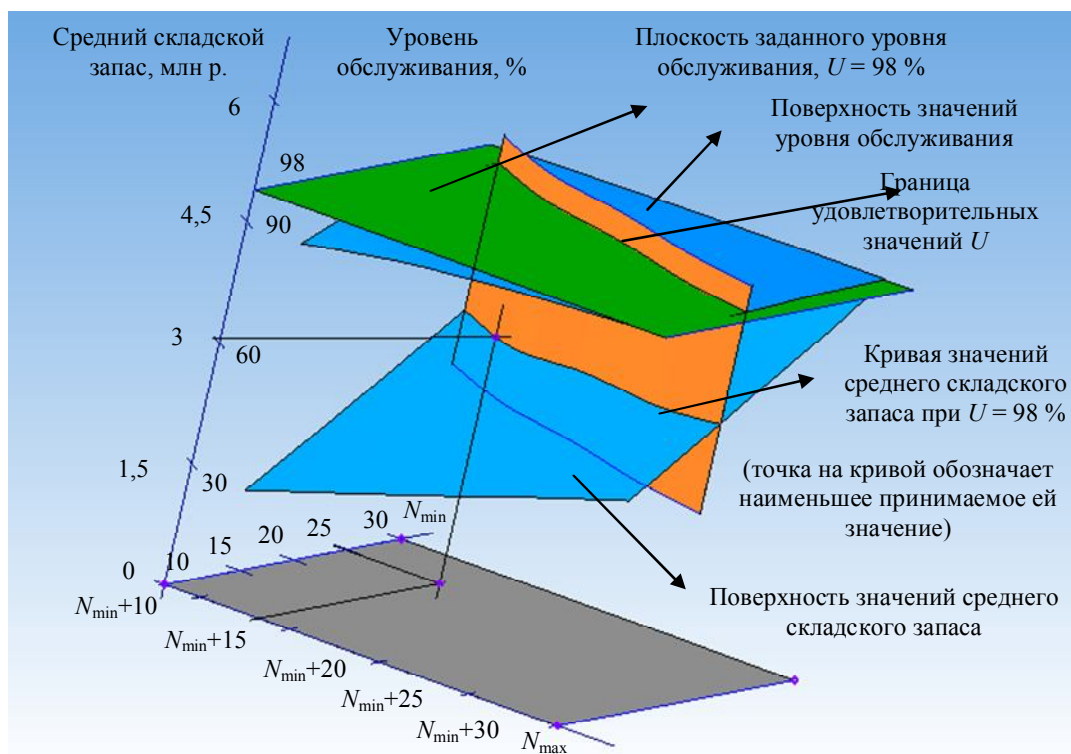


Рис. 5. Определение значений $N_{\min}$ и $N_{\max}$, при которых $U \geq C$ и $I_{\text{скл}} \rightarrow \min$

В данной ситуации для автомобильных дилеров имеет смысл задаться определенным минимальным значением уровня обслуживания и минимизировать складские затраты в пределах установленной границы. Таким образом, определение оптимальных параметров системы управления запасами для автомобильных дилеров сводится к нахождению таких значений переменных параметров СУЗ, при которых суммарные издержки, связанные с хранением запасов, будут минимальными, а уровень обслуживания не будет принимать значений ниже установленной величины:

$$\begin{cases} U \geq C, \\ I_{\text{скл}} \rightarrow \min, \end{cases} \quad (15)$$

где C – минимально допустимое значение уровня обслуживания, %.

На рис. 5 представлено графическое решение задачи нахождения $N_{\min}$ и $N_{\max}$, выполняющих условие (15). Горизонтальная плоскость $U = 98\%$ (условно заданное минимальное значение U) пересекает поверхность значений уровня обслуживания, образуя границу зоны, удовлетворяющей заданному условию. Опустив перпендикуляры к плоскости $ON_{\min}N_{\max}$ из точек полученной кривой на поверхность значений среднего складского за-

паса, получим границу зоны на поверхности значений среднего складского запаса, удовлетворяющей условию $U \geq 98$. Далее находим минимальное значение среднего складского запаса из полученной области, соответствующие ему значения $N_{\min}$ и $N_{\max}$ и являются оптимальным решением задачи. В данном случае оптимальными будут $N_{\min} = 25$ и $N_{\max} = 40$.

В приведенных выше примерах использовались интегральные значения параметров по целой группе деталей. На практике по каждой номенклатурной позиции необходим собственный расчет оптимальных значений $N_{\min}$ и $N_{\max}$, для этого весь процесс может быть автоматизирован [7]. На рис. 6 приводятся графики зависимости суммарных складских издержек от $N_{\min}$ и $N_{\max}$ на примере все того же предприятия, полученные на специальном ПО. Кроме прочего, данная программа позволяет получать и анализировать зависимость суммарных складских издержек от доверительного интервала для определенного параметра (рис. 7), а также от времени выполнения заказа (рис. 8).

Шкалы $N_{\min}$ и $N_{\max}$ на рис. 6 имеют соответствующие множители: $a - 8$; $b - 6$; $в - 85$; $г - 110$. Аналогично на рис. 7 и 8 шкалы $N_{\min}$ и $N_{\max}$ имеют множитель 110.

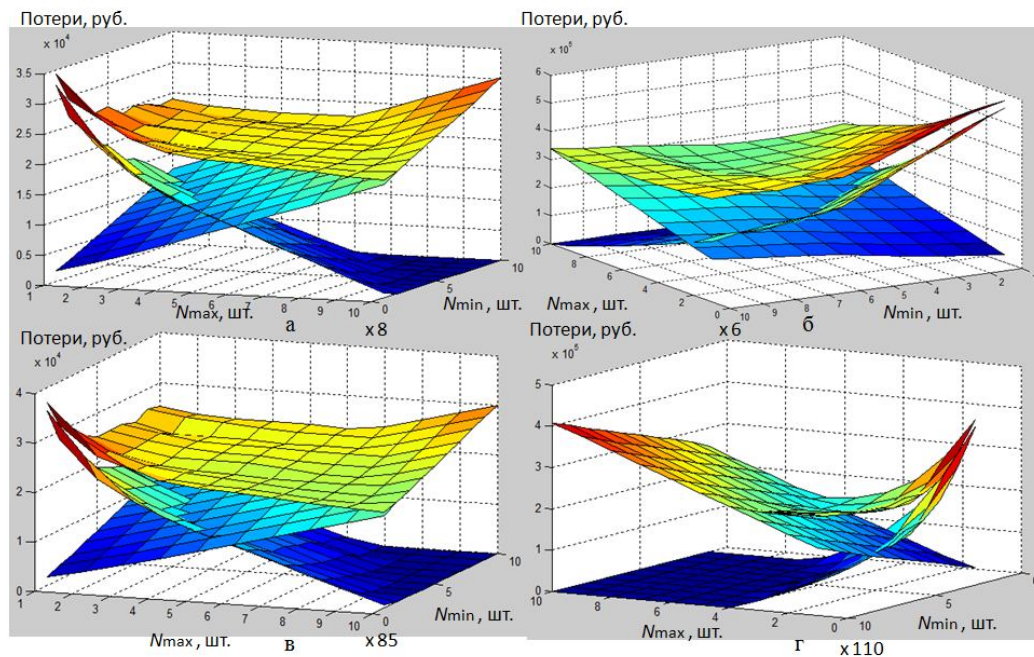


Рис. 6. Зависимости суммарных складских издержек от минимального и максимального уровня запасов: a – муфта выключения сцепления в сборе с подшипником; b – шатун КамАЗ (в сборе); $в$ – кольцо уплотнительное форсунки (медное 9×15); $г$ – фильтр топливный

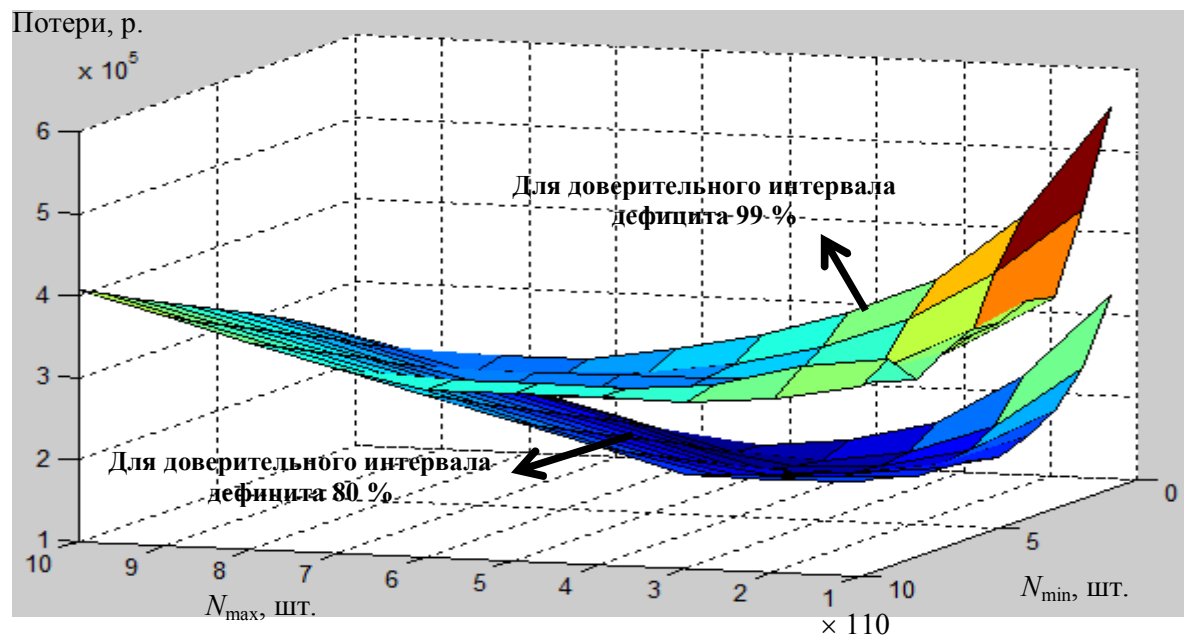


Рис. 7. Зависимость суммарных складских издержек от доверительного интервала для дефицита

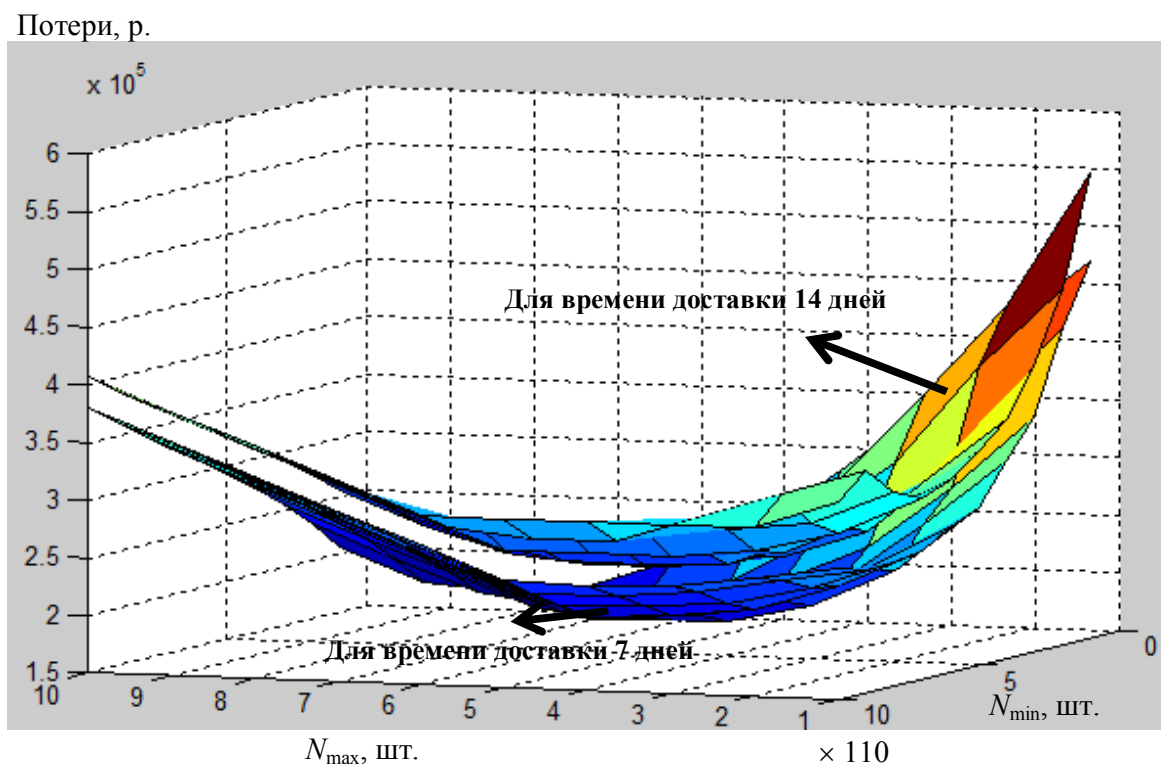


Рис. 8. Зависимость суммарных складских издержек от времени выполнения заказа

Предложенная методика позволяет с высокой точностью прогнозировать спрос на автомобильные запасные части компаниям, занимающимся их реализацией. Полученные результаты могут быть положены в

основу экспертной системы обеспечения автомобильными запасными частями на предприятиях, позволяющей минимизировать складские и управленческие издержки.

Библиографический список

1. Катаргин В.Н., Терских В.М. Интеллектуальная технология управления складом запасных частей грузовых автомобилей // Грузовик: транспортный комплекс, спецтехника. 2013. № 8. С. 5–7.
2. Терских В.М., Катаргин В.Н. Оценка спроса на автомобильные запасные части на основе модели смеси вероятностных распределений // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 4. С. 110–114.
3. Прикладная статистика: Классификации и снижение размерности: Справ. / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин; Под ред. С.А. Айвазяна. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.
4. Technique of Creating an Automatic Control System to Control Stocks at the Official Automobile Dealers Enterprises. The proceedings of the 17th International Conference Transport Means 2013 contain selected papers from 6 sections: Automotive Transport, Aviation, Defense Technologies, Intellectualized Transport Systems, Railway Transport, Waterborne Transport. October 24–25, 2013. Kaunas University of Technology, Lithuania. P. 317–321.
5. Katargin V.N., Terskikh V.M. Technique of creating an automatic control system to control stocks at the official automobile dealers' enterprises. International Automotive Conference. KONMOT 2012. Design and exploitation of automobiles – safety and environment protection. Cracow University of Technology, 27–28 september 2012. Cracow.
6. Лоу А., Кельтон В. Имитационное моделирование. 3-е изд. СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. 847 с.
7. Катаргин В.Н., Терских В.М. Оптимизация процессов управления складом автомобильных запасных частей // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 3.

Terskih V.M., Katargin V.N. Strategic Operation of the Car Parts Stock. The paper puts forward the hypothesis that the demand for car parts in large companies, involved in their implementation is a mixture of probable distributions. A method of identifying the demand for car parts in transport enterprises, based on splitting the mixtures of probable distributions is suggested. The limitation of the method application and the prospects of its practical use is considered.

Key words: *stock operation; stock logistics; car parts.*

Терских Виктор Михайлович – ассистент кафедры «Транспорт» Сибирского федерального университета. E-mail: terskich_vm@mail.ru

Катаргин Владимир Николаевич – кандидат технических наук, профессор кафедры «Транспорт» Сибирского федерального университета. E-mail: katargin@gmail.com