УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Декабрь, № 8 **Технические науки** **2010**

УДК 656.07, 338.27, 630*78, 630*96

ВАДИМ МИХАЙЛОВИЧ КОСТЮКЕВИЧ
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии металлов и ремонта лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет
vadkos@psu.karelia.ru

ВЕНИАМИН НИКОЛАЕВИЧ ШИЛОВСКИЙ
доктор технических наук, профессор кафедры технологии металлов и ремонта лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет
tmir@psu.karelia.ru

ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОГО УРОВНЯ СЕРВИСА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В статье предлагается алгоритм оценки оптимального уровня запасных частей на складе компании, снабжающей лесозаготовительные предприятия запасными частями. Рассмотрен конкретный пример расчета в среде MathCAD. Обосновывается практическая значимость предложенного алгоритма.

Ключевые слова: снабжение, запасы, сервис, запасные части

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Эффективность работы лесозаготовительных предприятий напрямую зависит от своевременности технического обслуживания лесозаготовительной и лесотранспортной техники и оперативности выполнения ремонтно-восстановительных работ [3]. Очевидно, что время ремонтных работ и работ по техническому обслуживанию будет минимальным, если на складе компании, занимающейся снабжением лесозаготовительных предприятий, будет постоянно находиться весь возможный ассортимент запасных частей (100 % уровень сервиса). Но 100 % покрытие спроса ведет к дополнительным расходам компании на содержание и обслуживание запасных частей, часть которых, вполне возможно, вообще не будет востребована. Из такой постановки вопроса вытекает задача разработки алгоритма определения оптимального уровня запасов запасных частей на складе компании.

Сначала рассмотрим задачу определения оптимального уровня сервиса для компании – поставщика запасных частей лесозаготовительным предприятиям. Требуется отметить, что если снабжением запасными частями лесозаготовительного предприятия занимается одно из его подразделений, то в этом случае при определении оптимального уровня запасных частей на складе лесозаготовительного предприятия необходимо уже рассматривать логистическую систему, состоящую как минимум из двух взаимодействующих элементов: лесозаготовка – снабжение запасными частями, имеющими разные интересы. Лесозаготовители заинтересованы в наличии максимальных запасов на складе с целью уменьшения времени простоя на выполнение ремонтных и обслуживающих работ. Склад же заинтересован в минимизации запасов для уменьшения расходов на содержание и обслуживание запасных частей [1]. При определении оптимального уровня запасных частей для лесозаготовительного предприятия необходимо учитывать потери от простоев лесозаготовительной и лесотранспортной техники в связи с отсутствием запасных частей на складе.

ОБЩИЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ

Для решения поставленной задачи необходимо иметь данные по затратам на содержание и обслуживание запасных частей. Требуется знать стоимость среднего складского остатка («замороженные» деньги), затраты на складские работы и содержание склада. За критерий эффективности работы компании поставщика целесообразно принять ее прибыль за рассматриваемый промежуток времени.

Расчет необходимого уровня запасов, обеспечивающих снабжающей компании максимальную прибыль от реализации запасных частей, в нашем случае будет опираться на статистические данные по спросу на запасные части для лесной техники за прошлый период времени с учетом ввода некоторых корректирующих данных на прогнозный период времени (уравнение регрессии), если требуется.

Таким образом, первый этап – это сбор и обработка статистических данных по спросу за определенный промежуток времени с получением на выходе законов распределений спроса на определенный ассортимент запасных частей, пользующихся устойчивым спросом (правило 80/20). На втором этапе с использованием метода статистического моделирования производится реализация динамики спроса для заданного промежутка времени. На третьем этапе для различных уровней запасов рассчитывается прибыль и выбирается оптимальный для снабжающей компании уровень сервиса.

ПРИМЕР

Рассмотрим пример оценки оптимального уровня сервиса для компании, занимающейся снабжением лесозаготовительных предприятий запасными частями лесных машин. Алгоритм решения задачи покажем для одной позиции запасных частей, так как для других позиций он аналогичен.

Снабжающая компания раз в неделю обновляет ассортимент запасных частей, находящихся на своем складе. Примем рассматриваемый период за один год. Данные по спросу за указанный промежуток времени с разбиением по неделям для рассматриваемой позиции запасных частей известны и сведены в табл. 1.

В первом приближении сезонные колебания спроса не учитываются. Данная коррекция может быть проведена на втором уточненном этапе расчетов, что позволит отследить динамику спроса по сезонам.

Как видно из табл. 1, недельный спрос по выбранной позиции запасных частей имеет значительное рассеивание от 98 до 258 единиц.

1. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ

1.1. Расчет числовых характеристик интервального вариационного ряда

Предварительная обработка опытных данных заключается в построении интервального вариационного ряда. Количество интервалов определяется по формуле [2]

$$Z = 1 + 3,2 \cdot \lg N\,, \tag{1.1}$$

где Z – количество интервалов вариационного ряда, N – объем выборки.

Количество интервалов округляется до ближайшего большего целого.

По формуле (1.1) Z = 1 + 3,2·lg52 = 6,491. Принимаем количество интервалов Z = 7.

Ширина интервала определяется по формуле

$$R = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{Z}\,, \tag{1.2}$$

где R – ширина интервала, L_{max} – варианта с максимальным значением, L_{min} – варианта с минимальным значением.

Ширина интервала округляется до ближайшего большего целого.

В соответствии с формулой (1.2) при L_{max} = 258 шт. и L_{min} = 98 шт. имеем

$$R = \frac{258 - 98}{7} = 22{,}857\,.$$

Принимаем ширину интервала R = 23.

Определим нижнюю, верхнюю границы и середину первого интервала по формулам:

$$L_{1H} = \frac{L_{\max} + L_{\min} - Z \cdot R}{2}\,; \tag{1.3}$$

$$L_{1B} = L_{1H} + R\,; \tag{1.4}$$

$$L_1 = L_{1H} + \frac{R}{2}\,. \tag{1.5}$$

В соответствии с выражениями (1.3), (1.4) и (1.5) определяем

$$L_{1H} = \frac{258 + 98 - 7 \cdot 23}{2} = 97{,}5\,;$$

$$L_{1B} = 97{,}5 + 23 = 120{,}5\,;$$

$$L_1 = 97{,}5 + \frac{23}{2} = 109\,.$$

Затем определяются соответствующие величины каждого последующего интервала по формуле

$$L_i = L_1 + (i-1) \cdot R\,. \tag{1.6}$$

В формуле (1.6) и далее i принимает значения от 1 до Z (i = 1, 2, 3, ..., Z).

По формуле (1.6) рассчитываем верхнюю, нижнюю границы и середину всех интервалов. Значения середины интервалов заносим в первую графу табл. 2 расчетов характеристик вариационного ряда. Определяем опытные частоты интервалов m_i и заносим их во вторую графу табл. 2.

Таблица 1

Динамика спроса на запасные части

188	185	242	234	239	219	178	229	205	120	210	186	154
193	141	179	216	214	243	229	168	163	235	209	181	159
180	254	124	209	235	104	129	160	98	205	210	191	230
125	200	159	200	221	212	180	176	156	137	152	209	146

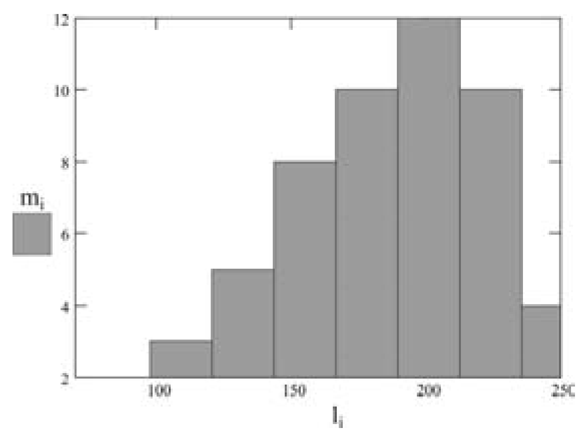

Рис. 1. Эмпирический закон распределения спроса

По полученным данным строим эмпирический закон распределения спроса на определенную группу запасных частей в виде гистограммы (рис. 1).

По графическому изображению данных о спросе можно выдвинуть гипотезу о принадлежности этих данных к закону распределения Вейбулла.

1.2. Проверка правдоподобия гипотезы о принадлежности опытных данных к распределению Вейбулла

При проверке правдоподобия гипотезы о принадлежности опытных данных к распределению Вейбулла теоретическая частота интервала определяется по формуле

$$m_i' = \frac{N \cdot R}{a} \cdot a \cdot f(L_i), \tag{1.7}$$

где a – параметр масштаба, $f(L_i)$ – плотность распределения Вейбулла, соответствующая наработке L_i.

Оценка параметра масштаба a определяется по выражению

$$a = \frac{L_{ср.В}}{K_V}, \tag{1.8}$$

где K_V – коэффициент распределения Вейбулла, $L_{ср.В}$ – взвешенная средняя арифметическая (точечная взвешенная оценка математического ожидания).

$$L_{ср.В} = \frac{1}{N} \cdot \sum L_i \cdot m_i,$$

где L_i – середина i-го интервала, $L_{ср.В} = 185.519$.

Плотность распределения Вейбулла рассчитывается по формуле

$$f(L_i) = \frac{b}{a} \cdot (\frac{L_i}{a})^{b-1} \cdot e^{-(\frac{L_i}{a})^b}, \tag{1.9}$$

где b – параметр формы распределения Вейбулла.

Коэффициент распределения K_V и параметр формы b выбираются по табл. 3 [2] в зависимости от значения оценки коэффициента вариации.

$$V = \frac{\sigma}{L_{ср.}}; \ \sigma = \sqrt{D};$$

$$D = \frac{1}{N-1} \cdot \sum L_i^2 \cdot m_i - L_{ср}^2,$$

где L_i – текущее значение спроса на запасные части, $L_{ср}$ – среднее значение спроса за неделю.

После вычислений имеем:

$$D = 2100; \ \sigma = 45.831; \ V = 0.247;$$
$$K_V = 0.906; \ b = 4.$$

По формуле (1.26) определяем оценку параметра масштаба. Получаем

$$a = \frac{185,519}{0,906} = 204,767.$$

Промежуточные расчетные данные, необходимые для определения опытного значения критерия ХИ-квадрат при распределении Вейбулла, сведены в табл. 3. Параметр формы b = 4.

На рис. 2 показаны эмпирические частоты m_i спроса и теоретическая кривая *f(l1)* распределения Вейбулла.

Таблица 2

Характеристики интервального вариационного ряда

L_i	$L_{1H} – L_{1B}$	m_i
109	97,5–120,5	3
132	120,5–143,5	5
155	143,5–166,5	8
178	166,5–189,5	10
201	189,5–212,5	12
224	212,5–235,5	10
247	235,5–258,5	4
Σ		52

Таблица 3

Расчет опытного значения критерия ХИ-квадрат при распределении Вейбулла

L_i	m_i	$m_i' = N \cdot R \cdot f(L_i)$	$\frac{(m_i - m_i')^2}{m_i'}$
103	3	3,959	0,232
131	5	6,411	0,31
159	8	8,884	0,088
187	10	10,555	0,029
215	12	10,631	0,176
243	10	8,892	0,138
271	4	6,009	0,072

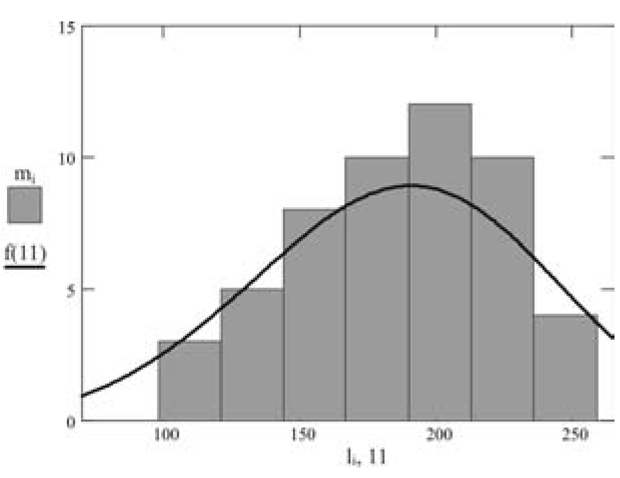

Рис. 2. Проверка правдоподобия гипотезы о принадлежности опытных данных спроса к распределению Вейбулла

Плотность распределения Вейбулла рассчитывалась по формуле (1.9). Промежуточные расчетные величины внесены в графы 3, 4 и 5. Суммируя значения графы 4, получаем $\chi^2 = 1{,}646$.

Для выбора табличного значения критерия ХИ-квадрат назначаем уровень значимости $a = 0{,}2$ и определяем число степеней свободы K. Количество наложенных связей $S = 2 + 1 = 3$. Тогда имеем $K = 7 - 3 = 4$.

По табл. 1 [1], при уровне значимости $a = 0{,}2$ и числе степеней свободы $K = 4$ выбираем $\chi^2_T = 5{,}9$. Имея $\chi^2_T > \chi^2$ (5,9 > 1,646), делаем заключение, что гипотеза о принадлежности количества заявок к закону Вейбулла правдоподобна.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ

На основании имеющихся данных по спросу за отчетный период устанавливаем следующие граничные уровни сервиса: 100 % ($N_{100\%}$) – количество запасных частей равно максимальному значению спроса за наблюдаемый период – 258, 50 % ($N_{50\%}$) – количество запасных частей равно средневзвешенному значению спроса – 186.

При моделировании рассмотрим все промежуточные значения уровня сервиса и выберем оптимальный.

2.1. Алгоритм

Задаемся определенным уровнем сервиса S. Например, $S_{80\%}$ означает, что к началу первой недели на складе находится

$$N_{80\%} = N_{100\%} - 2 \cdot \frac{(N_{100\%} - N_{50\%})}{5}$$

запасных частей.

Такой уровень сервиса мы будем поддерживать на протяжении всего текущего года. Это означает, что к началу каждой следующей недели на складе находится

$$N_{80\%} = 258 - \frac{(258-186)\cdot 2}{5} = 229 \text{ запасных частей.}$$

Далее с использованием имитационного моделирования разыгрывается случайно распределенная по закону Вейбулла величина спроса за определенный промежуток времени (в нашем случае он равен неделе). Если эта величина спроса превышает количество запасных частей на складе, считаем, что часть потребителей обращается к другому поставщику, и для себя констатируем упущенную прибыль. Если предложение превышает спрос, то мы несем издержки на хранение невостребованных запасных частей.

2.2. Реализация модели

В ППП MathCAD моделируем случайную величину спроса на начало каждой недели, распределенную по закону Вейбулла с найденными параметрами.

$$Nw = rweibull(m,b) \cdot L_{ср.В}\,,$$

где m – числовой вектор количества случайных значений вектора Nw. В рассматриваемом случае $m = 52$.

Если величина спроса Nw меньше количества запасных частей, находящихся в это время на складе $N_{80\%}$, то для компании мы считаем прибыль $p \cdot Nw$ от реализации Nw запасных частей, где p – норма дохода. Фиксируем затраты на хранение и обслуживание $k = N_{80\%} - Nw$ оставшихся на складе запасных частей в течение расчетной недели. Полученный результат запоминаем и переходим к рассмотрению следующей недели.

Для реализации числовых значений зададимся:

- стоимостью запасной части $S = 1000$ руб.,
- нормой дохода от продаж (в долях единицы от стоимости запасной части) $p = 0{,}035$,
- расходами на хранение и обслуживание (в долях единицы от стоимости запасной части) $k = 0{,}01$.

Например, в первую неделю величина спроса Nw равна 220 единицам. Доход от продажи 220 единиц запасных частей составит

$$D = Nw \cdot S \cdot p = 220 \cdot 1000 \cdot 0{,}035 = 7700\,p.$$

Затраты на хранение невостребованных 9 единиц запасных частей в течение расчетного периода

$$Zt = (N_{80\%} - Nw) \cdot S \cdot k = (229 - 220) \cdot 1000 \cdot 0{,}01 = 90\,p.$$

Таким образом, прибыль компании за расчетный период можно оценить $Pr = D - Zt = 7700 - 90 = 7610\,p$.

К началу следующей недели компания пополнила уровень количества запасных частей до расчетного значения $N_{80\%}$. Далее снова моделируем величину спроса. Допустим, в этом случае величина спроса Nw больше количества запасных частей, находящихся в это время на складе $N_{80\%}$. В данном случае прибыль компании будет равна $p \cdot N_{80\%}$. Суммируем прибыль с прибылью предыдущего периода и перейдем к рассмотрению следующего расчетного периода.

Таким образом, используя имитационное моделирование, рассматриваем работу компании в течение года с разбиением на 52 расчетных периода, фиксируя на каждом этапе прибыль от продажи n-го количества запасных частей и затраты на хранение k-го количества запасных частей. Данный алгоритм достаточно просто может быть реализован в MathCAD, используя программирование

```
Nw := rweibull(52, b) · lsr        N8 := 229

N5(n) := | Ch ← 0
         | Ch1 ← 0
         | for j ∈ 0..n
         |    | Ch ← Nw_j · S · p1 − (N8 − Nw_j) · S · p2 + Ch  if  N8 > Nw_j
         |    | Ch1 ← N8 · S · p1 + Ch1  otherwise
         | Ch ← Ch + Ch1
```

$$N5(51) = 2.914 \times 10^5.$$

Представленный выше расчет выполнен для 80 % уровня сервиса. Аналогичные расчеты можно провести для любого уровня сервиса и выбрать оптимальный уровень сервиса, обеспечивающий максимальную прибыль компании. В нашем случае подобные расчеты реализованы в MathCAD для всех возможных значений количества запасных частей на складе – от 100 до 258 единиц с шагом 1 единица, что соответствует уровню сервиса от 30 до 100 %.

$$k := 0..158 \qquad N8_k := 100 + k \qquad M_{j,k} := N8_k - N_j$$

$$N6(n,k) := \left| \begin{array}{l} Ch \leftarrow 0 \\ Ch1 \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 0..n \\ \quad \left| \begin{array}{l} Ch \leftarrow N_j \cdot S \cdot p1 - M_{j,k} \cdot S \cdot p2 + Ch \ \text{ if } N8_k > N_j \\ Ch1 \leftarrow N8_k \cdot S \cdot p1 + Ch1 \ \text{ otherwise} \end{array} \right. \\ Ch \leftarrow Ch + Ch1 \\ Ch \end{array} \right.$$

Рис. 3 иллюстрирует результаты расчета для различных значений уровня сервиса суммарного дохода предприятия от продаж запасных частей, затрат на хранение невостребованных запасных частей и прибыли, определяемой как разница между доходом от продаж и затратами на хранение.

Как видно из рис. 3 и данных расчета, максимальная прибыль для заданных начальных условий имеет место при величине еженедельного запаса в 214 единиц запасных частей, что соответствует 70 % уровню обслуживания.

ПРЕДПОЛАГАЕМЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

С помощью предложенного алгоритма для любой номенклатуры запасных частей можно определить оптимальный уровень сервиса, обеспечивающий наилучшее соотношение между спросом и количеством запасных частей на складе. При использовании данной методики оценки необходимого количества запасных частей на складе более эффективной становится работа компании с точки зрения использования складских площадей, управления оборотными средствами; уменьшается вероятность образования неликвидных запасов. Как уже говорилось, данную методику целесообразно использовать для обоснования количества запасных частей на складе по ключевым позициям, имеющим стабильный спрос. При условии учета спроса за предыдущие промежутки времени процесс оценки количества запасных частей на складе может быть легко автоматизирован и не потребует практически никаких затрат при внедрении.

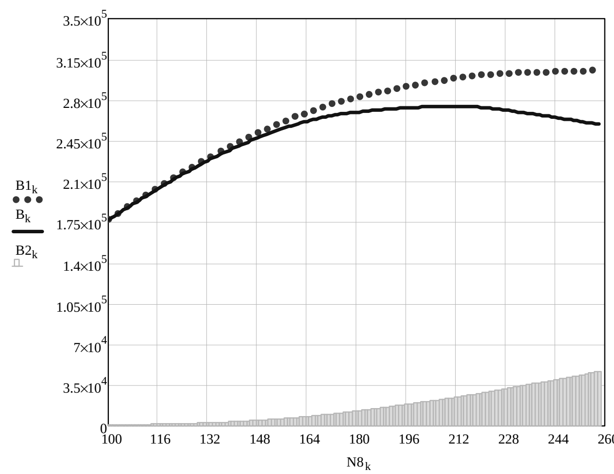

Рис. 3. Графики суммарного дохода от продаж $B1_k$, прибыли B_k, затрат на хранение $B2_k$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов Ю. Ю., Костюкевич В. М. Логистика в лесном комплексе: управление снабжением, транспортом и запасами: Учеб. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. 108 с.
2. Питухин А. В., Шиловский В. Н., Серебрянский Н. И. Применение вероятностно-статистических методов для решения задач по надежности и ремонту машин и оборудования: Учеб. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1999. 148 с.
3. Шиловский В. Н. Теоретические основы и стратегии организации маркетинга и менеджмента технического сервиса территориально распределенных машин и оборудования. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. 324 с.