
 ЗАМЕТКИ
И ПИСЬМА

ПЛАНИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ ПРИ ПРОЦЕССНОМ ПОДХОДЕ К УПРАВЛЕНИЮ

© 2009 г. О. М. Розенталь, Е. Д. Копнова

(Москва)

Современный бизнес претерпевает глубокие перемены, обусловленные глобализацией рынков и изменением их природы. Новые парадигмы экономического развития побуждают формировать корпоративные системы менеджмента качества (СМК) и экономику качества (стандарт ISO 10014), предусматривая процессный подход к управлению (стандарты ISO серии 9000). При этом деятельность предприятия выстраивается как совокупность процессов — последовательность логически завершенных этапов общей производственной цепочки, преобразующих входы в выходы и создающих ценность продукта для потребителя (Чарльз, 2002, с. 90; Джуран, 1999, с. 5). Процессный подход требует планирования запасов по критериям, отражающим прогнозную оценку спроса на продукцию. Используемые в СМК системы планирования запасов — MRP (Material Requirements Planning) и ERP (Enterprise Resource Planning) — не учитывают случайных колебаний потребительского спроса. Между тем эти явления сопровождаются рассогласованием отдельных процессов и крупными ущербами.

Пусть производственная цепочка включает четыре процесса, на выходе каждого из которых образуется полупродукт или продукт. Пусть на выходе последнего, четвертого, процесса создается запас продукции, обеспечивающий приемлемый риск α_4 возникновения ее дефицита вследствие непредсказуемости спроса. Очевидно, что на выходе третьего процесса должен быть сформирован запас полупродукта, гарантирующий риск ниже α_4 , потому что в противном случае суммарный риск нарушения работы цепочки уже не будет приемлемым ($\alpha_3 = 1 - (1 - \alpha_4)^2 > \alpha_4$). Это рассуждение справедливо и для всех предшествующих процессов производственной цепочки, иначе риски нехватки запасов сырья окажутся здесь наибольшими ($\alpha_1 = 1 - (1 - \alpha_4)^4 > \alpha_2 > \alpha_3 > \alpha_4$).

Изложенный пример соответствует представлению производственной цепочки в виде случайной авторегрессионной последовательности $\{X_t\}_{t=1}^n$, удовлетворяющей условиям:

$$X_t = \beta X_{t+1} + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim \text{iid}(0, \sigma^2), \quad \beta > 1,$$

где X_t — величина контролируемого показателя. Поскольку

$$X_t = \beta^{n-t} X_n + \beta^{n-t-1} \varepsilon_{n-1} + \beta^{n-t-2} \varepsilon_{n-2} + \dots + \varepsilon_t,$$

то $E[X_t] = \beta^{n-t} E[X_n]$, $D[X_t] = [\sigma^2(\beta^{2(n-t)} - 1)]/(\beta^2 - 1)$. Так как $\beta > 1$, то явная нестационарность инверсированного процесса указывает на нарастание риска нехватки запасов при переходе к начальным процессам производственной цепочки.

Этот факт хорошо известен менеджерам, отмечающим появление диспропорций между количеством используемых и заготавливаемых запасов в “тянущей” системе поставок. Нередко это становится причиной появления хаоса на начальных этапах поставок и непропорционально больших колебаний запасов при сравнительно малых случайных изменениях спроса (в логистике такой эффект носит название “бычьего кнута”, *the bullwhip effect*, рис. 1): при удалении от потребителя по каналу дистрибуции излишки запасов возрастают. Из-за этого внедрение СМК на российских энерго- и ресурсоемких производствах носит ограниченный характер, нередко его внедрение производится лишь для получения сертификата, выполняющего имиджеобразующую функцию, но не подтверждающего соответствия предприятия требованиям стандарта ISO 9001.

Не снижая общности рассмотрения, проанализируем задачу на примере планирования запасов водных ресурсов. Значимость примера определяется тем, что вода — это универсальный ресурс, необходимый практически при любой хозяйственной деятельности, нередко в количествах, на порядки превышающих потребности в другом сырье. Недоучет этого обстоятельства

привел к тому, что в условиях нарастающей нехватки пресной воды некоторые регионы мира вынуждены перейти от производства водоемкой продукции к ее импорту (Данилов-Данильян, 2007, с. 108).

Одним из стратегических видов такой продукции является грунтовая электротехническая сталь, холодный прокат которой лимитируется запасом металлургического сырья (ленточного безгрунтового металла) и глубоко очищенной (деионизированной) воды. Она необходима для получения водно-оксидных суспензий, а из них — грунтовых покрытий металла, улучшающих его магнитную текстуру и обеспечивающих высокие потребительские свойства продукции. Водная часть технологии включает формирование запасов: предварительно очищенной природной воды (процесс № 1 производственной цепочки), глубоко очищенной для приготовления технических суспензий воды (процесс 2), водно-оксидных суспензий для покрытий (процесс 3), металла с сырым покрытием (процесс 4) и грунтовой электротехнической стали (процесс 5).

Для рассматриваемых производств потребность в запасах на входе в каждый процесс описывается нормальным распределением $X_i \sim N(m_i, \sigma_i^2)$, $i = 1, 2, 3, 4, 5$. Типичный разброс данных характеризуется величиной $\sigma_i \approx 0.5 \Delta m_i$, а риск недопоставок для каждого процесса принято поддерживать на уровне не более 5%, в соответствии с требованиями СМК. Поэтому при необходимости поставить сверх плана $\Delta m_5 = 10000$ т продукции потребуются увеличить запас:

- металла с сырым покрытием (процесс 4) на $\Delta m_4 = \Delta m_5 + 2\sigma_5 = 20000$ т/мес.,
- водно-оксидной суспензии (процесс 3) — до уровня $\Delta m_3 = 40000$ т/мес.,
- деионизированной воды (процесс 2) — до уровня $\Delta m_2 = c \times 80000$ т/мес.,
- предварительно очищенной воды (процесс 1) — до уровня $\Delta m_1 = c \times 160000 > 2 \cdot 10^6$ т/мес., где $c > 12$ т — удельный расход воды на 1 т продукции.

Указанного количества воды производства, осуществляющие холодный прокат металла, как правило, получить не могут и лишаются выгодных заказов. Не упустить выгодный заказ можно в том случае, если заказчик согласится приобрести более дешевую и менее качественную безгрунтовую сталь, производство которой не требует высокоочищенной воды. Однако экономически целесообразнее планировать запасы воды по критериям, учитывающим прогнозную оценку спроса на продукцию.

Для решения этой задачи удобно использовать модель системы массового обслуживания (СМО), оптимизируя пропускную способность действующих производственных цепочек (каналов) по критерию максимума прибыли. Принимая модель СМО “с отказами”, получаем, что доход D от функционирования СМО определяется из соотношения $D = d\lambda(1 - p_n)$, где

$$p_n = \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} \left(1 + \frac{\lambda}{1! \mu} + \frac{\lambda^2}{2! \mu^2} + \dots + \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} \right)^{-1} -$$

вероятность отказа в обслуживании заявок; d — средний доход от обслуживания одной заявки; λ и μ — интенсивности поступления и обслуживания заявок, соответственно. При этом прибыль вычисляется по формуле $P = D - nr$, где r — затраты на содержание канала, определяющего пропускную способность производственной цепочки, n — число таких каналов.

Экономическая эффективность производства грунтовых сталей при $\lambda = 3$, $\mu = 5$ (единиц в месяц), $d = 20$, $r = 8$ (условных единиц в месяц) приведена на рис. 2 в виде графика зависимости прибыли P от числа каналов n . Для безгрунтовых сталей аналогичный график при тех же значениях λ и μ и при $d = 5$, $r = 3$ представлен на рис. 3. Видно, что максимальное значение прибыли



Рис. 1.

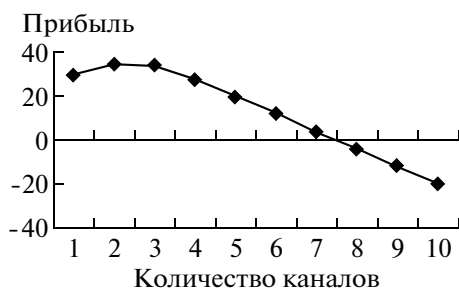


Рис. 2.

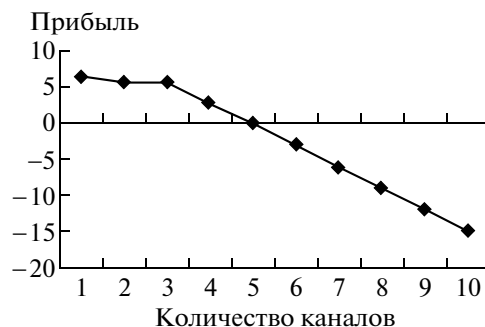


Рис. 3.

по первому проекту, требующее развития “водной” технологии стали, достигается при $n = 3$, а по второму — при $n = 1$.

Заметим, что полученный результат справедлив только в случае высокого спроса на грунтовую сталь. В общем случае для принятия решения о планировании запасов необходимо учесть другие возможные состояния энергетики. В табл. 1–3 приведены результаты анализа трех вариантов планирования запасов для четырех возможных состояний энергетики. В качестве вариантов планирования рассматриваются:

формирование повышенного запаса глубоко очищенной воды (при расширенном производстве грунтовых сталей),

ограничение запасов воды существующим уровнем,

отказ от производства грунтовых электротехнических сталей.

Одновременно принимается, что возможные состояния характеризуются:

высоким спросом на грунтовую сталь,

низким спросом на грунтовую сталь,

низким спросом в сочетании с протекционизмом,

экономическим упадком отрасли.

Анализ, результаты которого приведены в табл. 1, показывает, что согласно критерию ожидаемого дохода следует готовиться к расширенному производству и планировать увеличение запасов чистой воды (проект 1), по критерию минимизации риска — отказаться от производства грунтовой стали. Если выбор делается между рисковыми вариантами, то следует выбрать проект 1, не склонные к риску — проект 2. В целом значения перечисленных критериев чаще ориентируют в пользу проекта 1, который и был принят предприятием.

Предложенный анализ позволяет отбросить часть возможных вариантов планирования запасов и снизить риски рассогласования процессов. Этим определяется его польза при формиро-

Таблица 1. Результаты анализа вариантов планирования запасов. Случай известных вероятностей состояний энергетики

Проекты	Состояния энергетики				Ожида- емый доход	Риск, оцениваемый как		Полезность $F = m + a\sigma^2$	
	1	2	3	4		СКО	коэффициент вариации	ЛПР, склонный к риску ($a = 0.1$)	ЛПР, не склон- ный к риску ($a = -0.1$)
	Вероятности состояний								
	0.1	0.3	0.5	0.1					
	Прибыль								
1	34.31	3.15	4.22	1.52	6.64	28.46	4.29	87.63	-74.36
2	3.64	6.53	2.83	2.75	4.01	3.08	0.77	4.96	3.07
3	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	0.00	0.00	3.00	3.00

Таблица 2. Результаты анализа вариантов планирования запасов. Случай неизвестных вероятностей состояний энергетики

Проекты	Состояния энергетики				Критерии			
	1	2	3	4	Вальда	Макси- макса	Гурвица, $\alpha = 0.5$	Лапласа, $p_j = 0.25$
	Прибыль							
1	34.31	6.15	4.22	1.52	1.52	34.31	17.92	11.55
2	3.64	6.53	2.83	2.75	2.75	6.53	4.64	3.94
3	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

Таблица 3. Результаты анализа вариантов планирования запасов. Случай неизвестных вероятностей состояний энергетики. Критерий Сэвиджа

Проекты	Состояния энергетики				Критерий Сэвиджа
	1	2	3	4	
	Упущенная выгода				
1	0.00	−0.38	0.00	−1.48	−1.48
2	−30.67	0.00	−1.39	−0.25	−30.67
3	−31.31	−3.53	−1.22	0.00	−31.31

Таблица 4. Использование стандартов “Lean Six Sigma” для планирования водопользования

Элементы системы менеджмента качества	Направления работ по планированию водопользования	Шесть сигм	Бережливое управление водопользованием
Обязательства руководства в соответствии с ISO 9000	Установление целей развития технологии водоемкой продукции		+
Статистическое управление производством	Оценка логистических показателей производственного водопользования	+	
Реализация концепции “Lean Six Sigma” в форме “определение и выбор проектов”	Исследование и прогноз состояния мирового рынка водоемкой продукции	+	+
Производственный мониторинг, оценка контролируемых показателей	Оценка целесообразности и эффективности возможных направлений инвестирования в водопользование	+	
Внутрифирменное распределение ресурсов	Выбор оптимального проекта инвестирования в водопользование		+
Использование принципа DMAIC и принципа ISO 9000 непрерывных улучшений	Разработка корректирующих мероприятий и новых целей оптимизации водопользования	+	+

нии СМК водопользования предприятий не только металлургической, но также химической, атомной, электронной, фармацевтической и других отраслей промышленности, потребляющих большие объемы высокоочищенной воды.

В целом планирование запасов сырьевых ресурсов в рамках СМК предусматривает разработку и введение в корпоративную практику стратегии принятия решений на основе стандартов:

1) “Бережливого управления” (“Lean”, стандарт SAE J4000, руководство J4001) (Levinson, Rerrick, 2002; Donald, 2002);

2) “Шести сигм” (Six sigma, (George, 2002; Tapping, Luster, Shaker, 2002).

В качестве ориентира для такой работы перечислим основные направления оптимизации системы планирования водопользования, детально подготовленной ИВП РАН для одного из металлургических заводов в соответствии со стандартизированной методологией “Lean Six Sigma” (Джорджи, 2003) и с учетом описанных выше прогнозных оценок (табл. 4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Данилов-Данильян В.И.** (2007): Вода — стратегический фактор развития экономики России // *Вестник Российской академии наук*. № 2.
- Джуран Д.** (1999): Два века качества // *Европейское качество*. Т. 6. № 2.
- Charles Ch.J.** et al. (2002): Does ISO 9000 certification pay? // *ISO Management Systems*. № 5.
- Donald W.B.** (2002): *The Certified Quality Engineer Handbook*. N.Y.: ASQ Quality Press.
- George M.L.** (2002): *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed*. N.Y.: ASQ Quality Press.
- George M.L.** (2003): *Lean Six Sigma for Service. How to Use Lean Speed & Six Sigma Quality to Improve Services and Transactions*. N.Y.: McGraw-Hill Co.
- Levinson W.A., Rerick R.A.** (2002): *Lean Enterprise: A Synergistic Approach to Minimizing Waste*. N.Y.: ASQ Quality Press.
- Tapping D., Luster T., Shaker T.** (2002): *Value Stream Management: Eight Steps to Planning, Mapping, and Sustaining Lean Improvements*. N.Y.: Productivity Press.

Поступила в редакцию
01.10.2007 г.