

Министерство образования Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В. М. МАКАРОВ

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО
МЕНЕДЖМЕНТА И ЛОГИСТИКИ

УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ

Практикум

Санкт-Петербург
Издательство СПбГПУ
2003

УДК 658.512.6:621 (076.5)

Макаров В.М. Модели и методы производственного менеджмента и логистики. Управление запасами: Практикум. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. 59 с.

Пособие соответствует государственному образовательному стандарту дисциплины ОПД.Ф.05 "Менеджмент" подготовки дипломированных специалистов по специальности 060800 "Экономика и управление на предприятии", а также дисциплины СД.05 "Логистика" подготовки дипломированных специалистов по специальности 061100 "Менеджмент организации" направления 521500 "Менеджмент".

Рассмотрены роль запасов в производственном процессе и управлении материальными потоками предприятия в свете логистического подхода, разнообразные модели управления запасами: идеальные, детерминированные, стохастические. Приведены основы системы "Точно вовремя", тесно связанной с рассматриваемыми вопросами. Материал изложен преимущественно в виде решения типовых задач и снабжен контрольными заданиями.

Пособие содержит материал только одного раздела названных дисциплин и продолжает серию изданий автора, где излагаются специфические закономерности, модели и методы производственного менеджмента и логистики.

Предназначено для студентов Высшей школы управления и финансов, получающих вторую (экономическую) специальность, а также студентов факультета экономики и менеджмента и других факультетов СПбГПУ, изучающих дисциплины "Производственный менеджмент" и "Логистика".

Табл.4. Ил.21. Библиогр.: 17 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Пособие предназначено для студентов факультета экономики и менеджмента (ФЭМ), получающих как первую, так и вторую (экономическую) специальность и изучающих дисциплину "Производственный менеджмент". Оно включает материал только одного раздела названной дисциплины, а именно раздела "Управление запасами" ("Логистика запасов"). Пособие входит в серию, подготовленную к изданию профессором В.М. Макаровым, в которой рассматриваются различные вопросы организации и управления производством на промышленном предприятии. Цель пособия – помочь студентам в систематизации и закреплении полученных знаний в области управления производством с использованием различных моделей управления материальными запасами.

В настоящее время модели и методы управления запасами чаще относят к предмету другой дисциплины – "Логистика", изучаемой студентами не только факультета экономики и менеджмента, но и других факультетов СПбГПУ. Пособие, таким образом, может быть рекомендовано и им.

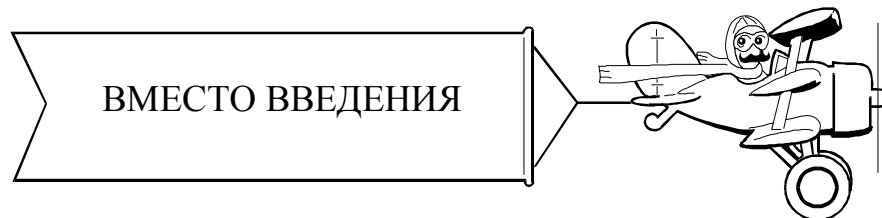
Излагаемый в пособии материал является также частью программы подготовки магистров бизнес администрирования, которая проводится высшей школой управления и финансов ФЭМ,

поэтому пособие рекомендуется и участвующим в этой программе руководителям отечественного бизнеса.

Предлагаемое пособие представляет собой второе издание, исправленное и существенно дополненное в основном за счет расширения материала введения, третьей и четвертой тем. Первое издание было предпринято в 1998 году. Близкий по тексту материал опубликован также в двух изданиях пособия "Производственный менеджмент. Модели и методы управления запасами: Практикум", вышедших в издательстве СПбГПУ в 2000 и 2003 годах.

Знакомства только с данным пособием недостаточно для полного освоения материала. Оно дополняет материал лекций и может быть использовано для аудиторных и самостоятельных практических занятий, а также для контроля усвоения материала.





О РОЛИ ЗАПАСОВ В УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ И СВЯЗИ МЕЖДУ МЕНЕДЖМЕНТОМ И ЛОГИСТИКОЙ

Производственный менеджмент – это совокупность приемов и методов, направленных на организацию и координацию совместной работы людей, занятых в производственном процессе, в целях достижения его максимальной результативности. В свою очередь производственный процесс на промышленном предприятии согласно *логистической* концепции рассматривается как целенаправленное движение и преобразование материальных потоков, начиная с получения исходных компонентов и кончая выпуском готовых изделий. Важнейшим принципом и целью организации движения потоков является обеспечение их *непрерывности*. Однако бывает практически невозможно организовать полностью непрерывный производственный цикл на предприятии, на сто процентов согласовать между собой производственные звенья, синхронизировать с ходом производства все внешние поставки. Особенно это касается машиностроительных предприятий, являющихся объектом нашего изучения, где производственный процесс дискретен. Таким образом на разных стадиях производства возникают *запасы* и *заделы*, как следствие нарушения непрерывности материальных потоков.

Запасы (заделы) являются существенным и необходимым элементом производства. Запасы сырья, материалов, комплектующих изделий, топлива, инструмента и т.п. создаются на входе производственного процесса, готовых изделий – на выходе. Заделы формируются из объектов незавершенного производства, находящихся на различных стадиях процесса.

Заделы могут быть текущими и страховыми. Среди текущих ведущую роль играют оборотные, возникающие вследствие несинхронности работы смежных производственных звеньев, разного характера поступления и потребления предметов производства и т.д. Страховые или резервные создаются из-за возможности случайных резких отклонений интенсивности их поступления или потребления.

Наличие и размеры запасов (заделов) оказывают существенное влияние на экономические показатели предприятия. Очевидна их связь с размерами необходимых производственных и складских помещений, с текущими затратами

на их хранение и пополнение, с потерями от порчи хранящихся объектов. Но наиболее существенное влияние на экономические показатели работы предприятия оказывает связывание в запасах (заделах) его *оборотных средств*.

Управление запасами (далее под запасами будем понимать и заделы) со стороны производственных менеджеров – это не только и не просто задача поддержания их экономически целесообразного уровня. По сути дела это один из способов регулирования хода производства, т.е. управления производством. Действительно, запас возникает на стыке двух подразделений: производящего (поставляющего) какой-либо предмет производства и потребляющего его, и при правильном управлении его уровнем позволяет менеджеру координировать совместную работу этих подразделений.

Исторически этот способ управления сложился первым в процессе разделения труда, когда ремесленники стали объединяться в цехи и возникла простейшая специализация производства. Далее, по мере развития производства и углубления его специализации, усложнения структуры производственного процесса этот способ был практически повсеместно вытеснен более совершенными методами. Однако в последние годы он нашел блестящее развитие и продолжение в методе "Точно вовремя", предложенном японской фирмой *Toyota Motors*.

Рассмотрим механизм действия этого способа управления на простейшем примере, взятом из истории средних веков.

Пример

Представим себе, что несколько ремесленников-ювелиров объединились для совместной работы в ювелирный цех, где их роли распределились следующим образом: один делает отливки украшений (это литейщик), другой придает отливкам нужную форму (это кузнец), остальные кропотливым трудом тщательно отделывают заготовку, придавая ей окончательные свойства ювелирного украшения. Пусть они делают и тут же продают украшения нескольких видов, один из которых – серебряные застёжки для одежды.

Ясно, что литейщику и кузнецу удобнее одновременно готовить несколько заготовок для застёжек (партию), а затем переключаться на партии других заготовок. В то же время ювелиры берут заготовки для дальнейшей обработки по одной, причем частота их обращения к ларцу, где хранятся заготовки застёжек, зависит от многих факторов, в первую очередь – от спроса местных модниц на этот вид украшений. Когда ларец оказывается пустым, литейщик и кузнец получают заказ на новую партию заготовок для застёжек, но пока заказ не исполнен, любители украшений покупают застёжки у конкурентов, а цех несет убытки. То же происходит и с другими видами украшений.

Видя такую картину, кузнец решает посадить около ларцов с заготовками своего сына, дав ему следующее наставление: "Когда уровень заготовок в каком-либо ларце опустится до уровня твоего носа – беги ко мне, и мы с ли-

тейщиком успеет сделать очередную партию этих заготовок, пока они еще не кончатся в ларце" (рис.1).

Нам с высоты наших знаний ясно, что литейщик и кузнец представляют заготовительную стадию производства, ювелиры – обрабатывающую стадию, между ними создается запас заготовок в ларцах, а кузнец с сыном реализуют простейшую модель управления заготовительным производством посредством контроля за уровнем этого запаса. Заметим, что аналогичная схема управления автоматически действует со стороны покупателей на ювелиров через контроль запаса готовых украшений, выставленных на продажу. Существенным преимуществом этого способа управления является его гибкость, возможность отслеживать спрос на различные виды готовых изделий, т.е. не производить те из них, которые не берут покупатели, и, соответственно, не делать заготовок для их изготовления.

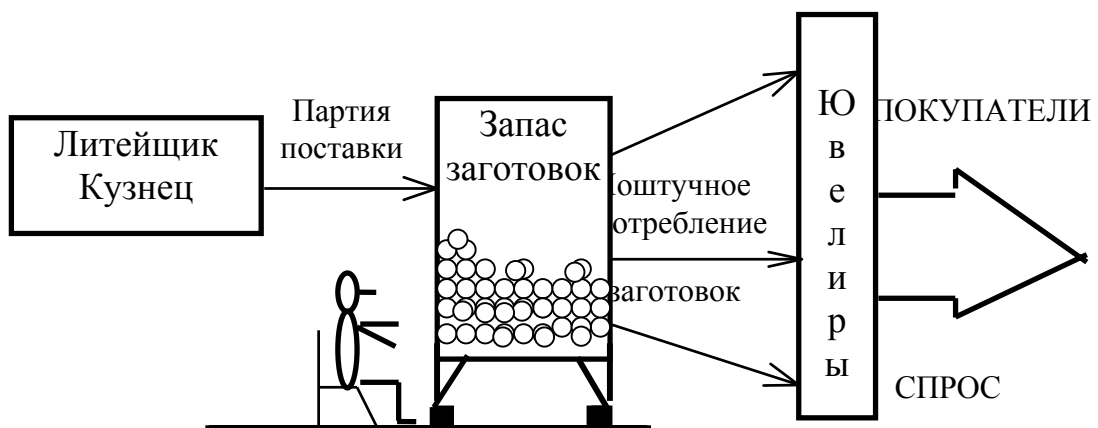


Рис.1 Схема, иллюстрирующая пример производства застёжек и заготовок для них в ювелирной мастерской

Централизованная система управления производством, сменившая управление запасами, исходит из двух предположений:

- 1) спрос на продукцию устойчив и постоянен;
- 2) соотношения между отдельными компонентами, используемыми при изготовлении готовой продукции, четко детерминированы.

В этом случае программы производства для всех подразделений предприятия могут быть централизованно просчитаны и переданы в подразделения в виде плановых заданий на период. Такая система кажется идеальной, однако, она с трудом реагирует на внешние (изменение спроса) и внутренние (сбои в подразделениях) возмущающие воздействия, т.е. не обеспечивает нужной степени гибкости производства в условиях рынка.

Сегодня общепризнанно, что наиболее перспективной для многих производств является система управления типа "Точно вовремя", одним из основных положений которой является логистический принцип "вытягивания" продукции из предыдущего звена, так ясно прослеживающийся в примере с ювелирным цехом. В соответствии с ним потребители забирают нужную им продук-

цию со склада предприятия, уровень ее запаса снижается, и она заказывается сборочному производству; там используется запас комплектующих сборку элементов и они заказываются обрабатывающим цехам, те, в свою очередь, требуют нужные заготовки, далее – материалы, по ходу производства заказывается инструмент и т.д. Управляя запасами на всех промежуточных складах, производственные менеджеры управляют процессом производства.

Подводя итог сказанному, можно определить предмет изучаемого раздела курса. Им являются принципы формирования и контроля различных запасов и заделов, возникающих по ходу производства на предприятии, и методы управления ими для минимизации связанных с ними затрат и управления процессом производства.

Очевидно, что этот предмет существенно уже предмета производственного менеджмента, но в то же время является его неотъемлемой частью. В большей же степени он соответствует предмету другой науки – логистики.

Логистика – наука о закономерностях движения материальных и взаимосвязанных с ними информационных потоков, начиная с закупки исходного сырья и материалов, получения комплектующих изделий, продолжая процессом производства продукции и заканчивая доставкой товаров конечным потребителям. Особый акцент делается логистикой на транспортных и складских операциях, которые можно назвать "лицом" логистики. Именно они определяют специфику ее предмета.

Логистика преследует цели ускорения продвижения всех материальных потоков вплоть до удовлетворения потребностей конечного рыночного потребителя, сокращения запасов и заделов, издержек производства продукции, транспортирования и складирования ресурсов (т. н. логистических издержек), при этом рассматривает потоки в единой системе, непрерывными на всех этапах их движения и преобразования.

Таким образом, логистика является научным направлением, рассматривающим *управление интегрированными материальными и информационными потоками в трех сферах*: снабжения, производства и сбыта готовой продукции. Такой подход к управлению представляет собой новый шаг в развитии общей концепции производственного менеджмента под действием ужесточения конкурентной борьбы на мировых рынках. Целью совершенствования управления производством в данном случае является получение *синергического эффекта* объединения трех сфер управления, выраженного в снижении уровня риска в цепях поставок материалов и сбыта готовой продукции предприятия. Риск связан с возможным нарушением непрерывности потоков или с возникновением излишних затрат на их продвижение. Отсюда задача менеджеров – взять тем или иным способом под контроль логистические цепи. Плодотворность рассматриваемого подхода подтверждается его использованием и развитием в корпоративную стратегию *вертикальной интеграции* и концепцию *цепей снабжения/поставок*.

По утверждению авторов книги "Системы и руководство"¹, "...управление цепью снабжения – это проявление системного подхода к управлению всеми потоками информации, материалов, услуг от поставщиков через предприятие и склады до конечного потребителя. Управление цепью снабжения представляет собой философию бизнеса, строящуюся вокруг процессов и интеграции. Обмен и мониторинг информации в рамках сети, управление запасами, оценка расходов и совместное планирование происходят в сети постоянно".

Еще в конце 60-х, начале 70-х годов XX-го века термина "логистика" применительно к ведению бизнеса не существовало, хотя давние истоки ее можно найти в других сферах человеческой деятельности. Но уже в те годы, ведущие специалисты в области системного анализа в управлении материальным производством Р. Джонсон, Ф. Каст, Д. Розенцвейг в своей книге¹ отмечали, что для описания процесса движения потока от первичного источника к конечному потребителю был введен специальный термин "*рохрематика*". Он был введен для характеристики "...целой системы, включающей весь материальный поток целиком. Рохрематика – это наука об управлении материальным потоком, рассматривающая основные функции производства и распределения в качестве интегрированной системы и изучающая наиболее эффективные комбинации таких подфункций, как перемещение, обработка, хранение и распределение товаров. Ее цель состоит в том, чтобы сократить общее время прохождения материального потока и общие затраты, относящиеся к нему".

Определение логистики, данное американским Советом по управлению логистикой (*Council of Logistics Management*) звучит примерно (проблемы перевода) следующим образом. Это процессы планирования, контроля и складирования сырьевого потока, создания запаса готовой продукции с учетом требования оптимизации затрат, и процесс преобразования относящихся к этому информационных потоков, имеющие целью удовлетворение потребностей клиента, от пункта происхождения сырья до пункта потребления продукта.

Логистику можно назвать молодой наукой. Она бурно развивается, что характерно для наук, возникающих на стыке различных областей знания. Так и в логистике явно прослеживаются корни менеджмента, маркетинга и других наук. С другой стороны, любые научные исследования особенно быстро развиваются под влиянием потребностей практики. Это же случилось и с логистикой.

На рис. 2 показаны три сферы логистики. В первой и третьей сферах она тесно смыкается с маркетингом. Это коммерческая логистика. Во второй сфере – с производственным менеджментом. Это промышленная логистика.

Логистикой выделяются следующие структурные компоненты материальных потоков:

а) предметы производства;

¹ Джонсон Р., Каст Ф., Розенцвейг Д. Системы и руководство. /Пер. с англ. Изд. 2-е, дополненное. Нью-Йорк, 1967 г. М.: "Советское радио", 1971.

- б) технологическая оснастка;
- в) вспомогательные материалы;
- г) отходы производства;
- д) энергетические ресурсы;

и информационных потоков:

а) информация, сопровождающая материальные потоки, – учетная и конструкторско-технологическая;

б) информация, движущаяся навстречу материальным потокам, – о потребностях рынка, в виде производственных планов, о производственных заказах.

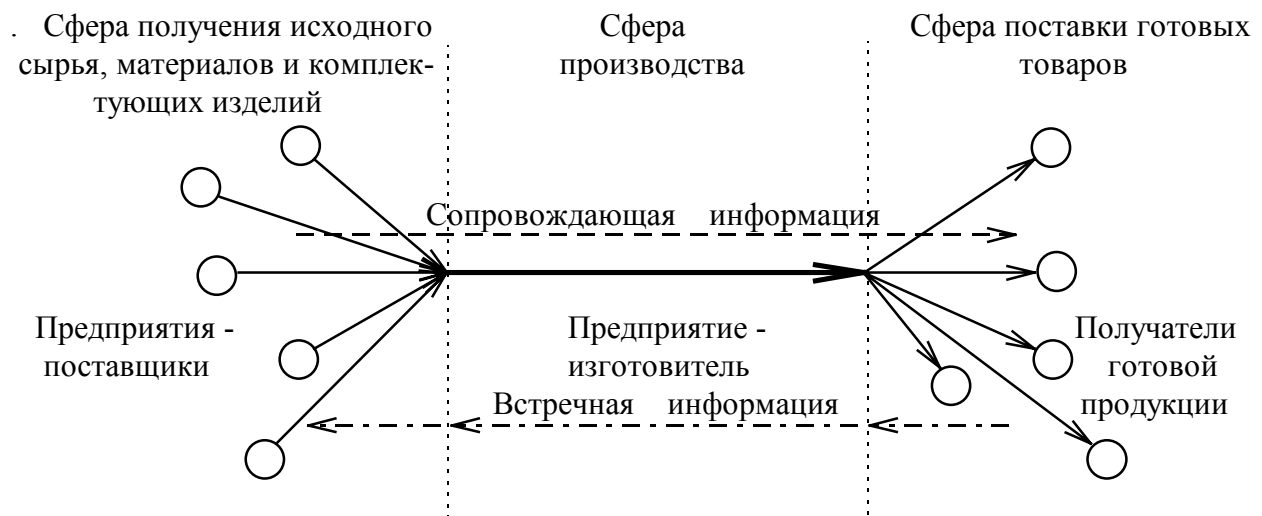


Рис. 2. Схема логистических потоков в трех сферах

Материальные и движущие им навстречу информационные потоки образуют замкнутый контур, который инициируется потребностями рынка (третьей сферой). Закономерности управления в этом контуре и составляют предмет логистики.

Для закупочно-сбытовых организаций и фирм сфера производства из рассмотренной системы логистических потоков выпадает (рис. 3). При этом ведущее значение приобретают транспортные и складские операции коммерческой логистики. Не умаляя роли транспортных операций, можно утверждать, что ядром работы подобных коммерческих фирм является управление товарными запасами на складах, которое для них тождественно управлению производственной деятельностью.

Это предполагает решение главной для таких фирм задачи, – когда и сколько товара надо заказывать, чтобы:

- 1) на складе всегда или практически всегда был в наличии данный товар,
- 2) при поступлении новой партии склад не переполнялся,
- 3) суммарные затраты на поставки и хранение товара были минимальны,
- 4) связывание оборотных средств фирмы в запасах было минимально,
- 5) срок хранения товара не превышал допустимого срока его реализации,

б) срок хранения товара не превышал срока предоставляемого товарного кредита.

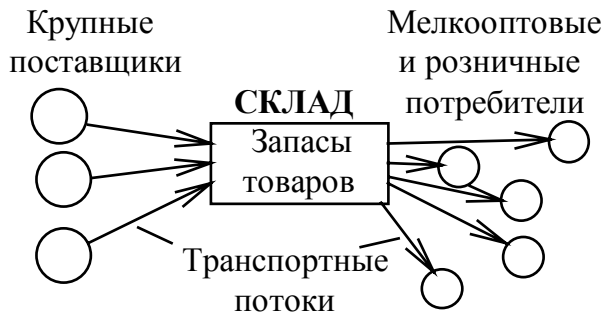


Рис. 3. Схема материальных потоков для закупочно-сбытовых организаций

Для решения этих вопросов используются разнообразные модели управления запасами, включающие прогнозирование спроса и оперативное формирование текущих параметров управления. Укрупненный алгоритм управления в такой ситуации показан на рис. 4.

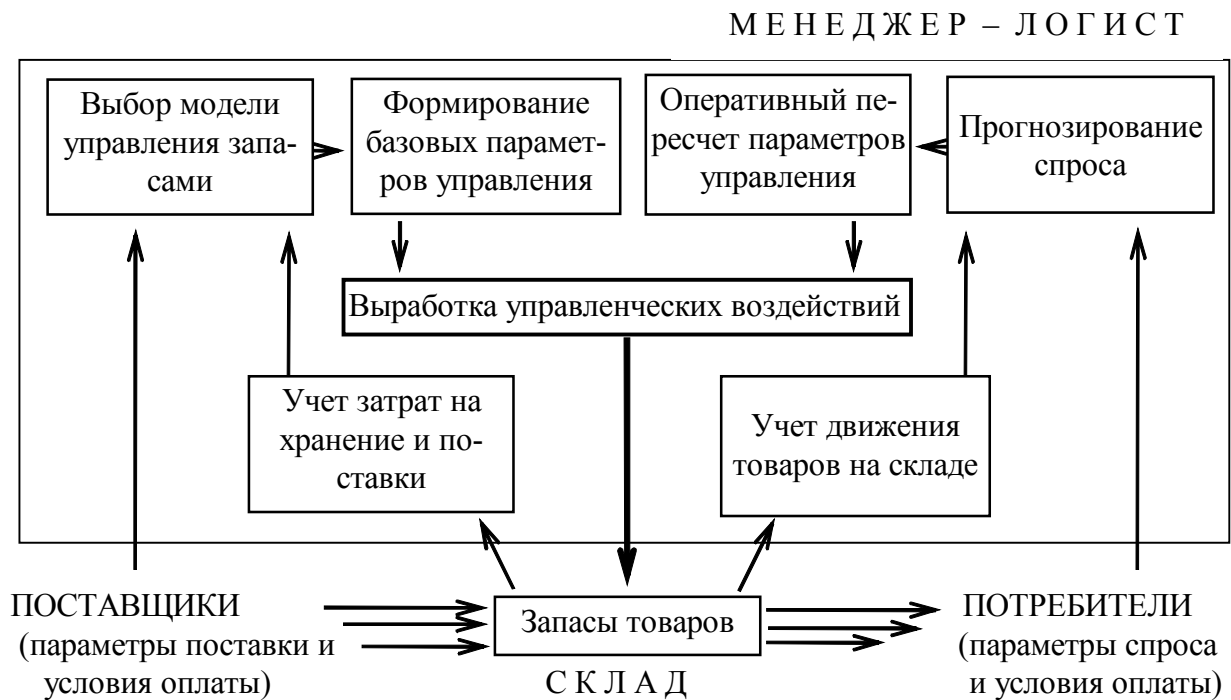
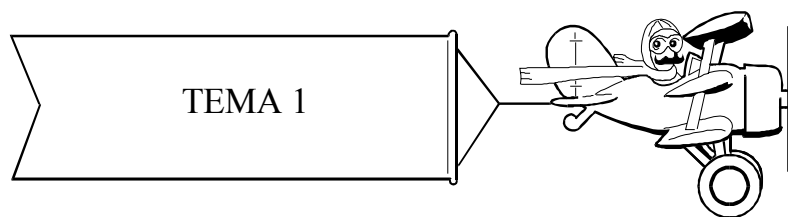


Рис. 4. Укрупненный алгоритм управления запасами для закупочно-сбытовой организации

Этот пример подтверждает, что область применения теории управления запасами очень широка и включает решение задач логистики и производственного менеджмента.



ИДЕАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ И ЕЕ МОДИФИКАЦИИ

1.1. Постановка задачи

Управление запасами должно давать ответ на два основных вопроса: когда размещать заказ на пополнение запаса и как много изделий заказывать?

Существует несколько моделей управления, различающихся исходными условиями и способами пополнения запаса. Заметим, что все эти модели *однопродуктовые*, т.е. предполагают управление запасом одинаковых или однородных (сводимых к одному виду или способу учета) продуктов. Управление реальным складом строится на основе комбинации конечного числа однопродуктовых моделей.

Рассмотрим основные положения управления запасами на *идеальной модели*. Она строится исходя из следующих предположений:

- а) интенсивность (скорость) потребления ресурса (продукта, предметов производства) из запаса известна и постоянна;
- б) потребление осуществляется мелкими партиями или поштучно, а пополнение (возобновление) запаса – крупной партией;
- в) пополнение запаса происходит мгновенно при снижении его уровня до нуля.

Обозначим партию поставки – $n_{\text{пост}}$, ритм поставки – $R_{\text{пост}}$, тогда интенсивность потребления $I = n_{\text{пост}} / R_{\text{пост}}$. Графическое изображение идеальной модели показано на рис. 5.

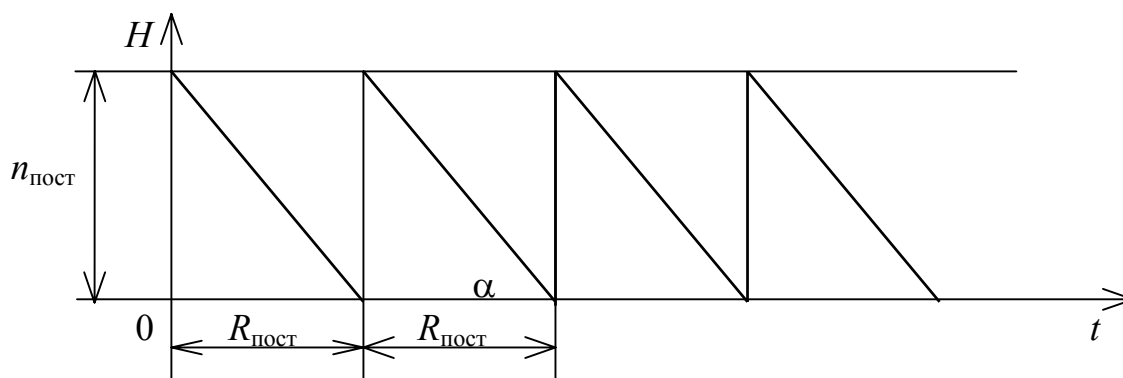


Рис. 5. Идеальная модель управления запасом

Графическая модель отражает изменение величины запаса H во времени и состоит из последовательности циклов его потребления и мгновенного попол-

нения (аналогия: зубья пилы). Величина запаса может измеряться любыми натуральными единицами, например, штуками, тоннами или единицами хранения (коробки, контейнеры), в которых могут находиться различные, но однородные по параметрам управления их запасом ресурсы. В графической модели сделано одно допущение: ступенчатая линия потребления аппроксимирована прямой. Это возможно, если партия поставки существенно больше партии потребления, т.е. $n_{\text{пост}} \gg n_{\text{потр}} \Rightarrow 1$. Тангенс угла наклона (α) этой прямой к оси времени численно равен интенсивности потребления ресурса, т.е. $\text{tg } \alpha = I$.

На идеальной модели аналитически решается лишь один вопрос из двух, поставленных ранее, а именно: определяется величина *оптимальной партии поставки* ресурса. При этом исходят из минимизации суммарных затрат (Z) на хранение ресурса и на пополнение его запаса (рис. 6).

Пусть h – затраты на хранение единицы запаса в течение года; D – годовой объем потребления ресурса; S – затраты, обусловленные поставкой очередной партии. Тогда $n_{\text{пост}}/2$ – средний объем хранения, $n_{\text{пост}}h/2$ – средние затраты на хранение запаса за год; $D/n_{\text{пост}}$ – количество партий, получаемых за год; $DS/n_{\text{пост}}$ – затраты на поставку ресурса за год. К последним относятся затраты на ведение переговоров с поставщиком, оформление документации, частично – транспортные расходы и т.п. В качестве планового периода может быть выбран не только год, а любой удобный для управления интервал времени.

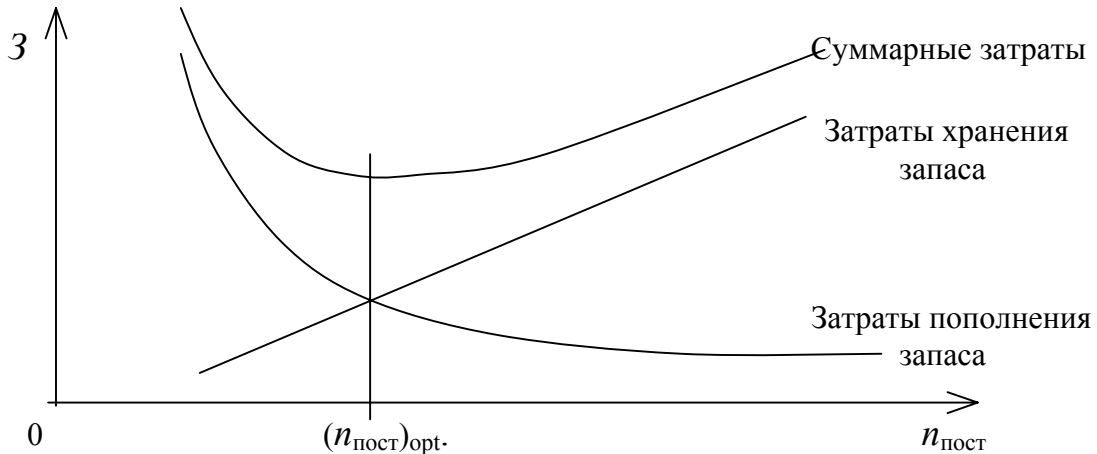


Рис. 6. Зависимость затрат от размера партии поставки

Взяв производную функции суммарных затрат

$$Z = (n_{\text{пост}} h)/2 + (DS)/n_{\text{пост}}$$

и приравняв ее нулю, получим размер оптимальной партии:

$$(n_{\text{пост}})_{\text{опт}} = \sqrt{(2DS)/h} .$$

Как видим, стоимость ресурса не входит в эту модель, так как какими бы партиями ни пополнялся запас, стоимость потребленного за год ресурса останется постоянной и составит cD , где c – цена его единицы. Если включить это слагаемое в запись суммарных затрат, то производная по $n_{\text{пост}}$ от постоянной

величины окажется равной нулю, и мы получим ту же формулу для расчета $(n_{\text{пост}})_{\text{opt}}$.

Данная модель дает *устойчивое решение*, так как допустимы значительные отклонения размера партии от найденного оптимума без существенного роста суммарных затрат, что хорошо видно на рис. 6. Это свойство используется для корректировки $(n_{\text{пост}})_{\text{opt}}$ в целях учета факторов, не вошедших в модель.

Рассмотренная модель в зарубежной литературе получила название *Deterministic Economic Order Quantity (EOQ)*.

Пример

При заключении договора с поставщиком мороженого в кафе менеджер по закупкам располагает следующей информацией. За предстоящие пять теплых месяцев года посетители кафе съедят примерно 3000 кг мороженого; развесное мороженое поставляется в упаковках по 20 кг; в холодильную камеру, где оно хранится, вмещается 40 упаковок, затраты на хранение одной упаковки в течение всех пяти месяцев составляют 36 руб.; срок реализации мороженого не должен превышать 35 дней, кафе работает практически ежедневно, что за пять месяцев составит приблизительно 150 дней.

В ходе проведения переговоров с менеджером по продажам хладокомбината выяснилось, что поставка мороженого осуществляется микроавтобусом с грузоподъемностью 1,2 т; заказ принимается на разовую доставку не менее 50 % от этой величины; доставка осуществляется в течение часа после получения заказа. Затраты на доставку (аренда микроавтобуса), ведение переговоров и оформление договора составили 210 руб. Требуется определить допустимый размер партии поставки для включения его в договор и величину дополнительных суммарных затрат, обусловленных отклонением реального размера партии от оптимального.

Решение

Оптимальный размер партии рассчитывается по формуле

$$(n_{\text{пост}})_{\text{opt}} = \sqrt{2DS/h} = \sqrt{(2 \times 3000 \times 210) / (20 \times 36)} = \sqrt{1750} = 41,8 \text{ уп.} \approx 42 \text{ уп.}$$

Далее полученное значение требуется скорректировать. Партия должна:

- 1) поместиться в холодильнике кафе, но так как $42 \text{ уп.} > 40 \text{ уп.}$, партию следует уменьшить до 40 упаковок;
- 2) быть не меньше минимально допустимой партии поставки, равной $(120 \times 0,5) / 20 = 30 \text{ уп.}$, что выполняется;
- 3) обеспечить допустимый срок реализации мороженого, равный здесь ритму поставки

$$R_{\text{пост}} = n_{\text{пост}} / I = (20 \times 40) / (3000 / 150) = 40 \text{ дн.},$$

но так как $40 \text{ дн.} > 35 \text{ дн.}$, размер партии следует уменьшить до величины, получаемой из решения уравнения

$$20 n_{\text{пост}} / (3000 / 150) = 35 \text{ дн.} \Rightarrow n_{\text{пост}} = 35 \text{ уп.}$$

Полученное значение удовлетворяет всем условиям, но отличается от оптимального. Рассчитаем суммарные затраты за период для двух полученных значений партии поставки:

при $n_{\text{пост}}=35$ уп.

Затраты на хранение = $(35 \times 36)/2 = 630$ руб.,

затраты на поставки = $(3000/20) \times 210/35 = 900$ руб.,

суммарные затраты = $630 + 900 = 1530$ руб.;

при $n_{\text{пост}} = (n_{\text{пост}})_{\text{opt}} = 41,8$ уп.

Затраты на хранение = $(41,8 \times 36)/2 = 752,4$ руб.,

затраты на поставки = $(3000/20) \times 210/41,8 = 753,6$ руб.,

суммарные затраты = $752,4 + 753,6 = 1506$ руб.

Таким образом, мы видим, что при относительном отклонении размера партии от оптимального на $((41,8 - 35)/41,8)100\% = 16,3\%$ суммарные затраты превысили минимальное значение только на $(1530 - 1506)/1506 = 1,6\%$.

1.2. Модификации идеальной модели

Далее, взяв за основу модель ЕОQ, снимем два ограничения на условия ее применения, что позволит вновь полученным моделям более адекватно отражать реальные ситуации. Во-первых, будем считать, что исполнение заказа на поставку очередной партии происходит не мгновенно, а за конечное время $T_{\text{пост}} > 0$. Это время требуется для оформления документации, на изготовление или закупку партии, ее доставку на склад, входной контроль и т.п. Будем считать, что оно практически не зависит от размера партии поставки.

Простейшей моделью, соответствующей этому условию, является так называемая модель производственного запаса, которая отличается от ЕОQ тем, что пополнение запаса происходит не скачком, а постепенно, по мере изготовления партии поставки.

Пусть $T_{\text{пост}}$ – срок изготовления и поставки очередной партии, P – интенсивность изготовления (пополнения запаса), $P = n_{\text{пост}}/T_{\text{пост}}$. Графический вид этой модели показан на рис. 7. Пунктирная прямая показывает, как нарастал бы запас, если бы одновременно с пополнением он не потреблялся. Тангенс угла наклона (β) этой прямой к оси времени численно равен интенсивности производства ресурса и пополнения запаса, т.е. $\text{tg } \beta = P$.

На основе уточнения модели ЕОQ можно получить формулу для расчета оптимальной партии поставки:

$$(n_{\text{пост}})_{\text{opt}} = \sqrt{2DS / (h(1 - \frac{I}{P}))}.$$

Такая модель называется моделью производственного запаса, так как она обычно встречается в условиях производства, где запас изделий создается между двумя смежными рабочими местами, участками и т.д. Причем затраты S , обусловленные поставкой очередной партии, здесь трактуются как затраты на

переналадку производящего подразделения, а интенсивность P – как его производительность.

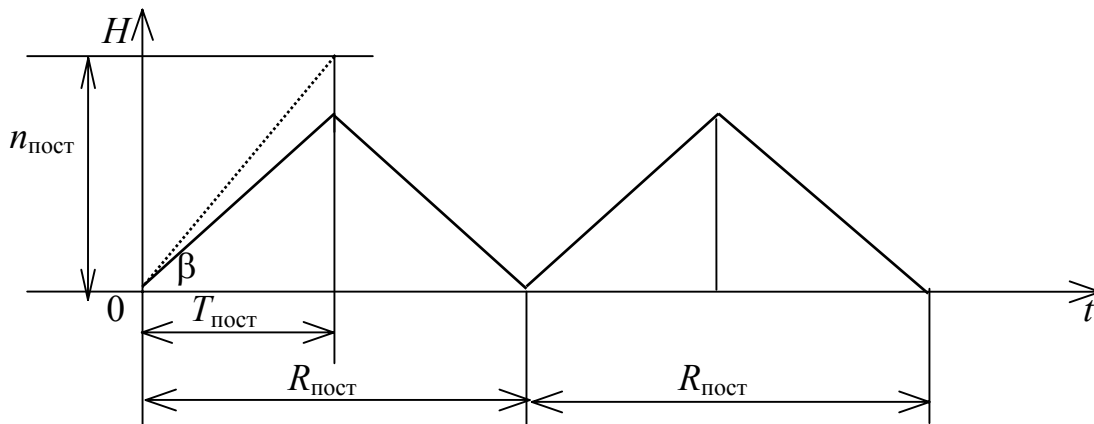


Рис. 7. Модель производственного запаса

На практике часто используется еще один тип моделей, получаемый расширением модели ЕОQ. Это модель с дисконтированием по размеру партии поставки. Суть ее – в учете скидки (дисконта) с цены закупаемого ресурса при увеличении объема партии. В качестве исходной информации здесь дополнительно должна быть использована *таблица дисконтирования*, а в модель введен еще один параметр – цена ресурса. Алгоритм решения задачи отчетливо просматривается на графике рис. 8. Оптимальный размер партии поставки ресурса находится отдельно для каждого интервала, где цена неизменна. Затем методом прямого перебора отыскивается лучший вариант, минимизирующий суммарные затраты на поставку, хранение и покупку ресурса с учетом действующей на интервале скидки.

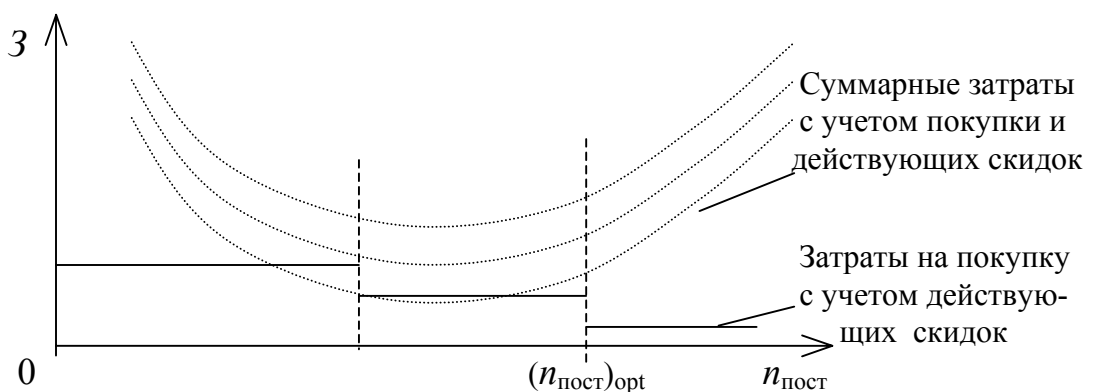


Рис. 8. График, иллюстрирующий нахождение оптимальной партии с учетом затрат на покупку ресурса и скидок

Заметим, что для всех трех типов моделей, рассмотренных выше, нахождение оптимальной партии поставки автоматически ведет к установлению оптимального ритма поставки из соотношения $R_{\text{пост}} = n_{\text{пост}} / I$.

Пример

Предприятие-поставщик установило следующие цены на свою продукцию – листовую пластмассу – с учетом системы оптовых скидок:

- до 1000 листов 180,0 руб./лист,
- от 1000 до 5000 листов 175,0 руб./лист,
- 5000 листов и более 172,5 руб./лист.

Затраты на заказ у предприятия-потребителя пластмассы составляют 450 руб., текущие затраты на ее хранение – 36 руб./год за лист, годовая потребность – 10000 листов. Требуется определить размер оптимальной партии закупки пластмассы с учетом скидок.

Решение

Начнем с классического расчета оптимальной партии:

$$(n_{\text{пост}})_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{2 \times 10000 \times 450}{36}} = 500 \text{ листов.}$$

Как видим, оптимальная партия попадает в первый ценовой интервал. Это значит, что меньшие суммарные затраты могут быть только на границах – в начале второго или третьего ценовых интервалов. Проверим эти точки, для чего рассчитаем в них суммарные затраты на заказ, приобретение и хранение пластмассы.

Суммарные затраты составят:

1) при закупке материала оптимальными партиями по 500 листов

$$З = \frac{500 \times 36}{2} + \frac{10000 \times 450}{500} + 10000 \times 180 = 1818000 \text{ руб.};$$

2) при закупке по 1000 листов (нижняя граница второго интервала)

$$З = \frac{1000 \times 36}{2} + \frac{10000 \times 450}{1000} + 10000 \times 175 = 1772500 \text{ руб.};$$

3) при закупке по 5000 листов (нижняя граница третьего интервала)

$$З = \frac{5000 \times 36}{2} + \frac{10000 \times 450}{5000} + 10000 \times 172,5 = 1815900 \text{ руб.}$$

Таким образом, при закупках пластмассы оптимальными партиями, расчет величины которой был выполнен обычным путем, затраты окажутся выше, чем при закупках партиями большего размера, ввиду того, что скидки оказывают существенное влияние на общую сумму затрат. Расчет показывает, что из двух граничных точек следует выбрать минимальный размер партии на втором интервале, т. е. $n_{\text{пост}} = 1000$ листов.

1.3. Классификация реальных моделей

Снимем второе ограничение с идеальной модели, а именно, учтем, что интенсивность потребления ресурса со склада может заметно колебаться около своего среднего уровня, который в модели ЕОQ жестко фиксировался. Действительно, если в одном из циклов потребления интенсивность окажется суще-

ственно больше средней, а в другом – существенно меньше, это может создать экстремальные управленческие ситуации, требующие разработки специальных методов разрешения. Собственно, это и является одной из основных задач управления запасами в реальных условиях.

Классификация основных типов реальных моделей управления запасами показана на рис. 9. Соотношение $R_{\text{пост}} = n_{\text{пост}}/I$ показывает, что управлять запасом при переменной интенсивности потребления можно либо опираясь на найденное значение $(n_{\text{пост}})_{\text{opt}}$ или – на удобный ритм поставок, либо не задавая заранее ни один из этих двух параметров. Это и отражено при классификации моделей по второму признаку.



Рис. 9. Классификация реальных моделей управления запасами

Переход к реальным моделям связан с необходимостью зафиксировать еще один принцип управления запасами: дефицит (отсутствие) ресурса на складе при оговоренных исходных параметрах должен быть исключен полностью (в детерминированных моделях) или исключен с заданной вероятностью (в стохастических моделях).

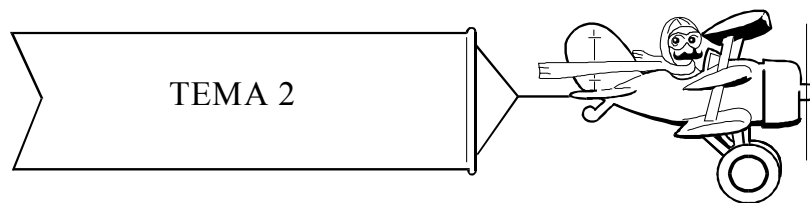
Задачи

1. Предприятию для его производственной деятельности ежеквартально требуется закупать 1000 редукторов. Их цена – 1500 руб. Размещение заказа на редукторы обходится предприятию в 1200 рублей, а текущая стоимость хранения в течение квартала составляет 25 % от цены редуктора. Если их заказывать по 200 штук и более, то можно получить 3 % скидку. Какую политику заказов следует выбрать предприятию? С какими затратами это связано?

2. Месячная программа изготовления деталей типа "звездочка" механообрабатывающим цехом составляет 2812 шт. Детали производятся на одной из однопредметных поточных линий, установленных в цехе. В месяце 19 рабочих дней, цех работает в две смены, продолжительность смены – 8 часов. Исходными заготовками все линии обеспечивает заготовительный участок цеха. Производительность участка – 60 заготовок в час. По системе транспортеров сделанные заготовки сразу же передаются на заказавшую их поточную линию, где попадают либо в дальнейшую обработку, либо на склад.

Заготовки для деталей "звездочка" заказывает старший мастер линии, где они производятся. Требуется определить размер и периодичность заказов, если известны затраты, обусловленные наладкой оборудования заготовительного участка – 135 руб. и затраты хранения в течение месяца каждой заготовки на складе поточной линии – 1,82 руб. Требуется также рассчитать величину максимального оборотного запаса заготовок на складе линии.

Ответ: заказ – 703 шт. четыре раза в месяц; $N_{об}^{max} = 595$ шт.



ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ

2.1. Модель управления с фиксированной партией поставки

Пусть интенсивность потребления ресурса со склада изменяется, с равной вероятностью принимая любое значение в интервале (I_{min}, I_{max}) ; время исполнения заказа $T_{пост}$ и размер партии поставки $n_{пост}$ зафиксированы, например, договором с поставщиком ресурса. *Управляющим параметром* в этой модели является *остаточный уровень запаса на складе*.

Уровень запаса, при котором должен быть сделан заказ очередной партии, называется *точкой заказа* $H_{тз}$. Точка заказа рассчитывается из предположения, что склад должен обеспечивать бездефицитное снабжение потребителей в течение всего срока от заказа до поставки очередной партии. Это возможно, лишь в том случае, если предположить худший вариант, т.е. максимальную интенсивность потребления ресурса на весь этот период. Тогда

$$H_{тз} = T_{пост} I_{max} .$$

Уровень запаса, который остается на складе к моменту поставки очередной партии при средней интенсивности потребления ресурса, но расходуется при интенсивности выше средней, называется *резервным запасом*. Его значение $H_{рез}$ рассчитывается так:

$$H_{рез} = H_{ТЗ} - T_{пост} I_{ср} = T_{пост} (I_{max} - I_{min})/2,$$

где $I_{ср} = (I_{max} + I_{min})/2$.

Циклы потребления (поставки) при этом способе управления имеют разную продолжительность вследствие меняющейся интенсивности потребления.

Еще одним важным параметром управления является *максимальная величина запаса*, определяющая необходимую для хранения емкость склада. Она рассчитывается по формуле

$$H_{скл} = H_{ТЗ} - T_{пост} I_{min} + n_{пост} = T_{пост} (I_{max} - I_{min}) + n_{пост}.$$

Следует отметить важную особенность этого способа управления. Не имеет значения, по какой траектории снижается запас до уровня $H_{ТЗ}$. Важен лишь характер расходования ресурса в течение срока поставки: максимальная интенсивность в течение всего срока $T_{пост}$ определяет $H_{ТЗ}$ и $H_{рез}$, минимальная – значение $H_{скл}$. Отсюда следует, что при этом способе управления надежную работу склада обеспечивает резервирование именно на интервале $T_{пост}$.

Снижение уровня запаса ресурса на складе в общем случае представлено графиком кусочно-линейной функции, так как для каждого элементарного временного участка (день, неделя и т.д.) характерны свое значение интенсивности потребления (при соблюдении ограничения $I_{max} \geq I \geq I_{min}$) и свой угол наклона отрезка прямой, отражающего потребление ресурса на этом участке.

На рис. 10. представлена графическая модель, иллюстрирующая аналитические выкладки при нахождении значений $H_{ТЗ}$, $H_{рез}$, $H_{скл}$. В ней на интервалах $T_{пост}$ показаны три характерных варианта потребления ресурса, формирующие значения параметров управления, а на остальных участках – общий случай – снижение уровня запаса в виде ломаной линии.

Из анализа графической модели видно, что партия поставки не должна быть меньше точки заказа, т.е.

$$n_{пост} \geq H_{ТЗ} = T_{пост} I_{max}.$$

Кроме того, если размеры склада, отводимого под хранение данного ресурса, лимитированы, то на величину партии накладывается еще одно ограничение:

$$n_{пост} \leq H_{скл} - T_{пост} (I_{max} - I_{min}).$$

При необходимости размер партии поставки должен быть скорректирован. Если это невозможно, то корректируется срок поставки.

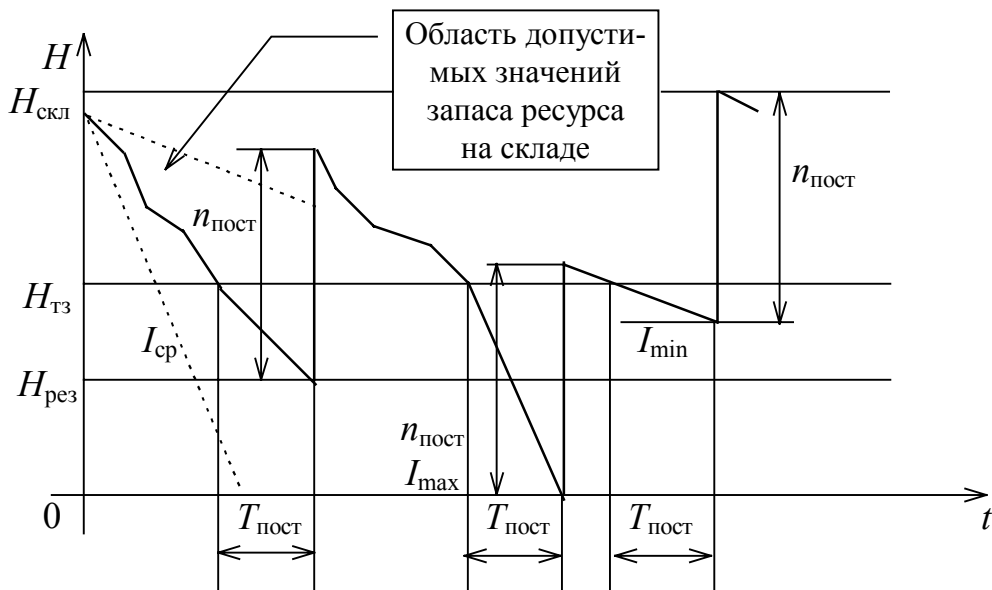


Рис. 10. Модель управления запасом при фиксированной партии поставки ресурса на склад

Расчет оптимальной партии выполняется так же, как и в модели EOQ; появление в рассматриваемой модели резервного запаса не влияет на методику расчета. Объясняется это тем, что резерв создается один раз, и далее его уровень автоматически поддерживается действующей моделью управления, не будучи связанным с размером партии поставки.

Пересчет параметров управления запасом: $H_{тз}$, $H_{рез}$, $H_{скл}$ — выполняется только при устойчивом изменении параметров потребления ресурса со склада, т. е. значений I_{max} и I_{min} , или при заключении договора с поставщиком на новых условиях, — при изменении $n_{пост}$ и $T_{пост}$. В этом случае изменение величины резервного запаса происходит за счет соответствующего увеличения или уменьшения первой партии поставки и также имеет разовый характер.

Пример

Предприятие имеет емкость для хранения запаса технологического топлива вместимостью 70 т. Ежедневное потребление топлива колеблется от 1,1 до 3,2 т. Пополнение запаса происходит железнодорожными цистернами по 60 т. Поставка топлива идет с нефтебазы, и по её требованию срок поставки должен быть максимальным из всех сроков, приемлемых для предприятия.

Требуется определить срок поставки, выраженный в днях, который должен быть записан в договоре, точку заказа и резервный уровень топлива.

Решение

При ограниченной емкости склада срок поставки не должен превышать величины, равной $(H_{скл} - n_{пост}) / (I_{max} - I_{min})$, а с учетом того, что он должен принимать максимальное целое значение, можно записать:

$$T_{пост} = [(70 - 60) / (3,2 - 1,1)] = [4,76] = 4 \text{ дн.}$$

При попытке округления результата в большую сторону – до пяти дней получим необходимую емкость $H_{\text{скл}} = 5(3,2 - 1,1) + 60 = 70,5 \text{ т}$, что больше емкости, которой располагает завод.

Округление же в меньшую сторону дает приемлемый результат:

$H_{\text{скл}} = 4(3,2 - 1,1) + 60 = 68,4 \text{ т}$, хотя склад при этом будет постоянно недогружен.

$$H_{\text{тз}} = 4 \times 3,2 = 12,8 \text{ т}; \quad H_{\text{рез}} = 4(3,2 - 1,1)/2 = 4,2 \text{ т}.$$

Ответ

$$T_{\text{пост}} = 4 \text{ дн.}, \quad H_{\text{тз}} = 12,8 \text{ т}, \quad H_{\text{рез}} = 4,2 \text{ т}.$$

2.2. Модель управления с фиксированным ритмом поставки

Пусть, как и в предыдущей модели, заданы: I_{min} , I_{max} , $T_{\text{пост}}$, а вместо партии поставки по условию договора с поставщиком зафиксирован ритм поставки $R_{\text{пост}}$. В такой модели управляющим параметром является время, т.е. заказ и получение очередных партий происходят через строго определенные промежутки времени. В момент заказа фиксируются текущий остаток ресурса на складе $H_{\text{тек}}$ и средняя интенсивность потребления за цикл $I_{\text{тек}}$ и на их основе рассчитывается величина текущей партии поставки $n_{\text{тек}}$, обеспечивающая заполнение склада емкостью $H_{\text{скл}}$:

$$n_{\text{тек}} = H_{\text{скл}} - H_{\text{тек}} + T_{\text{пост}} I_{\text{тек}}.$$

Таким образом, размер партии поставки в этой модели – величина переменная, причем

$$(n_{\text{тек}})_{\text{max}} = H_{\text{скл}}, \quad (n_{\text{тек}})_{\text{min}} = R_{\text{пост}} I_{\text{min}}.$$

Величину резервного запаса рассчитаем, ориентируясь на соотношение

$$H_{\text{скл}} = R_{\text{пост}} I_{\text{max}},$$

которое означает, что емкости склада должно хватить на случай потребления ресурса с максимальной интенсивностью в течение всего цикла. Тогда

$$H_{\text{рез}} = H_{\text{скл}} - R_{\text{пост}} I_{\text{ср}} = R_{\text{пост}} (I_{\text{max}} - I_{\text{ср}}).$$

Следует обратить внимание на то, что в предыдущей модели потребление ресурса резервируется только на сроке поставки $T_{\text{пост}}$, а в рассматриваемой модели – на всем цикле $R_{\text{пост}}$. Другими словами, резервный запас здесь увеличивается.

Графическая модель этого способа управления приведена на рис. 11. На ней показаны только нормальный ($I_{\text{ср}}$), ускоренный (I_{max}) и замедленный (I_{min}) циклы потребления, так как именно в них формируются параметры управления, хотя в общем случае графиком снижения уровня запаса является, как и в предыдущей модели, ломаная линия.

Рассматриваемая модель пригодна для использования, однако, имеет один существенный недостаток. Дело в том, что в момент заказа в ней происходит прогнозирование интенсивности потребления ресурса на срок поставки. Если прогноз ошибочен, то поступившая партия либо не заполнит склад целиком, и

тогда в следующем цикле может возникнуть дефицит ресурса, либо переполнит его, что также недопустимо.

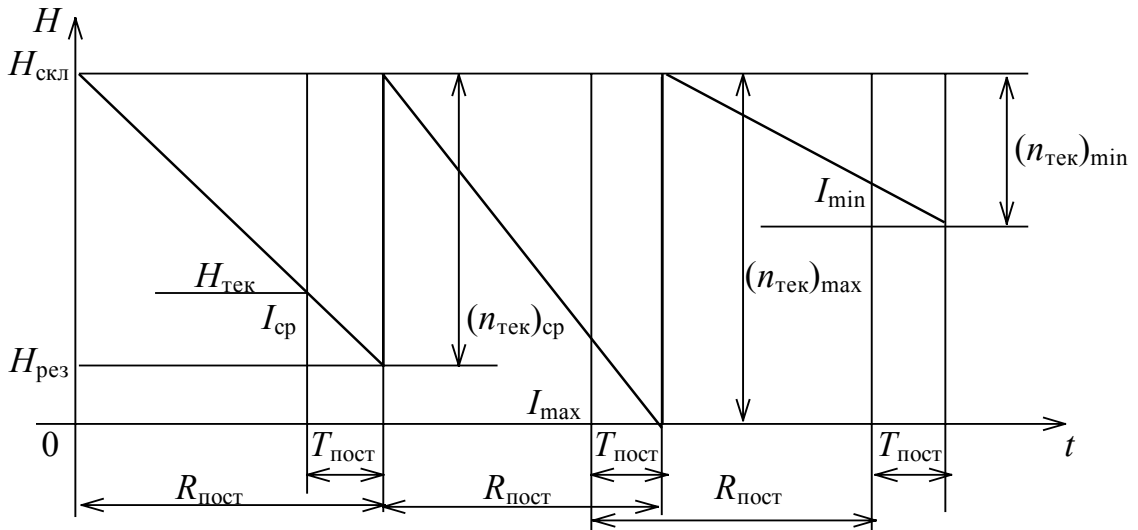


Рис. 11. Упрощенная модель управления запасом при фиксированном ритме поставки ресурса на склад

Для устранения этого недостатка усовершенствуем предложенную модель. В целях исключения переполнения склада будем всегда ориентироваться на худший в этом смысле вариант – минимальное потребление ресурса в течение всего срока поставки. Тогда текущая партия составит:

$$n_{\text{тек}} = H_{\text{скл}} - H_{\text{тек}} + T_{\text{пост}} I_{\text{min}}.$$

Во избежание дефицита будем резервировать емкость склада как на весь следующий цикл потребления, так и на ближайший срок поставки. Для этого рассчитаем $H^*_{\text{скл}}$ – условный максимальный запас, т.е. тот уровень, которого достиг бы запас, если бы заказанная партия поступила на склад мгновенно (рис. 12):

$$H^*_{\text{скл}} = (R_{\text{пост}} + T_{\text{пост}}) I_{\text{max}}.$$

Емкость склада может быть меньше $H^*_{\text{скл}}$ на величину минимально возможного потребления ресурса за время $T_{\text{пост}}$:

$$\begin{aligned} H_{\text{скл}} &= H^*_{\text{скл}} - T_{\text{пост}} I_{\text{min}} = (R_{\text{пост}} + T_{\text{пост}}) I_{\text{max}} - T_{\text{пост}} I_{\text{min}} = \\ &= R_{\text{пост}} I_{\text{max}} + T_{\text{пост}} (I_{\text{max}} - I_{\text{min}}). \end{aligned}$$

В этом случае размер текущей партии поставки пересчитывается по формуле

$$\begin{aligned} n_{\text{тек}} &= R_{\text{пост}} I_{\text{max}} + T_{\text{пост}} (I_{\text{max}} - I_{\text{min}}) - H_{\text{тек}} + T_{\text{пост}} I_{\text{min}} = \\ &= (R_{\text{пост}} + T_{\text{пост}}) I_{\text{max}} - H_{\text{тек}} = H^*_{\text{скл}} - H_{\text{тек}}, \end{aligned}$$

причем $(n_{\text{тек}})_{\text{max}} = R_{\text{пост}} I_{\text{max}}$, $(n_{\text{тек}})_{\text{min}} = R_{\text{пост}} I_{\text{min}}$.

Резервный запас

$$\begin{aligned} H_{\text{рез}} &= H^*_{\text{скл}} - (R_{\text{пост}} + T_{\text{пост}}) I_{\text{ср}} = (R_{\text{пост}} + T_{\text{пост}}) (I_{\text{max}} - I_{\text{ср}}) = \\ &= R_{\text{пост}} (I_{\text{max}} - I_{\text{ср}}) + T_{\text{пост}} (I_{\text{max}} - I_{\text{ср}}). \end{aligned}$$

Как видим, в отличие от упрощенной модели, где в течение срока поставки склад не был застрахован от неприятностей, в доработанной модели срок поставки участвует в расчетах и емкости склада, и резервного запаса. Соответственно величина резервного запаса еще больше возрастает.

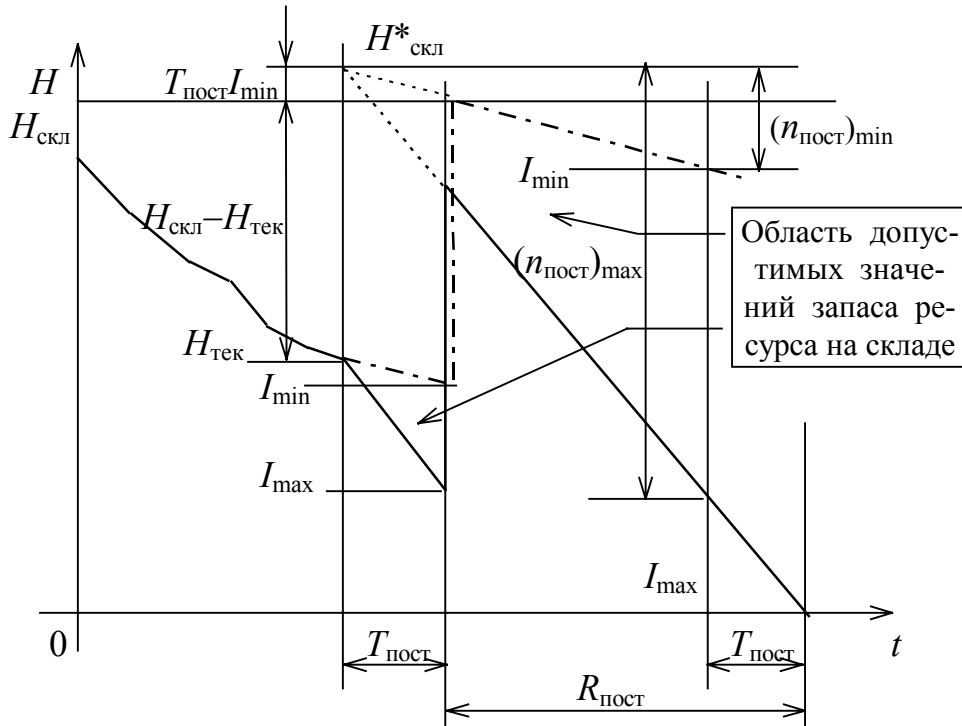


Рис. 12. Схема формирования параметров управления запасом в модифицированной модели с фиксированным ритмом поставки; пунктиром показан цикл замедленного потребления ресурса

При заключении договора с поставщиком на условиях фиксированного ритма поставки менеджер должен контролировать, достаточна ли емкость склада при выборе удобных ритма и срока поставки, а при ограниченной емкости требовать их корректировки.

В договор по инициативе поставщика могут быть включены также ограничения на минимальный $(n_{\text{тек}})_{\text{min}}$ и максимальный $(n_{\text{тек}})_{\text{max}}$ объемы текущей партии поставки, что также может повлиять на выбор величины $R_{\text{пост}}$:

$$R_{\text{пост}} \leq (n_{\text{тек}})_{\text{max}} / I_{\text{max}}, \quad R_{\text{пост}} \geq (n_{\text{тек}})_{\text{min}} / I_{\text{min}}.$$

Если в качестве ритма поставки выбран месяц, что бывает достаточно часто, возникают дополнительные трудности с расчетом параметров управления при меняющемся количестве рабочих дней в нем. Рассмотрим такую ситуацию на примере.

Пример

Предприятие потребляет дисковые фрезы определенного диаметра от 24 до 35 шт. ежедневно, причем внутри интервала потребление распределено равномерно. В соответствии с договором с инструментальным заводом поставка фрез на склад предприятия происходит двадцатого числа каждого ме-

сяца (или в ближайший рабочий день после этой даты), а заказ их должен быть сделан за пять рабочих дней до поставки.

Требуется определить емкость склада, отводимого для хранения этих фрез, резервный запас, максимальную и минимальную партии поставок, если в месяце в среднем 20 рабочих дней. Как изменится решение, если реальный месяц может иметь продолжительность от 18 до 21 рабочего дня?

В июне 20 рабочих дней. В момент заказа был зафиксирован остаток фрез на складе – 185 шт. и средняя интенсивность их потребления – 31 шт. за рабочий день. Рассчитать размер текущей партии поставки в этом месяце.

Решение

Сначала рассмотрим решение задачи в соответствии с упрощенной моделью. Емкость склада по условию не ограничена, поэтому для среднего месяца она рассчитывается так:

$H_{\text{скл}} = 20 \times 35 = 700$ шт. или соответствующее число мест хранения; резервный запас и пределы изменения партии поставки составят:

$$H_{\text{рез}} = 20((35-24)/2) = 110 \text{ шт.};$$

$$(n_{\text{тек}})_{\text{max}} = 20 \times 35 = 700 \text{ шт.};$$

$$(n_{\text{тек}})_{\text{min}} = 20 \times 24 = 480 \text{ шт.}$$

В июне заказ составит:

$$n_{\text{тек}} = 700 - 185 + 5 \times 31 = 670 \text{ шт.}$$

При изменении ритма поставки от 18 до 21 рабочего дня максимальный ритм увеличит $H_{\text{скл}}$ и $(n_{\text{тек}})_{\text{max}}$ относительно определенных ранее для среднего ритма значений, а минимальный – уменьшит значение $(n_{\text{тек}})_{\text{min}}$. Определим новые значения:

$$H_{\text{скл}} = (n_{\text{тек}})_{\text{max}} = (R_{\text{пост}})_{\text{max}} I_{\text{max}} = 21 \times 35 = 735 \text{ шт.};$$

$$(n_{\text{тек}})_{\text{min}} = (R_{\text{пост}})_{\text{min}} I_{\text{min}} = 18 \times 24 = 432 \text{ шт.}$$

Особенности модели управления для этого случая схематично показаны на рис. 13.

Модифицированная модель дает следующие результаты. Емкость склада для среднего месяца возрастет:

$$H_{\text{скл}}^* = (20 + 5)35 = 875 \text{ шт.}, \quad H_{\text{скл}} = 875 - 5 \times 24 = 755 \text{ шт.};$$

резервный запас – тоже:

$$H_{\text{рез}} = (20 + 5)((35 - 24)/2) = 137,5 \text{ шт.};$$

пределы изменения величины партии останутся прежними $480 \leq n_{\text{тек}} \leq 700$ шт.

В июне заказ составит:

$$n_{\text{тек}} = 875 - 185 = 690 \text{ шт.},$$

причем минимальный остаток ресурса на складе равен $35 \times 5 = 175$ шт.; для него

$$n_{\text{тек}} = (n_{\text{тек}})_{\text{max}} = 875 - 175 = 700 \text{ шт.}$$

Механизм формирования параметров управления при изменении ритма поставки аналогичен упрощенной модели. Определим новое значение емкости склада:

$$H_{\text{скл}} = (R_{\text{пост}})_{\text{max}} I_{\text{max}} + T_{\text{пост}} (I_{\text{max}} - I_{\text{min}}) = 21 \times 35 + 5(35 - 24) = 790 \text{ шт.};$$

тогда в июне заказ составит:

$$n_{\text{тек}} = (21+5)35 - 185 = 725 \text{ шт.}$$

Пределы изменения величины партии поставки останутся прежними $432 \leq n_{\text{тек}} \leq 735 \text{ шт.}$

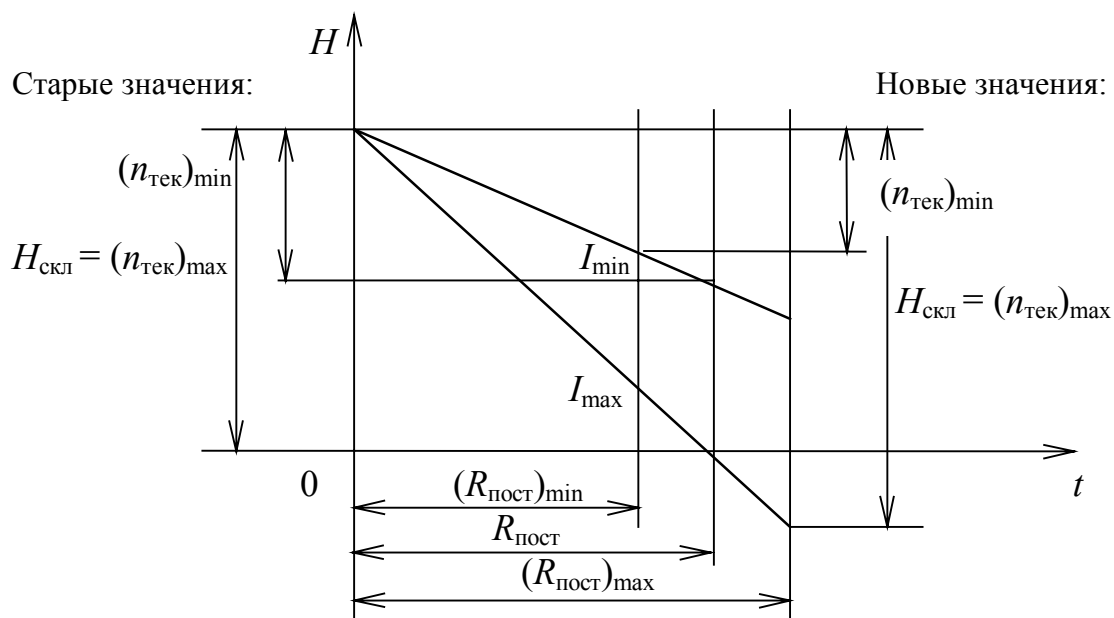


Рис. 13. Схема пересчета параметров управления запасом при колебаниях ритма поставки

Ответ

При использовании упрощенной модели $H_{\text{скл}} = 700 \text{ шт.}$, $H_{\text{рез}} = 110 \text{ шт.}$, $480 \leq n_{\text{тек}} \leq 700 \text{ шт.}$; в июне $n_{\text{тек}} = 670 \text{ шт.}$; с учетом колебаний ритма $H_{\text{скл}} = 735 \text{ шт.}$, $432 \leq n_{\text{тек}} \leq 735 \text{ шт.}$

При использовании модифицированной модели $H_{\text{скл}} = 755 \text{ шт.}$, $H_{\text{рез}} = 138 \text{ шт.}$, $480 \leq n_{\text{тек}} \leq 700 \text{ шт.}$; в июне $n_{\text{тек}} = 690 \text{ шт.}$; с учетом колебаний ритма $H_{\text{скл}} = 790 \text{ шт.}$, $432 \leq n_{\text{тек}} \leq 735 \text{ шт.}$

2.3. Комбинированный способ управления запасом

Пусть, как и в предыдущих моделях, заданы I_{\min} , I_{\max} , $T_{\text{пост}}$, а партия и ритм поставки не зафиксированы. Тогда управление осуществляется комбинированным способом. При этом:

как в первой модели, управляющим параметром является уровень (остаток) запаса на складе, а для управления используются резервный запас и точка заказа;

как во второй модели, в момент заказа рассчитывается величина текущей партии поставки, обеспечивающая заполнение склада емкостью $H_{\text{скл}}$.

Значения $H_{\text{тз}}$ и $H_{\text{рез}}$ рассчитываются по известным формулам, а расчет $n_{\text{тек}}$ отличается от предложенного в предыдущей модели и выполняется по формуле

$$n_{\text{тек}} = H_{\text{скл}} - H_{\text{тз}} + T_{\text{пост}} I_{\text{тек}} = H_{\text{скл}} - T_{\text{пост}}(I_{\max} - I_{\text{тек}}).$$

Емкость склада здесь фиксируется на необходимом или имеющемся уровне. При этом под контролем менеджера при заключении договора должно находиться выполнение условия

$$H_{\text{скл}} \geq H_{\text{тз}} \text{ или } T_{\text{пост}} \leq H_{\text{скл}} / I_{\text{max}} .$$

В договоре с поставщиком могут быть указаны также ограничения на максимальный и минимальный размеры текущей партии. Если $(n_{\text{тек}})_{\text{max}} \geq H_{\text{скл}}$, то никаких изменений в управление это не вносит; если $(n_{\text{тек}})_{\text{max}} < H_{\text{скл}}$, то емкость склада иногда будет использоваться нерационально. При этом должно выполняться условие

$$(n_{\text{тек}})_{\text{max}} \geq H_{\text{тз}} \text{ или } T_{\text{пост}} \leq (n_{\text{тек}})_{\text{max}} / I_{\text{max}} ,$$

$$T_{\text{пост}} \leq (H_{\text{скл}} - (n_{\text{тек}})_{\text{min}}) / (I_{\text{max}} - I_{\text{min}}) .$$

Графическая модель этого способа управления представлена на рис. 14.

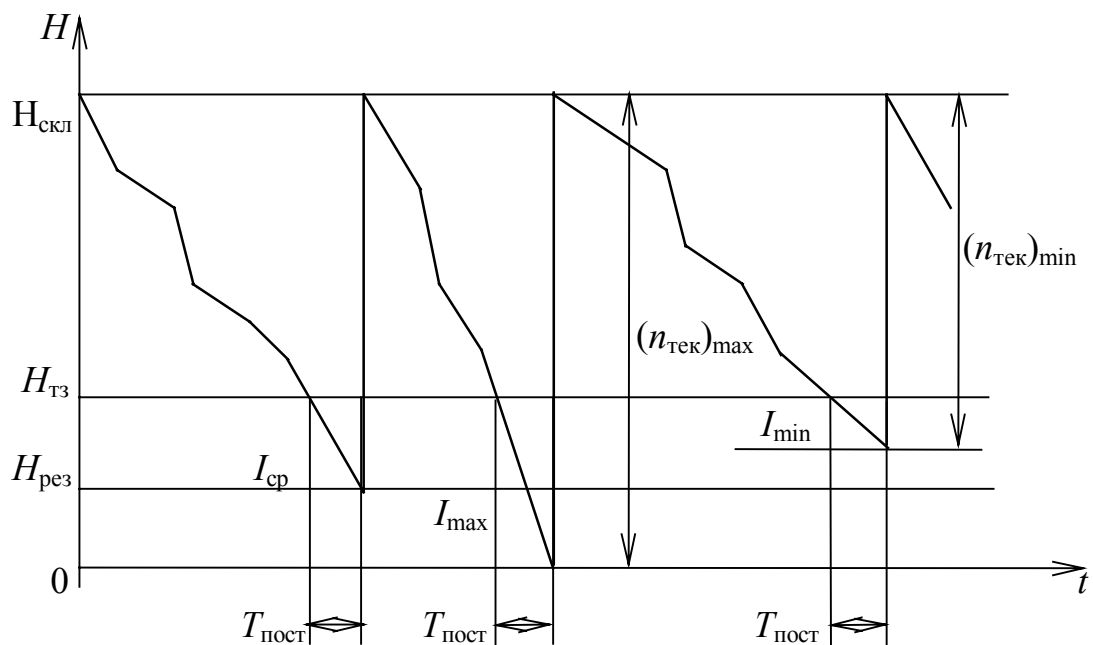


Рис. 14. Модель управления запасом. Комбинированный способ

Комбинированный способ управления запасом ввиду своей простоты, наглядности и минимального числа фиксируемых в договоре параметров наиболее распространен на практике. Однако здесь, так же как и во второй модели управления, прогнозируется потребление ресурса на срок поставки (путем введения в расчет $n_{\text{тек}}$ величины $I_{\text{тек}}$) и также могут возникнуть нежелательные следствия неправильного прогноза. Но модификация этой модели в отличие от предыдущей невозможна и попытки ее выполнить вряд ли целесообразны. Действительно, если фактическое потребление на интервале $T_{\text{пост}}$ отлично от прогнозируемого, то при поступлении очередной партии склад окажется либо незаполненным, либо произойдет его переполнение. Первая ситуация не опасна, если $n_{\text{тек}} \geq H_{\text{тз}}$. Вторая — нежелательна, однако в большинстве случаев не приводит к потерям. Модифицировать же модель по аналогии с предыдущей (разд.

2.2), заказывая партию каждый раз с расчетом на минимальное потребление ресурса для исключения переполнения им склада, означало бы вернуться к размеру партии, фиксированному на уровне:

$$n_{\text{тек}} = H_{\text{скл}} - H_{\text{тз}} + T_{\text{пост}} I_{\text{мин}},$$

т.е. к первой модели управления запасом.

Пример

Интенсивность потребления сырья со склада предприятия изменяется в интервале от 8 до 13 т в день. По условиям поставщика партия поставки сырья может отклоняться от технологически оптимальных для него 206 т лишь на $\pm 10\%$. Емкость склада предприятия не лимитирует поставки.

Требуется определить максимально возможный допустимый при заданных условиях срок поставки сырья, выраженный целым числом дней, необходимую емкость склада, точку заказа и величину текущей партии поставки, если интенсивность потребления сырья прогнозируется на ближайшие дни на уровне 11 т в день.

Решение

Определим границы изменения величины партии поставки:

$$(n_{\text{тек}})_{\text{мин}} = 206(1 - 0,1) \approx 185 \text{ т}, \quad (n_{\text{тек}})_{\text{макс}} = 206(1 + 0,1) \approx 227 \text{ т}.$$

Отсюда определяется предельная емкость склада:

$$H_{\text{скл}} = (n_{\text{тек}})_{\text{макс}} = 227 \text{ т}.$$

Срок поставки рассчитаем из ограничения на нижнюю границу партии поставки, учитывая, что это должно быть целое число:

$$T_{\text{пост}} = [(227 - 185) / (13 - 8)] = [8,4] = 8 \text{ дн.},$$

где $[]$ – целая часть числа; тогда

$$H_{\text{тз}} = 8 \times 13 = 104 \text{ т}.$$

Проверим параметры управления для срока поставки, подвергшегося округлению:

$$(n_{\text{тек}})_{\text{мин}} = 227 - 8(13 - 8) = 187 \text{ т},$$

что выше нижней границы – 185 т, т. е. допустимо.

Рассчитаем размер текущей партии:

$$n_{\text{тек}} = 227 - 8(13 - 11) = 211 \text{ т}.$$

Ответ

$$T_{\text{пост}} = 8 \text{ дн}, \quad H_{\text{скл}} = 227 \text{ т}, \quad H_{\text{тз}} = 104 \text{ т}, \quad n_{\text{тек}} = 211 \text{ т}.$$

Задачи

1. Ежедневный расход расточных резцов на предприятии находится в пределах от 60 до 80 шт., принимая на этом интервале с равной вероятностью любое значение. Инструментальный цех пополняет запас резцов ритмично.

Требуется найти ритм поставки резцов, максимальную и минимальную партии поставки, резервный запас, если известно, что на складе может хранить-

ся одновременно не более 680 шт. Рассчитать величину текущей партии поставки, если заказ делается за два дня до её получения, когда на складе по данным учета осталось 230 резцов, а интенсивность их потребления ожидается на уровне 69 шт. в день. Решение задачи иллюстрировать графической моделью.

2. Ежедневный расход электродов для электросварки со склада строительной фирмы находится в пределах от 180 до 320 шт., изменяясь по равномерному закону. Поставщик пополняет запас электродов партиями по 2600 шт. Срок поставки – 6 дней.

Требуется рассчитать точку заказа, резервный запас и максимальное число электродов, которое может одновременно находиться на складе. Решение задачи иллюстрировать построением графической модели.

3. По договору с поставщиком партия поставки сырья на предприятие должна находиться в пределах $180 \geq n_{\text{тек}} \geq 104$ т, а срок поставки составляет четыре дня.

Требуется определить интервал изменения интенсивности потребления сырья предприятием и емкость его склада, если известна точка заказа – 90 т. Рассчитать величину текущей партии поставки сырья, если средняя интенсивность на момент заказа на 20 % превышала минимальную. Решение задачи иллюстрируйте построением графической модели.

4. По договору с поставщиком партия поставки сырья на предприятие должна находиться в пределах $180 \geq n_{\text{тек}} \geq 104$ т, а срок поставки составляет четыре дня.

Требуется определить интервал изменения интенсивности потребления сырья предприятием и емкость его склада, если поставки сырья происходят с периодичностью 60 рабочих дней. Рассчитать величину текущей партии поставки сырья, если средняя интенсивность на момент заказа на 20 % превышала минимальную, а текущий остаток сырья на складе в этот момент составлял 78,3 т. Решение задачи иллюстрируйте построением графической модели.

5. За 4 дня до очередного срока поставки бензина А-92 автозаправочная станция сделала заявку на 31,2 т топлива. К этому моменту остаток бензина в её хранилищах составлял 8,4 т, а интенсивность потребления – 0,82 т в сутки.

Требуется определить общую емкость хранилища бензина А-92 на этой АЗС и ритм поставок, зафиксированный в договоре с нефтебазой-поставщиком, если минимальная интенсивность потребления в два раза ниже максимальной.

6. Ежедневно магазин продает от 78 до 141 кг вареной колбасы. Емкость холодильников, где она хранится, – 960 кг, а минимальная партия поставки колбасы с завода – 600 кг в ассортименте.

Требуется определить максимально допустимый для магазина при этих условиях срок поставки колбасы с мясоперерабатывающего комбината, выраженный в целых днях. Оценить возможность дозагрузки холодильников другой продукцией. Рассчитать точку заказа, резервный запас колбасы. Учесть, что

срок реализации продукта не должен превышать 10 дней. Решение задачи иллюстрируйте построением графической модели.

7. Магазин торгует кондитерскими изделиями 343 дня в году. По статистике ежедневная реализация пряников колеблется в пределах от 24 до 45 кг, принимая с равной вероятностью любое значение в пределах этого интервала. Расходы, связанные с получением одной партии пряников с хлебозавода, составляют 490 руб. Ввиду ограниченности складских помещений магазина запас пряников не должен превышать 800 кг. Среднегодовые расходы на хранение одного килограмма кондитерских изделий на складе магазина – 20,7 руб.

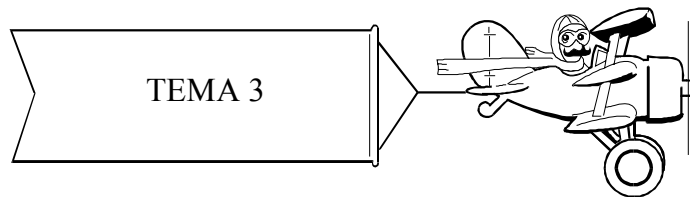
Требуется определить наилучшие параметры договора магазина с поставщиком пряников, а именно: размер партии и срок поставки, а также точку заказа пряников, считая, что качество упаковки гарантирует их свежесть достаточно длительное время. Рассчитать годовые затраты на заказ и хранение пряников.

8. Годовой объём потребления ресурса со склада – 180000 ед., среднегодовые затраты на хранение единицы ресурса – 2 руб., затраты на пополнение запаса – 200 руб. Интенсивность потребления ресурса со склада колеблется от 600 до 900 ед. в день.

Требуется определить емкость склада, точку заказа и размер оптимальной партии поставки ресурса на склад, если по условиям договора с поставщиком срок её поставки может с равной вероятностью принимать любое значение от двух до шести дней. Особенности решения задачи иллюстрируйте графически.

Ответы

1. $R_{\text{пост}} = 8,5$ дн., $H_{\text{рез}} = 85$ шт., $n_{\text{тек}} = 588$ шт., $680 \geq n_{\text{тек}} \geq 510$ шт. Модифицированная модель: $R_{\text{пост}} = 8$ дн., $H_{\text{рез}} = 100$ шт., $n_{\text{тек}} = 570$ шт.
2. $H_{\text{тз}} = 1920$ шт., $H_{\text{рез}} = 420$ шт., $H_{\text{скл}} = 3440$ шт.,
3. $22,5 \geq I \geq 3,5$ т/дн., $H_{\text{скл}} = 180$ т, $n_{\text{тек}} = 106,8$ т.
4. $3,0 \geq I \geq 1,7$ т/дн., $H_{\text{скл}} = 180$ т, $n_{\text{тек}} = 110,0$ т. Модифицированная модель: интенсивность в тех же пределах, $H_{\text{скл}} = 185,1$ т, $n_{\text{тек}} = 113,7$ т.
5. $H_{\text{скл}} = 36,32$ т, $R_{\text{пост}} = 38$ дн., $0,95 \geq I \geq 0,47$ т/дн. Модифицированная модель: $H_{\text{скл}} = 37,72$ т, остальные параметры не изменятся.
6. $T_{\text{пост}} = [5,7] = 5$ дн., $H_{\text{тз}} = 705$ кг, но при этом срок реализации $12,3 \geq 10$ дн. Если принять 10 дн., то: $T_{\text{пост}} = [2,8] = 2$ дн., $H_{\text{тз}} = 282$ кг, дозагрузка склада – 180 кг.
7. $(n_{\text{пост}})_{\text{opt}} = 749$ кг, $T_{\text{пост}} = 2,4$ дн., $H_{\text{тз}} = 108$ кг, $H_{\text{рез}} = 25,2$ кг, затраты – 15494 руб./год.
8. $(n_{\text{пост}})_{\text{opt}} = 6000$ ед., $H_{\text{тз}} = 5400$ ед., $H_{\text{скл}} = 10200$ ед.



СТОХАСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ

3.1. Особенности стохастических моделей

Стохастические, или вероятностные модели позволяют наиболее точно описать ситуации, с которыми приходится сталкиваться на практике, а значит – найти более точные решения возникающих задач. Они базируются на рассмотренных ранее трех подходах к управлению запасами, но предполагают использование более сложного математического аппарата. Кроме того, меняется один из важнейших принципов, заложенных в основу формирования моделей: если в детерминированных моделях дефицит ресурса на складе был полностью исключен, то в стохастических – его возникновение допускается с некоторой вероятностью. Вводится новый параметр управления: P_0 – *вероятность бездефицитной работы*. Очевидно, что чем больше средств вложено в создание резервного запаса на складе, тем ближе его значение к единице, т. е. тем меньше вероятность возникновения дефицита – $(1-P_0)$, и наоборот.

Во всех трех типах стохастических моделей интенсивность потребления ресурса со склада рассматривается как величина случайная, распределенная по нормальному закону. Это основное отличие такой постановки задачи управления запасами от рассмотренных ранее случаев.

Учитывая то, что стохастическая постановка не меняет сути трех подходов к управлению запасами, в дальнейшем изложении обратим основное внимание на новизну математического аппарата моделей.

3.2. Управление запасом с фиксированной партией поставки

Пусть интенсивность потребления ресурса – величина случайная, распределенная нормально с параметрами M_I и σ_I , где: M_I – математическое ожидание (среднее значение) и σ_I – среднеквадратичное отклонение случайной величины. Договором с поставщиком зафиксированы срок поставки $T_{\text{пост}}$ и партия поставки $n_{\text{пост}}$, причем размер партии может быть оптимизирован с помощью модели EOQ. Менеджером склада установлен основной для первого способа параметр управления $H_{\text{тз}}$.

Хотя менеджер и изучал в вузе теорию управления запасами, но был троечником. Поэтому он попросил нас помочь ему ответить на очень важный для него вопрос: с какой вероятностью на складе не возникнет дефицита ресурса? В уже принятых обозначениях нам требуется найти значения P_0 . Отправной

точкой для дальнейших рассуждений является известная из теории вероятности формула нахождения нормированного отклонения случайной величины от среднего:

$$\xi(P_0) = (H_{\text{тз}} - M_I^*) / \sigma_I^*,$$

где M_I^* – ожидаемое потребление ресурса за время исполнения заказа ($T_{\text{пост}}$); σ_I^* – среднеквадратичное отклонение этой случайной величины; P_0 – вероятность того, что эта случайная величина примет любое значение, не превышающее $H_{\text{тз}}$; $\xi(P_0)$ – нормированное отклонение, или квантиль, величина которого для заданного значения вероятности отыскивается по таблицам интегральной или накопленной вероятности (см. приложение).

Из правила суммирования независимых, одинаково распределенных случайных величин следует:

$$M_I^* = T_{\text{пост}} M_I, \\ (\sigma_I^*)^2 = T_{\text{пост}} \sigma_I^2, \Rightarrow \sigma_I^* = \sigma_I \sqrt{T_{\text{пост}}}.$$

Выполнив необходимые расчеты и получив значение квантиля, по таблице находим соответствующую ему величину P_0 . Это вероятность того, что к моменту получения очередной партии склад не окажется пустым. В зарубежной литературе этот параметр получил название "вероятность покрытия спроса". Для полноты картины можно определить вероятность того, что запас не будет исчерпан уже за день до поставки, или значение P_1 . Для получения результата выполним следующую последовательность действий:

$$\xi(P_1) = (H_{\text{тз}} - (T_{\text{пост}} - 1) M_I) / \sigma_I \sqrt{T_{\text{пост}} - 1} \Rightarrow P_1.$$

Этот и подобные ему расчеты, выполненные для других сроков, могут пригодиться при установлении оптимального уровня резервного запаса.

Надо отметить, что возникновение дефицита на складе за день, за два, за три дня до поставки – зависимые случайные величины, поэтому P_1 – это часть P_0 , P_2 – часть P_1 и т.д. Значит, для расчета $H_{\text{тз}}$ достаточно знать только P_0 , и наоборот.

Если полученное значение P_0 не устраивает нашего знакомого менеджера, мы можем предложить ему решение обратной задачи: по заданной им вероятности бездефицитной работы найти точку заказа. В этом случае ход решения таков:

$$P_0 \Rightarrow \xi(P_0) \Rightarrow H_{\text{тз}} = M_I^* + \xi(P_0) \sigma_I^* = T_{\text{пост}} M_I + \xi(P_0) \sigma_I \sqrt{T_{\text{пост}}}.$$

Отсюда хорошо видно, что величина $\xi(P_0) \sigma_I \sqrt{T_{\text{пост}}}$ представляет собой резервный запас, обеспечивающий с вероятностью P_0 бездефицитность работы склада. Очень важна задача нахождения его оптимального уровня. Существующие методы основаны на том, что с ростом P_0 увеличиваются затраты на создание и содержание резервного запаса ресурса, но снижаются потери ввиду его дефицита. Сложность практического применения этих методов состоит в том, как оценивать потери от дефицита ресурса и затраты на резервирование.

Разные подходы к такой оценке формируют разные алгоритмы решения задачи оптимизации.

Положим, точка заказа установлена, а у нашего знакомого менеджера возникла другая проблема: поместится ли в склад емкостью $H_{\text{скл}}$ очередная поступающая партия ресурса?

Переполнения склада не произойдет с вероятностью P_c , если за срок поставки будет потреблено ресурса более чем $H_{\text{тз}} + n_{\text{пост}} - H_{\text{скл}}$ (см. рис. 10). По аналогии с предыдущими рассуждениями запишем:

$$\xi(P) = (H_{\text{тз}} + n_{\text{пост}} - H_{\text{скл}} - M_I^*) / \sigma_I^*,$$

где P – вероятность того, что потребление ресурса за время $T_{\text{пост}}$ не превысит указанной величины.

Искомая вероятность является дополнением к найденной, т.е. $P_c = 1 - P$. Тогда окончательно формула примет вид

$$\xi(1-P_c) = (H_{\text{тз}} + n_{\text{пост}} - H_{\text{скл}} - T_{\text{пост}} M_I) / \sigma_I \sqrt{T_{\text{пост}}}.$$

Для решения обратной задачи следует выполнить следующие действия:

$$P_c \Rightarrow 1-P_c \Rightarrow \xi(1-P_c) \Rightarrow H_{\text{скл}} = H_{\text{тз}} + n_{\text{пост}} - T_{\text{пост}} M_I - \xi(1-P_c) \sigma_I \sqrt{T_{\text{пост}}}.$$

Разрешив с нашей помощью две проблемы (и дважды заплатив нам за это), менеджер озаботился третьей: что случится, если срок поставки будет постоянно нарушаться и в конце концов тоже окажется случайной величиной, распределенной нормально с параметрами M_T и σ_T ?

В этом случае вместо значения $T_{\text{пост}}$ в расчетах используется M_T , а значение σ_I^* определяется из соотношения

$$(\sigma_I^*)^2 = M_T \sigma_I^2 + M_I^2 \sigma_T^2.$$

Из анализа приведенной модели можно сделать следующий вывод. Вероятность бездефицитной работы склада определяет только точку заказа и величину резервного запаса. Следовательно, уменьшать партию поставки, а с ней и емкость склада можно, не снижая уровня надежности склада. Это свойство используется при расчете оптимальной партии поставки с помощью модели EOQ.

В качестве общего вывода следует пожелать будущим менеджерам не быть троечниками.

Пример

Детали изготавливаются в механическом цехе партиями по 160 шт. и поступают в соответствующий операционный накопитель сборочного конвейера. Время изготовления и доставки партии – 4,5 ч. Интенсивность потребления деталей сборкой – величина случайная, распределенная нормально с параметрами $M_I = 22,1$ шт./ч, $\sigma_I = 3,7$ шт./ч.

Требуется установить точку заказа и величину резервного запаса таким образом, чтобы вероятность остановки конвейера из-за отсутствия в данном накопителе деталей составляла 1 %.

Определить, с какой вероятностью может произойти переполнение накопителя, если его емкость 190 деталей. Если эта вероятность больше допустимых 3 %, то следует указать необходимое увеличение его емкости.

Как изменится решение задачи, если срок поставки окажется случайной величиной, распределенной нормально с параметрами $M_T = 4,5$ ч, $\sigma_T = 0,6$ ч?

Решение

Для расчета точки заказа надо знать вероятность бездефицитной работы операционного накопителя, которая является дополнением к заданной вероятности возникновения простоя, т.е.

$$P_0 = 1 - 0,01 = 0,99.$$

Далее по таблице отыскивается квантиль, соответствующий этой вероятности. Обычно, используя свойство симметрии функции накопленной вероятности, в справочниках приводят лишь половину таблицы значений этой функции. Для поиска квантиля нужно знать, что в таблице тогда указывается отклонение вероятности от 0,5, и, если это отклонение в большую сторону, то найденный квантиль имеет положительное значение, а если в меньшую, то отрицательное. Здесь:

$$\xi(0,99) = \xi(0,5 + 0,49) = 0 + \xi(0,49) = +2,33.$$

$$H_{ТЗ} = 4,5 \times 22,1 + 2,33 \times 3,7 \sqrt{4,5} = 117,74 \approx 118 \text{ шт.};$$

$$H_{рез} = 2,33 \times 3,7 \sqrt{4,5} = 18,29 \approx 19 \text{ шт.}$$

Для определения вероятности переполнения накопителя сначала рассчитывается соответствующий квантиль:

$$\xi(P) = (118 + 160 - 190 - 22,1 \times 4,5) / (3,7 \sqrt{4,5}) = -1,46; \Rightarrow P = 0,5 - 0,427 = 0,073.$$

Найденное значение (7,3 %) превышает допустимое (3 %), значит, необходимо найти новую емкость накопителя:

$$\xi(0,03) = \xi(0,5 - 0,47) = 0 - \xi(0,47) = -1,88;$$

$$H_{скл} = 118 + 160 - 22,1 \times 4,5 + 1,88 \times 3,7 \sqrt{4,5} = 193,3 \approx 194 \text{ шт.}$$

Если срок поставки величина случайная, пересчитывается значение σ_I^* :

$$\sigma_I^* = \sqrt{4,5 \times 3,7^2 + 22,1^2 \times 0,6^2} = 15,41,$$

а затем с этим новым значением выполняются все остальные расчеты:

$$H_{ТЗ} = 4,5 \times 22,1 + 2,33 \times 15,41 = 135,35 \approx 136 \text{ шт.};$$

$$\xi(P) = (136 + 160 - 190 - 22,1 \times 4,5) / 15,41 = +0,425; \Rightarrow P = 0,5 + 0,164 = 0,664;$$

$$H_{скл} = 136 + 160 - 22,1 \times 4,5 + 1,88 \times 15,41 = 225,5 \approx 226 \text{ шт.}$$

Ответ

При фиксированном сроке поставки $H_{ТЗ} = 118$ шт., $H_{рез} = 19$ шт., вероятность переполнения – 7,3 %, нужна емкость накопителя – 194 шт.

При вероятностном сроке поставки $H_{ТЗ} = 136$ шт., вероятность переполнения – 66,4 %, нужна емкость накопителя – 226 шт.

3.3. Управление запасом с фиксированным ритмом поставки

Пусть, как и в предыдущей модели, интенсивность потребления ресурса – величина случайная, распределенная нормально с параметрами M_I и σ_I . Договором с поставщиком установлены срок и ритм поставки $T_{\text{пост}}$ и $R_{\text{пост}}$.

Требуется определить емкость склада, исходя из двух условий:

- 1) с вероятностью P_o должна обеспечиваться бездефицитность его работы;
- 2) с вероятностью P_c должно быть исключено его переполнение.

Как было показано в разделе 2.2, бездефицитность работы склада обеспечивается на интервале $T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}$, причем за это время должно быть потреблено ресурса не более чем $H^*_{\text{скл}}$ (см. рис. 12). Здесь потребление ресурса – величина случайная, распределенная нормально с параметрами M_I^{**} и σ_I^{**} , где

$$M_I^{**} = M_I(T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}),$$

$$(\sigma_I^{**})^2 = \sigma_I^2(T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}) \Rightarrow \sigma_I^{**} = \sigma_I \sqrt{T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}}.$$

Формула расчета квантиля, соответствующего вероятности P_o , в этом случае имеет вид

$$\xi(P_o) = (H^*_{\text{скл}} - M_I^{**})/\sigma_I^{**}.$$

Тогда при известном значении P_o можно найти условный максимальный запас $H^*_{\text{скл}}$, выполнив следующие действия:

$$P_o \Rightarrow \xi(P_o) \Rightarrow H^*_{\text{скл}} = M_I^{**} + \xi(P_o)\sigma_I^{**} = M_I(T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}) + \xi(P_o)\sigma_I \sqrt{T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}}.$$

Реальная емкость склада может быть меньше величины $H^*_{\text{скл}}$ на то количество ресурса, которое будет потреблено за срок поставки. Это тоже случайная величина, распределенная нормально с параметрами M_I^* и σ_I^* (см. разд. 3.2). Для того, чтобы не произошло переполнения склада, она должна принимать любые значения, не меньшие $H^*_{\text{скл}} - H_{\text{скл}}$ (см. рис. 12), т. е.

$$\xi(1-P_c) = (H^*_{\text{скл}} - H_{\text{скл}} - M_I^*)/\sigma_I^*.$$

Тогда при известном значении P_c можно выразить $H_{\text{скл}}$ через $H^*_{\text{скл}}$:

$$P_c \Rightarrow 1-P_c \Rightarrow \xi(1-P_c) \Rightarrow H_{\text{скл}} = H^*_{\text{скл}} - M_I^* - \xi(1-P_c)\sigma_I^*.$$

Подставив в эту формулу выражение, выведенное ранее для расчета $H^*_{\text{скл}}$, получим:

$$H_{\text{скл}} = M_I(T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}) + \xi(P_o)\sigma_I \sqrt{T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}} - M_I T_{\text{пост}} - \xi(1-P_c)\sigma_I \sqrt{T_{\text{пост}}} =$$

$$= M_I R_{\text{пост}} + \sigma_I \sqrt{T_{\text{пост}}} (\xi(P_o) \sqrt{1 + R_{\text{пост}}/T_{\text{пост}}} - \xi(1-P_c)).$$

Таким образом, емкость склада зависит одновременно от значений обоих параметров P_o и P_c .

При задании емкости склада решается обратная задача, т. е. рассчитывается вероятность его бездефицитного функционирования или вероятность его непереполнения:

$$\xi(P_o) \sqrt{1 + R_{\text{пост}}/T_{\text{пост}}} - \xi(1-P_c) = (H_{\text{скл}} - M_I R_{\text{пост}})/\sigma_I \sqrt{T_{\text{пост}}}.$$

Очевидно, что одна из этих вероятностей должна быть задана, иначе обратная задача окажется неопределенной. При ее решении должно также соблюдаться условие $H_{\text{скл}} - M_I R_{\text{пост}} > 0$.

Зная значение $H^*_{\text{скл}}$, можно найти величину текущей партии поставки ресурса на склад:

$$n_{\text{тек}} = H^*_{\text{скл}} - H_{\text{тек}}.$$

Теоретически размер партии может достигать значения $H^*_{\text{скл}}$, практически же на него накладывается ограничение $H_{\text{скл}} \geq n_{\text{тек}}$, нарушение которого ведет к несостоятельности приведенных выше выкладок. Может быть также задана нижняя граница изменения названной величины – $(n_{\text{тек}})_{\text{min}}$. В этом случае определяется вероятность $P_{\text{п}}$ того, что размер текущей партии не выйдет за нее.

Известно, что заказывается для очередной поставки столько ресурса, сколько его потребляется за время $R_{\text{пост}}$ относительно уровня $H^*_{\text{скл}}$ (см. рис. 12). Тогда

$$\xi(1-P_{\text{п}}) = ((n_{\text{тек}})_{\text{min}} - M_I R_{\text{пост}}) / \sigma_I \sqrt{R_{\text{пост}}} \Rightarrow 1-P_{\text{п}} \Rightarrow P_{\text{п}}.$$

На основании записанной формулы может быть решена и обратная задача.

Пример

Фирма завозит из-за границы товары для животных и реализует их в розничной сети на Северо-Западе России. Известен спрос на эти товары, в частности, спрос на корм для кошек составляет в среднем 624 кг в неделю (в ассортименте). Осуществляется еженедельный заказ товара у поставщиков, средний срок поставки – 2,4 недели, минимальная партия поставки корма – 400 кг, причем заказ должен быть округлен до десятков килограммов. Считается, что величина недельного спроса и срок поставки – это распределенные нормально случайные величины. Известны их среднеквадратичные отклонения: 182 кг/нед. и 0,6 нед. соответственно.

В момент заказа зафиксирован остаток на складе – 212 кг, а до получения заказываемой партии ожидается поставка двух заказанных ранее партий размером 450 и 810 кг.

Требуется рассчитать емкость склада, необходимую для хранения кошачьего корма, при условии, что вероятность отсутствия его в продаже может составлять не более 5%, а переполнение склада допускается с вероятностью 30%.

Определить размер заказа, который должен быть сделан сегодня, найти величины резервного и среднего запасов корма на складе, а также средний срок реализации поступившей партии.

Рассчитать вероятность того, что партия поставки окажется не меньше минимальной договорной величины.

Решение

Найдем решение сначала для фиксированного срока поставки корма $T_{\text{пост}} = 2,4$ нед.

Ожидаемый расход корма за срок $(T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}})$ – случайная величина с параметрами:

$$M_I^{**} = 624(2,4+1) = 2121,6 \text{ кг/нед.},$$

$$\sigma_I^{**} = 182 \sqrt{2,4 + 1} = 335,6 \text{ кг/нед.}$$

При допустимой вероятности дефицита корма 5%

$$P_0 = 1 - 0,05 = 0,95 \Rightarrow \xi(0,95) = \xi(0,5 + 0,45) = +1,645.$$

Тогда может быть найден условный максимальный запас кошачьего корма на складе

$$H_{\text{скл}}^* = 2121,6 + 1,645 \times 335,6 = 2673,6 \text{ кг.}$$

Емкость склада определим, исходя из допустимой вероятности его переполнения 30 %:

$$1 - P_c = 0,3 \Rightarrow \xi(0,3) = \xi(0,5 - 0,2) = -0,525$$

и с учетом того, что ожидаемый расход корма и среднеквадратичное отклонение его за срок поставки составят:

$$M_I^* = 624 \times 2,4 = 1497,6 \text{ кг/нед.,}$$

$$\sigma_I^* = 182 \sqrt{2,4} = 281,9 \text{ кг/нед.,}$$

$$H_{\text{скл}} = 2673,6 - 1497,6 + 0,525 \times 281,9 = 1324,0 \text{ кг.}$$

Проверим полученный результат, повторив расчет по сводной формуле:

$$H_{\text{скл}} = 624 \times 1 + 182 \sqrt{2,4} (1,645 \sqrt{1 + 1/2,4} + 0,525) = 1324,1 \text{ кг.}$$

Как видим, ответы практически совпали.

Расчет заказываемой партии в данной ситуации будет немного отличаться от расчета по алгоритму, предложенному выше, так как он должен учитывать предстоящее получение двух заказанных ранее партий:

$$n_{\text{тек}} = 2673,6 - 212 - 450 - 810 = 1201,6 \text{ кг.}$$

Принимая во внимание необходимость округления полученной цифры и практическую нелимитированность емкости склада, установим $n_{\text{тек}} = 1210 \text{ кг}$. Отметим, что $n_{\text{тек}} < H_{\text{скл}}$, значит, выполненные расчеты состоятельны.

Далее определим вероятность того, что любая заказываемая в процессе управления запасом партия окажется не меньше 400 кг:

$$\xi(1 - P_{\text{п}}) = (400 - 624 \times 1) / 182 \sqrt{1} = -1,23 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1 - P_{\text{п}} = 0,5 - 0,391 = 0,109 \Rightarrow P_{\text{п}} = 0,891.$$

Резерв, средний запас и средний срок реализации партии определяются исходя из среднего спроса на товар:

$$H_{\text{рез}} = H_{\text{скл}}^* - M_I (T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}) = 2673,6 - 2121,6 = 552,0 \text{ кг,}$$

$$H_{\text{ср}} = H_{\text{рез}} + M_I R_{\text{пост}} / 2 = 552 + 624 / 2 = 864 \text{ кг,}$$

$$T_{\text{р}} = H_{\text{скл}}^* / M_I - T_{\text{пост}} = (2673,6 / 624) - 2,4 = 1,9 \text{ нед.}$$

Завершая решение задачи, проанализируем, как влияет на полученные результаты случайный характер срока поставки. В разделе 3.1 был показан механизм учета такого влияния. Есть только одно отличие, отражающее принципиальную разницу между моделями с фиксированной партией и фиксированным ритмом поставки. Оно заключается в том, что резервирование запаса в первом случае производится на сроке поставки $T_{\text{пост}}$, а во втором – на интервале $(T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}})$. В таком случае для разрешения наших проблем пересчитаем значение σ_I^{**} :

$$\sigma_I^{**} = \sqrt{M_I^2 \sigma_T^2 + (M_T + R)\sigma_I^2} = \sqrt{624^2 \times 0,6^2 + (2,4 + 1)182^2} = 502,79 \text{ кг/нед.},$$

а в качестве срока поставки будем использовать его математическое ожидание M_T . В приведенной выше формуле σ_T – среднее квадратичное отклонение срока поставки.

Рассчитаем с учетом этого новое значение $H_{\text{скл}}^*$:

$$H_{\text{скл}}^* = 2121,6 + 1,645 \times 502,79 = 2948,69 \text{ кг.}$$

Напомним, что ранее было получено значение 2673,6 кг. Очевидно, что случайный характер срока поставки оказывает существенное влияние на процесс управления запасом. Выполним пересчет параметров управления с учетом того, что ожидаемый расход корма и среднее квадратичное отклонение его при случайном сроке поставки составят:

$$M_I^* = 624 \times 2,4 = 1497,6 \text{ кг/нед.},$$

$$\sigma_I^* = \sqrt{182^2 \times 2,4 + 624^2 \times 0,6^2} = 468,69 \text{ кг/нед.};$$

$$H_{\text{скл}} = 2948,69 - 1497,6 + 0,525 \times 468,69 = 1697,2 \text{ кг,}$$

$$n_{\text{тек}} = 2948,69 - 212 - 450 - 810 = 1476,69 \approx 1480 \text{ кг,}$$

$$H_{\text{рез}} = 2948,69 - 2121,6 = 827,1 \text{ кг,}$$

$$H_{\text{ср}} = H_{\text{рез}} + M_I R_{\text{пост}}/2 = 827,1 + 624/2 = 1139,1 \text{ кг,}$$

$$T_p = H_{\text{скл}}^* / M_I - T_{\text{пост}} = (2948,69 / 624) - 2,4 = 2,3 \text{ нед.}$$

Ответ

$H_{\text{скл}} = 1324 \text{ кг, } n_{\text{тек}} = 1210 \text{ кг, } H_{\text{рез}} = 552 \text{ кг, } H_{\text{ср}} = 864 \text{ кг, } T_p = 1,9 \text{ нед.,}$
 $P_{\text{п}} = 89,1\%$. С учетом случайного характера срока поставки: $H_{\text{скл}} = 1697 \text{ кг,}$
 $n_{\text{тек}} = 1480 \text{ кг, } H_{\text{рез}} = 827 \text{ кг, } H_{\text{ср}} = 1139 \text{ кг, } T_p = 2,3 \text{ нед.,}$

3.4. Корректировка параметров управления запасом на основе прогноза динамики его расходования

Как уже отмечалось, пересчет параметров управления запасом должен выполняться каждый раз при возникновении устойчивых существенных изменений интенсивности потребления ресурса со склада.

В небольших пределах изменения отслеживаются реальными моделями управления. Самыми распространенными среди них можно считать случайные изменения. Именно на их учет ориентированы установление интервала $[I_{\text{min}}, I_{\text{max}}]$ в детерминированных моделях, и расчет M_I и σ_I – в стохастических. Однако варьирование параметров потребления может носить не только случайный характер. Изменения могут постоянно накапливаться, формируя определенную тенденцию (тренд), или могут быть циклическими, приводя, например, к недельным, сезонным и другим колебаниям интенсивности потребления. В такой ситуации разовые, ступенчатые изменения параметров управления или вообще отсутствие каких-либо изменений приводят к возрастанию вероятности дефицита или к неоправданному завышению запаса ресурса.

Значительно лучшие результаты достигаются при постоянной текущей корректировке параметров управления запасом на основе прогнозирования динамики потребления ресурса со склада. Такой подход приводит к более трудоемким расчетам, но использование современной вычислительной техники делает его применение вполне оправданным. Укрупненный алгоритм действий менеджера и схема информационного обеспечения принятия им управленческих решений представлены на рис. 4.

Задача корректировки параметров управления распадается на две части: прогнозирование расхода ресурса и пересчет параметров управления. Более просто она решается при выборе для управления запасом модели с фиксированным ритмом поставки. Тогда шаг прогнозирования постоянен и равен ритму поставки.

Для прогнозирования можно использовать разные методы, базирующиеся на накопленной статистике расходования ресурса со склада в прошлом (на ретроспективных рядах данных). В рассмотренном далее примере приведен самый точный метод, при котором для выявления тренда подбирается аппроксимирующая статистические данные функция, а циклические колебания учитываются с помощью коэффициентов приведения. В качестве аппроксимирующей может быть использована любая функция, но, как правило, обходятся простейшими: линейной, параболой, гиперболой или экспонентой. Выбор лучшего варианта производится методом наименьших квадратов.

Метод достаточно сложен, и без использования ПЭВМ обойтись трудно.

Мы воздержимся от пояснения значений множества необычных слов, появившихся в тексте, в надежде, что наш знакомый менеджер в свою бытность студентом вуза не прогуливал занятий по высшей математике.

Пример

Общество с ограниченной ответственностью организует пошив и реализацию мужских и женских брюк современных моделей из модной ткани. Для этого его представители выезжают за границу, где закупают ткань, а затем размещают заказ на пошив брюк на одной из швейных фабрик Санкт-Петербурга. Продукцию реализуют через сеть собственных магазинов.

ООО обеспокоено большими товарными остатками на складе. Так, в последнем полугодии средний уровень запаса брюк составил 66,3 шт. Требуется предложить модели управления запасами готовых брюк и тканей, сокращающие необходимые для работы оборотные средства.

Общество имеет статистику продаж за два прошлых года (табл. 3). Предполагается, что общая тенденция роста спроса на данный товар ближайшние полгода останется неизменной, и это предположение может быть заложено в основу составления прогноза.

Известно, что одна поездка за тканью обходится обществу в 15 тысяч рублей, закупочная цена – 450 руб./м, на одну пару брюк идет в среднем

1,4 метра, затраты на хранение ткани в течение полугода составляют 3 % от ее стоимости, а потери от связывания средств в запасах – 10 %. В соответствии с договором заказы на брюки размещаются на швейной фабрике ежемесячно, срок изготовления партии независимо от ее размера составляет не более трех недель. Для поддержания конкурентоспособности товара его отсутствие в продаже допускается с вероятностью не более 10 %.

Решение

Прогнозирование продаж на будущее полугодие выполняется в несколько шагов. Его ход показан в табл. 1 и на графиках (рис. 15).

Шаг 1. С помощью ПЭВМ и пакета MS Excel по статистике прошлых двух лет подбирается аппроксимирующая кривая. Лучшее приближение с выраженной тенденцией роста ежемесячных продаж (I) дала линейная функция $I = 1,486 t + 46,29$. Коэффициент корреляции 0,698756.

Шаг 2. Для каждого месяца рассчитывается коэффициент приведения (сглаживания) как отношение фактических продаж к величине, рассчитанной на основе аппроксимирующей функции. Коэффициенты, полученные для одинаковых месяцев, но разных лет, усредняются. Такое усреднение позволяет по возможности устранить влияние на исходные данные случайных факторов.

Шаг 3. Для каждого месяца делением фактических продаж на значение среднего коэффициента приведения для этого месяца рассчитывается величина сглаженных фактических продаж. Таким образом устраняется влияние на исходные данные фактора цикличности.

Шаг 4. Для сглаженных продаж с помощью ПЭВМ корректируется ранее подобранная аппроксимирующая функция. Ее новый вид: $I = 1,270 t + 48,82$. Коэффициент корреляции существенно возрос: 0,913941.

Шаг 5. Рассчитываются значения этой функции на новом интервале – шесть месяцев будущего года, для которых должен быть сделан прогноз. Полученные трендовые значения умножаются на средние коэффициенты приведения для соответствующих месяцев. В результате столь долгих преобразований получаем нужный нам прогноз. Но это еще не все.

Шаг 6. Те же расчеты, что и на предыдущем шаге, выполняются с помощью откорректированной аппроксимирующей функции для 24 точек, где фактические данные уже известны. По двум рядам данных определяется среднеквадратичное отклонение факта от расчета. Здесь $f = 1$ и $\sigma_f = 3,76$.

Т а б л и ц а 1

| Месяц | Фактические продажи, шт. | Линейная аппроксимация продаж (тренд), шт. | Коэффициент приведения | Средний коэффициент приведения | Сглаженные фактические продажи, шт. | Тренд сглаженных продаж, шт. | Расчетные продажи (прогноз), шт. |
|---------|--------------------------|--|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| Январь | 30 | 47,78 | 0,63 | 0,69 | 43,65 | 50,09 | 34 |
| Февраль | 36 | 49,27 | 0,73 | 0,75 | 48,30 | 51,36 | 38 |
| Март | 43 | 50,75 | 0,85 | 0,88 | 48,71 | 52,63 | 46 |
| Апрель | 56 | 52,24 | 1,07 | 1,08 | 51,94 | 53,90 | 58 |

| | | | | | | | |
|----------|----|-------|------|------|----------|--------|-----|
| Май | 67 | 53,73 | 1,25 | 1,16 | 57,68 | 55,17 | 64 |
| Июнь | 61 | 55,21 | 1,10 | 1,09 | 55,80 | 56,44 | 62 |
| Июль | 70 | 56,70 | 1,23 | 1,22 | 57,33 | 57,71 | 70 |
| Август | 77 | 58,19 | 1,32 | 1,21 | 63,42 | 58,98 | 72 |
| Сентябрь | 60 | 59,67 | 1,01 | 1,03 | 58,16 | 60,25 | 62 |
| Октябрь | 62 | 61,16 | 1,01 | 0,99 | 62,76 | 61,52 | 61 |
| Ноябрь | 66 | 62,65 | 1,05 | 0,97 | 68,19 | 62,79 | 61 |
| Декабрь | 65 | 64,13 | 1,01 | 0,91 | 71,48 | 64,06 | 58 |
| Январь | 49 | 65,62 | 0,75 | 0,69 | 71,29 | 65,33 | 45 |
| Февраль | 51 | 67,10 | 0,76 | 0,75 | 68,42 | 66,60 | 50 |
| Март | 63 | 68,59 | 0,92 | 0,88 | 71,36 | 67,87 | 60 |
| Апрель | 76 | 70,08 | 1,08 | 1,08 | 70,48 | 69,14 | 74 |
| Май | 77 | 71,56 | 1,08 | 1,16 | 66,29 | 70,41 | 82 |
| Июнь | 79 | 73,05 | 1,08 | 1,09 | 72,27 | 71,68 | 78 |
| Июль | 90 | 74,54 | 1,21 | 1,22 | 73,71 | 72,96 | 89 |
| Август | 84 | 76,02 | 1,10 | 1,21 | 69,19 | 74,23 | 90 |
| Сентябрь | 82 | 77,51 | 1,06 | 1,03 | 79,48 | 75,50 | 78 |
| Октябрь | 76 | 79,00 | 0,96 | 0,99 | 76,93 | 76,77 | 76 |
| Ноябрь | 71 | 80,48 | 0,88 | 0,97 | 73,36 | 78,04 | 75 |
| Декабрь | 66 | 81,97 | 0,81 | 0,91 | 72,58 | 79,31 | 72 |
| Январь | | | | 0,69 | | 80,58 | 55 |
| Февраль | | | | 0,75 | | 81,85 | 61 |
| Март | | | | 0,88 | ПРОГНОЗ: | 83,12 | 73 |
| Апрель | | | | 1,08 | | 84,39 | 91 |
| Май | | | | 1,16 | | 85,66 | 99 |
| Июнь | | | | 1,09 | | 86,93 | 95 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | ИТОГО: | 474 |

Для управления запасом брюк принята модель с фиксированным ритмом поставки и ежемесячной корректировкой математического ожидания интенсивности потребления товара со склада в соответствии со сделанным прогнозом продаж. Для иллюстрации процесса управления в динамике предположим, что каждый месяц становятся известны фактические данные ухода товара со склада (табл. 2). Известно также, что в декабре на момент заказа остаток товара на складе составлял 61 единицу.

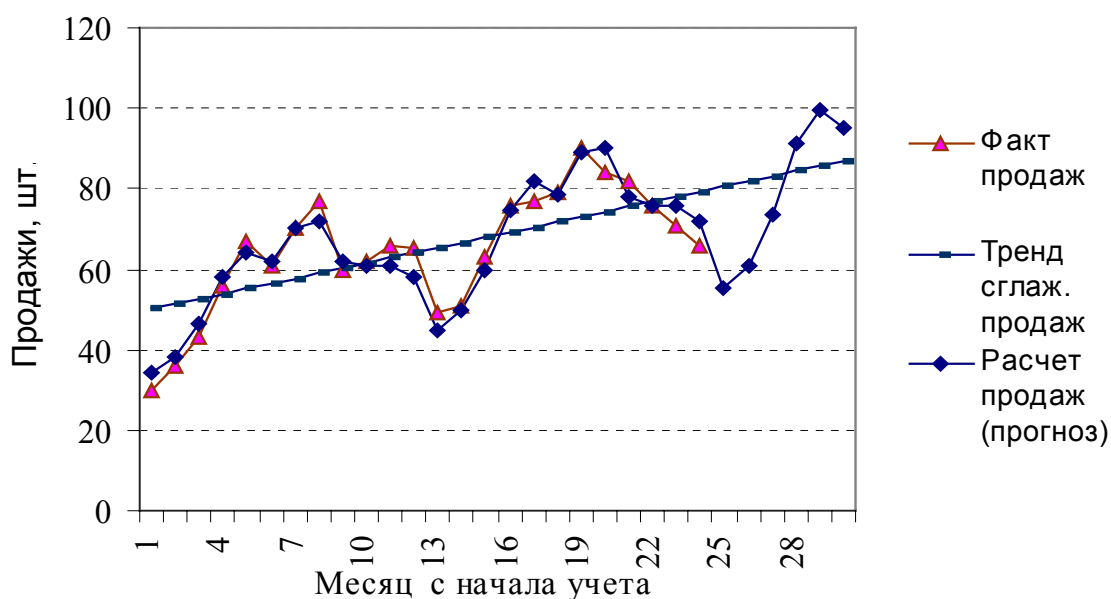


Рис. 15. Графики, иллюстрирующие процесс прогнозирования продаж

Т а б л и ц а 2

| Месяц | Количество рабочих дней | Срок поставки, мес. | Прогноз продаж, шт. | Фактические продажи, шт. | |
|---------|-------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|----------------|
| | | | | к моменту заказа | всего за месяц |
| Декабрь | 21 | 0,71 | – | 9 | 66 |
| Январь | 18 | 0,83 | 55 | 10 | 62 |
| Февраль | 21 | 0,71 | 61 | 16 | 67 |
| Март | 22 | 0,68 | 73 | 27 | 70 |
| Апрель | 20 | 0,75 | 91 | 21 | 87 |
| Май | 20 | 0,75 | 99 | 20 | 79 |
| Июнь | 21 | 0,67 | 95 | 32 | 99 |

Смоделируем заказ на январь. Напомним, как в выбранной модели определяются величина текущей партии поставки: $n_{\text{тек}} = H_{\text{скл}}^* - H_{\text{тек}}$, и условная емкость склада: $H_{\text{скл}}^* = M_I (T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}) + \xi(P_0) \sigma_I \sqrt{T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}}$. Особенность выполняемого расчета состоит в том, что ожидаемые интенсивности потребления различны на сроке поставки (текущий месяц) и ритме поставки (будущий месяц). Внесем изменения в формулу:

$$H_{\text{скл}}^{*k+1} = M_I^k T_{\text{пост}}^k + M_I^{k+1} R_{\text{пост}} + \xi(P_0) \sigma_I \sqrt{T_{\text{пост}}^k + R_{\text{пост}}}$$

Выполним расчеты:

$$P_0 = 0,9 \Rightarrow \xi(P_0) = 1,28;$$

$$H_{\text{скл}}^{*\text{янв}} = 66 \times 0,71 + 55 \times 1 + 1,28 \times 3,76 \sqrt{0,71+1} = 108,15 \approx 108 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{тек}}^{\text{янв}} = 108 - 61 = 47 \text{ шт.}$$

Повторим расчеты для февральского заказа с учетом того, что к моменту заказа на складе осталась $61 - (66 - 9) + 47 - 10 = 41$ единица товара:

$$N^{* \text{фвр}}_{\text{скл}} = 55 \times 0,83 + 61 \times 1 + 1,28 \times 3,76 \sqrt{0,83+1} = 113,16 \approx 113 \text{ шт.};$$

$$n^{\text{фвр}}_{\text{тек}} = 113 - 41 = 72 \text{ шт.}$$

Результаты расчетов для остальных месяцев представлены в табл. 3, а смоделированный график изменения величины запаса – на рис. 16.

Т а б л и ц а 3

| Месяц | Остаток товара на складе на момент заказа, шт. | Условная емкость склада, шт. | Размер заказа (величина партии поставки), шт. |
|--------|--|------------------------------|---|
| Март | 56 | 123 | 67 |
| Апрель | 45 | 147 | 102 |
| Май | 83 | 174 | 91 |
| Июнь | 88 | 176 | 88 |

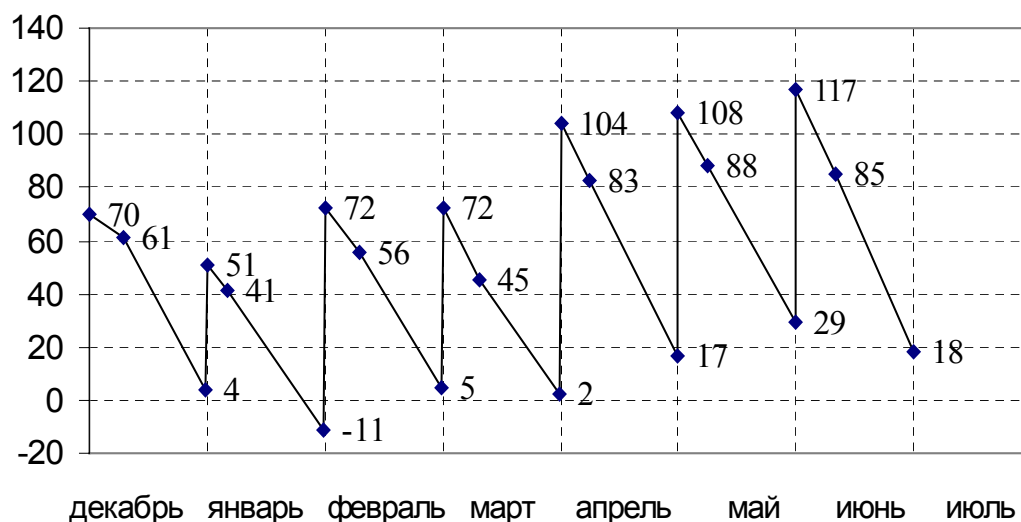


Рис. 16. График изменения запаса товара на складе

Анализ результатов расчета показывает, что:

- 1) средний уровень запаса товара на складе, рассчитанный приближенно, составляет $\frac{1}{6} \left(\frac{51}{2} + \frac{72+5}{2} + \frac{72+2}{2} + \frac{104+17}{2} + \frac{108+29}{2} + \frac{117+18}{2} \right) = 49,6$ шт., что заметно меньше, чем в предыдущем полугодии, когда для управления использовалась эвристическая модель;
- 2) в конце января возник дефицит товара, чего раньше не случалось; ответить на вопрос, оправданно ли экономически и конъюнктурно резкое снижение резервного запаса, приведшее к дефициту, в нашем случае нельзя, так как отсутствуют фактические данные о потерях от дефицита (косвенно на этот вопрос дан положительный ответ при допущении в исходных данных дефицита в 10 % случаев);
- 3) получение новых данных за шесть месяцев требует повторной оперативной корректировки параметров управления, так как среднее квадратичное от-

клонение факта от прогноза выросло с 3,76 до 5,47; такая корректировка могла бы быть произведена уже в ходе расчетов (при моделировании или фактическом управлении).

Для ответа на вопрос о том, как часто следует закупать ткань, считаем размер оптимальной партии ее поставки:

$$(n_{\text{пост}})_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{2 \times 664 \times 15000}{450(0,03 + 0,1)}} = 583,5 \text{ м,}$$

где 664 м ($474 \times 1,4$) – потребность в ткани на прогнозируемое полугодие.

Этой ткани хватит на $583,5/1,4 \approx 417$ единиц товара, что немногим меньше прогнозируемого спроса на него. Вывод: ткань следует закупить один раз на весь планируемый срок.

3.5. Комбинированный способ управления запасом

Комбинированная модель и в стохастической постановке сочетает в себе черты двух других моделей управления запасами. Резервирование бездефицитной работы, как в первой модели, осуществляется на интервале $T_{\text{пост}}$; значения $H_{\text{тз}}$ и $H_{\text{рез}}$ рассчитываются по соответствующим формулам, приведенным в разделе 3.1. Но в отличие от этой модели размер партии поставки меняется в зависимости от ожидаемой интенсивности потребления ресурса на интервале $T_{\text{пост}}$. Предполагая, что емкость склада фиксирована на уровне $H_{\text{скл}}$ и его переполнение запрещено с вероятностью P_c , найдем величину текущей партии поставки.

Случайная величина – потребление ресурса на интервале $T_{\text{пост}}$ – для исключения переполнения склада должна принимать любые значения, превышающие $H_{\text{тз}} + n_{\text{тек}} - H_{\text{скл}}$. Тогда

$$\xi(1 - P_c) = (H_{\text{тз}} + n_{\text{тек}} - H_{\text{скл}} - T_{\text{пост}} M_I) / \sigma_I \sqrt{T_{\text{пост}}},$$

откуда $n_{\text{тек}} = H_{\text{скл}} - H_{\text{тз}} + T_{\text{пост}} M_I + \sigma_I \sqrt{T_{\text{пост}}} \xi(1 - P_c)$.

Как уже отмечалось в разделе 3.3, эта модель очень близка модели с фиксированной партией поставки. Это подтверждает и приведенная выше формула расчета $n_{\text{тек}}$. Из нее видно, что величина текущей партии поставки меняется только при изменении параметров распределения случайной величины – интенсивности потребления ресурса со склада (M_I , σ_I), условий договора с поставщиком ($T_{\text{пост}}$), параметров управления запасом ($H_{\text{скл}}$, P_c , P_o) т. е. достаточно редко. В то же время значение $n_{\text{тек}}$ не оптимизируется с помощью модели EOQ, что резко снижает практическую значимость этого способа управления запасом.

Пример

Управление запасом на складе осуществляется комбинированным способом. Известна емкость склада – 64000 единиц ресурса. Интенсивность потребления ресурса со склада – величина случайная, распределенная нормально с параметрами $M_I = 2809$ ед./дн., $\sigma_I = 182$ ед./дн. Срок исполнения заказа – 5 дней.

Требуется определить точку заказа и величину резервного запаса на складе так, чтобы вероятность возникновения дефицита составляла 12 %; определить текущую партию поставки, допуская переполнение склада с вероятностью 5, 10, 30 %.

Решение

Найдем вероятность бездефицитной работы как дополнение к заданной вероятности возникновения дефицита: $P_o = 1 - 0,12 = 0,88$.

Затем по таблицам отыщем $\xi(0,88) = \xi(0,5 + 0,38) = +1,175$.

Тогда: $H_{тз} = 5 \times 2809 + 182 \times 1,175 \sqrt{5} = 14523,2$ ед.,

$H_{рез} = 14523,2 - 5 \times 2809 = 478,2$ ед.

Из результатов расчета видим, что низкий уровень сервиса определил очень низкий уровень резервного запаса.

Рассчитаем значения партии поставки, учитывая, что заданы дополнения к вероятностям непереполнения склада:

$$\xi(1 - P_c) = \xi(0,05) = \xi(0,5 - 0,45) = -1,645, \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n_{тек} = 64000 - 14523,2 + 5 \times 2809 - 182 \times \sqrt{5} \times 1,645 = 62852,3 \text{ ед.},$$

$$\xi(1 - P_c) = \xi(0,1) = \xi(0,5 - 0,4) = -1,28, \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n_{тек} = 64000 - 14523,2 + 5 \times 2809 - 182 \times \sqrt{5} \times 1,280 = 63000,9 \text{ ед.},$$

$$\xi(1 - P_c) = \xi(0,3) = \xi(0,5 - 0,2) = -0,525, \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n_{тек} = 64000 - 14523,2 + 5 \times 2809 - 182 \times \sqrt{5} \times 0,525 = 63308,1 \text{ ед.}$$

Очевидно, что величина партии должна возрастать с ростом вероятности переполнения склада; расчеты полностью подтверждают это.

Ответ

$H_{тз} = 14523,2$ ед., $H_{рез} = 478,2$ ед., при $P_c = 95\%$ $n_{тек} = 62852,3$ ед., при $P_c = 90\%$ $n_{тек} = 63000,9$ ед., при $P_c = 70\%$ $n_{тек} = 63308,1$ ед.

Задачи

1. Определить емкость склада сырья на предприятии, оптимальный размер партии его поставки, точку заказа, резервный запас, если по договору с поставщиком срок поставки очередной партии составляет 3 дня, а затраты на поставку – 400 руб. За год предприятие потребляет 90000 т сырья, среднегодовые затраты на хранение одной тонны на складе – 22 руб. Интенсивность потребления сырья – величина случайная, распределенная нормально с параметрами $M_I = 500$ т/дн. и $\sigma_I = 20$ т/дн. По условиям производства дефицит сырья на предприятии допустим с вероятностью 6 %, а переполнение склада должно быть исключено с вероятностью 90 %.

2. Склад сборочного цеха рассчитан на хранение 18360 корпусов прибора. Корпуса поступают из цеха-изготовителя партиями по 13000 шт. Срок поставки очередной партии с равной вероятностью может принимать значения от 4 до 12 рабочих дней. Интенсивность ежедневной подачи корпусов на сборку – величина случайная, распределённая нормально с параметрами $M_I = 620$ шт./дн.; $\sigma_I = 45,3$ шт./дн.

Требуется определить вероятность возникновения простоев сборочной линии из-за нехватки корпусов и вероятность переполнения ими склада, если точка заказа установлена на уровне 7800 корпусов.

3. Склад готовой продукции фирмы рассчитан на хранение 108000 упаковок данного вида товара. Затраты хранения – 0,36 руб./год за упаковку. Среднегодовой объем его продаж – 1203500 упаковок; в году 250 рабочих дней. Производственный цикл изготовления очередной партии, независимо от её величины, составляет в среднем 4,5 рабочих дня. Затраты на наладку оборудования для ее изготовления – 237,9 руб.

Требуется рассчитать точку заказа и величину резервного запаса, обеспечивающие бездефицитный отпуск данного товара потребителю с вероятностью 98%.

А. Определить оптимальный размер партии и среднегодовые затраты, обусловленные управлением запасом с фиксированной партией поставки. Рассчитать для этого случая вероятность непереполнения склада.

Б. Определить средний размер партии поставки и среднегодовые затраты, обусловленные управлением запасом комбинированным способом. Рассчитать для этого случая вероятность непереполнения склада, если при заказе очередной партии текущая интенсивность потребления была спрогнозирована на уровне 6000 уп./раб. дн.

Известно, что ежедневный отпуск товара покупателям подчиняется нормальному закону со среднеквадратичным отклонением 320,1 уп./раб. дн., так же как и срок поставки, среднеквадратичное отклонение которого – 1,3 раб. дн.

4. Склад емкостью 17107 ед. хранения обеспечивает сборочную линию комплектующими изделиями. Интенсивность потребления их сборкой – величина случайная, распределенная нормально с параметрами $M_1 = 609$ ед./раб. дн., $\sigma_1 = 423$ ед./раб. дн. Пополнение запаса происходит один раз в месяц, заказ делается за три дня до поставки очередной партии. По расчетам емкость склада гарантирует в 99,5 % случаев бездефицитное снабжение сборки.

Определите вероятность непереполнения склада поступающей партией, если в текущем месяце 20 рабочих дней? Как влияет на эту величину то, что в месяце может быть от 18 до 23 рабочих дней? Предложите наиболее рациональный способ управления запасом на этом складе при переменном ритме поставки.

5. Продолжите анализ ситуации, начатый в примере разделе 3.4, и спрогнозируйте продажи во втором полугодии, используя имеющиеся данные за 2,5 года. Смоделируйте динамику запаса товара на складе при фактических продажах, показанных в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

| Месяц | Количество | Срок по- | Фактические продажи, шт. |
|-------|------------|----------|--------------------------|
|-------|------------|----------|--------------------------|

| | рабочих дней | ставки, мес. | к моменту заказа | всего за месяц |
|----------|-----------------|-----------------|---------------------|-------------------|
| Июль | 21 | 0,71 | 26 | 110 |
| Август | 23 | 0,65 | 27 | 111 |
| Сентябрь | 21 | 0,71 | 28 | 114 |
| Октябрь | 22 | 0,68 | 21 | 89 |
| Ноябрь | 21 | 0,71 | 21 | 80 |
| Декабрь | 20 | 0,75 | 23 | 85 |

Ответы

1. $(n_{\text{пост}})_{\text{орт}} = 1809,0$ т, $H_{\text{тз}} = 1553,9$ т, $H_{\text{рез}} = 53,9$ т, $H_{\text{скл}} = 1907,2$ т.

2. Вероятность простоя – 1,1%, а переполнения склада – 32,9%.

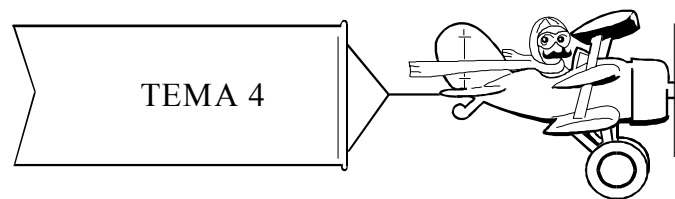
3. $H_{\text{тз}} \approx 34600$ уп., $H_{\text{рез}} \approx 12936$ уп.

А. $(n_{\text{пост}})_{\text{орт}} \approx 39883$ уп., затраты – 14358 руб./год, переполнение склада исключено.

Б. $(n_{\text{тек}})_{\text{ср}} \approx 95063$ уп., затраты – 20123 руб./год, $n_{\text{тек}} = 100400$ уп., $p_c = 19,8\%$.

4. При $R_{\text{пост}} = 20$ раб. дн. $H^*_{\text{скл}} = 19231$ ед., $p_c = 34,3\%$. При изменении ритма поставки вероятность принимает значения $p_c = (94,2; 72,0; 34,3; 8,2; 0,89; 0,05)\%$. Зафиксировать на допустимом уровне $p_c = 72,0\%$ и использовать для расчетов текущих партий поставки $H^*_{\text{скл}} = 18507$ ед. (расчет для 19 раб.дн.) При этом вероятность бездефицитной работы будет меняться так: $p_0 = (99,8; 99,5; 98,7; 97; 93,9; 89,3)\%$, что вполне допустимо.

5. Уравнение прямой, аппроксимирующей сглаженные фактические продажи: $I = 1,214 t + 48,59$; $\sigma_I = 4,521$; $M_I = (107, 108, 94, 91, 91, 87)$ ед.



СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ "ТОЧНО ВОВРЕМЯ"

Теорию управления запасами нельзя рассматривать только в узком смысле, как набор методов, позволяющих оптимизировать уровень запасов на складах. В более широкой трактовке это методы оперативного управления производственным процессом через управление запасами на внутризаводских складах. В полной мере использовал этот подход японский автомобилестроительный концерн *Toyota Motors*. Специалисты концерна на основе теории управления запасами разработали и внедрили в практику систему оперативного управления производством "*Just-in-time*" (JIT) или "Точно вовремя", а также поддер-

живающую ее информационную систему "Канбан" (канбан – карточка). Став составной частью комплексной системы "Toyota" (рис.17) система JIT позволила автосборочному производству добиться поразительных результатов. Так полный оборот оборотных производственных фондов здесь происходит всего за 4 дня, уровень безубыточного снижения объемов производства составляет 64%.

Сегодня система оперативного управления JIT признана во всем мире лучшей для производств массового типа с большим числом модификаций выпускаемой продукции.

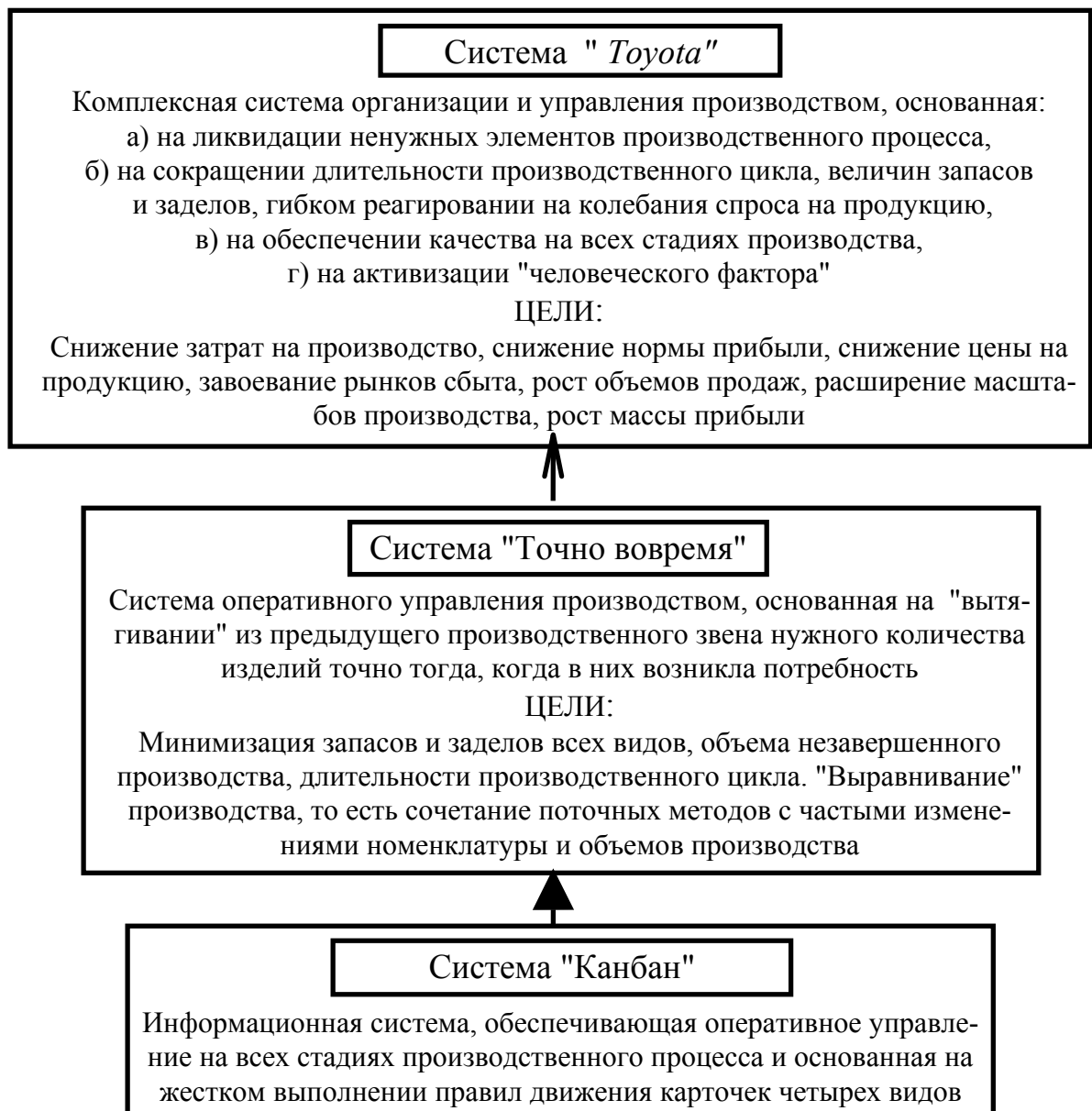


Рис. 17. Содержание, цели и иерархия отношений систем "Toyota", JIT, "Канбан"

Обычно в производственных системах страховые запасы создаются для противодействия часто возникающим возмущающим воздействиям, например, неожиданным увеличениям спроса, поломкам оборудования, увеличению вре-

мени выполнения операций, срывам поставок материалов и сырья и пр. Тем самым обеспечивается "безопасность" процесса, но одновременно нарушается непрерывность потоков, растет длительность производственного цикла. Разработчики системы "Точно вовремя" утверждают, что страховые запасы служат *сокрытию реальных проблем*, в то время как их целью является выявление и устранение этих проблем. Следовательно, впечатление, что уменьшение запасов, характерное для этого подхода, происходит "само по себе", ошибочно. Для работы с низким или нулевым уровнем запасов все проблемы, так часто возникающие на практике, должны быть выявлены и разрешены. Другими словами, эффективное использование системы "Точно вовремя" невозможно без кардинального улучшения организации "производственной среды".

Ключевыми факторами системного окружения "Точно вовремя" являются: рациональная структура и организация производственного процесса; приоритетное отношение к качеству на всех стадиях производства и при осуществлении закупок; партнерство только с надежными поставщиками, перевозчиками, дистрибьюторами; эффективная информационная поддержка; повышенная профессиональная ответственность и высокая трудовая мораль всего персонала и ряд других. Именно на создание соответствующего системного окружения направлен комплекс мер, предусматриваемых системой "Toyota".

Система "Toyota" базируется на следующих принципах:

1. Совершенствование производственной структуры – переход к **предметной специализации производственных звеньев, к созданию поточных линий.**



Предметная специализация предполагает полное изготовление группы однотипных частей изделия с использованием разнообразных процессов и операций на рабочих местах, расположенных по ходу технологического процесса (на поточных линиях).

2. Точное взаимодействие достаточно **автономных производственных звеньев на основе системы горизонтальных связей.**



Автономность обеспечивает действие экономических методов управления.



Прямые *горизонтальные связи* между смежными поточными линиями обеспечивают целостность производственной системы наиболее рациональным способом, поддерживают непрерывность и прямооточность производственного процесса.

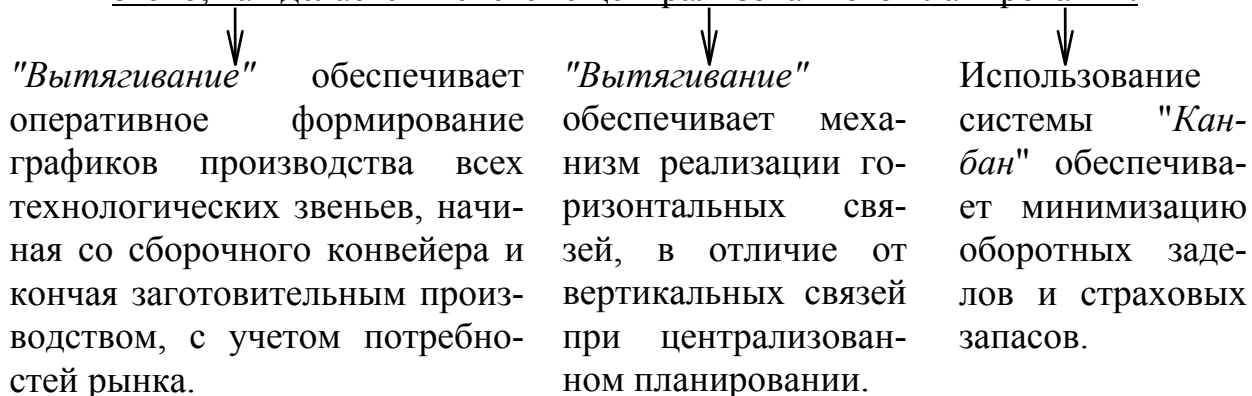
3. Поддержание **непрерывных материальных потоков с целью гибкой перестройки** производства при изменении спроса на продукцию; жесткое обеспечение ритмичности производства при переменном значении ритма.



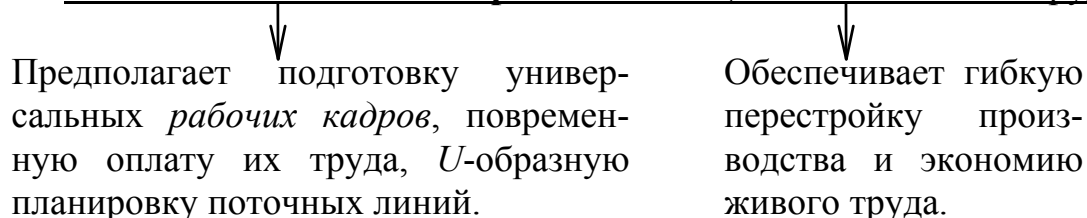
Непрерывность потоков обеспечивает сокращение длительности производственного цикла изделий, величины незавершенного производства, страховых заделов, ускоряет перестройку на изготовление других изделий в рамках освоенной номенклатуры.

Гибкая перестройка производства обеспечивает конкурентоспособность продукции предприятия.

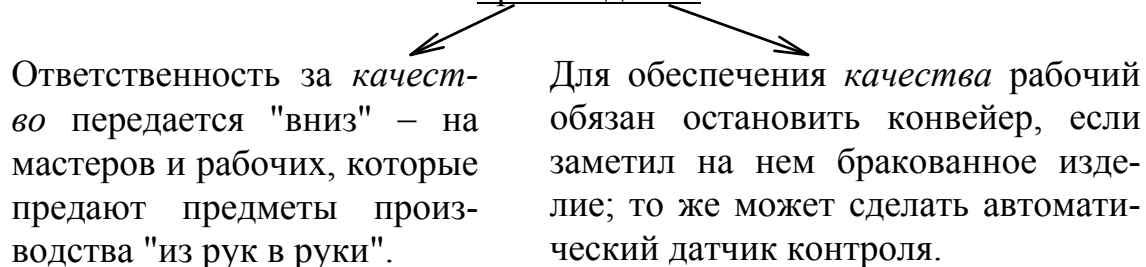
4. **"Вытягивание"** продукции из предыдущего производственного звена с использованием системы **"Канбан"**, а не выталкивание ее в последующее звено, как делается в системе централизованного планирования.



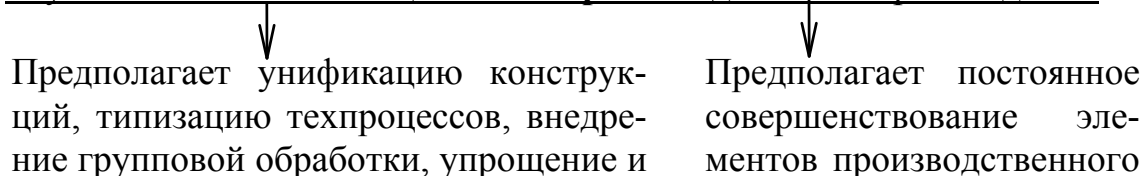
5. Гибкое использование рабочей силы; экономия живого труда:



6. **Качеству** продукции уделяется первостепенное внимание на всех стадиях производства.



7. Глубокая и всеобъемлющая инженерная подготовка производства:



минимизацию времени переналадок процесса прямо в цехах вплоть до обеспечения эффективного вместе с рабочими и мастеров поштучного изготовления деталей. терами.

8. Непрерывное **внедрение творческих новаторских идей** в производство на всех его уровнях: от рабочего до генерального директора.

Решающее значение для обеспечения гибкости производства имеет использование в процессе планирования и управления концепции **"выравнивания"**.

"Выравнивание" производства по спросу – это совокупность методов планирования, основанного на принципе "вытягивания", с помощью которых повторяющееся модульное производство приспособливается к переменному спросу. "Выравнивание" выполняется в два этапа, так как системы "вытягивающего" типа в качестве планового периода для определения величин средних оборотных заделов рассматривают период от месяца до трех, оперативное же планирование и управление в этих системах производится на значительно меньших плановых периодах – вплоть до нескольких часов. Значения ритмов в этих системах переменны и имеют подчиненный нормативному уровню заделов характер.

Таким образом, "вытягивающие" системы ориентированы на работу с изменяющимся в соответствии со спросом ритмом, а планирование такого производства рассматривается, как "выравнивание" всего производственного процесса в соответствии с изменяющимся спросом. Это "выравнивание" осуществляется по объемам и по номенклатуре выпускаемой продукции. Наибольшую сложность представляет выравнивание по объемам производства, которое, соответственно, выполняется также в два этапа.

На первом этапе в ходе среднесрочного планирования проводится приспособление мощности предприятия и его подразделений к изменению месячного (двух-трехмесячного) спроса на протяжении года. Оно достигается с помощью месячного укрупненного планирования производства. В укрупненных планах установлены среднесуточные нормативные уровни выпуска в каждом производственном подразделении, являющиеся основой создания заделов незавершенного производства, определения необходимой численности рабочих и т. д. Расчеты на первой стадии базируются на двух-трех-месячном и месячном прогнозах спроса, выполненных на основании информации, поступающей от сбытовых организаций (рис. 18).



Рис. 18. Схема "выравнивания" объемов производства в системе "Тоёта"

На втором этапе осуществляется приспособабливание к ежедневным изменениям спроса в течение месяца. Здесь основную роль в оперативном управлении производством, реализуя принцип выравнивания производства, как по объему, так и по номенклатуре, играет информационная система "Канбан". Основой оперативного планирования является график сборки различных модификаций изделий на главном сборочном конвейере, построенный на основании ежедневных заказов сбытовых организаций, сделанных за 2-3 дня.

Система обеспечивает ритмичную работу всех остальных производственных подразделений и поставщиков, причем все возникающие изменения происходят за счет перехода к новым значениям ритмов. "Выравнивание" производства на этом этапе затрагивает два показателя: усредненный общий объем производства готовых изделий за день и усредненный объем выпуска каждой от-

дельной модификации изделия. Выравнивание на втором этапе допускается только в пределах $\pm 10\%$ объемов выпуска; на большее производственная система в краткосрочном плане не готова, т. к. не располагает большими производственными мощностями.

Таким образом, суточные производственные графики, отражающие дневную потребность в продажах, составляются только для главного сборочного конвейера. Для других производственных звеньев, таких, как механическая обработка, литье или штамповка, определяются только ориентировочные месячные объемы производства (первый этап выравнивания), которые проверяются на обеспеченность их ресурсами и мощностями. На основании таких заранее вырабатываемых показателей руководители могут наилучшим образом расставить рабочих на будущий месяц и спланировать использование других производственных ресурсов, находящихся в их распоряжении.

При сборке автомобилей на главном конвейере рабочие получают требуемые количества нужных комплектующих изделий, которые изготовлены на предшествующих производственных участках. Эти участки, в свою очередь, изготавливают затем ровно столько продукции, сколько было у них изъято сборкой. Поэтому для любой предшествующей конечной сборке технологической стадии не нужно составлять заранее свой суточный производственный график. Другими словами, система "выравнивания", использующая информационную систему "Канбан", функционирует таким образом, что производственные заказы движутся с конца производственного процесса от последующей технологической стадии к предыдущей. Сами карточки "Канбан" с имеющейся на них полной информацией о предмете производства могут использоваться на участках как элементы сменно-суточного задания системы оперативного планирования производства.

Таким образом "Канбан" – это информационная система, обеспечивающая оперативное управление на всех стадиях производственного процесса. "Канбан" реализует механизм "вытягивания" продукции из предыдущего производственного звена на основе системы горизонтальных связей. Средством передачи информации в технологической цепи служат специальные карточки на бумажных, пластиковых, прикрепляемых к контейнеру, цифровых или иных носителях информации. Общее число карточек, находящихся в обороте, призвано точно и адекватно отражать объем незавершенного производства. Действительно, так как межлинейное транспортирование и хранение на складах предметов производства разрешено только в стандартных контейнерах, а на каждый контейнер приходится по одной карточке каждого вида, то количества контейнеров и карточек каждого вида равны.

Виды используемых карточек показаны на рис.19. Реализация механизма прямых горизонтальных связей между смежными участками или поточными линиями в системе *ЛП* показана на рис. 20.



Рис. 19. Виды карточек КАНБАН

Реквизиты карточек КАНБАН (внутренних карточек отбора и карточек заказа)

1. Обозначение типоразмера детали или сборочной единицы.
 2. Номер предыдущего участка или линии.
 3. Номер последующего участка или линии (этот реквизит у карточек заказа отсутствует).
 4. Тип и вместимость тары в потоке деталей (сборочных единиц) данного типоразмера.
 5. Номер склада, где хранятся данные детали или сборочные единицы.
 6. Номера и расположение стеллажа и позиций для хранения.
 7. Номер карточки.
 8. Общее количество карточек в обороте.
- Сигнальные карточки имеют дополнительные реквизиты:
9. Точка заказа,
 10. Партия поставки.

Сигнальные карточки имеют треугольную форму и навешиваются на контейнер с мелкими деталями широкого использования (то есть унифицированными деталями) на уровне точки заказа.

Карточки поставщика содержат дополнительные реквизиты, указывающие на способ и периодичность доставки комплектующих изделий от фирм-производителей на автосборочный завод. На фирме *Toyota Motors* для внешних поставщиков обычно принят интервал доставки равный четырем часам. Внутри автосборочного завода дискрета планирования составляет два часа.

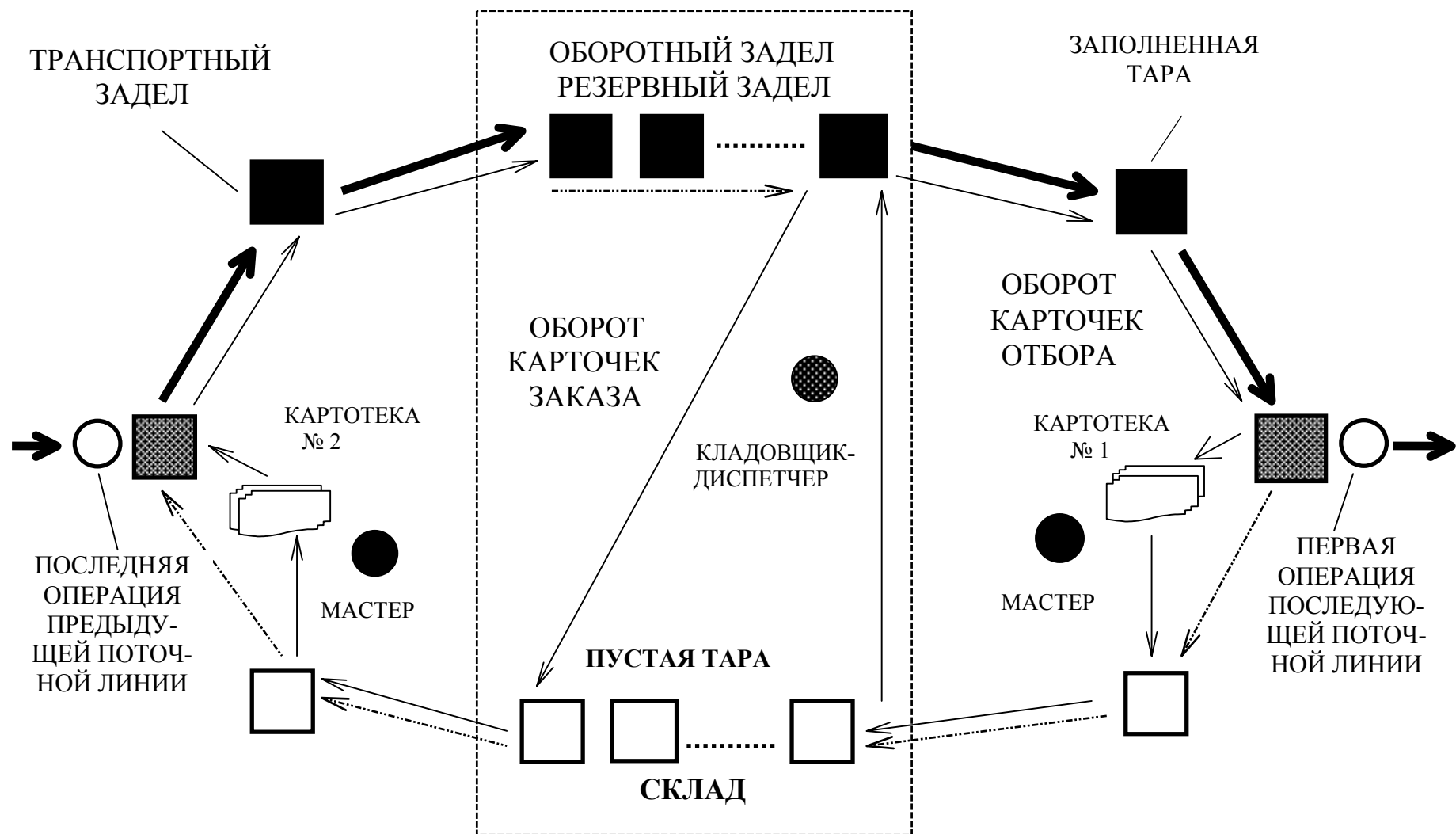


Рис.20. Схема движения материального потока изделий №**** и оборота сопровождающих их карточек КАНБАН в системе ЛПТ

Правила движения карточек КАНБАН

1. Любое перемещение изделий без карточек запрещено.
2. Для перемещения используются только стандартные контейнеры фиксированной емкости.
3. Бракованная продукция не должна поступать на следующую операцию (находиться в контейнере).
4. На каждый контейнер приходится только одна карточка заказа и одна карточка отбора.
5. Любой отбор, превышающий указанное в карточке количество, запрещен.
6. Производство в больших количествах, чем указано в карточке, запрещено.
7. Число карточек, находящихся в обороте, должно быть минимально.
8. Различные типоразмеры деталей или сборок производятся в последовательности, заданной порядком поступления на участок карточек заказа.

Приведенная на рис. 20 схема движения материальных потоков показывают как бы одну "плоскость" процесса, обеспечивающую "вытягивание" и производство одного типоразмера деталей или сборок. Гибкость системы, то есть быстрый переход в другую "плоскость" или к другому типоразмеру, поддерживается картотекой № 1. А именно: когда контейнер с заготовками для последующей линии оказывается порожним, в картотеке выбирается карточка отбора со склада заготовок того типоразмера, который сейчас заказан этой линии следующим за ней производственным подразделением (например, сборочным конвейером). Карточка, прикрепленная на пустой контейнер, передается на склад, где диспетчер по реквизитам, содержащимся в ней, быстро находит заполненный нужными заготовками контейнер и, прикрепив к нему эту карточку, отправляет контейнер на последующую линию. Одновременно с этим он снимает с найденного контейнера карточку заказа и с соответствующим ей пустым контейнером пересылает ее на указанный в карточке участок-изготовитель. Там, если участок занят, карточка становится в очередь в картотеке № 2. После изготовления партии данного типоразмера, когда подходит ее очередь, заполненный контейнер с карточкой заказа отправляется на склад, где пополняет уменьшившийся запас.

Величины оборотных и резервных заделов на складах по каждому типоразмеру рассчитываются методами теории управления запасами. Контроль за ними, в том числе с целью минимизации, обеспечивается путем контроля за числом карточек, находящихся в обороте. Пути минимизации показаны на рис. 21.

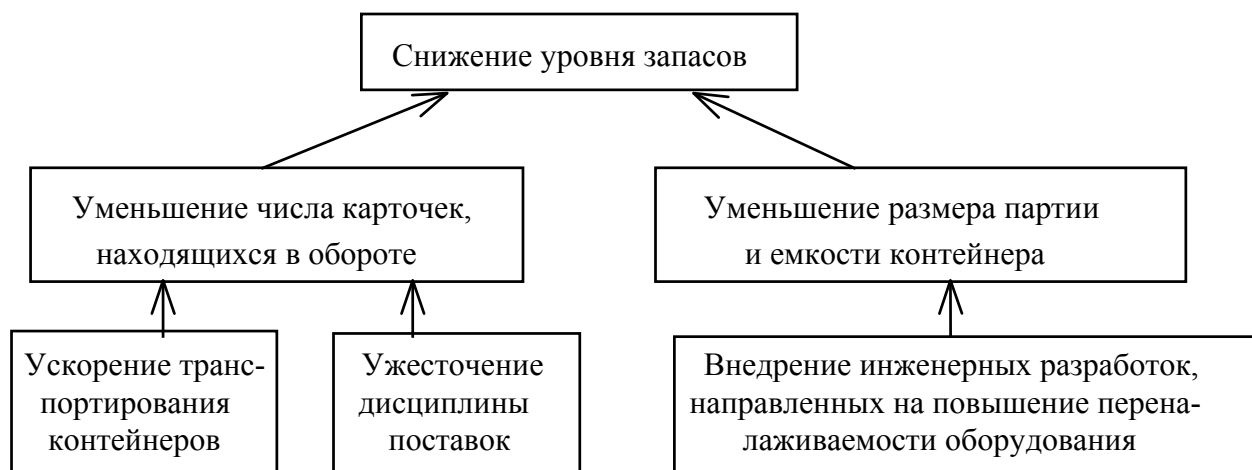


Рис. 21. Пути минимизации запасов и заделов в системе *ЛТ*

При возникновении дефицита на складе в оборот запускаются срочные карточки с одной красной полосой, проходящие картотеку № 2 вне очереди, или аварийные с двумя красными полосами, требующие снятия с линии очередной партии и запуска аварийной партии.

Как уже отмечалось, система "Точно вовремя" имеет существенный недостаток: при колебаниях спроса выше $\pm 10\%$ укрупненного плана система начинает давать сбои. Для компенсации колебаний спроса приходится использовать страховые запасы, что противоречит самой идеологии *ЛТ* и снижает эффективность ее применения. Поэтому сегодня широко практикуется совместное использование системы "Канбан" с современными информационными системами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаджинский А. М. Логистика: Учебник для высших и средних специальных учебных заведений. М.: ИВЦ "Маркетинг", 1999.
2. Гаджинский А. М. Основы логистики. М.: ИВЦ "Маркетинг", 1996.
3. Линдерс М. Р., Фирон Х. Е. Управление снабжением и запасами. Логистика. СПб.: ООО "Изд-во Полигон", 1999.
4. Логистика: Учеб. пособие/Под ред. Б. А. Аникина. М.: ИНФРА-М, 1997.
5. Монден Я. "Тоета": Методы эффективного управления/Сокр. пер. с англ. М.: Экономика, 1989. 288с.
6. Неруш Ю. М. Коммерческая логистика: Учебник для вузов. М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997.
7. Новиков О. А., Уваров С. А. Логистика: Учебное пособие. СПб.: "Изд. дом "Бизнес-пресса", 1999.
8. Производственный менеджмент: Учебник/Под ред. В.А. Козловского. М.: ИНФРА-М, 2003.
9. Родников А. Н. Логистика: Терминологический словарь. М.: Экономика, 1995.
10. Семенов А. И. Предпринимательская логистика. СПб.: Политехника, 1997.
11. Сергеев В. И. Логистика в бизнесе: Учебник. М.: ИНФРА-М, 2001.
12. Сергеев В. И. Менеджмент в бизнес-логистике. М.: Информационно-издательский дом "Филинь", 1997.
13. Сидоров И. И. Логистическая концепция управления предприятием. СПб. 2001.
14. Смехов А. А. Введение в логистику. М.: Транспорт, 1993.
15. Стивенсон В. Д. Управление производством. М.: ООО "Издательство "Лаборатория базовых знаний", ЗАО "Издательство БИНОМ", 1998.
16. Чейз Р. Б., Эквилайн Н. Д., Якобс Р. Ф. Производственный и операционный менеджмент. М.: Изд. дом "Вильямс", 2001.
17. Шонбергер Р. Японские методы управления производством. М.: Экономика, 1988. 251с.

Таблица значений функции накопленной вероятности
для нормального закона распределения случайной величины

| X | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,0 | 0,0000 | 00399 | 00798 | 01197 | 01595 | 01994 | 02392 | 02790 | 03188 | 03586 |
| 0,1 | 03983 | 04380 | 04776 | 05172 | 05567 | 05962 | 06356 | 06749 | 07142 | 07535 |
| 0,2 | 07926 | 08317 | 08706 | 09095 | 09483 | 09871 | 10257 | 10642 | 11026 | 11409 |
| 0,3 | 11791 | 12172 | 12552 | 12930 | 13307 | 13683 | 14058 | 14431 | 14803 | 15173 |
| 0,4 | 15542 | 15910 | 16276 | 16640 | 17003 | 17364 | 17724 | 18082 | 18439 | 18793 |
| 0,5 | 19146 | 19497 | 19847 | 20194 | 20540 | 20884 | 21226 | 21566 | 21904 | 22240 |
| 0,6 | 22575 | 22907 | 23237 | 23565 | 23891 | 24215 | 24537 | 24857 | 25175 | 25490 |
| 0,7 | 25804 | 26115 | 26424 | 26730 | 27035 | 27337 | 27637 | 27935 | 28230 | 28524 |
| 0,8 | 28814 | 29103 | 29389 | 29673 | 29955 | 30234 | 30511 | 30785 | 31057 | 31327 |
| 0,9 | 31594 | 31859 | 32121 | 32381 | 32639 | 32894 | 33147 | 33398 | 33646 | 33891 |
| 1,0 | 34134 | 34375 | 34614 | 34850 | 35083 | 35314 | 35543 | 35769 | 35993 | 36214 |
| 1,1 | 36433 | 36650 | 36864 | 37076 | 37286 | 37493 | 37698 | 37900 | 38100 | 38298 |
| 1,2 | 38493 | 38686 | 38877 | 39065 | 39251 | 39435 | 39617 | 39796 | 39973 | 40147 |
| 1,3 | 40320 | 40490 | 40658 | 40824 | 40988 | 41149 | 41309 | 41466 | 41621 | 41774 |
| 1,4 | 41924 | 42073 | 42220 | 42364 | 42507 | 42647 | 42786 | 42922 | 43056 | 43189 |
| 1,5 | 43319 | 43448 | 43574 | 43699 | 43822 | 43943 | 44062 | 44179 | 44295 | 44408 |
| 1,6 | 44520 | 44630 | 44738 | 44845 | 44950 | 45053 | 45154 | 45254 | 45352 | 45449 |
| 1,7 | 45543 | 45637 | 45728 | 45818 | 45907 | 45994 | 46080 | 46164 | 46246 | 46327 |
| 1,8 | 46407 | 46485 | 46562 | 46638 | 46712 | 46784 | 46856 | 46926 | 46995 | 47062 |
| 1,9 | 47128 | 47193 | 47257 | 47320 | 47381 | 47441 | 47500 | 47558 | 47615 | 47670 |
| 2,0 | 47725 | 47778 | 47831 | 47882 | 47932 | 47982 | 48030 | 48077 | 48124 | 48169 |
| 2,1 | 48214 | 48257 | 48300 | 48341 | 48382 | 48422 | 48461 | 48500 | 48537 | 48574 |
| 2,2 | 48610 | 48645 | 48679 | 48713 | 48745 | 48778 | 48809 | 48840 | 48870 | 48899 |
| 2,3 | 48928 | 48956 | 48983 | 49010 | 49036 | 49061 | 49086 | 49111 | 49134 | 49158 |
| 2,4 | 49180 | 49202 | 49224 | 49245 | 49266 | 49286 | 49305 | 49324 | 49343 | 49361 |
| 2,5 | 49379 | 49396 | 49413 | 49430 | 49446 | 49461 | 49477 | 49492 | 49506 | 49520 |
| 2,6 | 49534 | 49547 | 49560 | 49573 | 49585 | 49598 | 49609 | 49621 | 49632 | 49643 |
| 2,7 | 49653 | 49664 | 49674 | 49683 | 49693 | 49702 | 49711 | 49720 | 49728 | 49736 |
| 2,8 | 49744 | 49752 | 49760 | 49767 | 49774 | 49781 | 49788 | 49795 | 49801 | 49807 |
| 2,9 | 49813 | 49819 | 49825 | 49831 | 49836 | 49841 | 49846 | 49851 | 49856 | 49861 |
| 3,0 | 0,49865 | 3,1 | 49903 | 3,2 | 49931 | 3,3 | 49952 | 3,4 | 49966 | |
| 3,5 | 49977 | 3,6 | 49984 | 3,7 | 49989 | 3,8 | 49993 | 3,9 | 49995 | |

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Предисловие..... | 3 |
| Вместо введения. О роли запасов в управлении производством и связи между менеджментом и логистикой..... | 4 |
| Тема 1. Идеальная модель управления запасами и ее модификации..... | 11 |
| 1.1. Постановка задачи..... | 11 |
| 1.2. Модификации идеальной модели..... | 14 |
| 1.3. Классификация реальных моделей..... | 16 |
| Тема 2. Детерминированные модели управления запасами..... | 18 |
| 2.1. Модель управления с фиксированной партией поставки..... | 18 |
| 2.2. Модель управления с фиксированным ритмом поставки..... | 21 |
| 2.3. Комбинированный способ управления запасом..... | 25 |
| Тема 3. Стохастические модели управления запасами..... | 30 |
| 3.1. Особенности стохастических моделей..... | 30 |
| 3.2. Управление запасом с фиксированной партией поставки..... | 30 |
| 3.3. Управление запасом с фиксированным ритмом поставки..... | 34 |
| 3.4. Корректировка параметров управления запасом на основе прогноза параметров его расходования..... | 37 |
| 3.5. Комбинированный способ управления запасом..... | 43 |
| Тема 4. Система управления “Точно вовремя”..... | 46 |
| Список литературы..... | 57 |
| Приложение..... | 58 |

МАКАРОВ Василий Михайлович

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МЕНЕДЖМЕНТА
И ЛОГИСТИКИ**

Управление запасами

Практикум

2-е издание

Оригинал-макет подготовлен автором

Редактор *А.В. Явственная*

Директор Издательства СПбГПУ *А.В. Иванов*

Лицензия ЛР № 020593 от 07.08.97.

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 953005 – учебная литература

Подписано в печать . Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. .

Тираж 100. Заказ .

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет.

Издательство СПбГТУ, член Издательско-полиграфической
ассоциации вузов Санкт-Петербурга.

Адрес университета и издательства:

195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29.

Отпечатано на ризографе RN-2000 FP.

Поставщик оборудования – фирма "Р-ПРИНТ".

Телефон: (812) 110-65-09.

Факс: (812) 315-23-04.