

А. С. Кузнецова

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ В СОВРЕМЕННЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Постоянное повышение эффективности функционирования — необходимое условие выживания фирмы в современной конкурентной среде. Одним из традиционных путей является снижение издержек на всех этапах логистической цепочки, начиная с поставок и заканчивая доставкой продукции до конечного потребителя. Несомненно, весомая часть затрат относится к организации и функционированию системы складирования. В связи с этим многие фирмы, в частности в сфере торговли, обращают внимание на возможные пути снижения издержек именно в этой области.

Одной из современных концепций, обещающих ряд конкурентных преимуществ, а самое главное — снижение затрат в области цепочек поставок, является кросс-докинг (cross-docking), в русском варианте получивший перевод «сквозное складирование».

Кросс-докинг представляет собой систему управления складом, в которой товары, поставляемые от производителей «прибывающими» машинами, разгружаются, обрабатываются, затем группируются на основе заявок потребителей и отгружаются на «отбывающие» машины, доставляющие их до конечного потребителя [1, с. 94; 2, с. 377; 3, с. 210; 4, с. 359; 5, с. 177; 6, с. 80].

Кросс-докинг рассматривается как один из разделов теории управления цепью поставок (SCM, Supply Chain Management) [1, 5, 13] или теории управления складом (Warehouse Management Concept) [6].

Иногда вместо названия «склад» используют термины «распределительный центр», «логистический центр», «транзитный центр», тем самым подчеркивая, что с товаром производят дополнительный набор операций (например, переупаковку, сортировку, маркировку, комплектование) помимо непосредственно складирования [1, с. 96; 7–9].

Простейшая схема кросс-докинг центра представлена на рис. 1.

Кросс-докинг не является системой складирования в полной мере, так как одна из функций склада, а именно создание запасов, не реализуется полностью. Поступающий товар хранится лишь в течение того времени, пока он разгружается, обрабатывается и загружается вновь. Это время обычно составляет менее 24 часов [2, с. 377; 3, с. 210].

Очевидно, что исключение продолжительного хранения в цепочке поставок определяет основные преимущества рассматриваемой системы [3, с. 211; 5, с. 177], например такие:

- снижение времени доставки товара от производителя до конечного потребителя;
- снижение затрат на аренду и обслуживание склада;

Анна Сергеевна КУЗНЕЦОВА — канд. экон. наук, старший преподаватель кафедры экономической кибернетики Экономического факультета СПбГУ. В 2003 г. окончила Экономический факультет СПбГУ. Сфера научных интересов — логистика, управление запасами. Автор нескольких публикаций.

© А. С. Кузнецова, 2011

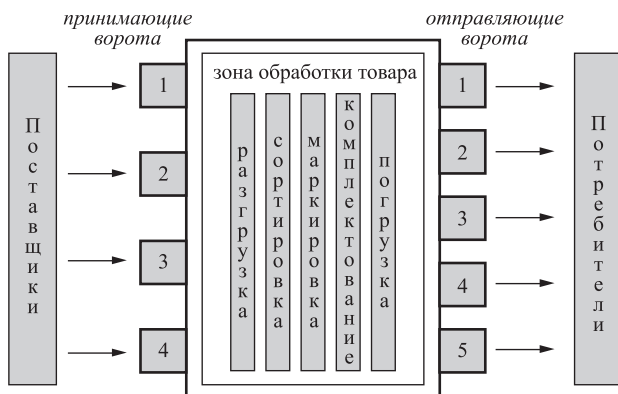


Рис. 1. Простейшая схема кросс-докинг центра.

- сокращение времени обработки крупнотоннажных машин (погрузка/разгрузка) за счет исключения дублирующих погрузочно-разгрузочных и прочих работ;
- исключение потерь, связанных с порчей, хищениями и естественной убылью товара;
- отсутствие необоснованных объемов необорачиваемого товара;
- сокращение объема возвратов за счет отсутствия пересортицы и уменьшения ошибок при комплектовании заказов;
- сокращение количества работников склада и повышение производительности труда;
- повышение качества обслуживания потребителей за счет автоматизации;
- расширение спектра дополнительных сервисных функций.

Применение системы кросс-докинг наиболее эффективно для компаний, которые оперируют большими объемами товаров или обслуживают большое количество магазинов. Сфера сетевой торговли является простейшим примером, в которую подобная организационная схема укладывается наиболее гармонично. Считается, что, для того чтобы обеспечить экономическую эффективность, центр площадью 10 тыс. кв. м должен обслуживать не менее 80 магазинов. Разумеется, данный показатель имеет исключительно приближенный, оценочный характер и существенно зависит от специфики конкретной отрасли. Например, максимальное число розничных магазинов наблюдается в сфере торговли готовой одеждой.

В России опыт работы с распределительными центрами накоплен у немногих компаний. Приведем несколько примеров.

Компания «X5 Retail Group», владеющая сетью магазинов шаговой доступности «Пятерочка», «Перекресток» и «Карусель», имеет свой распределительный центр в Московской области. По словам одного из ее руководителей, кросс-докинг центр обеспечивает эффективный контроль наличия товара на полках, а также оптимизирует складские запасы продукции. Это позволяет компании расширять ассортимент непродовольственных товаров, что особенно актуально для гипермаркетов «Карусель», где их доля в ассортименте составляет 30–40% [7].

У сети гипермаркетов «Лента» есть также распределительный центр в Московской области. Данный склад компанией «Лента» взят в аренду, управляет им компания «ItellaNLC» («Национальная логистическая компания»). Общая площадь склада

составляет 17 тыс. кв. м, емкость — 38 тыс. паллет. Основным преимуществом использования распределительного центра в компании является сокращение затрат на транспортировку товаров [8].

Заместитель гендиректора сети гипермаркетов «Мосмарт» отметил, что деятельность по системе кросс-докинг способствует увеличению эффективности работы между поставщиками и магазинами за счет объединения нескольких небольших партий товаров в одну с ее последующей единовременной доставкой, что, в свою очередь, уменьшает затраты на логистику. Он назвал такие плюсы схемы кросс-докинг, как минимальный уровень погрузочного оборудования, затрат на погрузочно-разгрузочные работы и складской площади хранения, а также сокращение запасов в магазинах, улучшение ротации товаров и уменьшение издержек на персонал в магазинах [9].

Организация распределительного центра, по данным одной из компаний, позволила снизить логистические издержки до 3,7% от суммы перевезенного товара, из них 2,55% — это транспортировка от распределительного центра до торгового объекта, 0,7% — складская обработка и 0,45% — содержание минимальной группы рабочего персонала и прочие сопутствующие расходы [9].

Как видно из приведенных выше примеров, формирование эффективной цепочки поставок является значимым фактором успешного функционирования крупных сетевых компаний. Опыт ведущих компаний, внедривших систему кросс-докинг, свидетельствует о ее перспективности в области как формирования конкурентных преимуществ по скорости и качества работы, так и снижения затрат.

Несомненно, чтобы описанные выше достоинства кросс-докинга были достижимы, механизм системы должен работать очень четко и слаженно. Своевременность поставок, четкость в формировании заказов — это, с одной стороны, залог успеха, с другой — «слабые звенья» системы [3, с. 211]. Так, по некоторым данным, исполнительность поставщиков в Москве в среднем составляет более 90% от заказанного товара, а в регионах — чуть больше 70%. Иначе говоря, до 30% ассортимента магазина не оказывается вовремя на полках [9]. Немалую долю в этом играет так называемый человеческий фактор — незнание и неисполнение работниками своих должностных обязанностей. Неразвитость транспортной инфраструктуры также приводит к выпадению того или иного звена из стройной цепочки поставок. Перечисленные факторы тормозят ввод кросс-докинг центров в России.

Кросс-докинг центр может быть как собственным, так и арендованным у фирмы — поставщика логистических услуг. Независимо от этого в процессе функционирования распределительного центра существует множество вопросов, связанных с исследованием наиболее эффективных путей организации его работы, решение которых предполагает поиск следующих параметров [2, 3, 10, 11]:

- оптимальной формы кросс-докинг центра (I , H , L , T -образная);
- оптимального количества принимающих/отправляющих доков;
- принципов распределения входящих/уходящих машин по докам;
- оптимальных маршрутов движения товара внутри склада;
- оптимальных моментов прихода и объемов поставок.

Остановимся более подробно на вопросах, связанных с определением оптимального графика поставок товаров в распределительный центр с целью своевременного выполнения заявок клиентов при суммарных минимальных затратах, возникающих в логистической цепочке. Рассмотрим возможности применения экономико-математических моделей управления запасами при постановке и решении задач нахождения оптимального графика поставок. Под запасом будем понимать объем товара, находящегося в про-

цессе обработки в зоне распределительного центра. «Естественным» условием повышения эффективности функционирования системы кросс-докинга является снижение степени неопределенности спроса (в идеале — приближение спроса к детерминированному).

В общем виде при нерегулярной организации поставок динамику изменения запаса товара можно представить следующим образом (рис. 2).

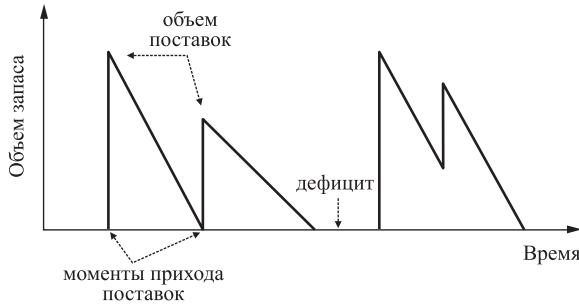


Рис. 2. Динамика изменения запаса на складе.

На рис. 2 пики графиков соответствуют моментам прихода поставок, наклонные линии — процессу расходования запасов, поступивших в рамках поставок. В первую очередь рис. 2 отражает неравномерность максимально достигаемых объемов и сроков прихода поставок, также могут существовать периоды отсутствия запаса (дефицита) на складе.

Для успешной работы системы кросс-докинга неравномерная организация поставок нецелесообразна по нескольким причинам. Во-первых, объем поставок определяется заявками потребителей и возможностью системы по обработке максимально возможного объема товаров, которые одновременно могут находиться в распределительном центре. Во-вторых, наличие дефицита будет означать невыполнение заявок ряда клиентов и срыв цепочки поставок, что противоречит самой концепции кросс-докинга.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что, учитывая предположения о характере спроса на товар и недопустимости дефицита, поставки в системе кросс-докинг должны быть равномерными, как это представлено на рис. 3.

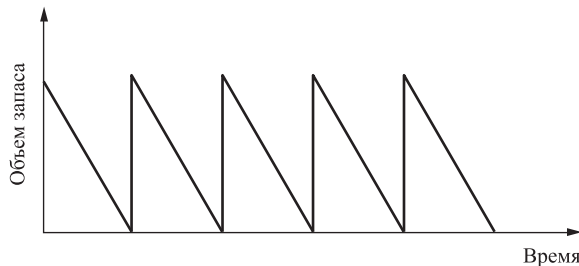


Рис. 3. Равномерный график поставок и потребления.

Далее возникает вопрос о том, а как часто и в каком объеме должны осуществляться поставки каждого вида товара. Возможны различные варианты [12, с. 218; 13, с. 239]. На рис. 4 представлена динамика изменения запаса при поставках товара редко и большими партиями (а), часто и малыми объемами (б).

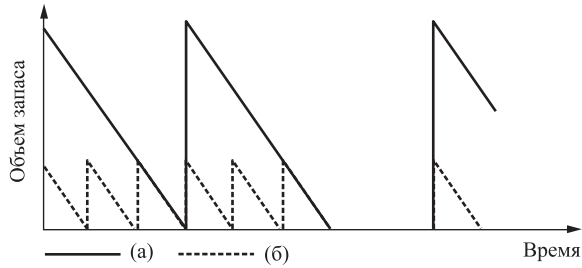


Рис. 4. Динамика запаса при различных вариантах поставок.

Политику эффективного управления поставками можно определить на основе применения математических моделей управления запасами. Круг их достаточно широк, традиционно выделяют детерминированные, стохастические, однопродуктовые, многопродуктовые, односкладовые, многоскладовые, однофазные, многофазные модели. Остановимся на иллюстрации возможного применения детерминированных моделей со стационарным спросом.

Наибольшую известность и распространение получила модель оптимального размера заказа *EOQ* (economic order quantity) [12, с. 220; 13, с. 244; 14, с. 15; 15, с. 23].

Предпосылки модели заключаются в следующем:

- спрос на продукт за год известен и составляет величину λ , равномерно распределенную в течение года;
- издержки, которые фирма несет при организации заказа, известны и составляют величину K в расчете на заказ;
- известна плата за хранение единицы продукции за год — h ;
- используются обозначения: L — количество поставок товара за год, Q_l — объем l -й поставки, C — стоимость единицы товара;
- плановый период составляет год;
- товар поставляется от одного поставщика на один склад.

Целевая функция

Модель *EOQ* позволяет определить наилучшую политику поставок товара путем минимизации общих издержек:

$$I = \sum_{l=1}^L f(Q_l) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$f(Q_l) = K + C \cdot Q_l + h \cdot \frac{1}{2} \cdot Q_l \cdot \frac{Q_l}{\lambda},$$

где $K + C \cdot Q_l$ — плата за поставку, $h \frac{Q_l^2}{2\lambda}$ — издержки хранения при ограничении $\sum_{l=1}^L Q_l = \lambda$.

Функция $f(Q_l)$ — выпуклая и минимум формулы (1) достигается при условии равенства всех $Q_l = Q$. Учитывая, что спрос λ предъявляется равномерно, получаем, что оптимальная стратегия в данной модели — политика одинаковых поставок через одинаковые периоды времени.

Произведя ряд математических операций, получим, что минимум суммарных издержек формулы (1) достигается при объемах партий товара, составляющих величину

$$Q = \sqrt{\frac{2K\lambda}{h}}. \quad (2)$$

В соответствии с формулой (2) период между поставками можно вычислить как

$$\tau = \frac{Q}{\lambda} = \sqrt{\frac{2K}{\lambda h}}. \quad (3)$$

С целью иллюстрации «работоспособности» модели предположим, что служба закупки некоторой крупной торговой компании имеет следующие данные. Спрос на один из видов товара является постоянным и составляет 50 единиц в день. При этом издержки, связанные с поставкой и обработкой одного заказа, равняются 2000 рублей, затраты на обработку одной единицы в год — 84,5 рублей. Будем считать, что в году 365 дней, поставка осуществляется мгновенно и в полном объеме.

Экономичный объем заказа, рассчитанный по формуле (3), составляет 930 ед., период между поставками равен 0,0509 года (т. е. 18,6 дня). Это означает, что при сделанных предположениях (и без учета целочисленности) оптимальная политика заключается в том, что каждые 18,6 дня в кросс-докинг центр должна приходиться поставка объемом 930 ед., что обеспечит минимум годовых затрат в объеме 78 535 рублей.

В контексте приведенного примера интересно проиллюстрировать ряд полезных выводов относительно устойчивости получаемого решения. На практике предсказать точно объем спроса не всегда представляется возможным, а также существует вероятность изменения как стоимости заказа, так и стоимости обработки единицы товара. Исследуя формулу (2), можно заметить, что при изменении входного параметра (например, K) на некоторый уровень $\pm\alpha$ результирующее значение изменится не пропорционально $\pm\alpha$, а пропорционально $\sqrt{1 \pm \alpha}$:

$$Q = \sqrt{\frac{2(K + \alpha K) \cdot \lambda}{h}} = \sqrt{1 + \alpha} \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot \lambda}{h}},$$

что существенно снижает последствия возможных ошибок прогнозирования.

В табл. 1 представлены результаты расчетов, когда входные данные изменяются в диапазоне $\pm 10\%$ относительно первоначальных.

Таблица 1

**Расчет оптимальных параметров модели
в различных условиях**

Входные параметры			Расчетные параметры			
K	λ	h	I	Q	$l = \lambda/Q$	τ
1800	18 250	84,5	74 505	882	20,7	17,6
2000	18 250	76,0	74 505	980	18,6	19,6
2000	16 425	84,5	74 505	882	18,6	19,6
2000	18 250	84,5	78 535	930	19,6	18,6
2000	20 075	84,5	82 369	975	20,6	17,7
2200	18 250	84,5	82 369	975	18,7	19,5
2000	18 250	92,9	82 369	886	20,6	17,7

На базе модели EOQ рассмотрим класс многопродуктовых моделей управления запасами. Они предполагают возможность управления сразу несколькими товарами

совместно. Внедрение их в систему кросс-докинг целесообразно по нескольким причинам. Во-первых, многономенклатурность является одной из характерных черт данной системы. Во-вторых, от одного поставщика, как правило, доставляется несколько видов продукции; суммарные издержки при совместной доставке заказов будут ощутимо ниже, чем при раздельной. Этот класс моделей позволяет учитывать и емкость распределительного центра, предназначенного для совместного хранения многих продуктов, а также возможности поставщиков по производству различных видов продукции.

Если предположить, что при сохранении предпосылок вышеуказанной модели возникает возможность поставки нескольких n видов продуктов от одного поставщика, то имеет смысл рассматривать заказ сразу нескольких товаров совместно, так как в этом случае издержки по транспортировке и организации будут меньше, чем если заказывать и доставлять их раздельно. Введем следующие обозначения:

- λ_i – спрос на продукт i -го вида за год, $i = 1, 2, \dots, n$;
- h_i – плата за хранение единицы продукции i -го вида за год;
- T – плановый период.

Средние издержки в единицу времени в случае одновременной поставки n видов продуктов [14, с. 64] будут составлять величину

$$J = \frac{K_0(1 + \gamma(n - 1))}{T} + \sum_{i=1}^n \frac{h_i \lambda_i}{2} \cdot T, \quad (4)$$

где $K(n) = K_0(1 + \gamma(n - 1))$ – функция, отражающая эффект экономии при заказе одновременно n видов продукции; γ – коэффициент, который показывает, имеет ли место эффект объединения заказов. Если эффект объединения заказов имеет место, то $\gamma < 1$; T – длительность цикла пополнения запаса.

Минимум средних издержек будет достигаться при установлении единого цикла пополнения запаса для n видов продукции. Расчет производится по формуле

$$T = \sqrt{\frac{2K_0(1 - \gamma + \gamma n)}{\sum_{i=1}^n h_i \lambda_i}}. \quad (5)$$

Качественное различие раздельного и совместного планирования заказов можно показать на следующем примере. Предположим, имеются два продукта, для которых известны K , λ , h . Тогда в соответствии с моделью EOQ минимум суммарных издержек будет составлять 153 041. Расчеты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Расчет оптимальных параметров модели без учета объединения поставок

Входные параметры			Расчетные параметры			
K	λ	h	$I = K \cdot l + \frac{1}{2} h \cdot Q$	Q	l	τ
2000	16 425	84,5	74 505,5	882	18,6	0,0537
2000	18 250	84,5	78 535,5	930	19,6	0,0509
Сумма			153 041			

Если предположить, что при заказе двух продуктов одновременно фирма имеет экономию на издержках заказа и коэффициент $\gamma = 0,7$, то в соответствии с формулой

(5) длительность единого цикла пополнения будет составлять 0,0482 года (17,58 дня) и минимальные суммарные издержки по формуле (4) равняются 141 153. Экономия на объединении поставок, таким образом, составит 11 888. Сводные результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Расчет оптимальных параметров модели с учетом объединения поставок

Входные параметры			Расчетные параметры			
K	λ	h	$I = K \cdot l + \frac{1}{2}h \cdot Q$	Q	l	τ
1 700	16 425	84,5	68 719	791	20,8	0,0482
1 700	18 250	84,5	72 434	879	20,8	0,0482
Сумма			141 153			

Как отмечается в работе [14, с. 65], при существенно различных спросах на продукты (параметры λ_i в рассмотренных выше моделях) выигрыш от объединения нескольких товаров в одну поставку может быть невелик. Это связано с тем, что при объединении устанавливается одинаковая длительность цикла T пополнения для всех объединенных товаров, которая отличается от «индивидуальной оптимальной», рассчитанной по формуле (3). Это может привести к превышению издержек над выгодой, получаемой от объединения поставок.

Если учесть, что в системе кросс-докинг товар не находится дольше 24 часов, то издержки хранения не будут определяющими в выборе политики управления поставками. Гораздо более актуальным является вопрос о том, а справится ли система обслуживания с предполагаемым многономенклатурным объемом товаров, ведь емкость склада ограничена? Рассмотрим еще один возможный подход (см.: [14, с. 66]).

Предположим, что:

- емкость склада ограничена величиной A ;
- объединение поставок невозможно;
- издержки хранения малы и не учитываются;
- плата за организацию поставки составляет величину K ;
- $Q_i = \lambda_i \cdot T$ — объем поставки продукта i -го вида;
- спрос на продукт i -го вида за год известен и составляет величину λ_i , равномерно распределенную в течение года, $i = 1, 2, \dots, n$.

Тогда целью управления системой хранения запасов является минимизация средних издержек в единицу времени:

$$J = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n K_i \rightarrow \min. \quad (6)$$

Задача минимизации формулы (6) сводится к задаче максимизации длительности цикла T при условии ограничения на объем склада в размере A .

Произведя ряд математических операций, можно показать, что оптимум достигается при условии, когда после поступления каждой очередной поставки суммарный запас достигает предельного уровня A , или, другими словами, каждая очередная поставка покрывает убыль уровня суммарного запаса на предыдущем промежутке времени.

Это возможно, когда длительность цикла пополнения запаса, единого для n видов продукции [14, с. 69], определяется по формуле

$$T_{\text{opt}} = \frac{A}{\lambda_{\Sigma} - \left(\sum_{i \neq j} \lambda_i \lambda_j \right) / \lambda_{\Sigma}}, \quad (7)$$

где $\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ — скорость убывания суммарного запаса.

Единый цикл пополнения в данном случае не означает совпадения моментов прихода поставок. Пиковое значение суммарного запаса может быть сглажено, если разнести приход поставок во времени. Оптимум достигается при условии, что после каждого поступления заказа суммарный запас достигает предельного уровня A [14, с. 68]. Моменты прихода поставок τ_i могут быть вычислены так:

$$\tau_i = \frac{T_{\text{opt}}}{\lambda_{\Sigma}} (\lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_i). \quad (8)$$

Предположим, мы рассматриваем пять видов однотипной продукции, для которых известны объемы потребления и стоимости организации заказа. Проиллюстрируем алгоритм расчетов с учетом ограниченности распределительного центра в объеме 2600 условных единиц.

Рассчитаем суммарную потребность $\lambda_{\Sigma} = 91\,250$. Тогда для каждого вида продукта длительность цикла пополнения запаса по формуле (7) составляет $T_{\text{opt}} = 0,0475$ (года) = 17,32 (дня); количество заказов в год $l = 365/0,0475 = 21,1$; объем заказа $Q_i = \lambda_i/l$; момент прихода поставок рассчитывается по формуле (8) с учетом того, что первый продукт поставляется в момент $\tau_1 = 0$. Сводные расчетные показатели представлены в табл. 4.

Таблица 4

Расчет длительности цикла и моментов прихода поставок

Входные параметры			Расчетные параметры			
K	λ	A	Q	l	T_{opt}	τ_i
1800	18 250		866	21,1	0,0475	0
2000	18 250		866	21,1	0,0475	3,46
2000	16 425		779	21,1	0,0475	6,58
2000	18 250		866	21,1	0,0475	10,04
2000	20 075		953	21,1	0,0475	13,85
	$\lambda_{\Sigma} = 91250$	$A=2600$			(17,32 дня)	

В табл. 4 параметр τ_i отражает сдвиг во времени момента прихода очередной поставки относительно момента прихода первой поставки. Также анализ полученных данных свидетельствует о том, что введение ограничения на объем склада приводит к изменению рассчитанной ранее оптимальной политики поставки по модели EOQ (см. табл. 1) в части объемов и сроков поставок.

В табл. 5 произведен расчет суммарного количества продуктов в распределительном центре в «пиковые» моменты времени, соответствующие приходу поставок.

На рис. 5 на основе расчетных данных представлена динамика суммарного объема материалов в распределительном центре за один (первый) цикл работы системы. На графике видно, что суммарный запас увеличивается в момент прихода очередной

поставки (иногда до «пикового» значения объема склада) и убывает в дальнейший промежуток времени до следующего пополнения.

Таблица 5

Динамика загруженности распределительного центра по видам продукции

Момент времени τ_i	Вид продукта					Суммарное кол-во
	1	2	3	4	5	
0	866	–	–	–	–	866
3,46	693	866	–	–	–	1559
6,58	537	710	779	–	–	2027
10,04	364	537	624	866	–	2390
13,85	173	346	452	676	953	2600
17,32	866	173	296	502	762	2600

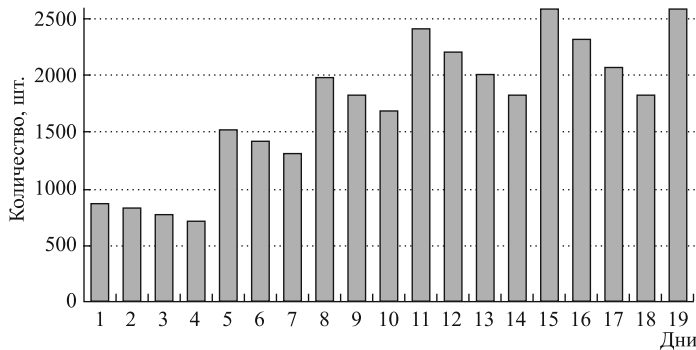


Рис. 5. Динамика загрузки распределительного центра.

Задачи координации управления запасами на складе предприятия-изготовителя (поставщика) и конечного потребителя также могут быть сформулированы на базе *многофазных моделей*. Спрос, образующийся в кросс-докинг центре, будет являться промежуточным, или «внутрисистемным», и он также будет учитываться в моделях.

* * *

В настоящей статье было рассмотрено, что концепция кросс-докинг является одним из перспективных направлений развития логистических систем в России. Рядом компаний накоплен достаточно большой позитивный опыт в этой области. Одним из звеньев, регулирующих работу распределительного центра в системе сквозного складирования, является управление поставками с точки зрения определения оптимальной политики моментов их прихода и объемов.

Классические модели управления запасами вполне могут быть применены для решения задач современных логистических систем. Был проиллюстрирован один из самых строгих по своим предпосылкам класс детерминированных моделей. Проблема адекватности, а следовательно, работоспособности рассмотренных моделей в реальных системах кросс-докинга в значительной степени замыкается на приемлемость или неприемлемость предпосылки о детерминированности спроса.

Учет стохастических факторов спроса может быть реализован на базе имитационных подходов. Создание имитационных моделей, в рамках которых производится

эмпирическое проигрывание решений, оптимальных для детерминированных моделей, и определение предпочтительных решений на основе данных конкретных фирм являются предметом отдельного рассмотрения.

Литература

1. *Blanchard D.* Supply Chain Management: best practices. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2006. 320 p.
2. *Wooyeon Yu., Pius J.* Egbelu Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage // *European Journal of Operational Research.* 2008. Is. 1. P. 377–396.
3. *Vis Iris F. A., Roodbergen Kees Jan.* Positioning of goods in a cross-docking environment // *Computers and Industrial Engineering.* 2007. N 54(3). P. 677–689.
4. *Waller M. A., Cassady C. R., Ozment J.* Impact of cross-docking on inventory in a decentralized retail supply chain // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review.* 2006. Vol. 42, Is. 5. P. 359–382.
5. *Sehgal V.* Enterprise Supply Chain Management: Integrating Best-in-Class Processes. Hoboken: Wiley & Sons, 2009. 206 p.
6. *Jeroen P. van den Berg.* Integral Warehouse Management. Utrecht: Management Outlook, 2007. 252 p.
7. URL: <http://www.retail.ru/news/38600> (дата обращения: 26.06.2010).
8. URL: <http://torg.spb.ru/news.php?numn=3914> (дата обращения: 26.06.2010).
9. URL: http://www.logistics.ru/9/2/i20_38133p0.htm (дата обращения: 26.06.2010).
10. *Bloori Arabani A. R., Fatemi Ghomi S. M., Zandieh M.* A multi-criteria cross-docking scheduling with just-in-time approach // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* 2010. Vol. 49, N 5–8. P. 741–756.
11. *Boysen N., Flidner M., Scholl A.* Scheduling inbound and outbound trucks at cross docking terminals // *OR Spectrum.* 2010. Vol. 32, N 1. P. 135–161.
12. *Сток Дж. Р., Ламберт Д. М.* Стратегическое управление логистикой. М.: ИНФРА-М, 2005.
13. *Бауэрсокс Д., Клосс Д.* Логистика: интегрированная цепь поставок. М.: Олимп-бизнес, 2005.
14. *Первозванская Т. Н., Первозванский А. А.* Элементы теории управления запасами. Л.: ЛГУ, 1983.
15. *Бродецкий Г. Л.* Управление запасами. М.: ЭКСМО, 2008.

Статья поступила в редакцию 31 марта 2011 г.