

ЛОГИСТИКА

УДК 658.78

В.Ю. Конотопский

КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОДУКЦИИ НА СКЛАДЕ

Решается задача совмещения двух традиционных принципов дислокации на универсальном складе большой номенклатуры тарно-штучной продукции. Первый принцип – учет оборачиваемости отдельных позиций хранения, второй – учет комплектного характера выдачи со склада и соответственно отбора продукции в зоне хранения. Цель решения – минимизация затрат на наиболее типичные и трудоемкие складские операции – размещение на хранение поступившей продукции и последующая выемка ее из мест хранения – за счет минимизации в среднем на одну отпускаемую со склада партию расстояния перемещения оператора (транспортного средства). Уровень разработки представленного решения позволяет приступить к детальной алгоритмизации процесса назначения номенклатурным позициям поступающей продукции конкретных адресов их хранения.

Ключевые слова: складское пространство, позиция номенклатуры хранения, зона хранения, размещение продукции, выемка продукции, комплект, поток продукции, ячейка хранения, множество, вектор, кортеж, кластер.

В статье делается попытка разработать базовую методику рационального размещения тарно-штучной продукции (товаров) в зоне хранения универсального склада при одновременном применении двух известных принципов – учета сравнительной частоты отпуска отдельных позиций хранения и учета необходимости регулярного комплектного отпуска продукции со склада, следовательно, и комплектной выемки из зоны хранения соответствующих видов продукции (позиций хранения). Оба принципа имеют одинаковую направленность – это снижение среднего времени на формирование (отбор) отгружаемых (отпускаемых) партий продукции за счет сокращения средней длины траекторий движения внутри склада от пунктов выдачи продукции¹ до мест их хранения (пространственной дислокации) на конкретный момент осуществления операции выемки и обратно. Снижение времени на типовой цикл складского обслуживания потока заказов на отпуск продукции заметно повышает производительность основных работников и подъемно-транспортного оборудования склада, и что еще важнее – повышает оперативность обслуживания получателей. Мы не будем перечислять источники получаемого при этом экономического эффекта ввиду их известности всем, имеющим представление о складской логистике [1].

¹ В общем случае это место, где завершается операция выемки и начинается одна из следующих, например упаковка, формирование транспортной партии и т.д.

Кратко напомним содержание данных принципов размещения. Первый из них, иногда называемый также «правилом температурной дислокации»¹, предполагает, что удаленность мест хранения отдельных позиций зависит от интенсивности оборота продукции, т.е. от частоты связанных с ними операций размещения (раскладки) и выемки – чем она выше, тем ближе они должны размещаться к пунктам приемки-выдачи и наоборот. Задача реализации принципа рассматривалась нами ранее [2], там же было предложено легко реализуемое решение в рамках принятых нестрогих условий.

Второй принцип предполагает размещение по местам хранения с учетом комплектного характера отпуска продукции со склада, что инициирует максимально консолидированное пространственное положение в зоне хранения позиций, входящих в один комплект. Следование принципу приводит к минимизации средних затрат времени на обслуживание одного заказа (снова за счет минимизации общего суммарного расстояния, проходимого складскими операторами-отборщиками).

Прежде чем приступить к изложению разработанной методики размещения, сделаем несколько естественных для большинства складских процессов предположений.

Отпуск продукции производится в единственном пункте (точке складского пространства). Случай наличия нескольких таких пунктов легко сводится к принятому допущению путем учета статистики распределения общего потока требований между пунктами.

Все пространство зоны хранения разделено на конечное количество – M условных ячеек (реально это могут быть отдельные боксы, стеллажные секции, отдельные ячейки стеллажей, полки и т.д.). На практике подобное разделение четко задано планировкой помещения склада и типажом его оборудования. Для каждой ячейки определена длина траектории движения до пункта выдачи. Предполагается, что затраты на движение от него до мест хранения и обратно являются монотонно возрастающей функцией длины траектории². Для нашего случая ее удобно преобразовать в функцию координат ячейки хранения или ее номера. Обозначим ее значения, определенные для каждой ячейки, через $\varphi_j, j = \overline{1, M}$. Чем меньше значение функции в конкретной точке-ячейке складского пространства, тем предпочтительнее ее использование для минимизации затрат на динамические операции складского процесса. Что касается конкретного вида функции φ_j , то его определение в рамках данной статьи бессмысленно ввиду зависимости от объемных и технических характеристик склада, а также комплекса реализованных технологических решений. Решение о размещении номенклатурных позиций принимается с точностью до конкретных ячеек. Предположим, что все ячейки могут принимать любые проходящие через склад продукты, а их емкость (максимальное количество размещаемых единиц продукции) одинакова для всех позиций но-

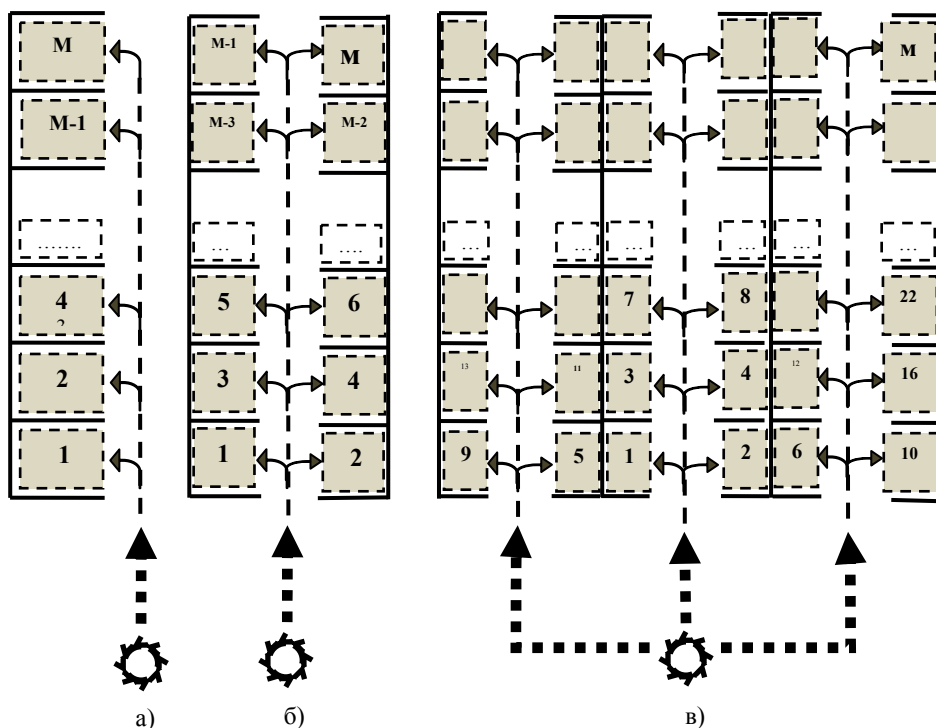
¹ Еще одна популярная формулировка принципа – «чаще спрос – ближе к проезду».

² Строго говоря, это верно не всегда, но в любом случае погрешности этого допущения невелики.

менклатуры, при этом недопустимо совмещение в одной ячейке нескольких позиций¹.

Для рационального размещения важны не сами значения φ_j , а упорядочение ячеек по значениям соответствующих им φ_j , т.е. их ранжирование по снижению привлекательности использования для размещения продукции. Обозначим через $R_j = 1, 2, \dots, M$ ранги ячеек, упорядоченных по убыванию φ_j .

Практическая реализация первого принципа предполагает построение для каждого конкретного складского объекта схемы приоритетности использования ячеек. На рис. 1 показан ряд простейших вариантов таких схем (см. также [3, 4]), в каждой ячейке помещен ее ранг, определяемый (здесь условно) соответствующим значением φ_j . Знак  показывает положение пункта выдачи продукции получателям. Как видно из рисунка, ячейки со смежными приоритетами (рангами) не всегда расположены рядом, что обусловлено характером принятой планировки склада, используемого на нем оборудования,



например стеллажей, и расстановкой последнего.

Рис. 1. Простейшие варианты схем расположения ячеек хранения

а – однорядная односторонняя; б – однорядная двухсторонняя; в – многорядная двухсторонняя

¹ Это допущение принято исключительно для упрощения описания предложенной методики, при его отклонении она подвергнется не принципиальному уточнению.

В случае, когда объектами адресного размещения являются, в том числе и множества позиций – комплекты, дополнительно требуется обеспечить максимально компактное расположение элементов (позиций) каждого такого множества, о чем пойдет речь далее.

В пределах множества хранимых позиций продукции сформирована совокупность его подмножеств $O \left(O_i, i = \overline{1, N} \right) \subset \left(Q_\xi, \xi = \overline{1, \Xi} \right)$, соответствующих регулярно отпускаемым комплектам продукции. Каждое из них описывается кортежем $\left[\left(i_1^{(\xi)}; \rho_1^{(\xi)} \right), \left(i_2^{(\xi)}; \rho_2^{(\xi)} \right), \dots, \left(i_{l(\xi)}^{(\xi)}; \rho_{l(\xi)}^{(\xi)} \right) \right]$, включающим $l(\xi)$ парных элементов, состоящих из идентификатора вида продукта $i^{(\xi)}$ и коэффициента его входимости в комплект $\rho^{(\xi)}$.

Условием оптимальности общего размещения всех номенклатурных позиций является их четкое упорядочение по степени важности для них снижения значения φ_j , определяемого занимаемыми ячейками. Важность в соответствии с «температурным» принципом определяется в первую очередь частотой осуществления с ними динамических операций, или, что то же самое, частотой появления требований на их отпуск (обозначение для отдельных позиций η_i). Учитывая влияние в ряде случаев на затраты по операциям выемки различий во внутрискладской транспортабельности различных видов продукции, функцию приоритетности размещения позиций можно представить как

$$\Psi_i = \Psi \left[\eta_i; \mu_i(\bar{c}_i) \right], \quad (1)$$

где $\mu_i(\bar{c}_i)$ – средние затраты на единицу длины траектории движенческой операции на одну выемку i -й позиции с учетом вариации количества одновременно доставляемых единиц продукции; $\bar{c}_i = [\gamma_i(1), \gamma_i(2), \dots, \gamma_i(I_{\max})]$ – вектор частот появления в отдельном заказе на i -ю позицию конкретного количества единиц (штук) продукции.

Представление μ_i как векторной функции оправдано, например, если различные виды продукции заметно отличаются своими массогабаритными характеристиками и различие величин $\gamma_i(n)$ влияет у них на среднее количество необходимых для выемки заказа циклов движения. Если эластичность функции $\mu_i(\bar{c}_i)$ по вектору $\bar{c}_i$ незначительна, то выражение (1) принимает вид $\Psi_i = \Psi[\eta_i; \mu_i]$, где μ_i – постоянная. Если транспортабельность для всех позиций одинакова, то $\Psi_i = \Psi(\eta_i)$. И наконец, в простейшем случае $\Psi_i \approx \eta_i$. Так как для задачи размещения важны не сами величины затрат, а их соотношения, то можно принять $\Psi_i = \eta_i$. На практике это может быть вызвано отсутствием данных о вариации соответствующих затрат по видам продукции и кратности их присутствия в заказах. Функции приоритетности для

комплекта из Q предлагается определить как сумму приоритетов входящих в него позиций.

Таким образом, мы получили, с одной стороны, последовательность ячеек, упорядоченных по убыванию функции привлекательности их использования φ_j , $j = \overline{1, M}$, а с другой – последовательность объектов размещения, представляющую собой объединение множеств O и Q , которое может быть упорядочено по актуальности их расположения поблизости от пункта выдачи в результате сортировки по убыванию значений функции $\Psi = \Psi_i \cup \tilde{\Psi}_\xi$. Обозначим его $S = O \cup Q$.

Далее необходимо установить соответствие между элементами этих последовательностей, но предварительно следует в S устранить из подмножества O лишние (в смысле самостоятельного участия в размещении) элементы. Дело в том, что в общем случае некоторые элементы из O не входят ни в одно из O_ξ (обозначим соответствующее подмножество как Θ), т.е. они принадлежат S как самостоятельные объекты размещения. Остальные элементы из $\{O \setminus \Theta\}$ входят в состав различных множеств O_ξ (некоторые могут входить сразу в несколько), а часть из них может одновременно быть также востребованной и вне комплекта (обозначим данное подмножество ϑ). Отсюда возникает вопрос о целесообразности принятия последних наряду с элементами Θ в качестве самостоятельных объектов размещения. Положительный ответ связан с выполнением для них условия

$$\Psi_i(O_i \in \vartheta) > \max \left[\tilde{\Psi}_\xi(Q_\xi : O_i \in Q_\xi) \right], \quad (2)$$

т.е. приоритет отдельного востребования i -й позиции номенклатуры больше, чем любого содержащего ее множества-комплекта O_ξ . Иначе соответствующий элемент исключается из $O \subset S$ и учитывается в составе такого O_ξ , для которого максимальна величина $\{\eta_\xi * \rho_i(O_i \in Q_\xi)\}$ путем увеличения соответствующей ему частоты η_ξ на величину $(\eta_i / \rho_i^{(\xi)})$. Далее необходимо скорректировать для этого комплекта значение функции $\tilde{\Psi}_\xi$. В результате проверки выполнения выражения (2) для всех $O_i \in \vartheta$ получается отредактированное множество $\tilde{O}$ и соответственно последовательность $\tilde{S} = \tilde{O} \cup Q = \{\tilde{S}_l, l = \overline{1, \tilde{S}_{end}}\}$ ¹. Далее размещение будет проводиться таким образом, чтобы все позиции хранения, исключенные из O , хранились только консолидированно (в одном месте).

Рассмотрим теперь, как будет происходить закрепление отдельных элементов последовательности $\tilde{S}$ за ячейками. Начнем с простейшего случая,

¹ Предполагаем S упорядоченным по убыванию Ψ .

когда элементы множества Q – множества $\{Q_\xi, \xi = \overline{1, \Xi}\}$ не пересекаются друг с другом. Тогда с учетом принятых ранее условий 1-й элемент займет ячейки с номерами от β_{lb} до β_{le} , определяемыми элементарным образом:

$$\beta_{lb} = \beta_{(l-1)e} + 1; \quad \beta_{le} = \beta_{lb} + \left[N(\tilde{S}_l/b) \right] - 1, \quad (3)$$

где $N(\tilde{S}_l)$ – объем 1-го элемента $\tilde{S}_l$, в принятых единицах, например стандартных поддонах; b – вместимость ячейки, в единицах продукции.

Следующей по сложности является ситуация с наличием в Q включений одних множеств O_ξ в другие. Для каждой пары $O_i \subset Q_r \{ (Q_i \in Q) \cap (Q_r \in Q) \}$ следует исключить Q_i из $\tilde{S}$, а принадлежащие ему частоты $\rho^{(\xi)}$ прибавить к соответствующим частотам Q_r . Включение может быть многоуровневым, т.е. иметь место отношение типа $Q_{\xi(1)} \subset Q_{\xi(2)} \subset \dots \subset Q_{\xi(d)}$. В этом случае вышеуказанные действия проводятся $(d-1)$ раз, причем их порядок в рамках данной цепи отношений « $\subset$ » безразличен.

Наконец, рассмотрим случай наличия пересечений среди множеств $Q_\xi, \xi = \overline{1, \Xi}$, т.е. ситуаций типа $\{(Q_i \cap Q_r \neq \emptyset) \cap (Q_i \cap Q_r \neq Q_i) \cap (Q_i \cap Q_r \neq Q_r)\}$ для некоторых множеств-комплектов из Q . Обозначим через Ω множество таких пересечений. Для каждого из них (обозначение $\Omega_\mu, \mu = \overline{1, P}$) вектор значений входимости ρ^ξ поэлементно добавляется к аналогичному вектору того из образующих это пересечение множеств (обозначим их совокупность Q_μ), для которого частота η_μ максимальна. Для всех остальных элементов Q_μ те же значения $\rho^{(\xi)}$ обнуляются. Соответственно корректируются значения функций приоритетности $\tilde{\Psi}_\xi$ всех образующих Ω_μ множеств Q_ξ . В результате описанных процедур обеспечивается единственность местоположения всех позиций хранения¹, кроме элементов множества I , удовлетворяющих (2). Так как оба «сложных» случая сведены к элементарному, далее можно снова использовать выражения (3) для распределения заданной массы продукции по ячейкам хранения. Упорядочение в пределах зоны размещения каждого комплекта нецелесообразно, если он не содержит позиций, допускающих индивидуальное востребование $(O_\xi \cap \vartheta = \emptyset)$. Иначе встает вопрос о размещении внутри зоны с учетом ее внутренних приоритетов. Предлагается следующий подход к их установлению. В пределах O_ξ выделяется v_ξ позиций, принадлежащих также I , им присваиваются внутренние приоритеты от 1 до v_ξ в порядке

¹ Это традиционный принцип размещения продукции на складе, хотя с внедрением автоматизированных систем управления (т.н. WMS) он приобрел скорее рекомендательный характер.

убывания соответствующих частот η_i . Позициям, принадлежащим только O_ξ , присваивается одинаковый приоритет $(v_\xi + 1)$. Согласно данным приоритетам осуществляется локальное упорядочение внутри O_ξ .

Автор считает полезным наличие специального показателя эффективности размещения заданной многономенклатурной массы продукции на складе, за основу которого может быть взят линейный коэффициент парной корреляции. Пусть на складе имеется N позиций продукции, список которых упорядочен по убыванию функции Ψ_i . Каждая из них размещена в множестве ячеек $\{J_i\}$, которое в общем случае не консолидировано. Пусть $\overline{R_{J_i}}$ – реднее для этих ячеек значение φ_j . Тогда коэффициент корреляции $r = r(i, \overline{R_{J_i}}) \in [-1; +1]$ является количественной мерой достигнутого соответствия функций Ψ_i и φ_j , рассматриваемого, в свою очередь, как мера эффективности размещения. Чем ближе r к $(+1)$, тем оно удачнее.

Отдельного рассмотрения заслуживает практическая реализация предложенной методики размещения. В непосредственном виде она является статической моделью, предполагающей наличие, с одной стороны, конкретных складских емкостей, с другой – требующей размещения конкретной многономенклатурной массы продукции и, с третьей – статистики повторяемости требований на отдельные позиции и их комплекты. Это может быть связано с ситуацией заполнения пустого склада до начала его работы в режиме отпуска продукции или пропуска ее потока. Более актуален и интересен динамический вариант, когда на начальный момент имеется некоторое состояние заполненности склада конкретной массой продукции, т.е. часть ячеек занята, другая свободна, причем и те и другие расположены случайным образом¹. В этом случае естественным является процесс плавного вхождения объекта в состояние динамического квазиоптимального² размещения путем алгоритмически упорядоченного согласно схеме пространственных приоритетов заполнения поступающими партиями продукции свободных (в том числе частично) ячеек, множество которых постоянно варьирует в пределах склада. Результатом станет процесс неполного нерегулярного упорядочения, причем достигнутый порядок будет случайным образом нарушаться в результате выемки продукции из мест хранения (высвобождения ячеек для последующего размещения) и таким же образом восстанавливаться за счет упорядоченного размещения поступающей продукции. Можно предполагать, что при стационарных входящих и исходящих потоках будет происходить стационарный процесс «дрейфа» текущего запаса относительного квазиоптимального варианта его размещения. Таким образом, текущее размещение будет колебаться около квазиоптимума, причем амплитуда этого колебания зависит от соотношения параметров входящего (поступление) и исходящего (отпуск) пото-

¹ Объекты со случайным характером состояний и потоков наиболее характерны для логистической практики.

² Методика носит характер эвристики, поэтому было бы некорректным считать полученные результаты строго оптимальными.

ков. Исследование данной зависимости является отдельной темой из области анализа вероятностных процессов, относительно которой нам не известны какие-либо результаты, однако несомненно, что эта амплитуда зависит от выбора и настройки параметров применяемых моделей управления запасами. Разумеется, чем меньше амплитуда, тем эффективнее динамика размещения.

Кратко упомянем случай детерминированных внешних потоков, проходящих через склад продукции. Он приводит к постановке для периода T , разделенного на t_{op} оперативных единиц времени, особой оптимизационной задачи, относящейся к классу задач календарного планирования производства [5]. Ее принципиальное отличие от описанной методики в том, что здесь временно свободные ячейки могут резервироваться под будущее поступление продукции, график которого задан.

Отдельно следует рассмотреть и вопрос установления состава множества Q . Ранее оно предполагалось априори заданным, однако практически наиболее интересна и актуальна ситуация, когда по крайней мере часть его элементов являются нечеткими множествами, следовательно, для реализации методики размещения необходимо от наблюдаемых в реальности «комплектов-сгустков» перейти к их статистически устойчивым «ядрам», с достаточно высокой повторяемостью их состава в фактическом потоке отпускаемых со склада комплектов. Допустим, что за базисный период T наблюдалось множество $\tilde{Q}$ комплектов $(\tilde{Q}_k, k = \overline{1, N_T}; \eta_k)$, где $(\tilde{Q}_k, k = \overline{1, N_T})$ – конкретный встретившийся хотя бы раз комплект, а η_k – число его повторений. Задача в том, чтобы на основе $\tilde{Q}$ выделить множество $\hat{Q}$ групп достаточно близких по составу комплектов, а в пределах каждой группы – ее ядро, которое станет элементом Q . Формирование $\hat{Q}$ предлагается осуществлять с помощью известного из кластерного анализа метода иерархической классификации [6]. Применение последнего предполагает решение ряда методических и процедурных вопросов, в том числе:

- задание метрики в пространстве множеств-комплектов;
- задание способа определения центра сформированного кластера комплектов;
- задание предела объединения формируемых кластеров.

Пусть каждый элемент исходного множества $\tilde{Q}$ представлен целочисленным вектором $\Gamma^k = (\gamma_1^k, \gamma_2^k, \dots, \gamma_v^k)$ размерности $v \leq N$. Здесь v – число номенклатурных позиций, встречающихся хотя бы в одном элементе $\tilde{Q}$; γ_i^k – количество i -х позиций в k -м комплекте. В качестве метрики для произвольной пары подобных векторов p и q предлагается выражение

$$m_{pq} = \sum_{i=1}^v |\gamma_i^p - \gamma_i^q| \quad (4)$$

В качестве центров формируемых кластеров принимается среднее взвешенное из суммы двух объединяемых на каждом шаге векторов типа Γ^k .

Предел объединения (укрупнения) кластеров задается организационно-техническими условиями отбора комплектов продукции. В частности, конечная величина каждого кластера-комплекта, измеренная в физических единицах, должна стремиться быть кратной максимальной величине внутрискладской транспортной партии отбора, которая, в свою очередь, определяется грузоподъемностью (вместимостью) используемого транспортного средства (тары) или нормой нагрузки операторов, занятых отбором и перемещением продукции.

Иерархическая процедура приведет к образованию множества кластеров-сгустков, обозначаемого $\tilde{Q}$. Для перехода к конечному множеству комплектов Q необходимо очистить каждый из комплектов, принадлежащих $\tilde{Q}$, от недостаточно типичных для него позиций на основе сравнительного анализа частот γ_i^k . Для решения этой задачи может быть использован известный АВС-анализ, в частности относящийся к нему дифференциальный метод. Последний привлекает простотой и возможностью применения при отсутствии дополнительных данных [7]. Исключению подлежит либо сегмент C в целом, либо такая его замыкающая часть, которая не вписывается в упомянутые выше организационно-технические ограничения. Знатоки статистического анализа данных могут использовать в этих целях аппарат проверки гипотез о принадлежности конкретной позиции k -му кластеру-комплекту [8]. Однако этот более квалифицированный подход предполагает наличие данных о потоке требований на хранимую продукцию за довольно длительный период, чтобы сформировать достаточно представительную статистику для множества $\tilde{Q}$.

Нами рассмотрена достаточно общая постановка задачи рационального складского размещения. Ее адаптация к более конкретным условиям складской логистики может потребовать учета следующих дополнительных аспектов¹:

- допустимость совместного хранения различных позиций номенклатуры продукции в отдельных ячейках и зонах склада (множествах смежных ячеек), в большинстве случаев для этого достаточно в (3) заменить тип скобок – «[]» на «()»;
- специализация отдельных зон хранения, что предполагает в первую очередь переход от фиксированного в границах рассматриваемой задачи параметра вместимости ячеек b к его двумерному аналогу b_{ij} , $i = \overline{1, M}$; $j = \overline{1, N}$ с соответствующей коррекцией модели (1) ÷ (3), при этом нулевые значения b_{ij} означают недопустимость размещения i -й позиции в j -й ячейке;
- соблюдение условий «правильного соседства» различных позиций [9];

¹ Упомянуты лишь наиболее распространенные требования, уровень сложности их включения в реализуемую модель процесса зависит от специфики моделируемого объекта и в ряде случаев незначителен.

■ соблюдение требований к укладке одинаковой продукции, когда она занимает несколько ячеек [9].

Дальнейшие исследования и разработки в данном направлении связаны, на наш взгляд, с расширением круга участвующих в комплексном применении принципов размещения, среди которых отметим следующие¹:

■ *уплотнения*, предполагающий максимально консолидированное хранение одинаковой продукции (здесь он реализован частично). В рамках авторской методики принцип может быть реализован как абсолютно, так и гибко. В первом случае любая позиция, входящая хотя бы в один комплект множества Q_ξ , хранится либо только в отдельной ячейке (группе сопряженных ячеек), либо только в зоне размещения одного из них, т.е. отсутствует множество ϑ . Выбор одного из этих вариантов предполагает решение задачи минимизации суммы затрат по всем комплектам, в которые входит рассматриваемая позиция (это конкретное подмножество $\theta \in \vartheta$). Во втором случае в правую часть условия (2) вводится экзогенно задаваемый множитель $\omega_i > 1$, играющий роль регулятора формирования ϑ ;

■ *максимальной доступности всех единиц хранения для принятых типовых погрузочно-разгрузочных механизмов* – данный принцип по содержанию очень близок к «температурному» и заслуживает отдельного рассмотрения только в случае применения на складе ряда хотя бы частично взаимозаменяемых технологий размещения-выемки и перемещения продукции². Авторская методика способна «интегрировать» в себя и этот принцип при наличии дополнительной информации в виде $\|\tau_{iz}\|$ – матрицы локальной эффективности применения располагаемого комплекса технологий $T_z, z = \overline{1, Z_T}$;

■ *обеспечения благоприятных условий для контроля состояния запасов с учетом специфики эксплуатируемых систем управления ими*. Ситуация с данным принципом в целом такая же, как и с предыдущим, однако здесь, как и ранее, следует иметь в виду возможность появления характерной для многокритериальной оптимизации «метазадачи» установления компромисса между уровнями реализации отдельных принципов, принимающих форму частных критериев оптимизации (или хотя бы рационализации);

■ *партионного хранения*, предполагающий консолидированное размещение содержимого каждой поступающей партий продукции. Если данный вид движения продукции на складе является единственным, то задача размещения оказывается значительно проще ранее сформулированной. Формально все проходящие через склад партии образуют поток неповторяющихся простых элементов, т.е. $\eta_i = 1$, где i идентифицирует уже не номенклатурную позицию, а текущую неделимую партию. Здесь значения функции предпочтения Ψ_i устанавливаются в первую очередь исходя из требований срочности отпуска партий. Далее реализуется авторская методика в простейшем вариан-

¹ Не все они являются в каждом случае обязательными. Каждый принцип автор попытался сопроводить указанием «стартовой позиции», с которой может быть начата разработка механизма его реализации.

² Предложенная методика формально не предусматривает наличия ряда технологий обслуживания внутрискладских потоков.

те. Основной интерес представляет случай совмещения на одном складе партионного хранения с изначально рассматриваемым номенклатурным. Принцип может быть включен в комплекс реализуемых методикой при условии решения задачи определения унифицированных значений Ψ_i для всех элементов смешанного грузового потока (простые номенклатурные позиции, комплектные позиции, неделимые партии независимо от их состава), проходящего через склад;

- *недопустимости хранения в одной ячейке продукции с различным сроком годности* – принцип реализуем достаточно просто, для этого необходимо ввести двухуровневую индексацию позиций хранения, т.е. вместо обычных « i » использовать индексы типа « i_k », где индекс 2-го уровня « k » идентифицирует срок годности (реквизит обычно имеет дискретный характер). Соответственно модель (1) ÷ (3) реализуется уже не для M , а для $M' = (\sum_{i=1}^M \max_i k) > M$ переменных – позиций конкретной срочности, кроме

того, ее в большинстве случаев потребуется дополнить условием зонально консолидированного размещения позиций, различающихся только индексами 2-го уровня.

Другим направлением исследования этой задачи может стать хотя бы частичная замена эвристического подхода к ее решению на оптимизационный.

Литература

1. *Корпоративная логистика*. 300 ответов на вопросы профессионалов / под общ. и науч. ред. проф. В.И. Сергеева. М.: ИНФРА-М, 2006. 976 с.
2. *Конотопский В.Ю.* Оптимальное зонирование складских площадей // Шестая Всероссийская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия молодых экономике России». ТПУ, 19–22 апреля 2005 г. Томск: Изд-во ТПУ, 2005. С. 189–193.
3. *Шрайбфедер Дж.* Эффективное управление запасами: пер. с англ. 2-е изд. М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. 304 с.
4. *Неруш Ю.М.* Логистика в схемах и таблицах: учеб. пособие. М.: ТК Велби: Проспект, 2007. 192 с.
5. *Татевосов К.Г.* Основы оперативно-производственного планирования на машиностроительном предприятии: учеб. пособие для инженерно-экономических специальностей вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение: Ленингр. отд-ние, 1985. 278 с.
6. *Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности: справ. изд.* / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин; под ред. С.А. Айвазяна. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.
7. *Модели и методы теории логистики: учеб. пособие*. 2-е изд. / под ред. В.С. Лукинского. СПб.: Питер, 2007. 448 с.
8. *Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных: справочное изд.* / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. М.: Финансы и статистика, 1983. 471 с.
9. *Волгин В.В.* Склад: логистика, управление, анализ. 9-е изд., перераб. и доп. М.: Изд.-торг. корпорация «Дашков и К», 2008. 768 с.

Konotopskiy Vladimir Yu. Department of Management, Institute of Social and Humanitarian Technologies, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia. E-mail: kent@tpu.ru

INTEGRATED APPLICATION OF PRODUCT ALLOCATION PRINCIPLES IN STORAGE.

Keywords: Warehouse area; Stock item; Storage area; Product allocation; Product retrieval; Set; Product flow; Storage position; Quantity; Tuple; Vector; Cluster.

The author presents a newly developed method for efficient allocation of packaged products in the warehouse storage area. The method is based on using two well-known principles, including allowance for the comparative frequency of individual stock item release and allowance for the need for regular total release of products from the warehouse. In this case, the aim is to reduce the average time required for the selection of product batches to be shipped unloaded by means of reduction of the average path length inside a warehouse from issue sites to storage sites and back, which significantly increases customer service efficiency. A number of background assumptions characteristic to most warehouse processes have been made.

It is commonly supposed that the storage space is divided into a finite M number of conventional storage positions. The decision on the allocation of stock items is made up with the accuracy to a specific storage position. A motion path up to the issue point is set for each position. The costs for motion in path are a monotonic increasing function of the path length, $\varphi_{j,j} = 1, \overline{M}$, where j is the storage position index.

The lower the value of φ_1 is for a given position, the more preferable for use this position is. The practical implementation of the first principle implies developing priority ranking schemes of storage positions use for each specific warehouse object. Examples of such schemes are provided in the article.

When quantities of stock items are involved in the allocation of objects (for sets or kits), it is also necessary to provide for a consolidated layout of the elements of such quantity. A necessary condition for efficient allocation of all stock items is sorting them in order of importance of reduction in value φ_1 . Hence, for each stock item and each set there have been assigned priority placement functions, Ψ_1 and Φ_{ξ} (i and ξ are indices of individual items and their cases). This paper describes a multiple stage branching algorithm designed to assign independently placed items and complete sets to storage positions. The algorithm takes into account the values φ_1 , Ψ_1 and Φ_{ξ} , as well as statistics regarding the flow of product issue requisitions.

The author considers the implementation of the method for the dynamic process of passing a random flow of products through the warehouse, which, in turn, generates the process of status variation of the current stock. Appropriate and simple adaptation of the method can bring the stock to a quasi-optimal condition.

The author also proposes a method for determining the composition of case quantities that can be considered independent objects for allocation. Previously, the quantity was assumed to be priori set. However, there have been situations, in which the flow of issue requisitions for sets actually comprises fuzzy sets. Therefore, in order to implement efficient allocation, it is necessary to transition from observable 'set-clusters' to statistically robust 'cores', with stable repeatable accuracy of composition in the stream of sets released from the warehouse. In order to formulate such 'cores', we propose to use a method of cluster analysis called hierarchical classification, which in turn allows to obtain answers to a number of methodological questions, including those on:

- metrics in the field of aggregate sets;
- techniques for determining the center of newly formed cluster sets;
- limits of joining the clusters being formed.

The article gives definite answers to these questions.

In conclusion the author states that the general problem of efficient warehouse allocation can be adapted to specific logistics conditions of warehouses by integrating a number of additional features such as:

- specialization of individual storage areas;
- possibility of joint storage for different storage items in the same positions;
- compliance with 'optimal vicinity' requirements for different items, etc.

Further research and development in this field is associated with increases in the number of allocation principles included in the integrated application, among which are the following:

- seals that ensure consolidated storage for similar products (only partially implemented in our methodology);
- maximum availability of all storage items for accepted standard handling mechanisms;
- ensuring favorable conditions for the storage of resources;
- lot storage, which involves consolidated allocation of the content of each received batch of products;
- impermissibility of storing products with different expiration dates in the same unit.

Another line of research can become partial replacement of the heuristic approach to dealing with the task with the optimization approach.

References

1. Sergeev V.I. (Ed.) *Korporativnaya logistika: 300 otvetov na voprosy professionalov* [Corporate Logistics: 300 Answers to Questions by Professionals]. Moscow, INFRA-M Publ., 2006. 976 p.
2. Konotopskiy V.Yu. [Optimal Zoning of Storage Areas]. *Trudy 6 Vserossiyskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh "Energiya molodykh ekonomike Rossii". Chast II* [Proc. of the 6th All-Russian Student Conf. "Young Energy for Russian Economy". Part II]. Tomsk, Tomsk St. Polytech. Univ. Publ., 2005, pp. 189-193. (In Russian).
3. Schreibfeder J. *Effektivnoye upravleniye zapasami* [Effective Inventory Management]. 2nd edn. Moscow, Alpina Business Books Publ., 2006. 304 p.
4. Nerush Yu.M. *Logistika v skhemakh i tablitsakh* [Logistics in Graphs and Tables]. Moscow, TK Velbi, Prospekt Publ., 2007. 192 p.
5. Tatevosov K.G. *Osnovy operativno-proizvodstvennogo planirovaniya na mashinostroitel'nom predpriyatii* [The Basics of Operational Production Planning in Engineering]. 2nd edn. Leningrad, Mashinostroyeniye Publ., 1985. 278 p.
6. Ayvazyan S.A. (Ed.) *Prikladnaya statistika: klassifikatsiya i snizheniye razmernosti* [Applied Statistics: Classification and Dimension Reduction]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1989. 607p.
7. Lukinskiy V.S. *Modeli i metody teorii logistiki* [Models and Methods in Logistics Theory]. 2nd edn. St. Petersburg, Piter Publ., 2007. 448 p.
8. Ayvazyan S.A., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. *Prikladnaya statistika: osnovy modelirovaniya i pervichnaya obrabotka dannykh* [Applied Statistics: Basics of Modelling and Preliminary Data Management]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1983. 471 p.
9. Volgin V.V. *Sklad: logistika, upravleniye, analiz* [Storage: Logistics, Management, Analysis]. 9th edn. Moscow, "Dashkov i K" Publ., 2008. 768 p.

Поступила в редакцию DD.MM.2014

Received June DD, 2014

For referencing:

Konotopskiy V.Yu. Kompleksnoye primeneniye printsipov razmeshcheniya produktsii na sklade [Integrated application of product allocation principles in storage]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika – Tomsk State University Journal of Economics*, 2014, no. 2 (26), pp. 126–138.