

УДК 338.245

**А.В. БАБЕНКОВ**, доктор экономических наук, профессор

**И.Ю. БОРЩЕВСКАЯ**, кандидат экономических наук

**В.В. ЧЕШИНА**, кандидат экономических наук

## **ВОЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ЗАПАСОВ МАТЕРИАЛЬНЫХ СРЕДСТВ НА СКЛАДАХ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

*В статье показаны проблемные вопросы в практике и теории материально-технического обеспечения войск (сил) при решении задачи повышения военно-экономической эффективности логистических процессов, а также направления их разрешения при оптимизации запасов материальных средств. Приведены сущность и описание разработанной авторами методики военно-экономического обоснования рациональных показателей запасов материальных средств на складах производственно-логистических комплексов. Обоснованы ее алгоритм и научная новизна на основе применения и развития методов логистики, управления запасами и оптимизации, а также вновь введенных коэффициентов.*

**Ключевые слова:** военно-экономическое обоснование; рациональные запасы; материальные средства; производственно-логистические комплексы; логистические процессы; материально-техническое обеспечение.

Методики военно-экономического обоснования и оптимизации запасов материальных средств (МС) должны применяться на всех этапах планирования и организации процессов материально-технического обеспечения (МТО) войск (сил) в современных условиях. Однако результаты выполненного анализа показали, что существующие методы и методики не позволяют обеспечить повышение военно-экономической эффективности процесса создания запасов МС на складах производственно-логистических комплексов (ПЛК) без обоснования их рациональных показателей [1-5; 8-13].

Установлено, что для решения этой задачи необходимо дальнейшее развитие существующих методов и методик на основе военно-экономического анализа, теории управления запасами и методологических принципов снижения логистических издержек при реализации транспортных, складских и грузоперерабатывающих функций системы МТО войск (сил) [2-7; 14; 15].

Вместе с тем вследствие специфики военной логистики, применение для решения поставленной выше задачи методов теории управления запасами в классической постановке невозможно без их адаптации к реальным логистическим процессам (ЛП) в системе МТО, что определяет актуальность и новизну предлагаемой методики. Сущность методики заключается в обосновании рациональных показателей запасов МС на складах ПЛК, в соответствии с динамикой ЛП в системе МТО и требованиями полного удовлетворения потребностей соединений, частей и организаций (СЧО) в МС. Алгоритм методики предусматривает определение рациональных объемов поставок МС на основе экономико-математического моделирования (рисунок 1).

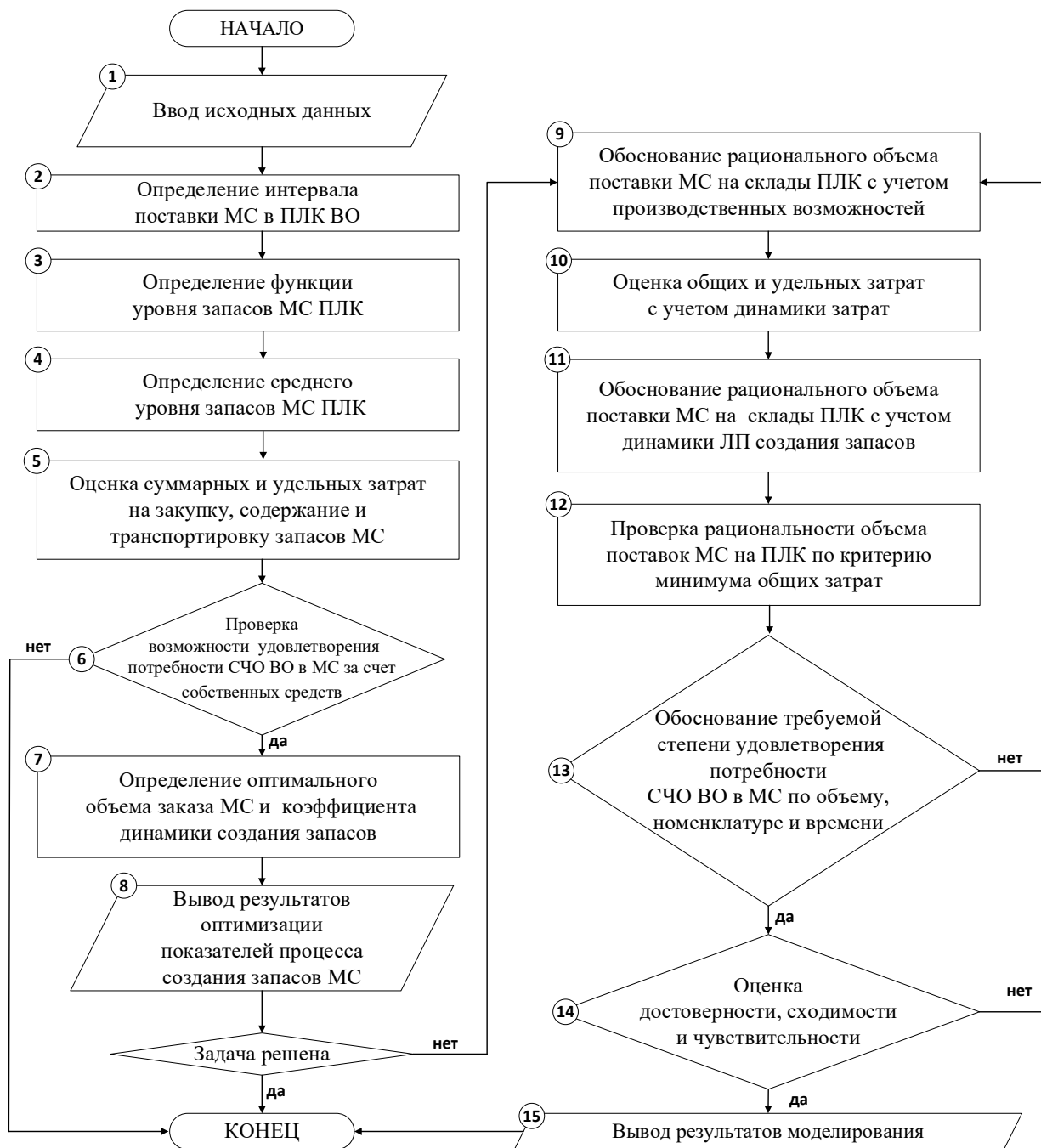


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма методики военно-экономического обоснования рациональных показателей запасов МС на складах ПЛК

Научная новизна методики состоит в военно-экономическом обосновании рациональных показателей запасов МС на складах ПЛК, которые по сравнению с имеющимися обеспечивают снижение общих затрат на их создание с применением коэффициентов, учитывающих дискретный характер поставок и отгрузки МС, динамику цен и нелинейность транзакционных издержек.

Выполненный анализ процесса создания запасов МС ПЛК показал, что он осуществляется в условиях периодичности (дискретности) входящего материального потока (поставка МС на склады ПЛК) и непрерывности исходящего потока (отгрузка МС СЧО). При этом отгрузка и доставка МС в СЧО осуществляется отдельными партиями (рейсами), различными как по объему, так и по времени, что приводит к необоснованному росту логистических издержек и вызывает необходимость их оптимизации [3-5].

Анализируя потребность в запасах МС ( $Q_i^T$ ) за определенный период ( $T_n$ ), сроки доставки МС в СЧО можно спрогнозировать вероятные значения и динамику показателей ЛП на следующий период ( $T_{n+1}$ ).

Динамика уровня текущих запасов МС на складах ПЛК при рассмотрении продолжительного периода времени (как правило, года) и относительно равномерной потребности СЧО в МС может быть аппроксимирована при помощи динамической модели, отличающейся от существующих введением специальных коэффициентов для обеспечения ее адекватности реальным логистическим операциям поставки и отгрузки МС.

На рисунке 2 показано, что поставка МС в ПЛК осуществляется, как правило, с учетом ограничений емкости складов, а в отдельные периоды и по некоторым видам МС (например, горючему) может переходить к условиям мгновенной поставки с учетом грузоподъемности транспорта.

Отличие предлагаемого подхода заключается также в том, что в существующих моделях управления запасами принимаются постоянными затраты на оформление заказа, транспортировку и хранение МС.

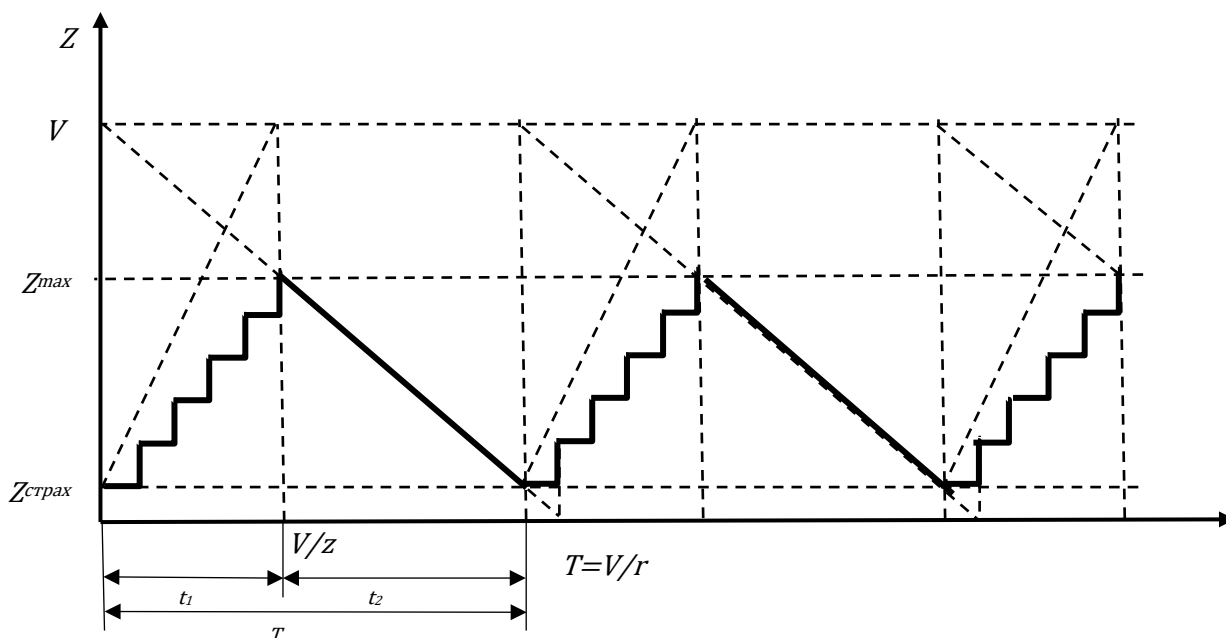


Рисунок 2 – Динамика создания текущих запасов МС на складах ПЛК

В разработанной методике затраты на оформление заказа учитываются через нелинейные транзакционные издержки, а затраты на транспортировку и хранение в связи с необходимостью оценки их различных вариантов, а также цена МС, приняты с учетом динамики ЛП. Эта ситуация наиболее характерна при создании запасов МС ПЛК, когда определенные партии МС поступают на склады не одновременно целиком, а в течение определенного периода [2; 3].

Интервал поставки можно представить, как период  $T$  (рисунок 2), который в данных условиях складывается из двух подпериодов:

$$T = t_1 + t_2, \quad (1)$$

где  $t_1$  – подпериод, когда происходит поступление запасов  $i$ -го вида МС на  $j$ -й склад (соответствующей службы МТО) с интенсивностью  $z_{ij}^{t_1}$  при их одновременном расходе с интенсивностью  $r_{ij}^{t_1}$ , сут;

$t_2$  – период потребления МС из запаса с интенсивностью  $r_{ij}^{t_2}$ , сут.

Соответственно за весь рассматриваемый период интенсивность расхода:

$$r_{ij} = \frac{r_{ij}^{t_1} + r_{ij}^{t_2}}{2}, \quad (2)$$

при интенсивности поступления  $z_{ij} = z_{ij}^{t_1}$ ;  $z_{ij} > r_{ij}$ .

В случае, если  $z_{ij} < r_{ij}$ , потребности СЧО не будут покрываться за счет текущих запасов ПЛК, возникает «дефицитная ситуация» и необходимо прибегнуть к внешним источникам обеспечения или использовать страховые запасы. В случае, когда  $z_{ij} = r_{ij}$ , размер запасов будет оставаться неизменным, а сами условия будут соответствовать ситуации, обеспечивающей доставку запасов МС по критерию «точно в срок».

Интервал поставки для периода  $T$  можно определить как [3]:

$$T = \frac{V_{ij}^T}{z_{ij}} + \frac{V_{ij}^T}{r_{ij}} \quad (3)$$

или

$$T = \frac{V_{ij}^T(z_{ij} + r_{ij})}{z_{ij}r_{ij}}, \quad (4)$$

где  $V_{ij}^T$  – объем поставки  $i$ -го вида МС на  $j$ -й склад в период  $T$ , т.

Движение запасов определяется кусочно-линейной функцией:

$$Z_{ij}(T) = \begin{cases} (z_{ij} - r_{ij})t_1, & \text{при } 0 \leq t_1 \leq \frac{V_{ij}^T}{z_{ij}} \\ V_{ij}^T - r_{ij}t_2, & \text{при } \frac{V_{ij}^T}{z_{ij}} \leq t_2 \leq \frac{V_{ij}^T}{z_{ij}} \end{cases} \quad (5)$$

Очевидно, что уровень запасов МС при заданных условиях будет меньше объема поставки МС, т.е.  $Z_{ij}(T)^{max} < V_{ij}^T$ . Максимального значения он достигнет в точке перегиба при условии  $(z_{ij} - r_{ij})T = V_{ij}^T - r_{ij}T$  или в точке  $T = \frac{V_{ij}^T}{r_{ij}}$ . Отсюда следует, что максимальный уровень запаса в условиях его периодического пополнения и равномерного расхода будет:

$$Z_{ij}(T)^{max} = \frac{V_{ij}^T(z_{ij} - r_{ij})}{z_{ij}} = V_{ij}^T \left(1 - \frac{r_{ij}}{z_{ij}}\right). \quad (6)$$

Средний размер запасов МС в интервале между очередными поставками  $t \in 0, T_1$  пропорционален интегралу функции динамики величины запасов [5].

Поскольку  $T = \frac{V_{ij}^T}{r_{ij}}$ , то выражение для определения среднего размера запасов МС примет вид:

$$\bar{Z}_{ij}(T) = \frac{V_{ij}^T}{2} \left(1 - \frac{r_{ij}}{z_{ij}}\right). \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{ij}(T) &= \frac{1}{T} \int_0^T Z_{ij}(t) dt = \frac{1}{T} \left[ \int_0^{V_{ij}/z_{ij}} (z_{ij} - r_{ij}) t dt + \int_{V_{ij}/z_{ij}}^{V_{ij}/r_{ij}} (V_{ij} - r_{ij} t) dt \right] = \\ &= \frac{1}{T} \left[ \int_0^{V_{ij}/z_{ij}} z_{ij} t dt - \int_0^{V_{ij}/r_{ij}} r_{ij} t dt + \int_{V_{ij}/z_{ij}}^{V_{ij}/r_{ij}} V_{ij} dt - \int_{V_{ij}/z_{ij}}^{V_{ij}/r_{ij}} r_{ij} t dt \right] = \\ &= \frac{1}{T} \left[ \frac{V_{ij}^2}{2z_{ij}} - \frac{r_{ij} V_{ij}^2}{2z_{ij}^2} + \frac{V_{ij}^2}{r_{ij}} - \frac{V_{ij}^2}{z_{ij}} - \frac{V_{ij}^2}{2r_{ij}} + \frac{r_{ij} V_{ij}^2}{2z_{ij}^2} \right] = \frac{1}{T} \left[ \frac{V_{ij}^2}{2r_{ij}} - \frac{V_{ij}^2}{2z_{ij}} \right] = \frac{V_{ij}^2}{2T} \left( \frac{1}{r_{ij}} - \frac{1}{z_{ij}} \right). \end{aligned} \quad (8)$$

Далее в соответствии с приведенным выше алгоритмом (рисунок 1) осуществляется определение оптимального объема поставки.

Определяются суммарные затраты на закупку, содержание и транспортировку запасов МС одной партии поставки в период  $T$  с учетом заданных условий (3), (4):

$$C_{ij}^Z = C_{ij}^C + C_{ij}^{Tp} + C_{ij}^X = C_{ij}^C + C_{ij}^{Tp} + Z_{ij} T_{ij} c_{ij}^X \quad (9)$$

или

$$C_{ij}^Z = V_{ij}^T c_{ij} + C_{ij}^{Tp} c_{ij}^X \left( \frac{V_{ij}^T r_{ij}}{2} \right) \left( \frac{1}{r_{ij}} - \frac{1}{z_{ij}} \right) \left( \frac{V_{ij}^T}{r_{ij}} \right) = V_{ij}^T c_{ij} + C_{ij}^{Tp} + \left( \frac{(V_{ij}^T)^2 c_{ij}^X}{2} \right) \left( \frac{1}{r_{ij}} - \frac{1}{z_{ij}} \right),$$

где  $C_{ij}^C$ ,  $C_{ij}^{Tp}$ ,  $C_{ij}^X$  – соответствующие затраты на закупку  $i$ -го вида МС для  $j$ -го склада, на их транспортировку и на хранение в  $T$ -й период, руб.;

$c_{ij}$  – цена единицы МС  $i$ -го вида  $j$ -й службы (склада), руб./т (ед.);

$c_{ij}^X$  – удельные затраты на хранение единицы  $i$ -го вида МС на  $j$ -м складе в единицу времени (как правило сутки или месяц), руб./т (ед.)·сут.

В качестве критерия оптимизации целесообразно принять удельные затраты, которые в условиях, когда динамикой цен и транзакционных издержек можно пренебречь, будут иметь вид:

$$c_{ij}^Z = \frac{C_{ij}^Z}{V_{ij}^T} = c_{ij} + \frac{C_{ij}^{Tp}}{V_{ij}^T} + \left( \frac{V_{ij} c_{ij}^X}{2} \right) \left( \frac{1}{r_{ij}} - \frac{1}{z_{ij}} \right) \rightarrow \min. \quad (10)$$

Для нахождения точки, в которой функция (10) достигает экстремума, необходимо найти ее первую производную, приравнять полученный результат к нулю и решить уравнение относительно искомого параметра  $V_{ij}^T$ . Первая производная функции общих удельных затрат в данном случае будет иметь вид:

$$\frac{dc_{ij}^Z}{dV_{ij}^T} = -\frac{C_{ij}^{Tp}}{V_{ij}^T{}^2} + \frac{c_{ij}^X}{2} \left( \frac{1}{r_{ij}} - \frac{1}{z_{ij}} \right). \quad (11)$$

Значение второй производной функции удельных затрат положительно:

$$\frac{d^2 c_{ij}^Z}{dV_{ij}^T{}^2} = \frac{2C_{ij}^{Tp}}{V_{ij}^T{}^3} > 0, \quad (12)$$

при положительных параметрах  $C_{ij}^{Tp}$  и  $V_{ij}^T$  функция (12) является выпуклой и в точке экстремума достигает своего минимума [2; 5].

Далее, решив уравнение (12) относительно  $V_{ij}^T$ , получим формулу для определения оптимального объема поставки на склады ПЛК в условиях её периодичности и непрерывной отгрузки в СЧО:

$$V_{ij}^{TO} = \sqrt{\frac{2C_{ij}^{Tp} r_{ij} z_{ij}}{c_{ij}^X (z_{ij} - r_{ij})}}, \quad (13)$$

$$V_{ij}^{TO} = \sqrt{\frac{2C_{ij}^{Tp} r_{ij}}{c_{ij}^X}} \sqrt{\frac{z_{ij}}{z_{ij} - r_{ij}}} = \left(\frac{2C_{ij}^{Tp} r_{ij}}{c_{ij}^X}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{z_{ij}}{z_{ij} - r_{ij}}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (14)$$

при  $c_{ij}, C_{ij}^{Tp}, c_{ij}^X - \text{const}; z_{ij}, r_{ij} - \text{const}; z_{ij} > r_{ij}$ .

Как видно из формулы (14), при данных ограничениях, когда оплата стоимости МС осуществляется на основании ранее заключенных договоров, оптимальный объем поставки МС на склады ПЛК не зависит от их цены. Формула (14) представляет собой модель для определения оптимального размера поставки в условиях периодического поступления МС в ПЛК (пополнения запаса в течение определенного периода времени в каждом интервале поставки) и равномерной отгрузке. Эта модель состоит из двух частей. Первая часть представляет собой формулу Уилсона [3] или классическую модель управления запасами, а другая – поправочный коэффициент (динамики ЛП создания текущих запасов МС), учитывающий соотношение и особенности входящего и исходящего потоков МС в ПЛК:

$$k_{ij}^{DC} = \frac{z_{ij}}{z_{ij} - r_{ij}}. \quad (15)$$

В этих условиях модель оптимального объема поставки МС на склады ПЛК в  $T$ -м периоде и за год в целом примет вид:

$$V_{ij}^{TO} = \sqrt{\frac{2C_{ij}^{Tp} r_{ij}}{c_{ij}^X}} k_{ij}^{DC}, \quad (16)$$

$$V_{ij}^O = \sum_{t=1}^T V_{ij}^{TO}. \quad (17)$$

Поскольку поправочный коэффициент в формуле (16) согласно первоначальным условиям ( $z_{ij} > r_{ij}$ ) больше единицы, то и оптимальный объем поставки МС на склады ПЛК при данных условиях будет больше, чем установленный в результате прогнозирования, так как учитывает возможность увеличения его размера за счет экономии на издержках по содержанию запасов. Чем больше значение поправочного коэффициента, тем выше надёжность своевременного удовлетворения потребности в МС СЧО. Его значением можно управлять уменьшая или увеличивая интенсивность поставок МС на склады ПЛК, тем самым уменьшая или увеличивая общие затраты на транспортировку и хранение МС, а также на стоимость их закупки за счёт изменения цены с учетом скидок, в зависимости от объема закупаемой партии.

Максимальный и средний уровни текущих запасов МС в ПЛК за период  $T$  в этих условиях будут определяться соответственно как:

$$Z_{ij}^{TO\max} = (k_{ij}^{DC})^{\frac{1}{2}} V_{ij}^{TO}, \quad (18)$$

$$\bar{Z}_{ij}^{TO} = k_{ij}^{DC} \frac{V_{ij}^{TO}}{2}. \quad (19)$$

Однако такая оптимизация показателей создания МС на складах ПЛК возможна только в том случае, когда не учитывается динамика цен (их увеличение в результате инфляции или снижение с учетом скидок), а также изменение затрат на транспортировку и хранение при влиянии различных военно-экономических и транспортно-технологических факторов, обуславливающих различные способы осуществления этих ЛП [5].

Анализ и моделирование показателей ЛП показали, что их изменение под воздействием различных внешних факторов может быть различно как по направлению, так и по величине. Поэтому невозможно разработать обобщенную модель, отражающую зависимость общих или удельных затрат на создание и содержание запасов МС от влияния всех внешних и внутренних факторов, так как для обеспечения их адекватности следует учитывать конкретные условия и ограничения функционирования ПЛК.

В соответствии с алгоритмом предлагаемой методики предусмотрено введение ряда ограничений, наиболее характерных для функционирования ПЛК, в целях обоснования рационального объема поставки МС:

возможность динамики цены МС с учетом скидок в зависимости от увеличения размера поставки;

снижение или увеличение удельных затрат на хранение в зависимости от объема поставки и загруженности склада;

увеличение удельных затрат на транспортировку с учетом кратности объема доставки МС грузоподъемности транспорта.

Аналитическая модель удельных затрат на создание и содержание запасов МС в такой постановке ранее не рассматривалась и имеет принципиальное отличие от существующих моделей управления запасами [3; 4].

Поскольку при переходе к договорным условиям поставки МС для конкретного ПЛК цена во многом определяет общие затраты по созданию и содержанию запасов, то она будет существенным фактором, влияющим на обоснование рационального объема поставки МС. Установлено, что при заключении договоров на условиях поставки, цена на МС может повышаться с учетом транспортных расходов поставщика на 10-15%, но в то же время возможно наличие скидок с цены в связи с увеличением размера заказа.

При хранении запасов МС в ПЛК при увеличении их размера до емкости склада наблюдается снижение удельных затрат вследствие постоянства расходов на его содержание, а при дальнейшем увеличении объема поставки – рост удельных затрат, в случае ограниченной вместимости собственных складских площадей и необходимости их аренды у сторонних организаций, что приводит к дополнительным затратам на хранение МС [5].

Удельные затраты на транспортировку обратно пропорциональны объему перевозки, но также в большой степени зависят от использования грузоподъемности транспорта и увеличиваются при необходимости привлечения дополнительного количества подвижного состава железнодорожного транспорта (вагонов, цистерн) или автомобилей с учетом их округления в большую сторону для перевозки требуемого объема МС (рисунок 3).

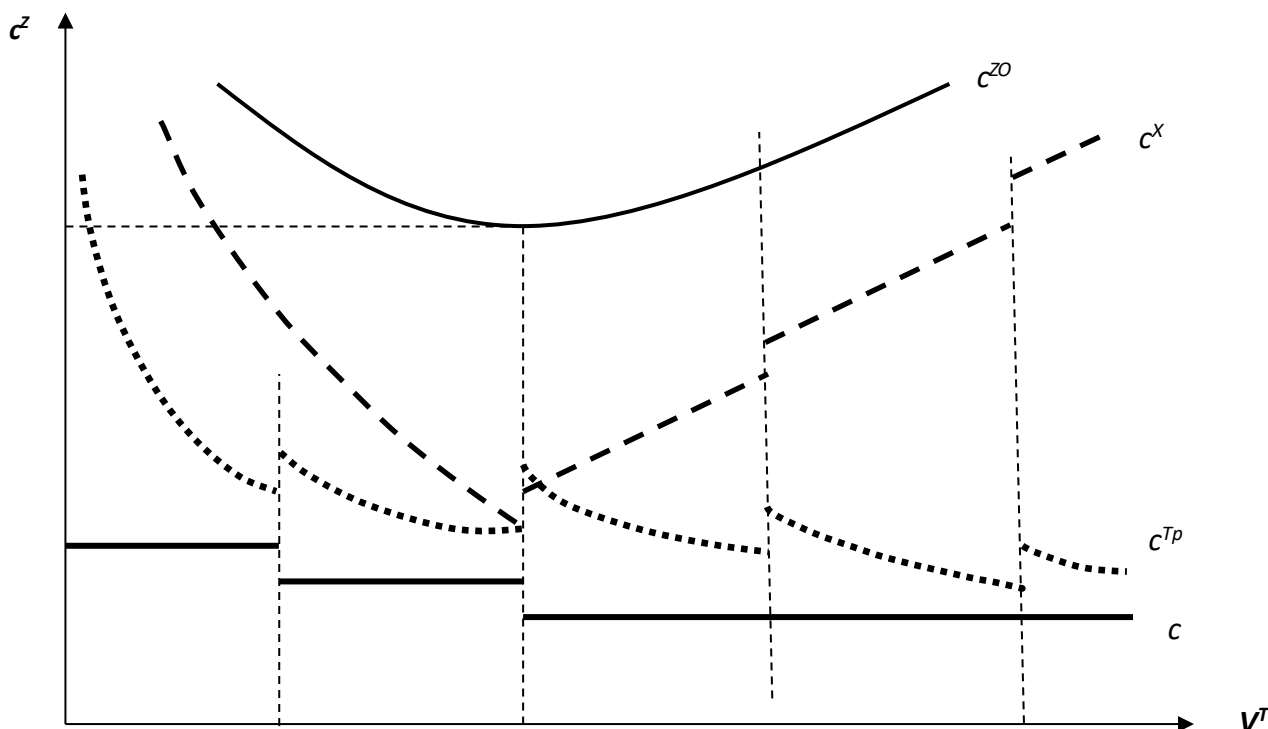


Рисунок 3 – Зависимость удельных затрат на создание запасов МС от их показателей

Таким образом, показатели рассматриваемых параметров являются переменными величинами, описываемыми кусочно-линейными функциями. Поэтому, при определении рационального объема поставки МС на склады ПЛК следует учитывать некоторую часть каждой из этих кривых, соответствующую определенному объему поставки МС, где действует снижение затрат.

Предлагаемый алгоритм решения такой задачи включает нахождение локальных оптимумов в каждом стоимостном интервале.

В соответствии с этим алгоритмом определяется рациональный объем поставки МС в каждом стоимостном интервале. При этом рассматриваются три варианта выбора:

$$V_{ij}^{TR} = \begin{cases} V_{Cij}^{min}, & \text{при } V_{ij}^0 \leq V_{Cij}^{min} \leq V_{Nij} \leq V_{Sij}; \\ V_{ij}^0, & \text{при } V_{Cij}^{min} < V_{ij}^0 < V_{Cij}^{max}, V_{ij}^0 \rightarrow V_{Nij} \rightarrow V_{Sij}; \\ V_{Cij}^{max}, & \text{при } V_{ij}^0 \geq V_{Cij}^{max} > V_{Nij} > V_{Sij}, \end{cases} \quad (20)$$



при  $V_{ij}^{TR} \geq Q_{ij}^T$ , где  $V_{ij}^{min}$ ,  $V_{ij}^{max}$  – соответственно минимальные и максимальные количественные (объемные) границы диапазона размера поставки на  $j$ -й склад, в которых действуют скидки на цену  $i$ -го вида МС, т;

$V_{ij}^0$  – оптимальный объем поставки  $i$ -го вида МС на  $j$ -й склад ПЛК;

$V_{Nij}$  – границы кратности объема перевозки грузоподъемности транспорта, определяемые как произведение требуемого количества подвижного состава или автомобилей  $m$ -го вида ( $N_m$ ), с учетом округления в большую сторону до целого числа, их номинальной грузоподъемности ( $g_m$ ) и коэффициента использования грузоподъемности при подвозе  $i$ -го вида МС с  $j$ -го склада ( $\gamma_{ij}$ ), т;

$V_{Sij}$  – объем площади  $j$ -го склада для хранения  $i$ -го вида МС, т;

$Q_{ij}^T$  – потребность  $i$ -го вида МС  $j$ -го склада (службы) за период  $T$ , т.

Далее определяются общие и удельные затраты на создание и содержание запасов МС на планируемый период с использованием зависимостей (8), (9), но с применением введенных поправочных коэффициентов:

$$c_{ij} = c_{0ij} + k^{Cd} - k^{Vc}, \quad (21)$$

$$c^{Tp} = c_0^{Tp} + k^{VN} - k^V, \quad (22)$$

$$c^X = c_0^X + k^{VS}, \quad (23)$$

где  $c_0$ ;  $c_0^{Tp}$ ;  $c_0^X$  – соответственно нормативная цена и постоянные удельные издержки транспортировки и хранения, не зависящие от объема МС, руб./т;

$k^{Cd}$ ;  $k^{Vc}$  – коэффициенты, определяющие соответственно увеличение цены МС при заключении договоров на условиях поставки или ее снижение с учетом скидок в зависимости от размера заказа, руб./т (ед. изм.);

$k^{VN}$ ;  $k^V$  – коэффициенты, отражающие соответственно уровень повышения удельных затрат на транспортировку в зависимости от неполного использования грузоподъемности подвижного состава (автомобилей) или их снижения при увеличении МС, руб./т (ед. изм.);

$k^{VS}$  – коэффициент, характеризующий увеличение удельных затрат на хранение при неполной загрузке складских площадей или их аренде при ограниченной вместимости склада, руб./т (ед. изм.).

С их учетом определяются общие затраты на создание, транспортировку и хранение запасов МС на ПЛК в  $T$ -м периоде:

$$C_{ij}^{TZ} = V_{ij}^{TO} \left( \frac{1}{r_{ij}} - \frac{1}{z_{ij}} \right) \left( (c_{0ij} + k^{Cd} - k^{Vc}) + (c_0^{Tp} + k^{VN} - k^V) + V_{ij}^{TO} \left( c_0^X + \frac{k^{VS}}{2} \right) \right), \quad (24)$$

$$C^{TZ} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J V_{ij}^{TO} C_{ij}^{TZ}. \quad (25)$$

Обоснование аналитических зависимостей для определения данных коэффициентов требует проведения специального исследования. В свою очередь они могут быть выражены в процентах от цены МС или постоянных удельных издержек на их транспортировку и хранение.

Тогда зависимости (21-23) примут вид:

$$c_{ij} = c_{0ij} \left( 1 + \frac{k^{Cd}}{100} - \frac{k^{Vc}}{100} \right), \quad (26)$$

$$c^{Tp} = c_0^{Tp} \left( 1 + \frac{k^{VN}}{100} - \frac{k^V}{100} \right), \quad (27)$$

$$c^X = c_0^X \left( 1 + \frac{k^{VS}}{100} \right). \quad (28)$$

Выражение для определения общих удельных затрат на создание и содержание запасов МС на складах ПЛК (10) с учетом (26-28) примет вид:

$$c_{ij}^{TZ} = c_{0ij}(1 + 0,01(k^{Cd} - k^{Vc})) + c_0^{Tp}(1 + 0,01(k^{VN} - k^V)) + \left(\frac{V_{ij}^O c_0^X(1+0,01k^{Vs})}{2}\right)\left(\frac{1}{r_{ij}^T} - \frac{1}{z_{ij}}\right) \rightarrow \min. \quad (29)$$

Следуя алгоритму вывода модели управления запасами (10-14) [3], можно получить модель для определения рационального объема поставки МС на склады ПЛК с учетом динамики ЛП создания текущих запасов, нелинейности цен и транзакционных издержек:

$$V_{ij}^{TR} = \sqrt{k_{ij}^{ДС} \frac{2V_{ij}^{TO} c_0^{Tp}(1+0,01(k^{VN}-k^V))r_{ij}^T}{c_{0ij}(1+0,01(k^{Cd}-k^{Vc})) + c_0^X(1+0,01k^{Vs})}}. \quad (30)$$

Совместное применение зависимостей (20) и (30) при необходимом количестве испытаний в процессе моделирования позволяет получить достаточно точную оценку рационального объема поставки МС на склады ПЛК.

Решение о выборе рационального объема поставки МС может быть обосновано по критерию минимума общих годовых затрат:

$$C_{ij}^Z = \sum_{t=1}^T C_{ij}^{TZ}(V_{ij}^{TR}) \rightarrow \min. \quad (31)$$

Для этого определяются общие годовые затраты по созданию и содержанию запаса для каждого стоимостного интервала (21), (26) при выбранном  $V^{TR}$ , для чего можно использовать результаты прогнозирования потребности в МС [2]:

$$C^Z = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \left[ (c_{ij}^T + c_{ij}^{Tp^T})(Z_{ij}^T - N_{ij}^{T-1}) + c_{ij}^{X^T}(Z_{ij}^T - P_{ij}^T) \right], \quad (32)$$

где  $Z_{ij}^T$  – величина запасов  $i$ -го вида МС на  $j$ -м складе, создаваемых в  $t$ -й период, т;  
 $N_{ij}^{T-1}$  – наличие запасов  $i$ -го вида МС на  $j$ -м складе на конец предыдущего периода, т;  
 $P_{ij}^T$  – количество потребляемых запасов  $i$ -го вида МС на  $j$ -м складе в  $t$ -й период, т.

В общем случае принимается, что объем поставки МС определяется как:

$$V_{ij}^T = Z_{ij}^T - N_{ij}^T. \quad (33)$$

Решение задачи осуществляется на основе принципа Р.Беллмана, который заключается в последовательной оптимизации затрат в каждом периоде, начиная с последнего [5].

Минимальные затраты за последний период определяются по модели:

$$C_{ij}^{TZ}(V_{ij}^R) = \min_{Z^T \geq N^T} \left[ (c_{ij}^T + c_{ij}^{Tp^T})(Z_{ij}^T - N_{ij}^T) + c_{ij}^{X^T}(Z_{ij}^T - Q_{ij}^T) \right]. \quad (34)$$

Затраты за два последних периода рассчитываются:

$$\sum_{T-1}^T C_{ij}^{Z^{T-1}}(V^R) = \min_{Z^{T-1} \geq N^{T-1}} \left[ (c_{ij}^{T-1} + c_{ij}^{Tp^{T-1}})(Z_{ij}^{T-1} - N_{ij}^{T-1}) + c_{ij}^{X^{T-1}}(Z_{ij}^{T-1} - P_{ij}^{T-1}) + C_{ij}^{TZ}(V_{ij}^R) \right]. \quad (35)$$

В целом для каждого периода  $T = 2, 3, \dots, T_n$  затраты составят:

$$C_{ij}^{Z^{T_{n+1}-T_n}}(V_{ij}^R) = \min_{Z^{T_{n+1}-T_n} \geq N^{T_{n+1}-T_n}} \left[ (c_{ij}^{T_{n+1}-T_n} + c_{ij}^{Tp^{T_{n+1}-T_n}})(Z_{ij}^{T_{n+1}-T_n} - N_{ij}^{T_{n+1}-T_n}) + c_{ij}^{X^{T_{n+1}-T_n}}(Z_{ij}^{T_{n+1}-T_n} - Q_{ij}^{T_{n+1}-T_n}) + C_{ij}^{Z^{T_{n+1}-T_n}}(V_{ij}^R) \right]. \quad (36)$$

В процессе минимизации затрат для рационального объема поставки МС на склады ПЛК необходимо использовать свойства функций  $c$ ,  $c^{Tp}$  и  $c^X$  и границы диапазонов действия скидков (увеличения затрат) (26-28).

При этом обязательным условием является своевременное и полное удовлетворение потребности СЧО в МС, т.е. введение ограничений:

$$V_{ij}^{TR} \geq Q_{ij}^T, \text{ при } Q_{ij}^T = T_d \sum_{d=1}^{T_d} r_{ijd}, \quad (37)$$

$$T_{ij}^{TW} \leq T_{ij}^{T\text{Треб}}, \text{ при } T_{ij}^{TW} = \sum_{T=1}^{T_t} \frac{t_{ijPt}^W}{24}, \quad (38)$$

где  $T_{ij}^{TW}$  и  $T_{ij}^{T\text{Треб}}$  – соответственно наиболее вероятная и требуемая продолжительность доставки  $i$ -го вида МС с  $j$ -го склада в  $T$ -й период поставки, сут;  
 $t_{ijPt}^W$  – наиболее вероятная продолжительность одного рейса в  $d$ -й день, ч.

Для их выполнения в результате моделирования необходимо обеспечить следующее условие:

$$Q_{ij}^T = \bar{V}_{ij}^{TR} + K_{\text{уп}}(\delta_{\bar{V}P} + \sum_{T=1}^{T_t} r_{ij} \delta_{\bar{T}W}), \quad (39)$$

где  $K_{\text{уп}}$  – коэффициент вероятности удовлетворения потребности в МС, введенный авторами при  $P(K_{\text{уп}}) = 0,95$ ,  $K_{\text{уп}} = 1,65$  [2; 14; 15];

$\delta_{\bar{V}P}$ ,  $\delta_{\bar{T}W}$  – среднеквадратическое отклонение соответственно объема и продолжительности перевозки, рассчитывается по формуле:

$$\delta_{\bar{V}P} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N_0} (V_{ijn}^R - \bar{V}_{ij}^R)^2}{N_0}}, \quad (40)$$

$$\delta_{\bar{T}W} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N_0} (T_{ijn}^W - \bar{T}_{ij}^W)^2}{N_0}}, \quad (41)$$

где  $V_{ijn}^R$ ,  $T_{ijn}^W$  – значение случайных величин объема и времени перевозки  $i$ -го вида МС  $j$ -й номенклатуры при  $n$ -м испытании;

$\bar{V}_{ij}^R$ ,  $\bar{T}_{ij}^W$  – среднеарифметические значения, по результатам  $n$  испытаний;

$n = 1, 2, \dots, N_0$  – количество испытаний.

Таким образом, разработанная методика позволяет обосновать рациональные показатели процесса создания запасов МС в системе МТО с учетом его динамики, цен и транзакционных издержек, что обеспечивает существенное снижение удельных затрат при их поставке на склады ПЛК.

**Список использованных источников**

1. Булгаков Д.В. Современное состояние и перспективы развития системы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил РФ // Материально-техническое обеспечение Вооруженных Сил РФ. 2020. №1. – С. 4-12.
2. Булгаков Д.В., Топоров А.В., Коновалов В.Б., Бабенков В.И., Бабенков А.В., Гурьянов А.В. Современные военно-экономические проблемы материально-технического обеспечения войск (сил) и методологические основы их разрешения: монография. СПб.: ВА МТО, РАРАН, 2022. – 299 с.
3. Бабенков В.И., Бабенков А.В. Обоснование рациональных текущих запасов в системе материально-технического обеспечения // Известия РАРАН. 2016. №2(92). – С. 90-96.
4. Бабенков В.И., Жакашев А.К. Военно-экономический анализ системы военной логистики // Научный вестник Вольского военного института материального обеспечения. 2018. №2(46). – С. 93-98.
5. Бабенков А.В. Методологические подходы к военно-экономическому обоснованию и оценке параметров логистических процессов в системе материально-технического обеспечения войск // Известия РАРАН. 2016. №1(91). – С. 25-31.
6. Буренок В.М., Лавринов Г.А., Подольский А.Г. Оценка стоимостных показателей высокотехнологичной продукции. М.: Граница, 2012. – 424 с.
7. Викулов С.Ф., Бабенков В.И. Военно-экономическая безопасность системы материально-технического обеспечения Вооруженных сил // Вестник Военной академии МТО. 2016. №3(7). – С. 117-120.
8. Топоров А.В., Бабенков В.И. Обоснование критериев оценки военно-экономической эффективности процессов материально-технического обеспечения войск (сил) // Известия РАРАН. 2017. №1(96). – С. 23-28.
9. Топоров А.В., Бабенков В.И., Коновалов В.Б. Обоснование рациональных способов материально – технического обеспечения войск (сил) на основе оценки их военно-экономической эффективности // Научные проблемы военно-системных исследований: сб. науч. тр. СПб.: НИИ ВСИ МТО ВС РФ, 2017. – С. 7-20.
10. Топоров А.В., Бабенков В.И. Методологические основы военно-экономической эффективности интегрированной системы материально-технического обеспечения // Известия РАРАН. 2017. №4(99). – С. 13-21.
11. Топоров А.В., Бабенков В.И., Богданов Д.Ю. Квалиметрический подход к эффективности системы материально-технического обеспечения войск (сил) // Известия РАРАН. 2019. №3(108). – С. 29-37.
12. Топоров А.В., Бабенков В.И. Обоснование способов формирования перспективной системы материально-технического обеспечения войск (сил) // Вестник Военной академии МТО. 2019. №1(17). – С. 7-10.
13. Топоров А.В., Бабенков В.И., Бабенков А.В. Обоснование способов повышения военно-экономической эффективности материально-технического обеспечения войск (сил) // Вестник Военной академии МТО. 2017. №3(11). – С. 118-124.
14. Топоров А.В., Коновалов В.Б., Бабенков А.В. Обоснование военно-экономической эффективности процесса доставки материальных средств группировке войск (сил) // Известия РАРАН. 2017. №2(97). – С. 48-51.
15. Топоров А.В., Бычков А.В., Бабенков В.И. Военно-экономическое обоснование рациональных параметров системы материально-технического обеспечения войск (коллективных сил) ОДКБ // Известия РАРАН. 2022. №2(122). – С. 33-38.