

Автор егр.

Ф 34

Блишній,

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ им. М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Федунец Анатолий Дмитриевич

РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ТРЕХЗВЕННЫХ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДСКИМ ГРУЗООБОРОТОМ
И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЕЕ ПРАКТИЧЕСКОГО
ПРИМЕНЕНИЯ

Специальность 05.13.07 – автоматическое управление и
регулирование, управление технологическими процессами
(промышленность)

Перегляд 1981

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1981

OK

ностей практического использования разработанной модели.

Задачи исследования:

1. Определение способа идентификации структурных звеньев СГ и формирование на его основе обобщенной МТСУ СГ; преобразование модели к стандартному виду и определение правил формирования решений по управлению грузопотоками.

2. Разработка математического обеспечения для определения исходных параметров модели - спроса на вывоз грузов потребителям, предложения на ввоз грузов от поставщиков, оптимальной емкости склада; определение способов использования решений по управлению грузопотоками для оптимизации интенсивностей их обработки.

3. Определение места МТСУ СГ в общей системе моделей производственных и транспортно-складских процессов, разработка методических рекомендаций по использованию модели при управлении производственными системами.

Методы исследования. В процессе исследования использовались методы теории управления запасами, теории прогнозирования, имитационного моделирования, математического программирования.

Научная новизна:

1. Предложен адаптивный алгоритм идентификации структурных звеньев СГ, на основе которого формируется обобщенная МТСУ СГ. Обобщенная формализованная модель охватывает многообразие форм и способов складского грузооборота.

2. Показано, что многомерная МТСУ СГ преобразуется к стандартному виду, независимо от сложности и качественного различия структурных звеньев СГ.

3. Сформулированы и доказаны теоремы о правилах формирования оптимальных решений по управлению СГ для систем с общей емкостью склада, а также при совместном существовании прямой и

складской форм поставки.

4. Установлено, что для объективизации прогнозов спроса на поставку грузов потребителям и предложения на ввоз грузов от поставщиков необходимо использовать комплекс прогностических средств, организованный по принципу взаимосвязи и взаимодополнения.

5. Показано, что на величину издержек СГ влияет не только величина емкости склада, но и в значительной мере структура экономических оценок компонентов СГ, а также их величины.

6. Определены и обоснованы взаимосвязи между интенсивностями обслуживания грузопотоков и решениями по ввозу - вывозу продукции при ограниченной емкости склада.

7. Исследована возможность практического использования МТСУ СГ при управлении производственными системами, определено ее место в общей совокупности моделей производственных и транспортно-складских процессов.

Практическая ценность:

1. МТСУ СГ применима для качественно различных систем управления складским грузооборотом.

2. МТСУ СГ, приведенная к стандартному виду, допускает использование известных оптимизационных методов для определения решений по управлению грузопотоками. Определены конкретные правила формирования оптимальных решений для систем управления СГ с общей емкостью склада, а также при совместном существовании прямой и складской форм поставки.

3. Разработаны и апробированы программы для прогнозирования спроса на поставку продукции потребителям и предложения на ввоз грузов от поставщиков, а также имитационного моделирования СГ.

4. Разработаны рекомендации, регламентирующие правила ис-

пользования МТСУ СГ при управлении производственными системами.

Реализация результатов. Математическое обеспечение МТСУ СГ используется в комплексе задач "Грузы" ОАСУ "Транспорт" (2-я очередь) для прогнозирования спроса на грузовые авиаперевозки и маршрутизации грузопотоков по сети авиалиний гражданской авиации. Место внедрения - ЦНИИ АСУ ГА, г. Рига.

Результаты работы использованы также хлебзаводом № 5 (г. Одесса) для совершенствования системы централизованного управления производством, транспортировкой и сбытом готовой продукции.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и получили одобрение на секции "Кибернетика и автоматическое управление" научного совета по проблеме "Кибернетика" АН УССР (Одесса, 1978 г.), на секции "Средства повышения эффективности функционирования систем управления и вычислительных комплексов" республиканской научно-технической конференции "Применение математических методов и средств вычислительной техники в экологических и экономических исследованиях водной среды" (Одесса, 1979 г.), на секции "АСУ технологическими процессами" всесоюзной научно-технической конференции "Состояние, перспективы разработки и применения средств вычислительной техники для управления технологическими процессами и автоматизации научного эксперимента" (Северодонецк, 1979 г.), на секции "Автоматизация производственных процессов" научно-технической конференции ОТИШ (Одесса, 1977, 1978, 1979, 1980 гг.).

Публикация результатов. Результаты выполненных исследований изложены в 6 работах, а также в отчетах по хозяйственной НИР на тему "Разработка методов управления почтово-грузовыми перевозками ОАО в условиях АСУ" за 1976-1980 годы.

Структура диссертации. Работа состоит из введения, четырех

глав, заключения и приложений, изложена на 134 страницах машинописного текста, включает 16 рисунков, 12 таблиц. Библиография содержит 137 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит формулировку проблемы совершенствования управления складским грузооборотом. Отмечено, что большой вклад в решение проблемы внесен отечественными специалистами: Ю.И. Рыжиковым, Г.И. Феклисовым, А.А. Смеховым, А.А. Первозванским и рядом других. Методы, разработанные ими, позволяют решать большой класс методологически важных задач управления транспортно-складскими процессами. Однако проблема в целом остается нерешенной. Одной из причин, затрудняющих решение проблемы, является отсутствие достаточно эффективных форм и методов управления, позволяющих отражать как специфику качественно различных материальных потоков, так и условия функционирования складов общего типа.

В соответствии с этим во введении сформулирована цель и основные задачи научного исследования, дана краткая аннотация того нового, что внесено автором в решение поставленных задач.

Первая глава посвящена анализу состояния вопросов совершенствования складского хозяйства как основного звена складского грузооборота. Анализируются основные сведения из практики функционирования складов, показано место и роль складов в общей системе народнохозяйственных связей. В качестве характерных особенностей функционирования складов на современном этапе НТР отмечены: увеличение объемов товаро- и грузооборота в условиях отставания темпов прироста трудовых ресурсов и складских площадей; возрастание удельного веса работ по управлению складом в условиях усложнения рабочих процессов и увеличения объемов циркулирующей информации; значительные затраты на ПРТС работы в условиях объективной возможности радикального снижения себестоимости продукции за счет совер-

шенствования организации управления транспортно-складскими процессами.

Результаты анализа теоретических исследований в области складского хозяйства показывают, что основными средствами исследования транспортно-складских процессов являются методы теории управления запасами, а также методы решения задач математического программирования. Отмечается, что несмотря на широкое применение таких методов, они имеют и определенные недостатки: в теории управления запасами - априорное предположение о том, что источник удовлетворяет заказы своевременно и в полном объеме; в задачах транспортного типа - отсутствие учета динамики изменения уровня запасов, а также издержек от неудовлетворенного спроса и неполной реализации продукции. В работе показано, что отсутствие принципиальных различий между материальными потоками и запасами (запас можно рассматривать как поток с нулевой скоростью) позволяет объединить схемы управления запасами и материальными потоками. Предлагается единая схема управления складским грузооборотом, согласно которой осуществляется регулирование входных и выходных (для склада) грузопотоков, а запас является величиной, зависимой от интенсивностей поступления и вывоза грузов. Согласно такой схеме управляющее устройство (диспетчер, регулятор, ЭВМ) на основании заданной стратегии управления и информации об объемах грузов у поставщиков, уровне запасов груза на складе и величине спроса, поступающего от потребителей продукции, определяет решения по ввозу грузов на склад и вывозу их со склада; управление реализуется в виде формирования материальных потоков определенной интенсивности.

Вторая глава посвящена разработке обобщенной модели трехзвенных систем управления складским грузооборотом и состоит из трех частей.

1. Под трехзвенной подразумевается такая система управления складским грузооборотом, которая обеспечивает функционирование пунктов производства, хранения и потребления продукции с позиции продвижения грузов по цепочке "поставщик-склад-потребитель" на основе информации об объемах производства и потребления, величине запасов и емкости склада.

Элементы названной цепочки являются звеньями СТ и характеризуются многоэлементными и качественно различными множествами:

"производство" - множеством $I = \{i, j, n, z, c, d\}$, элементы которого отражают характеристики грузов, предлагаемых для ввоза на склад;

"склад" - множествами $J = \{i, j, n, z, c, d, t_{пост}\}$ и $K = \{i, j, n, z, c, d, t_{пост}\}$, элементы которых отражают характеристики грузов, хранимых на складе, а также конструктивные особенности накопителей продукции;

"потребление" - множеством $P = \{i, j, n, c, d\}$, элементы которого отражают сведения о спросе на продукцию, хранимую на складе.

Здесь i - место производства продукции; j - место потребления продукции; n - номенклатура грузов; z, c, d - признаки транзитности и срочности доставки грузов, перевозки их по договорным отношениям; $t_{пост}$ - время поступления груза на склад.

Конкретные системы СТ отличаются как названными элементами, так и их числом, поэтому для разработки обобщенной МТСУ СТ предлагается специальный алгоритм идентификации структурных звеньев СТ, смысл которого заключается в описании исходных множеств

I, J, K, P через объединение некоторых постоянных и однозначно определяемых для конкретных систем подмножеств $I_j, j = \overline{4, 15}$:

$$I = I_1 \cup I_2 \cup I_3 \cup I_4 \cup I_6 \cup I_7 \cup I_8 \cup I_{12}; J = I_1 \cup I_2 \cup I_3 \cup I_5 \cup I_6 \cup I_7 \cup I_{10} \cup I_{13};$$

$$K = I_1 \cup I_2 \cup I_4 \cup I_5 \cup I_7 \cup I_9 \cup I_{11} \cup I_{14}; P = I_4 \cup I_5 \cup I_6 \cup I_7 \cup I_8 \cup I_{10} \cup I_{11} \cup I_{15}, \quad (1)$$

что возможно в том случае, когда выполняются равенства

$$I_1 = I \cap J \cap K \cap P; \quad I_2 = (I \cap J \cap K) \setminus I_1; \quad I_3 = (I \cap J \cap P) \setminus I_1;$$

$$I_4 = (I \cap K \cap P) \setminus I_1; \quad I_5 = (J \cap K \cap P) \setminus I_1; \quad I_6 = (I \cap J) \setminus (I_1 \cup I_2 \cup I_3);$$

$$I_7 = (I \cap K) \setminus (I_1 \cup I_2 \cup I_4); \quad I_8 = (I \cap P) \setminus (I_1 \cup I_3 \cup I_4);$$

$$I_9 = (J \cap K) \setminus (I_1 \cup I_2 \cup I_5); \quad I_{10} = (J \cap P) \setminus (I_1 \cup I_3 \cup I_5);$$

$$I_{11} = (K \cap P) \setminus (I_1 \cup I_4 \cup I_5); \quad I_{12} = I \setminus (I_1 \cup I_2 \cup I_3 \cup I_4 \cup I_6 \cup I_7 \cup I_8);$$

$$I_{13} = J \setminus (I_1 \cup I_2 \cup I_3 \cup I_5 \cup I_6 \cup I_9 \cup I_{10});$$

$$I_{14} = K \setminus (I_1 \cup I_2 \cup I_4 \cup I_5 \cup I_7 \cup I_8 \cup I_{11});$$

$$I_{15} = P \setminus (I_1 \cup I_3 \cup I_4 \cup I_5 \cup I_8 \cup I_{10} \cup I_{11}). \quad (2)$$

Используем следующие вспомогательные обозначения:

$$\Omega_1 = (i_1, i_2, i_3, i_4, i_6, i_7, i_8, i_{11}); \quad \Omega_2 = (i_1, i_3, i_4, i_5, i_8, i_{10}, i_{11}, i_{15});$$

$$\Omega_3 = (i_1, i_2, i_3, i_5, i_6, i_9, i_{10}, i_{13}); \quad \Omega_4 = (i_1, i_2, i_4, i_5, i_7, i_9, i_{11}, i_{14});$$

$$\sum_{\Omega_1} = \sum_{i_2} \sum_{i_3} \sum_{i_4} \sum_{i_6} \sum_{i_7} \sum_{i_8} \sum_{i_{11}}; \quad \sum_{\Omega_2} = \sum_{i_3} \sum_{i_4} \sum_{i_5} \sum_{i_8} \sum_{i_{10}} \sum_{i_{11}} \sum_{i_{15}};$$

$$\sum_{\Omega_3} = \sum_{i_1} \sum_{i_2} \sum_{i_3} \sum_{i_5} \sum_{i_6} \sum_{i_9} \sum_{i_{10}} \sum_{i_{13}}; \quad \sum_{\Omega_4} = \sum_{i_1} \sum_{i_2} \sum_{i_4} \sum_{i_5} \sum_{i_7} \sum_{i_9} \sum_{i_{11}} \sum_{i_{14}}. \quad (3)$$

Основные требования, предъявляемые к величине грузов, ввозимых на склад ($V^+(\Omega_1)$) и вывозимых со склада ($V^-(\Omega_2)$), состоят в том, что невозможно ввезти грузов больше величины предложения ($D(\Omega_1)$); недопустимо вывезти продукции больше величины спроса ($S(\Omega_2)$); разность между величинами поставок продукции на склад и вывоза ее со склада не должна превышать свободной части накопителя емкостью ($E(\Omega_3)$); разность между величинами продукции, вывозимой со склада и ввозимой на склад, не должна превышать величины запасов ($Z(\Omega_4)$); требуется обеспечить максимальное удовлетворение спроса и предложения.

В свете сформулированных требований и введенных обозначений (3), обобщенная МТСУ СГ принимает вид системы (4):

$$\begin{cases} 0 \leq V^+(\Omega_1) \leq D(\Omega_1); \quad 0 \leq V^-(\Omega_2) \leq S(\Omega_2); \\ \sum_{\Omega_1} V^+(\Omega_1) - \sum_{\Omega_2} V^-(\Omega_2) \leq \sum_{\Omega_3} E(\Omega_3) - \sum_{\Omega_4} Z(\Omega_4); \\ \sum_{\Omega_2 \setminus \{i_1, i_4\}} V^-(\Omega_2) - \sum_{\Omega_1 \setminus \{i_1, i_4\}} V^+(\Omega_1) \leq \sum_{\Omega_4 \setminus \{i_1, i_4\}} Z(\Omega_4); \\ \sum_{i_1} \left(\sum_{\Omega_1} \alpha(\Omega_1) \cdot V^+(\Omega_1) + \sum_{\Omega_2} \beta(\Omega_2) \cdot V^-(\Omega_2) \right) \rightarrow \max, \end{cases} \quad (4)$$

где $\alpha(\Omega_1)$ и $\beta(\Omega_2)$ - оценочные параметры складского грузооборота, i_1, i_4 - элементы множеств I_1 и I_4 .

В работе показано, на конкретных примерах, как изменяется структура и вид модели в зависимости от выбираемого набора характеристик складского грузооборота.

В представленном обобщенном виде модель не может быть использована для решения задач управления грузопотоками, поэтому необходимо ее преобразование к стандартному виду задач математического программирования:

$$\max (C \cdot X \mid A \cdot X \leq B, X \geq 0). \quad (5)$$

В работе показан способ определения элементов a_{mn} матрицы A , а также b_m и c_n векторов B и C . Множествам Ω_1 и Ω_2 ставятся в соответствие числа по формулам (6) и (7):

$$m = \sum_{\kappa=1,2,3,4,6,7,8,11} K_1 \cdot (i_{\kappa}-1) / (\rho_{i_1} \cdot \rho_{i_2} \cdot \dots \cdot \rho_{i_{\kappa}}) + 1, \quad (6)$$

$$m = \sum_{\kappa=1,3,4,5,8,10,11,15} K_2 \cdot (i_{\kappa}-1) / (\rho_{i_1} \cdot \rho_{i_2} \cdot \dots \cdot \rho_{i_{\kappa}}) + K_1 + 1, \quad (7)$$

где $K_1 = \prod_{\kappa} \rho_{i_{\kappa}}, \kappa=1,2,3,4,6,7,8,11$; $K_2 = \prod_{\kappa} \rho_{i_{\kappa}}, \kappa=1,3,4,5,8,10,11,15$, (символ $\prod_{\kappa} \rho_{i_{\kappa}}$ следует понимать так: $\prod_{\kappa} \rho_{i_{\kappa}} = \rho_{i_1} \cdot \rho_{i_2} \cdot \rho_{i_5}, \kappa=1,2,5$).

Выводятся следующие расчетные соотношения:

$$c_n = \alpha(\Omega_1), \quad n \leq K_1, \quad n \text{ определяется по формуле (6),}$$

$c_n = \beta(\Omega_2)$, $H_1 < n \leq H_1 + H_2$, n определяется по формуле (7),

$b_m = D(\Omega_4)$, $m \leq H_4$, m определяется по формуле (6),

$b_m = S(\Omega_2)$, $H_1 < m \leq H_1 + H_2$, m определяется по формуле (7),

$$b_m = \sum_{\Omega_3} E(\Omega_3) - \sum_{\Omega_4} Z(\Omega_4), \quad m = H_1 + H_2 + i_4, \quad i_4 = \overline{1, \rho_{i_4}};$$

$$b_m = \sum_{\Omega_4 \setminus \{i_4, i_4\}} Z(\Omega_4), \quad m = H_1 + H_2 + \rho_{i_4}(\rho_{i_4} - 1) + i_4; \quad i_4 = \overline{1, \rho_{i_4}}; \quad i_4 = \overline{1, \rho_{i_4}};$$

$$\alpha_{m_n} = \begin{cases} 1, m = n, m = \overline{1}; M - \rho_{i_4} - \rho_{i_4} \cdot \rho_{i_4}, \quad n = \overline{1, N}; \\ 1, n = \overline{L_1 \cdot (K-1) + 1; L_1 \cdot K}, \\ -1, n = \overline{\rho_{i_4} \cdot L_1 + L_2 \cdot (K-1) + 1; \rho_{i_4} \cdot L_1 + L_2 \cdot K}, \\ \quad m = M - \rho_{i_4} - \rho_{i_4} \cdot \rho_{i_4} + 1; M - \rho_{i_4} \cdot \rho_{i_4}, \quad \kappa = \overline{1; \rho_{i_4}}; \\ -1, n = (K-1) \cdot L_3 \cdot (R + \rho_{i_4} - 1) - \rho \cdot L_4 + L_4 = (R-1) \cdot L_3 + 1; R \cdot L_3, \\ -1, n = (P-1) \cdot L_3 = (R-1) \cdot L_3 + (\rho_{i_4} \cdot \rho_{i_4} - 1) \cdot L_3 \cdot \rho_{i_4} + 1; R \cdot L_3 + (\rho_{i_4} \cdot \rho_{i_4} - 1) \cdot L_3 \cdot \rho_{i_4}, \\ \quad \kappa = \overline{1; \rho_{i_4} \cdot \rho_{i_4} - 1}, m = M + \rho_{i_4} \cdot \rho_{i_4} = (P-1) \cdot \rho_{i_4} + 1; P \cdot \rho_{i_4}, \quad P = \overline{1, \rho_{i_4}}; \\ 1, n = \overline{\rho_{i_4} \cdot L_1 - (K-1) \cdot L_4 \cdot (R-1 + \rho_{i_4}) - (P-1) \cdot L_2 = (R-1) \cdot L_4 + 1; R \cdot L_4}, \\ 1, n = (P-1) \cdot L_3 = (R-1) \cdot L_4 + (\rho_{i_4} - 1) \cdot L_4 \cdot \rho_{i_4} + 1; (R-1) \cdot L_4 + (\rho_{i_4} - 1) \cdot L_4 \cdot \rho_{i_4} + L_4, \\ \quad m = M + \rho_{i_4} \cdot \rho_{i_4} = (P-1) \cdot \rho_{i_4} + 1; P \cdot \rho_{i_4}, \\ \quad P = \overline{1; \rho_{i_4}}, \quad R = \overline{1; \rho_{i_4}}, \quad \kappa = \overline{1; \rho_{i_4} - 1}; \\ 0, \text{ для остальных } m = \overline{1; M}, \quad n = \overline{1, N}. \end{cases} \quad (8)$$

Здесь: $L_1 = H_1 / \rho_{i_4}$; $L_2 = H_2 / \rho_{i_4}$; $L_3 = L_1 / (\rho_{i_4} \cdot \rho_{i_4} \cdot \rho_{i_4})$; $L_4 = L_2 / (\rho_{i_4} \cdot \rho_{i_4} \cdot \rho_{i_4})$,

$$M = H_1 + H_2 + \rho_{i_4} \cdot \rho_{i_4}; \quad N = H_1 + H_2,$$

ρ_{i_k} - количество элементов i_k множества I_k , $\kappa = \overline{1; 19}$.

Для задач вида (5) методы решения хорошо разработаны, поэтому определение оптимальных решений по управлению материальными потоками в складском грузообороте не представляет в дальнейшем особых затруднений.

2. Любой локальный накопитель продукции, являющийся составным элементом склада, можно рассматривать как склад с общей емкостью хранилища. Поэтому практический интерес вызывает исследование МТСУ СТ в случае общей емкости склада. Учитывая, что

при этом единственной характеристикой структурных звеньев СТ является номенклатура грузов, модель (4), в соответствии с (2) и (8), становится одноиндексной и к ней оказываются справедливыми следующие утверждения, сформулированные и доказанные в работе:

Теорема 1. При неотрицательных параметрах целевой функции оптимальные решения задачи оперативного управления складским грузооборотом в фиксированный момент времени определяются условиями (9)-(II):

$$\text{если } Z(t) < \sum_m S_m(t) - \sum_k D_k(t), \text{ то } V_k^+(t) = D_k(t), \kappa = \overline{1, R}; V_m^-(t) = S_m(t), m = \overline{1, \tau_2}; \\ V_{\tau_2+1}^-(t) = \sum_k D_k(t) - \sum_{i=1}^{\tau_2} S_i(t) + Z(t); V_m^-(t) = 0, m = \overline{\tau_2+2, M}; \quad (9)$$

$$\text{если } \sum_m S_m(t) - \sum_k D_k(t) + E \geq Z(t) \geq \sum_m S_m(t) - \sum_k D_k(t), \\ \text{то } V_k^+(t) = D_k(t), \kappa = \overline{1, R}; V_m^-(t) = S_m(t), m = \overline{1, M}; \quad (10)$$

$$\text{если } Z(t) > \sum_m S_m(t) - \sum_k D_k(t) + E, \text{ то } V_k^+(t) = D_k(t), \kappa = \overline{1, \tau_2}; \\ V_{\tau_2+1}^-(t) = \sum_m S_m(t) - \sum_{i=1}^{\tau_2} D_i(t) + E - Z(t); V_k^-(t) = 0, \kappa = \overline{\tau_2+2, R}; V_m^-(t) = S_m(t), m = \overline{1, M}. \quad (II)$$

Теорема 2. При выполнении условий теоремы 1 оптимальные решения задачи управления складским грузооборотом на интервале времени $t \in [t_0, T]$ определяются условиями (9)-(II).

Показано, что для определения управляющих решений достаточно использовать итерационный метод нахождения конечного числа моментов времени t_i , в которых осуществляется проверка выполнимости условий (9)-(II), посредством решения уравнений (I2)-(I4), где $Z(t_0)$, $D_k(t_i)$, $S_m(t_i)$ - известные величины:

$$Z(t_{i-1}) \cdot e^{-(t_i - t_{i-1})} = \begin{cases} \sum_m S_m(t_i) - \sum_k D_k(t_i), \\ \sum_m S_m(t_i) - \sum_k D_k(t_i) + E; \end{cases} \quad (I2)$$

$$\int_{t_{i-1}}^{t_i} (\sum_k D_k(t) - \sum_m S_m(t)) dt = \begin{cases} \sum_m S_m(t_i) - \sum_k D_k(t_i), \\ \sum_m S_m(t_i) - \sum_k D_k(t_i) + E; \end{cases} \quad (I3)$$

$$(Z(t_{i-1}) - E) \cdot e^{t_i - t_{i-1}} = \begin{cases} \sum_m S_m(t_i) - \sum_k D_k(t_i) - E, \\ \sum_m S_m(t_i) - \sum_k D_k(t_i). \end{cases} \quad (I4)$$

Окончательно используется в расчетах наименьший среди корней $t_i > t_{i-1}$, $t_i \in [t_0, T]$ уравнений (I2), (I3) или (I4), решаемых согласно условий, соответственно, (9), (I0) или (II). Для перехода от одних моментов времени к другим используется уравнение материального баланса:

$$Z(t_i) = Z(t_{i-1}) + \sum_k \int_{t_{i-1}}^{t_i} V_k^+(t) dt - \sum_m \int_{t_{i-1}}^{t_i} V_m^-(t) dt.$$

3. В целях более полного охвата форм грузооборота в работе рассмотрено правило формирования оптимальных решений по управлению материальными потоками при совместном существовании прямой и складской форм поставки грузов. Сформулирована и доказана теорема о способе аналитического определения таких решений:

если $D(t) > S(t) + E - Z(t)$, то $V(t) = S(t); V^+(t) = E - Z(t); V^-(t) = 0$;

если $S(t) + E - Z(t) > D(t) \geq S(t)$, то $V(t) = S(t); V^+(t) = D(t) - S(t); V^-(t) = 0$;

если $D(t) < S(t), Z(t) \leq S(t) - D(t)$, то $V(t) = D(t); V^+(t) = 0; V^-(t) = Z(t)$;

если $D(t) < S(t), Z(t) > S(t) - D(t)$, то $V(t) = D(t); V^+(t) = 0; V^-(t) = S(t) - D(t)$,

где $V(t)$ - величина прямой поставки от поставщика к потребителю.

В третьей главе рассматриваются вопросы математического обеспечения МТСУ СТ. К ним относится прогнозирование исходных параметров модели (спроса на вывоз продукции потребителям и предложения на ввоз грузов от поставщиков), имитационное моделирование с целью определения оптимальной емкости накопителей продукции и интенсивностей обработки входных и выходных грузопотоков на основе сведений о поставках грузов на склад и вывозе их со склада.

1. Учитывая нестационарность временных рядов, характеризующих изменение во времени величин спроса и предложения, а также неоднозначность интенсивности их возрастания и убывания на различ-

ных временных интервалах, для объективизации прогнозов предложен комплекс прогностических средств, организованный по принципу взаимосвязи и взаимодополнения.

Устанавливаются нижняя и верхняя границы дискретного интервала (ρ) обучающей последовательности и периода упреждения (τ): $\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$; $\tau_{\min} \leq \tau \leq \tau_{\max}$; $\rho_{\min} \geq 1$; $\tau_{\min} \geq 1$;

$$\rho_{\max} + \tau_{\max} \leq N,$$

где N - количество членов временного ряда. Для каждого набора пар (ρ, τ) определяются параметры каждой из используемых моделей m_j , $j = \overline{1, M}$ (M - общее число моделей). Качество прогнозирования оценивается критерием (F) минимизации среднеквадратического отклонения прогнозов от фактических значений признака. Оптимальные параметры ρ^* , τ^* и модель прогнозирования m_j^* определяются условием (I5):

$$F(\rho^*, \tau^*, m_j^*) = \min_{\rho} \left(\min_{\tau} \left(\min_{m_j} F(\rho, \tau, m_j) \right) \right). \quad (I5)$$

Непосредственное прогнозирование осуществляется затем по выбранной модели и ее соответствующим параметрам. Такой способ прогнозирования позволяет существенно повысить качество прогнозов для различных временных рядов в рамках одного и того же комплекса прогностических средств.

Предложенный подход реализован в виде пакета прикладных программ, используемых в ОАСУ "Транспорт" (ЦНИИ АСУ ГА, г. Рига) для прогнозирования спроса на грузовые авиаперевозки и маршрутизации грузопотоков. Данные, полученные при апробации комплекса, показали, что прогнозирование различных рядов осуществляется различными моделями с разным интервалом обучающей последовательности и периодом упреждения. Это свидетельствует о целесообразности использования комплекса в целях объективизации прогнозов.

2. При рассмотрении реальных систем практически невозможно воспроизвести распределение предложения и спроса при различных ем-

ностей накопителей продукции. Поэтому анализ возможных последствий от реализации управленческих решений, а также оценка эффективности функционирования склада осуществляется средствами имитационного моделирования. Существенным, что отличает предложенный подход от уже известных научных результатов, является учет конкретного способа формирования решений по ввозу продукции на склад и вывозу ее со склада, представленного теоремой 2.

Рассматривается система десяти вероятностных автоматов $A_i, i = \overline{1,10}$. Их состояние описывается совокупностью величин: t - рассматриваемый момент времени; $\alpha_1(t)$ - предложение на ввоз грузов на склад; $\alpha_2(t)$ - длина очереди на обслуживание входящего потока требований; $\alpha_3(t)$ - спрос на запасообразующую продукцию; $\alpha_4(t)$ - длина очереди на обслуживание спроса; $\alpha_5(t)$ - решение по управлению грузопотоками; $\alpha_6(t)$ - уровень запасов; $\alpha_7(t), \alpha_8(t), \alpha_9(t)$ - накопленные издержки, их математическое ожидание и дисперсия; $\alpha_{10}(t)$ - счетчик автоматного времени.

В работе описана система функций входа-выхода и представлена таблица условных функционалов переходов, согласно которой составлена программа имитационного моделирования складского грузооборота. Апробация программы показала, что величина издержек СГ существенно зависит как от величины емкости склада, так и от структуры и величин стоимостных показателей компонентов СГ. Последнее свидетельствует о том, что при проектировании складов и управлении складским грузооборотом необходимо учитывать количественные оценки всех компонентов СГ.

3. Изменение интенсивностей обработки (λ и μ) входных и выходных грузопотоков при известных величинах ($V^+(t_0), V^-(t_0)$) ввозимой и вывозимой продукции приводит к изменению времени хранения, обработки и ожидания на обработку грузов. Следовательно,

изменяются совокупные затраты на процесс складского грузооборота, которые определяются формулой (16) в случае, если $V^+(t_0)/\lambda \leq V^-(t_0)/\mu$:

$$f = \beta \left[\frac{2Z(t_0) + (1 - \mu/\lambda) \cdot V^+(t_0)}{2} \cdot \frac{V^+(t_0)}{\lambda} + \frac{2Z(t_0) + V^+(t_0) - V^-(t_0) + (1 - \mu/\lambda) \cdot V^+(t_0)}{2} \cdot \left(\frac{V^-(t_0)}{\mu} - \frac{V^+(t_0)}{\lambda} \right) \right] + \gamma \cdot \frac{V^+(t_0)}{\lambda} + \tilde{\gamma} \cdot \frac{V^-(t_0)}{\mu} + \alpha^+ \cdot \lambda + \alpha^- \cdot \mu, \quad (16)$$

где $\beta, \gamma, \tilde{\gamma}, \alpha^+, \alpha^-$ - стоимостные оценки затрат. Минимальное значение f принимает при λ и μ равных, соответственно:

$$\lambda = \sqrt{\frac{2\gamma - \beta \cdot V^+(t_0)}{2\alpha^+} \cdot V^+(t_0)}; \quad \mu = \sqrt{\frac{2\tilde{\gamma} + \beta \cdot [2Z(t_0) + 2V^+(t_0) - V^-(t_0)] \cdot V^-(t_0)}{2\alpha^-}}$$

Условия, при которых полученные значения интенсивностей обработки грузопотоков являются оптимальными, сводятся к проверке выполнения совокупности неравенств (17):

$$\begin{cases} \alpha^- \cdot V^-(t_0) \cdot (2\gamma - \beta \cdot V^+(t_0)) > \alpha^+ \cdot V^+(t_0) \cdot (2\tilde{\gamma} + \beta \cdot (2Z(t_0) + 2V^+(t_0) - V^-(t_0))), \\ 2\gamma + \beta \cdot (2Z(t_0) + 2V^+(t_0) - V^-(t_0)) \geq 0. \end{cases} \quad (17)$$

Таким же способом определяются оптимальные значения λ и μ для других практически возможных случаев, в частности, $V^+(t_0) = 0, V^-(t_0) = 0$ и $V^+(t_0)/\lambda > V^-(t_0)/\mu$.

Если же управление интенсивностями обработки входных и выходных грузопотоков является двухпозиционным, то есть

$$\lambda(t) = \begin{cases} L, & t \in [t_1, t_2], \\ 0, & t \notin [t_1, t_2]; \end{cases} \quad \mu(t) = \begin{cases} Q, & t \in [t_3, t_4], \\ 0, & t \notin [t_3, t_4], \end{cases}$$

то возникает необходимость определения точек переключения интенсивностей $\lambda(t)$ и $\mu(t)$ с максимального значения L (Q) на минимальное (0) и наоборот. Отдельные из таких точек определяются эмпирически: момент полного заполнения накопителей продукции и момент понижения уровня запасов до нуля, - остальные точки определяются с позиции минимизации совокупных издержек СГ.

Показано, что затраты на хранение продукции и обработку грузопотоков понижают ее товарную стоимость. Учитывая транспортно-складские издержки, такое понижение описывается формулой (18):

$$\rho = (\alpha - \beta) \cdot \frac{2 \cdot E - Q \cdot \tau}{2} \cdot \frac{L \cdot \tau}{L - Q} - \beta \cdot \frac{L \cdot \tau}{L - Q} \cdot \frac{Q \cdot \tau}{2} - \gamma \cdot \tau, \quad (18)$$

где α - стоимость продукции, хранимой в единице емкости склада, τ - момент времени переключения интенсивности обработки грузопотоков (рассматривается случай, когда $Z(t_0) = E$, $L > Q$).

Своего максимального значения ρ достигает при

$$\tau = \frac{(\alpha - \beta) \cdot L - \gamma \cdot (L - Q)}{\alpha \cdot L - Q},$$

то есть точкой переключения является момент достижения уровня запасов, определяемого формулой (19):

$$Y = E - Q \cdot \tau = \beta \cdot E / \alpha + \gamma \cdot (L - Q) / (\alpha \cdot L). \quad (19)$$

Подобные результаты получены и для всех остальных возможных случаев, а именно: $Z(t_0) = E$, $Z(t_0) = 0$; $L > Q$, $L = Q$, $L < Q$.

Четвертая глава посвящена анализу возможностей использования разработанной МТСУ СГ в производственных системах.

В работе показано, что структура производственной системы представляет собой объединение технических средств (производственных агрегатов), перерабатывающих продукцию, и устройств (складов), сохраняющих ее на интервале времени между смежными фазами переработки; связи между ними осуществляются путем перемещения продукции по транспортным магистралям. Для эффективного решения вопросов управления производственными и транспортно-складскими процессами это требует объединения локальных трехзвенных систем управления СГ в единую модель.

Рассматривается совокупность технологических операций $i = \overline{1, I}$, характеризующих конкретную производственную систему. Каждая из них описывается множеством связей между входными ($X_{ij(i)}$) и выходными ($Y_{ik(i)}$) величинами:

$Y_{ik(i)} = f_{k(i)}(X_{ij(i)}); \quad \mathcal{F}_{z(i)}(X_{ij(i)}) = 0; \quad \sum_{k(i)} Y_{ik(i)} \leq R_i, \quad i = \overline{1, I}, \quad (20)$
 где $j(i)$ - номенклатура продукции, перерабатываемой в процессе выполнения операции (i); $k(i)$ - номенклатура продукции, вырабатываемой в процессе выполнения операции (i); вид и параметры функциональных зависимостей $f_{k(i)}$, $\mathcal{F}_{z(i)}$ определяются конструктивными и технологическими требованиями; R_i - максимальная производительность агрегата, осуществляющего операцию (i).

Пусть $\mathcal{L}_1, \mathcal{L}_2, \mathcal{L}_3$ - множества условных обозначений складов для хранения сырьевых материалов, полуфабрикатов и готовой продукции. Предположим также, что обозначения склада и хранимой в нем продукции совпадают. Тогда, учитывая принятые обозначения, функционирование производственной системы описывается системой неравенств

$$\begin{cases} 0 \leq V_l^+(t) \leq D_l(t); \quad V_l^+(t) - \sum_i X_{il(i)}(t) \leq E_l(t) - Z_l(t), \\ -V_l^+(t) + \sum_i X_{il(i)}(t) \leq Z_l(t), \quad l \in \mathcal{L}_1; \\ \sum_m Y_{ml(m)}(t) - \sum_i X_{il(i)}(t) \leq E_l(t) - Z_l(t), \\ \sum_i X_{il(i)}(t) - \sum_m Y_{ml(m)}(t) \leq Z_l(t), \quad l \in \mathcal{L}_2; \quad m \neq i; \\ 0 \leq V_l^-(t) \leq S_l(t); \quad \sum_m Y_{ml(m)}(t) - V_l^-(t) \leq E_l(t) - Z_l(t), \\ V_l^-(t) - \sum_m Y_{ml(m)}(t) \leq Z_l(t), \quad l \in \mathcal{L}_3. \end{cases} \quad (21)$$

При решении задач управления грузопотоками по дискретным моментам времени $t_i \in [t_0, T]$ используется информация о неудовлетворенном спросе и нереализованном предложении:

$$\begin{aligned} S_l(t_i) &= SF_l(t_i) + S_l(t_{i-1}) - V_l^-(t_{i-1}), \quad l \in \mathcal{L}_3; \\ D_l(t_i) &= DF_l(t_i) + D_l(t_{i-1}) - V_l^+(t_{i-1}), \quad l \in \mathcal{L}_1, \end{aligned} \quad (22)$$

где $SF_l(t_i)$, $DF_l(t_i)$ - фактические величины предложения и спроса, возникающих к моменту времени (t_i).

Учитывается также динамика изменений уровня запасов:

$$\begin{cases} Z_{\ell}(t_j) = Z_{\ell}(t_{j-1}) + V_{\ell}^+(t_{j-1}) - \sum_i x_{i\ell(t)}(t_{j-1}), \ell \in \mathcal{L}_1; \\ Z_{\ell}(t_j) = Z_{\ell}(t_{j-1}) + \sum_m y_{m\ell(t)}(t_{j-1}) - \sum_i x_{i\ell(t)}(t_{j-1}), \ell \in \mathcal{L}_2; \\ Z_{\ell}(t_j) = Z_{\ell}(t_{j-1}) + \sum_m y_{m\ell(t)}(t_{j-1}) - V_{\ell}^-(t_{j-1}), \ell \in \mathcal{L}_3. \end{cases} \quad (22)$$

Критерием эффективности решения задачи управления грузопотоками, полученной на основе модели (20)-(22), является максимизация прибыли от реализации готовой продукции (в заданной системе цен) при минимальных затратах на процесс производства, включая транспортировку, складирование и переработку продукции, а также издержки от неудовлетворенного спроса и стоимость ожидания на ввоз сырья на склад.

В работе предложены методические рекомендации относительно определения величины предложения на ввоз грузов от поставщиков, спроса на готовую продукцию, емкостей складов и начального уровня запасов. При этом уделяется внимание использованию средств прогнозирования и имитационного моделирования. Описаны также способы формирования решений по ввозу грузов на склады сырья ($V_{\ell}^+(t_j)$) и полуфабрикатов ($y_{m\ell(t)}(t_j)$), а также по вывозу грузов со складов готовой продукции ($V_{\ell}^-(t_j)$) и величине поставок сырья и полуфабрикатов для последующей обработки ($x_{i\ell(t)}(t_j)$).

Осуществлена апробация разработанных методических рекомендаций на примере системы "поставщик-предприятие-потребитель". Результаты моделирования использованы при разработке рекомендаций по совершенствованию системы централизованного управления производством, транспортировкой и сбытом продукции хлебозаводов на базе Одесского хлебозавода № 5. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что сформированная модель, включающая локальные МТСУ СГ в качестве составных элементов, отражает предусмотренные технологией производственные процессы и позволяет получать сведе-

ния, необходимые для эффективного управления ими.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработан алгоритм формирования обобщенной модели трехзвенных систем управления складским грузооборотом, идентифицирующей конкретную систему по множеству характеристик ее структурных звеньев.

2. Получены расчетные соотношения, описывающие способы понижения размерности модели и преобразования ее к стандартному виду. Окончательная структура преобразованной модели приемлема для использования известных оптимизационных методов при определении решений по управлению складским грузооборотом.

3. Доказаны теоремы, которые сводят поиск оптимальных решений на заданном временном интервале к определению конечного множества локальных оптимумов и предложены конкретные правила для их формирования.

4. Предложен подход к разработке комплекса моделей прогнозирования спроса и предложения, организованного по принципу взаимосвязи и взаимодополнения. Составлена и апробирована программа для прогнозирования спроса на грузовые перевозки, осуществляющая прогноз с точностью, максимально возможной в рамках используемого комплекса моделей.

5. Разработан алгоритм имитационного моделирования, оптимизирующий емкость склада по минимуму совокупных издержек складского грузооборота.

6. Получены формулы для определения интенсивностей обработки грузопотоков в зависимости от решений по ввозу-вывозу продукции, а также для определения точек их переключения.

7. Полученная обобщенная МТСУ СГ вписывается в более общую модель управления материальными потоками, отражающую специфику функционирования производственных систем. Предложены методические

рекомендации по использованию модели при управлении производством и запасами.

8. Установлено, что разработанная модель отражает предусмотренные технологией производственные процессы, а решения, формируемые на ее основе, дают необходимые для управления сведения и позволяют выявить пути повышения эффективности функционирования производственных систем.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Федунец А.Д. Вопросы разработки программного обеспечения АСУ транспортировкой и складированием продукции.- В кн.: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. по состоянию, перспективам разработки и применения средств вычислительной техники для управления технологическими процессами и автоматизации научного эксперимента. Северодонецк, 4-7 сентября 1979 г., ЦНИИТЭИПриборостроения, 1979, с. 112.

2. Павлов А.И., Федунец А.Д. Управление материальными потоками в условиях ограниченной емкости звеньев хранения.- В кн.: Автоматическое управление технологическими процессами в пищевой промышленности. Краснодар, 1979, вып. 92, с. 10-15.

3. Федунец А.Д. Комплекс прогностических средств как способ объективизации прогнозов.- В кн.: Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. по применению математических методов и средств вычислительной техники в экологических и экономических исследованиях водной среды. Одесса, 2-4 октября 1979 г., Одесса, Одес. отд. ИЭ АН УССР, 1979, с. 195-196.

4. Павлов А.И., Федунец А.Д. Складское хозяйство в грузопроводящей системе.- Пром. транспорт, 1979, № 10, с. 10-11.

5. Федунец П.Д., Федунец А.Д., Деревянко П.Ф. Некоторые вопросы оптимизации исходных параметров задачи линейного программирования.- В кн.: Автоматическое управление технологическими процессами в пищевой промышленности. Краснодар, 1979, вып. 92, с. 16-22.

6. Павлов А.И., Федунец А.Д. Некоторые вопросы управления материальными потоками в условиях складского грузооборота.- В кн.: Управление потоками материальных ресурсов на уровне предприятий-объединений. Киев: ИК АН УССР, 1980, с. 31-38.

ВР 02156. Подл. к печати 28.06.81 г. Формат 60 x 84 1/16.
Объем 1 л. л. Заказ № 3692. Тираж 190 экз.
Гортипография Одесского облполиграфиздата, пех № 8,
Ленна, 49.