

**УДК 681.3**

## **ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДВИЖЕНИЯ КОМПЛЕКТУЮЩИХ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМЫХ СЕТЕЙ**

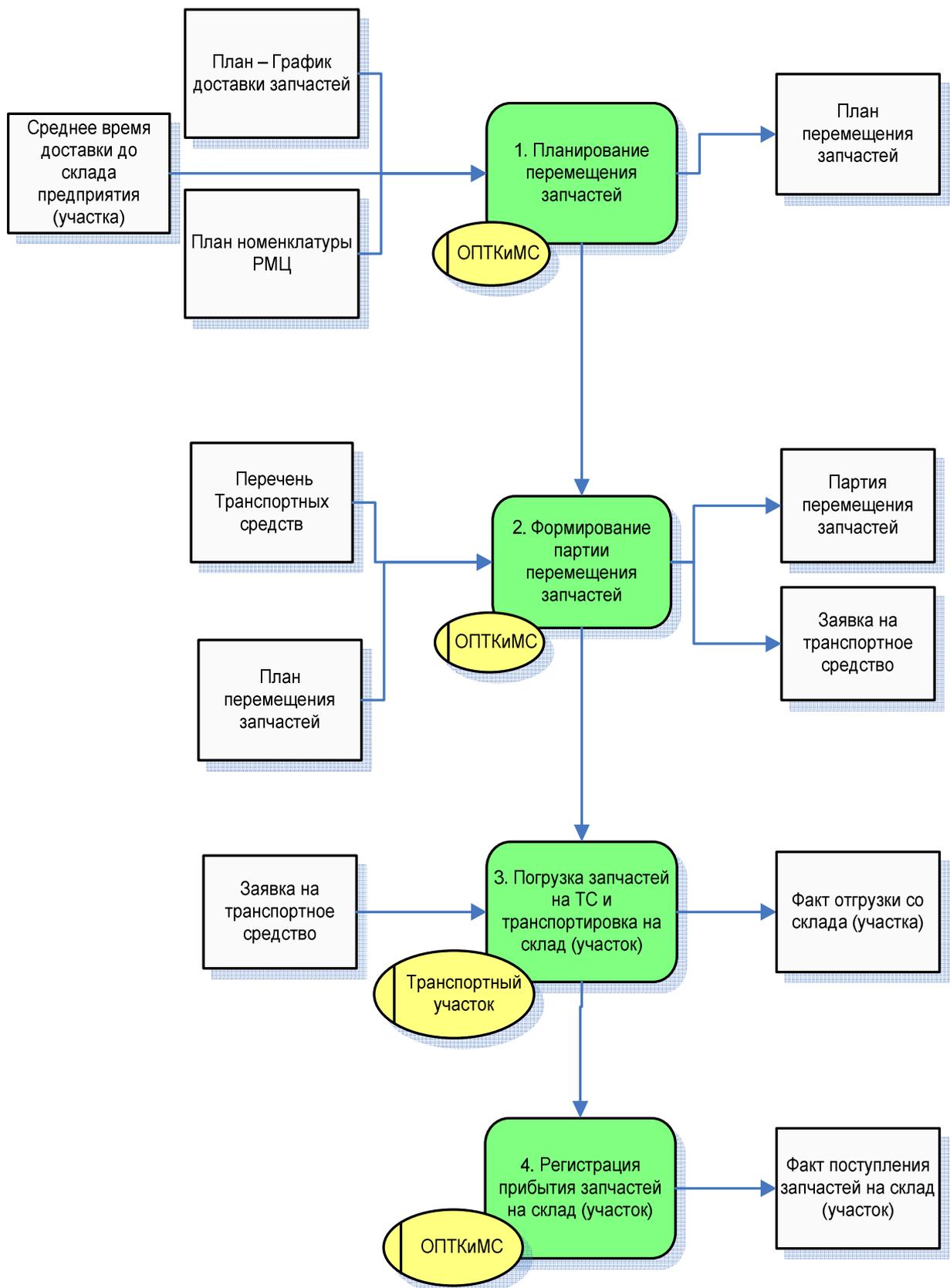
**Солнцев А.А., Ивахненко А.А.**

Отличительной чертой развитого автомобильного рынка является обязательное наличие в товаропроводящей сети дополнительного буферного звена – дистрибьютора и/или официального дилера, осуществляющего все основные функции по торговле автомобилями определенных марок, запасными частями к ним и оказанию сервисных услуг в данном регионе. Причем в рыночной экономике роль и значение сопутствующих продаж легковых автомобилей сервисных услуг неуклонно возрастает, а доходы от их реализации не только являются дополнительным источником увеличения прибыли торгово-посреднической фирмы, но становятся ее важнейшим конкурентным преимуществом и стабилизирующим фактором развития в среднесрочной перспективе [1].

В плане моделирования процессов транспортировки комплектующих базовыми являются бизнес-процессы (БП) управления движением запчастей, к которым относятся: учет движения запчастей на центральном складе, учет движения запчастей на участках, планирование, учет и контроль перемещения запчастей между центральным складом и участками и другие. В статье предлагается порядок выполнения и схема бизнес-процесса «Планирование, учет и контроль перемещения запчастей между центральным складом и участками, а также между участками» (рисунок 1).

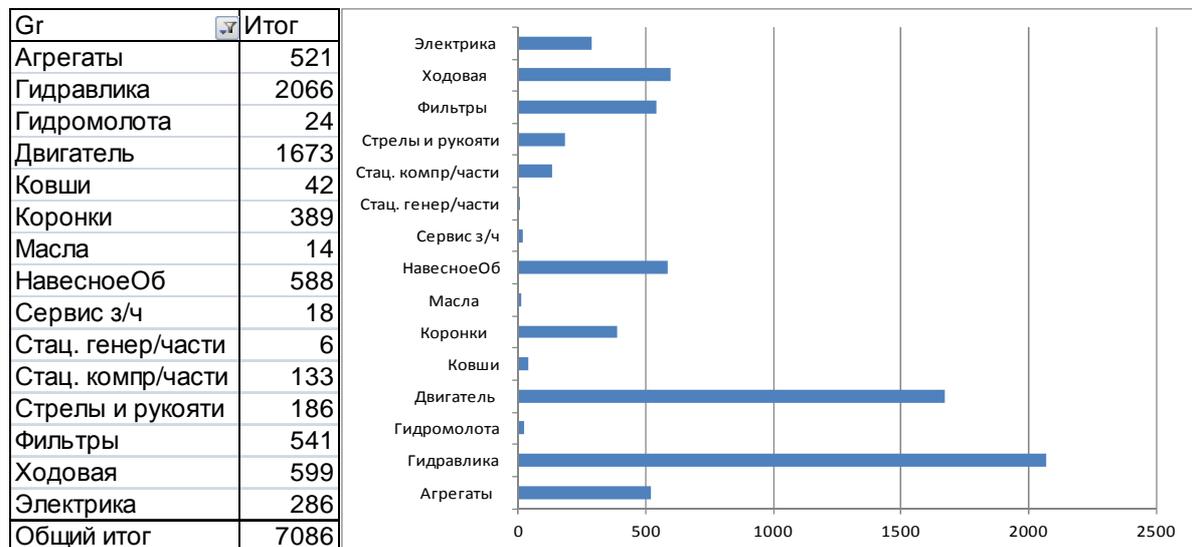
К основным бизнес-функциям (БФ) этого процесса относятся: планирование перемещения запчастей, формирование партии перемещения запчастей, погрузка запчастей на ТС и транспортировка на участок [3]. Так, основными реквизитами БФ «Планирование перемещения запчастей» являются: среднее время доставки до склада предприятия, маршрут, время движения по маршруту, вид грузоперевозчика и др. Основными реквизитами БФ «Формирование партии перемещения запчастей» являются комплектация партии доставки, список единиц техники, количество единиц техники, поставщик, вид транспортного средства и др. Основными реквизитами БФ «Погрузка запчастей на ТС и транспортировка на склад» являются заявка на транспортное средство, факт отгрузки со склада (участка), дата отгрузки со склада (участка) и др.

В целях оценки временных затрат на реализацию представленного БП в статье проведен статистический анализ интенсивности запросов по отдельным группам комплектующих (рисунок 2) в дилерской сети.



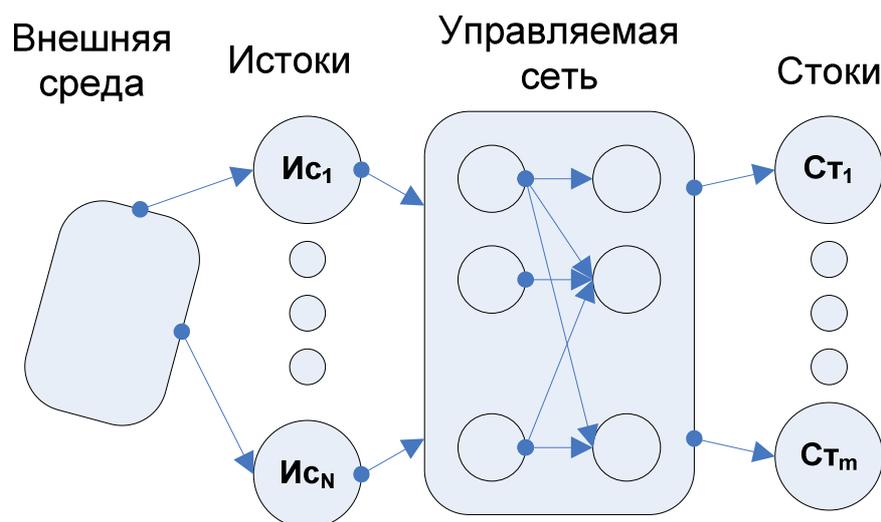
**Рисунок 1 - Схема БП «Планирование, учет и контроль перемещения запчастей между центральным складом и участками, а также между участками»**

Полученные значения интенсивностей запросов на отдельные группы позволяют оценить начальные значения параметров аналитических и имитационных моделей анализа временных показателей движения комплектующих.



**Рисунок 2 - Интенсивность запросов по отдельным группам комплектующих**

На основе разработанных схем описаний БП и проведенного статистического анализа интенсивности запросов разработана транспортная схема доставки комплектующих от поставщиков-производителей до предприятий дилерской сети (рисунок 3). Для решения этой задачи предлагается использовать теорию управляемых сетей [2], которая направлена на оптимизацию перемещения объектов из одной географической точки в другую при ограничениях на пропускные способности каналов.



**Рисунок 3 - Модель управляемой потоковой сети**

В общем случае поток задает способ пересылки некоторых объектов из одной вершины графа в другую по его дугам. Вершина, из которой начинается перемещение объектов, является источником. Вершина, в которой заканчивается перемещение

объектов, является стоком. Объекты, которые перемещаются из источника в сток, представляют единицы потока.

Для формализации критерия в управляемой сети определено множество узлов-источников

$$I_0 = \left\{ i_p : \sum_{j=1}^L a_{i_p j} = 0, 1 \leq i_p \leq L \right\} \quad (1)$$

и множество узлов-стоков

$$I_1 = \left\{ j_p : \sum_{i=1}^L a_{i j_p} = 0, 1 \leq j_p \leq L \right\}. \quad (1)$$

Узел-источник не имеет в конфигурации базовой сети ни одной входящей в него дуги, поэтому он соответствует нулевому столбцу в матрице смежности. Узел-сток не имеет в конфигурации базовой сети ни одной выходящей дуги, поэтому он соответствует нулевой строке в матрице смежности. Остальные узлы, номера которых соответствуют ненулевым строкам и столбцам матрицы смежности базовой сети, являются внутренними узлами сети.

В статье рассмотрена схема потоков, перемещение которых в управляемой сети связано не только с выбранной конфигурацией, но и с определенными маршрутами движения. Для описания маршрутов движения используется матрица маршрутов

$$\mathbf{P}_q = [p_{ij}^q], p_{ij}^q \in \{0,1\}, i, j = \overline{1, L}, q = \overline{1, Q}, \quad (2)$$

где  $Q$  - количество матриц путей в управляемой сети.

В матрице маршрутов недиагональные единицы указывают на дуги, по которым может пройти соответствующий поток. Поэтому матрица не может содержать единицы в позициях, где имеются нули в матрице смежности базовой сети

$$\mathbf{P}_q = \mathbf{P}_q \odot \mathbf{A}, q = \overline{1, Q}. \quad (3)$$

Каждая матрица маршрутов  $\mathbf{P}_q$  определяет перемещение по управляемой сети определенного слагаемого вектора потока

$$\mathbf{x}^q(k) = [x_1^q(k) \dots x_L^q(k)]^T, q = \overline{1, Q}. \quad (4)$$

Вектор потока  $\mathbf{x}(k) = [x_1(k) \dots x_L(k)]^T$  в любой такт управления  $k$  является суммой

$$\mathbf{x}(k) = \sum_{q=1}^Q \mathbf{x}^q(k). \quad (5)$$

Распределение слагаемого вектора потока  $\mathbf{x}^q(k)$  в управляемой сети производится в соответствии со своей матрицей распределения

$$\mathbf{D}_q(\mathbf{u}(k)) = [d_{ij}^q(\mathbf{u}(k))], i, j = \overline{1, L}. \quad (6)$$

Слагаемый поток распределяется по направлениям, определенным матрицей маршрутов  $\mathbf{P}_q = [p_{ij}^q]$ ,  $i, j = \overline{1, L}$  и выбранной конфигурацией  $\mathbf{A}(\mathbf{u}(k)) = [a_{ij}(\mathbf{u}(k))]$ ,

$i, j = \overline{1, L}$ , сети. Доля распределения по направлениям зависит от значений матрицы распределений  $\mathbf{D}=[d_{ij}]$ ,  $i, j = \overline{1, L}$ , управляемой сети.

$$d_{ij}^q(\mathbf{u}(k)) = \frac{d_{ij} a_{ij}(\mathbf{u}(k)) p_{ij}^q}{d_i^q(\mathbf{u}(k))}, \quad i, j = \overline{1, L}, \quad (7)$$

где

$$d_i^q(\mathbf{u}(k)) = \sum_{j=1}^L d_{ij} p_{ij}^q a_{ij}(\mathbf{u}(k)), \quad i, j = \overline{1, L}. \quad (8)$$

Также рассмотрена задача последовательного управления, когда компоненты вектора управления на каждом такте могут изменяться, принимая только следующие по отношению к предыдущему такту значения, либо оставаться неизменными. Если на предыдущем такте компонента управления имела предельное значение, то следующим за ним будет нулевое значение.

Изменение управления вычислялось с помощью приращений  $\bar{\mathbf{u}}(k)=[\bar{u}_1(k)\dots\bar{u}_M(k)]^T$ ,  $\bar{u}_i(k) \in \{0,1\}$ ,  $i = \overline{1, M}$ ,  $k = \overline{1, N}$ . Значение управления вычислялось на каждом такте как  $u_i(k)=(u_i(k-1) + \bar{u}_i(k)) \bmod (u_i^+ + 1)$ ,  $i = \overline{1, M}$ . Результаты вычислений представлены в таблице 1

**Таблица 1 - Изменение вектора состояний управляемой сети**

k	$[u_1 \ u_2]^T$	$[x_1^1 \ x_2^1 \ x_3^1 \ x_4^1]^T$	$[x_1^2 \ x_2^2 \ x_3^2 \ x_4^2]^T$
0	$[0 \ 0]^T$	$[60 \ 0 \ 0 \ 0]^T$	$[40 \ 0 \ 0 \ 0]^T$
1	$[0 \ 0]^T$	$[40,2 \ 4,8 \ 15 \ 0]^T$	$[32,8 \ 7,2 \ 0 \ 0]^T$
2	$[0 \ 0]^T$	$[21 \ 9 \ 18 \ 12]^T$	$[25 \ 7,8 \ 7,2 \ 0]^T$
3	$[1 \ 0]^T$	$[6 \ 9 \ 24,4 \ 20,6]^T$	$[25 \ 0 \ 11,5 \ 3,5]^T$
4	$[0 \ 1]^T$	$[3,7 \ 2,3 \ 24,4 \ 29,6]^T$	$[15,3 \ 9,7 \ 11,5 \ 3,5]^T$
5	$[0 \ 2]^T$	$[1,3 \ 4,6 \ 16,3 \ 37,8]^T$	$[5,6 \ 9,7 \ 17,4 \ 7,3]^T$
6	$[1 \ 0]^T$	$[0 \ 4,6 \ 11,8 \ 43,6]^T$	$[5,6 \ 0 \ 20,9 \ 13,5]^T$
7	$[0 \ 0]^T$	$[0 \ 4,6 \ 7,5 \ 47,9]^T$	$[0 \ 5,6 \ 13,2 \ 21,2]^T$
8	$[0 \ 1]^T$	$[0 \ 0 \ 7,5 \ 52,5]^T$	$[0 \ 0 \ 16 \ 24]^T$
9	$[0 \ 2]^T$	$[0 \ 0 \ 4 \ 56]^T$	$[0 \ 0 \ 8 \ 32]^T$
10	$[0 \ 2]^T$	$[0 \ 0 \ 0 \ 60]^T$	$[0 \ 0 \ 0 \ 40]^T$

Полученная в результате решения задачи программа управления дает наилучшее значение функционала в среднем для множества реализаций начальных значений.

В результате разработаны формализованные схемы описаний бизнес-процессов движения комплектующих, которые дают основу порядку реализации и аналитико-имитационному и теоретико-игровому моделированию производственной деятельности

дилерской сети. На основе управляемых сетей разработаны модели управления транспортировкой комплектующих между производителями и предприятиями дилерской сети, которые вместе с моделями складирования и реализации погрузочно-разгрузочных работ дают основу комплексному анализу текущей ситуации, направленному на повышение эффективности управленческих решений по тактических и стратегических планов развития дилерской сети.

### **Список информационных источников**

- [1] Агрегированные критерии эффективности бизнес-процессов управления производственным циклом промышленных предприятий / Катырин С.Н., Солнцев А.А., Тимофеев П.А., Якунин П.С. // Вестник МАДИ Выпуск 4 (27). – М.: МАДИ, 2011. – С. 53-59.
- [2] Моделирование транспортной системы на основе гибридного автомата / Солнцев А.А., Якунин П.С., Чичерин А.В., Кузнецов С.А. // Методы управления потоками в транспортных системах: сб. науч. тр. МАДИ. – М.: МАДИ, 2009. – С. 41-45.
- [3] Методика разработки программы компьютеризации автотранспортного предприятия / Васильев Д.А., Измайлова М.В., Катырин С.Н., Солнцев А.А. // Автоматизация систем поддержки управленческой деятельности: сб. науч. тр. МАДИ. – М.: МАДИ, 2011. – С. 81-88.