

УДК 519.872

А.В. ПОПОВ, Е.Р. ОБРЕЗАНОВА, Е.Ю. СИНЕБРЮХОВА

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

## ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК

*Проводится моделирование логистической системы грузоперевозок с использованием системы массового обслуживания (СМО). Рассматривается модель логистической системы на основе однофазной одноканальной и многоканальной систем обслуживания с различными функциями распределения интервалов поступления транспортных средств в логистический центр и обработки элементов потока. Для моделирования участкового способа транспортировки грузов предлагается использовать многофазную модель обслуживания с вычислением основных характеристик обслуживания. Приведены примеры расчета показателей эффективности логистической системы.*

**Ключевые слова:** логистическая система, участковый метод транспортировки, транспортная сеть, система массового обслуживания, системы передачи данных.

### Введение

Расширение смежных функций в логистическом управлении предприятием связано с повышением спроса на комплексные услуги грузоперевозок, хранения, экспедирования и управления цепями поставок [1]. Следует отметить рост конкуренции в сфере транспортной логистики, что вызвано повышением требований, предъявляемых к качеству и своевременности предоставляемых услуг. Такие актуальные задачи, как построение плана грузоперевозок, формирование цепей поставок, повышение уровня информационного обеспечения, интеграция в макрологистические системы требуют системного подхода к решению. Моделирование цикла функционирования логистической системы проводится с целью улучшения основных показателей процесса грузоперевозок, а также для их дальнейшего прогнозирования и исследования.

В настоящее время повышается важность эффективной организации и оперативного контроля не только за условиями транспортировки грузов, но также на стадии складирования, хранения и выполнения погрузочно-разгрузочных работ. Логистическая цепь грузоперевозок формируется как между территориально распределенными подразделениями предприятия, так и непосредственно от производителя к потребителю. На основе обзора литературы по исследуемому вопросу [2-5] существующие подходы к анализу логистических систем (ЛС) можно условно разделить на следующие группы: моделирование кратчайших маршрутов при оптимизации движения транспортных средств (ТС), интеграция структурных подразделений управляющего и исполнительного секторов в единую логистическую

систему, повышение уровня информационного обеспечения процессов грузоперевозок, модернизация существующих или разработка новых систем управления и диспетчеризации в ЛС. Представленные подходы ориентированы на рассмотрение только определенных аспектов в деятельности ЛС. Вероятностное моделирование функционирования логистической цепи предполагает, наряду с построением моделей анализа и оптимизации структуры маршрутов, учитывать также объемы грузопотоков и оценивать их влияние на основные показатели эффективности ЛС, поэтому рассматриваемые вопросы управления и организации деятельности логистической транспортной системы являются актуальными.

### Постановка задачи

Процесс функционирования ЛС в виде логистической цепи [2] можно разделить на следующие составляющие:

- 1) заключение контракта с транспортно-логистическим посредником;
- 2) подготовка к реализации контракта;
- 3) процесс транспортировки;
- 4) сопроводительные операции.

Под процессом грузоперевозок следует понимать совокупность операций, непосредственно связанных с перемещением самого груза, как элемента транспортного потока. Моделирование логистической системы грузоперевозок относится к классу моделей оптимизации процесса транспортировки и включает в себя несколько видов задач [8]:

- планирование объемов грузопотоков;
- маршрутизация перевозок;

- планирование траекторий движения ТС;
- задачи теории расписаний и календарного планирования.

В данной статье рассматриваются первые две задачи. Целью работы является разработка и применение формального описания процессов грузоперевозок для оценки показателей эффективности функционирования ЛС и снижения затрат времени и ресурсов на выполнение логистических операций. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: выполнить обзор методов организации грузоперевозок, обосновать основные принципы проведения аналитического моделирования ЛС, описать предлагаемые модели грузоперевозок. В качестве математического аппарата используется теория массового обслуживания и теория систем передачи данных. Для описания взаимодействия разных видов транспорта в логистических центрах транспортной системы используются различные типы систем массового обслуживания и их комбинации. Обоснование эффективности предлагаемого подхода связано с возможностью построения аналитической модели для любой конкретной конфигурации ЛС. Вероятностное моделирование для различных исходных данных и ограничений на загрузку ЛС позволит сократить количество простоев и задержек при выполнении операций складирования, транспортировки, погрузочно-разгрузочных работ на каждом участке маршрута движения.

### Исследование методов организации грузоперевозок

Наличие грузовых потоков с высокой интенсивностью является определяющим фактором при разработке оптимальных маршрутов транспортировки. Выбранные маршруты должны отвечать жестким требованиям, связанным со степенью загрузки подвижного состава, временем осуществления одного оборота состава, использованием кратчайших расстояний для движения. Осуществление корректной диспетчеризации транспортного процесса предполагает исключение встречных однотипных перевозок и минимизацию таких показателей, как количество задействованных ТС и уровень порожних пробегов, учет территориальной специфики различных направлений.

Существует два основных метода организации грузоперевозок: сквозной и участковый [6]. Сквозной метод предполагает, что движение автомобилей осуществляется от грузообразующего до грузопоглощающего пункта без смены груза с использованием одного ТС. Альтернативным методом организации транспортировки является участковый метод.

В этом случае весь маршрут грузоперевозок делится на несколько участков, каждый из которых обслуживается собственным транспортным парком.

Сравнение схем организации движения согласно сквозному (рис. 1, а) и участковому (рис. 1, б) методам указывает на более сложную структурную организацию участкового метода, в котором между грузообразующим и грузопоглощающим пунктами может происходить перецепка груза, смена водителей или смена транспортного состава с экспедитором. При сквозном методе отсутствуют пункты распределения, что накладывает ограничения на маршрут движения, связанные с продолжительностью смены водителей. Схема организации перевозок по участковому методу обладает рядом преимуществ, связанных с сокращением временных затрат, снижением себестоимости перевозок и увеличением производительности подвижного состава.

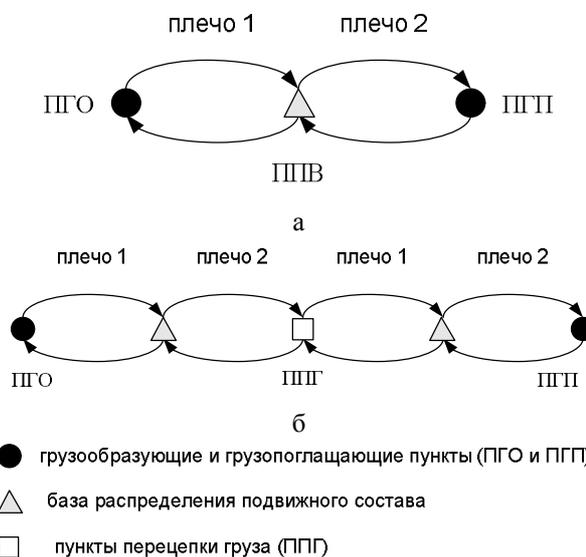


Рис. 1. Методы организации грузоперевозок: а – сквозной метод, б – участковый метод

В работе [6] приведена оценка эффективности применения участкового метода с учетом ограничений на начальные условия выбора используемого ТС и вариантов доставки. Логистические терминалы (центры) позволяют эффективно использовать ТС с учетом их технических характеристик, срока эксплуатации, стоимости сервисных услуг и топлива, что повышает доходность перевозок.

### Моделирование грузоперевозок с помощью теории массового обслуживания

Обзор существующих подходов к моделированию ЛС, основанных на использовании различных математических, экономических, имитационных моделей, показал общую тенденцию к комплексному

применению нескольких методов, что объясняется сложностью исследуемого объекта и необходимостью компенсировать недостатки одних методов преимуществами других. В работе [7] проведен обзор методологии DIMA для комплексного моделирования цепей поставок, объединяющей оптимизационные, статистические, эвристические методы и имитационное моделирование. Двухуровневая система моделей транспортной системы приведена в статье [8].

Предлагаемый в работе подход к моделированию процессов грузоперевозок основывается на рассмотрении грузообразующих и грузопоглащающих пунктов, а также пунктов перецепки или распределения подвижного состава (в случае их наличия) в качестве узлов СМО, а каждый маршрут, соединяющий между собой узлы различных типов, – в виде линий связи. Использование участкового метода позволит упростить сложную структуру маршрутов логистической системы, разбив их на участки, удобные для моделирования.

Согласно [9-10] для исследования СМО в моделировании грузоперевозок необходимо учесть следующие признаки классификации:

- 1) по числу каналов: одноканальные и многоканальные;
- 2) по дисциплине обслуживания: с отказами (потерями), с ожиданием (очередью) и смешанного типа;
- 3) по количеству этапов обслуживания: однофазные и многофазные;
- 4) по схеме обслуживания: упорядоченное, неупорядоченное, с приоритетом;
- 5) по ограничению потока заявок: замкнутые и открытые (разомкнутые).

Каждый тип системы массового обслуживания (рис. 2) представляется следующим образом  $G_1 | G_2 | N | K | m | \mathfrak{R}$ , где  $G_1$  – закон распределения интервалов времени между элементами входного потока,  $G_2$  – закон распределения времени обработки,  $N$  – количество обслуживающих устройств,  $K$  – общая емкость системы,  $K_{буф}$  – емкость буфера,  $m$  – входной поток,  $\mathfrak{R}$  – дисциплина обслуживания.

С учетом приведенной классификации систем определяется вид распределения времени обслуживания между соседними запросами  $G_1$ , поступающими на обслуживание в ЛС, и вид распределения времени обслуживания  $G_2$  ТС.

Каждая из этих величин описывается функцией распределения вероятностей  $A(t)$  и  $B(t)$  соответственно, а также плотность распределения вероятностей  $a(t)$  и  $b(t)$  [9].

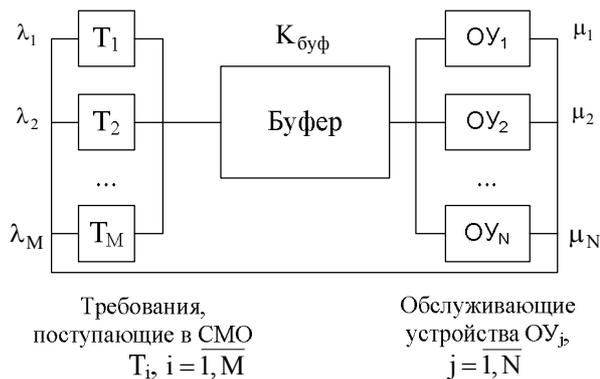


Рис. 2. Общая схема многоканальной СМО для моделирования транспортного обслуживания

Работа системы заключается в том, что на вход подаются элементы потока, которые называются требованиями или запросами (заявками). Первоначально они поступают в буфер, который может быть ограниченным (конечным) или бесконечным, затем по определенной дисциплине запросы выбираются на обрабатывающие устройства.

Каждое требование, поступающее в систему, характеризуется моментом поступления  $\tau_{инт.}$  и временем обслуживания  $\tau_{обр.}$ , а также связанным с ним временем между соседними требованиями  $\Delta\tau_{ij}$ . Величины, характеризующие время поступления и обработки запросов, являются случайными величинами. Интенсивность поступления требований в систему составляет  $\lambda = \frac{1}{\tau_{инт.}}$ , интенсивность обслуживания  $\mu = \frac{1}{\tau_{обр.}}$ . Основными дисциплинами

построения очереди являются: ПППО (FIFO) – «первым пришел, первым обслужился», используемая в данной модели и ПППосл.О (стековая модель) – «первым пришел, последним обслужился». Также существуют относительные и абсолютные приоритеты обслуживания, когда запросы с более старшим приоритетом прерывают обслуживание требований с младшим приоритетом.

Основными характеристиками моделируемой ЛС с учетом использования СМО являются:

- 1)  $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{\tau_{обр.}}{\tau_{инт.}}$  – загрузка логистической системы;
- 2)  $P_k$  – вероятность того, что в логистической системе находится  $k$  запросов;
- 3)  $K_{буф}$  – емкость буфера;
- 4)  $L_{сист.}$  – среднее число запросов, находящихся в логистической системе;

- 5)  $L_{очер.}$  – среднее число запросов, находящихся в буфере;
- 6)  $T_{сист.}$  – время нахождения запросов в логистической системе;
- 7)  $T_{очер.}$  – время нахождения запросов в буфере.

Перечисленные характеристики позволяют судить о состоянии работы узлов ЛС, объединенных в рамках построенной модели для участкового метода грузоперевозок.

В процессе моделирования под запросом понимается груз, который необходимо доставить в пункт назначения. В качестве буфера может выступать промежуточный пункт перераспределения груза как между производством и складом, так между складом и средствами транспортировки, представляющими собой обслуживающие устройства. Одноканальная система исключается из рассмотрения ввиду того, что количество используемых ТС превышает одно обслуживающее устройство. Понятие разомкнутой системы исключает наличие циклов в процессе транспортировки, поэтому грузоперевозки по одинаковым маршрутам с некоторым временным интервалом рассматриваются как новые заявки. Моделирование в работе выполняется для систем с дисциплиной обслуживания ПППО. Определение характеристик ЛС выполняется для однофазных и многофазных систем, причем последние рассматриваются как совокупность конечного числа однофазных систем [9-12].

### Вероятностные модели логистического центра

Рассмотрим более подробно моделирование процессов в узлах ЛС, каждый из которых может быть представлен в виде логистического центра. Логистический центр является частью инфраструктуры ЛС, в которой необходимо создать целый ряд входных потоков (грузопотоков), а также обработку элементов потока (запросов) с целью дальнейшего продвижения грузов. В качестве элементов потока используется некоторая условная транспортная единица, например, автомобиль определенной грузоподъемности. Для более полного описания логистического центра следует иметь ввиду, что сам процесс переработки поступающих элементов грузопотока представляет собой многофазную систему. В работе проводится анализ логистического центра как некоторой сосредоточенной системы, для моделирования которой используется однофазная одноканальная модель. Предполагаем, что в общей инфраструктуре логистической системы крупного масштаба имеется целый ряд локальных логистических центров, кото-

рые в своей совместной работе могут быть промоделированы как транспортная сеть, состоящая из одно- и многофазных моделей (рис. 3).

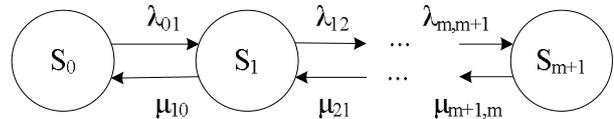


Рис. 3. Многофазная модель системы транспортного обслуживания смешанного типа

Понятие вероятностного процесса предполагает зависимость случайных величин от индексирующего их временного параметра, что позволяет моделировать различные процессы, определяемые совместным распределением вероятностей исходных случайных величин. Каждый логистический центр может относиться к одному из типов СМО, в зависимости от законов распределения входного потока заявок и времени их обработки. Для каждой системы рассчитываются основные параметры функционирования, что позволяет судить об ее эффективности. Для моделирования ЛС будем использовать основные типы СМО и их разновидности.

Представим логистическую систему в виде многоканальной открытой однофазной системы с ожиданием. Другие комбинации используемых признаков могут быть получены как частный случай такой системы. Ограничения могут накладываться на длину очереди к обслуживающим устройствам, на время пребывания запроса в очереди или на время пребывания запроса в системе [13]. Для логистической системы  $M|M|n|K_{буф} = m+n|\infty|Fifo$  с пуассоновским входящим потоком и показательным законом распределения времени обслуживания вероятность нахождения  $k$  запросов в логистической системе:

$$P_k = \frac{\rho^k}{n! n^{k-n}} P_0, \quad n \leq k \leq m+n,$$

где  $P_0$  – вероятность простоя ЛС,  $n$  – число обслуживающих устройств,  $m$  – емкость буфера,

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{(n-1)!(n-\rho)} \left(1 - \frac{\rho}{n}\right)^{m+1}} \cdot (1)$$

При  $1 \leq k \leq n$  получим  $P_k = \frac{\rho^k}{k!} P_0$ . Вероятность отказа в ЛС составляет:

$$P_n = \frac{1 - (\rho/n)^{m+1}}{1 - \rho/n}.$$

Для логистической системы вида  $M|M|N|\infty|\infty|Fifo$  с бесконечным буфером формула (1) принимает следующий вид:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{(n-1)!(n-\rho)}},$$

что характерно для логистической системы с ожиданием, когда заявки не уходят из очереди [14]. В случае  $\rho = 1$  очередь будет иметь постоянную длину, а при  $\rho > 1$  станет бесконечно возрастать. Тогда при  $0 \leq k \leq n$  вероятность  $P_k$  равна:

$$P_k = \frac{\frac{\rho^k}{k!}}{\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{(n-1)!(n-\rho)}}. \quad (2)$$

В случае ограничения на длину очереди в системе, когда поступающий запрос при занятых обслуживающих устройствах помещается в очередь, если в ней находится менее  $s$  запросов, формула (2) принимает вид:

$$P_k = \frac{\frac{\rho^k}{k!}}{\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{n!} \sum_{m=1}^s \left(\frac{\rho}{n}\right)^m}.$$

Получив значения  $P_k$  для одного из перечисленных видов СМО, можно вычислить следующие характеристики исследуемой ЛС: среднее число находящихся в системе запросов  $N_{\text{сист}} = \sum_{k=1}^{\infty} kP_k$ ; среднее число находящихся в очереди запросов  $N_{\text{очер}} = \sum_{k=n}^{\infty} (k-n)P_k$ ; среднее время ожидания запроса в ЛС  $T_{\text{сист}}$ ; среднее время ожидания запроса в очереди на обслуживание в ЛС  $T_{\text{очер}}$ :

$$T_{\text{сист}} = \frac{N_{\text{сист}}}{\lambda}. \quad (3)$$

$$T_{\text{очер}} = \frac{N_{\text{очер}}}{\lambda}. \quad (4)$$

Для оценочных упрощенных расчетов полезной является модель  $G|M|1$ , применяя которую можно рассчитать характеристики ЛС для конкретных значений  $G$  при наличии аналитического вида формулы для плотности распределения интервала между поступающими элементами потока. В случаях приоритетных запросов на транспортировку грузов можно использовать модели  $M|G_r|1$  с векторными потоками. Для случая сложных многоканальных логистических центров можно использовать многоканальные модели вида  $M|M|N$ .

## Моделирование участкового метода грузоперевозок с использованием многоканальной СМО

Представим моделируемую ЛС в виде полносвязного графа, узлами которого являются все пункты маршрута грузоперевозок. При этом предполагается наличие связи всех грузообразующих узлов со всеми грузопоглощающими узлами. Для каждого транспортного узла задаются следующие данные:  $\lambda$  – интенсивность поступления запросов,  $t_{\text{serv}}$  – время обработки одного запроса,  $n$  – количество обслуживающих устройств, в качестве которых выступают ТС одинаковой грузоподъемности.

Для каждой канала связи задается  $Pr$  – доход от транспортировки и  $S$  – стоимость грузоперевозки. В качестве примера рассмотрим маршрут, состоящий из пяти транспортных узлов – А, В, С, D, Е, каждый из которых может выполнять функции грузообрабатывающего терминала и формировать новые запросы в системе. Грузообразующим узлом считается вершина А, грузопоглощающим – вершина Е, обход остальных вершин выполняется произвольным образом с учетом наличия ограничений на условия моделирования. Исходные данные приведены в виде таблиц, где для каждого узла указана нормированная интенсивность поступления запросов и время обслуживания каждого из них на соответствующем участке движения (табл. 1), а также приведено соотношение прибыли и себестоимости грузоперевозок (табл. 2).

Таблица 1

Интенсивность поступления запросов и время их обслуживания

$\lambda / t_{\text{serv}}$	А	В	С	D	Е
А	*	0,4/1,5	0,3/1,3	0,2/1,6	0,1/3
В	0,3/1,5	*	0,3/2,2	0,3/2,3	0,1/2
С	0,2/1,3	0,3/2,2	*	0,3/1,3	0,2/2,5
D	0,2/1,6	0,2/2,3	0,3/1,3	*	0,3/1,8
Е	0,2/3	0,3/2	0,2/2,5	0,3/1,8	*

Задачами моделирования являются:

- 1) поиск оптимального числа обслуживающих каналов на каждом участке ЛС;
- 2) для полученного числа устройств определение параметров функционирования каждого участка и формирование маршрута транспортировки на основании минимизации показателя вероятности отказа;
- 3) расчет основных характеристик для выбранного маршрута.

Таблица 2  
Соотношение суммарной прибыли и стоимости грузоперевозок

Pr/S	A	B	C	D	E
A	*	169/75	127/65	192/80	675/150
B	169/75	*	363/110	397/115	300/100
C	127/65	363/110	*	127/65	469/125
D	192/80	397/115	127/65	*	243/90
E	675/150	300/100	469/125	243/90	*

Согласно участковому методу организации грузоперевозок весь маршрут допустимо рассматривать как совокупность участков транспортировки между начальным и конечным узлами с учетом пунктов перецепки грузов, и выполнять моделирование каждой линии связи в отдельности. Для каждого участка моделируются условия функционирования и рассчитываются основные характеристики:

- $\mu$  – интенсивность выходящего потока обслуженных запросов;
- $\rho$  – интенсивность обслуживания;
- $q = 1 - P_{отк}$  – относительная пропускная способность ЛС;
- $A = \lambda \cdot q$  – абсолютная пропускная способность ЛС;
- $P_{отк}$  – вероятность того, что запрос получит отказ;
- $\bar{k} = \frac{A}{\mu}$  – среднее число запросов в ЛС;
- $D = (Pr \cdot A - S \cdot n)$  – предполагаемый доход.

Данную логистическую транспортную систему представим в виде многоканальной СМО с пуассоновским входным потоком и экспоненциальным законом распределения длительности обслуживания вида  $M | M | n$ . В данной логистической системе нет очереди и возможны отказы поступающим запросам [14]. Вероятность того, что занято  $n$  каналов в ЛС рассчитывается по первой формуле Эрланга.

$$\begin{cases} p_0 = \left( \sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} \right)^{-1}, \\ p_k = \frac{\rho^k}{k!} p_0, \text{ где } k = 1, 2, \dots, n. \end{cases}$$

Поскольку запрос получает отказ в том случае, когда все обслуживающие устройства заняты, то

$$P_{отк} = p_n = \frac{\rho^n}{n!} p_0.$$

Для первой задачи выполняем расчеты с учетом нормированной интенсивности поступления запросов в ЛС ( $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ ).

Получим величину прибыли для различного числа обслуживающих каналов ( $n=1,2,\dots,5$ ) и оптимальное количество ТС, при котором значение дохода является максимальным. Результирующая таблица содержит максимальное значение предполагаемого дохода при выполнении грузоперевозок на каждом моделируемом участке, что является ключевым фактором при выборе количества ТС для отрезков маршрута (табл. 3).

Таблица 3  
Предполагаемый доход от грузоперевозок на каждом участке маршрута

D	A	B	C	D	E
A	*	58,94	18,99	13,04	17,65
B	31,72	*	103	116,81	1,1
C	5,42	103,09	*	18,99	64,05
D	13,04	51,23	18,99	*	56,51
E	116,08	77,39	65,94	56,51	*

Для второй задачи необходимо включать в маршрут все транспортные узлы. Оптимальным является путь с максимальным доходом и минимальным количеством задействованных ТС. В данном случае выбор осуществляется между маршрутами A-B-C-D-E и A-B-D-C-E, где предпочтение отдается второму варианту, согласно более низкой вероятности отказа. Количество используемых ТС, обозначенное как  $N$ , при двунаправленном обходе вершин графа представлено на рис. 4 для выбранного маршрута движения. Над каждой линией связи указано  $N_{ij} / N_{ji}$ , где  $i$  – грузообразующий пункт, а  $j$  – грузопоглащающий пункт.

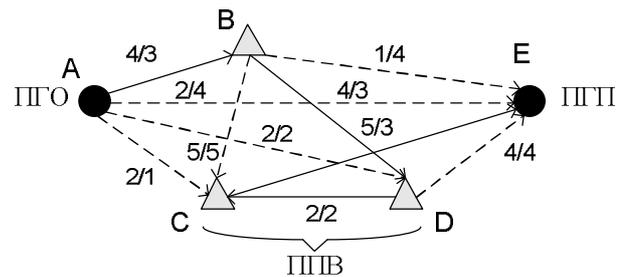


Рис. 4. Распределение ТС на маршруте

Третья задача решается путем выбора из полученных таблиц основных характеристик оптимального маршрута при заданном количестве задействованных ТС. В качестве параметров оптимизации выступает количество задействованных ТС и соответствующая стоимость грузоперевозки как минимизируемые величины. Анализ проводится по аналогии с методами исследования потоковых процессов в системах передачи данных.

## Моделирование работы логистического центра в виде многоканальной СМО

Особенностью ранее приведенных моделей СМО является условие, согласно которому каждая заявка может обслуживаться только одним обслуживающим ТС, что не всегда выполняется на практике. Рассмотрим функционирование многоканальной СМО с отказами, ТС которой функционируют по принципу «все как один» и предполагают наличие «взаимопомощи». В случае занятости всех обслуживающих ТС поступающий запрос получает отказ, однако следует заметить, что увеличение числа ТС не всегда приводит к повышению интенсивности обслуживания.

Модель ЛС с отказами. Пусть задана интенсивность входящего потока  $\lambda = 0,3$ , интенсивность потока обслуживания  $\mu = 0,1$  и количество обслуживающих ТС  $n = 5$ . Тогда относительная пропускная способность ЛС составит  $q = 0,625$ , а вероятность отказа  $P_{отк} = 0,375$ . Среднее число запросов, обслуживаемое в единицу времени составит  $A = 0,1875$ . По сравнению с работой ЛС без «взаимопомощи» между обслуживающими ТС, для которой  $A = 0,2667$ , количество обслуженных запросов ниже, но наличие «взаимопомощи» целесообразно в том случае, когда целью является снижение времени обслуживания пребывания запроса в ЛС. Данная особенность обусловлена наличием отказов в ЛС, поэтому логичным будет рассмотрение модели с «взаимопомощью» и неограниченным ожиданием.

Модель ЛС с неограниченным ожиданием. Рассмотрим пример работы логистического центра при проведении погрузочно-разгрузочных работ в виде многоканальной СМО с неограниченным ожиданием и взаимопомощью [15]. Пусть задано число обслуживающих ТС  $n = 5$ , интенсивность входного потока  $\lambda = 2$ , количество ТС в течение часа, интенсивность обслуживания одним ТС  $\mu = 1/t = 1/0,5 = 2$ . Определим нагрузку ЛС, приходящуюся на один канал. Получим  $\psi = \rho/n = 0,2$ , при этом среднее число обслуживаемых заявок составляет  $N_{об} = \psi = 0,2$ , а среднее число заявок в очереди  $N_{очер} = \psi^2/(1-\psi) = 0,05$ . Среднее число заявок в системе  $N_{сист} = N_{об} + N_{очер} = 0,25$ . Среднее время пребывания запроса в ЛС, согласно формуле (3), составляет  $T_{сист} = 0,125$  и среднее время ожидания запроса в очереди, согласно формуле (4),  $T_{очер} = 0,025$ . При сравнении полученных показателей многоканальной СМО с неограниченным ожиданием, но без «взаимопомощи» можно судить о значительном сокращении

среднего времени обслуживания одного запроса в логистическом центре.

При решении задач планирования грузопотоков чаще применяются многоканальные модели ЛС с отказами, где использование режима «взаимопомощи» позволяет повысить производительность каждого логистического центра в транспортной сети.

## Заключение

Для исследования грузоперевозок в транспортной логистической системе построены модели в теории массового обслуживания. Анализ построенных моделей локальных и крупных логистических центров осуществлен на основе однофазных и многофазных СМО. Проанализирован участковый метод транспортного обслуживания в ЛС, который в последнее время достаточно широко используется в процессе грузоперевозок.

Для случая моделирования грузопотоков в логистических центрах важным является определение типа входящего потока и потока обработки запросов на транспортировку, что существенно влияет на выбор конкретных законов распределения интервалов между поступающими запросами и временем обработки грузопотоков в ЛС. Обоснованное определение указанных грузопотоков, а также дисциплин их поступления и обработки позволяет адекватно отобразить функционирование логистического центра и найти его основные характеристики, что дает возможность рационально использовать имеющиеся центры для обработки поступающих грузов. Значительно упрощается процесс определения необходимого числа пунктов перецепки и назначения приоритетов обслуживания в ЛС. Моделирование грузопотоков с применением вероятностных моделей позволяет вычислить временные параметры транспортного цикла ЛС по аналогии с технологическим циклом производственного предприятия, а также определить эффективность работы всей инфраструктуры транспортной системы.

## Литература

1. Обзор рынка логистики [Текст] // Логистика: проблемы и решения. – 2010. – № 6. – С. 34 – 37.
2. Балалаев, А.С. Логистика формирования цепей поставок субъектами транспортного рынка [Текст] / А.С. Балалаев, П.В. Куренков, Г.В. Бубнова // Логистика сегодня. – 2010. – № 5. – С. 286 – 294.
3. Гаспарян, В.С. Моделирование оптимальной логистической цепи [Текст] / В.С. Гаспарян // Логистика сегодня. – 2010. – № 1 (37). – С. 18 – 22.
4. Сергеев, В.И. Корпоративная логистика [Текст] / В.И. Сергеев. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 976 с.

5. Довнар, В. Совершенствование логистического механизма автомобильных грузоперевозок [Электронный ресурс] / В. Довнар. – Наука и инновации. – 2010. – №3. – Режим доступа к журн.: <http://innosfera.org>. – 15.12.2011г.

6. Иванов, Д.А. Разработка фундаментального междисциплинарного подхода к моделированию логистических и производственных сетей на основе DIMA [Текст] / Д.А. Иванов // Логистика сегодня. – 2008. – №6. – С. 346 – 353.

7. Левин, Б.А. О концепции построения моделей производственно-транспортных систем [Текст] / Б.А. Левин, Э.А. Мамаев, В.В. Багинова // Наука и техника транспорта. – 2003. – №4. – С. 8 – 17.

8. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания [Текст] / Л. Клейнрок. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.

9. Клейнрок, Л. Вычислительные системы с очередями / Л. Клейнрок. – М.: Мир, 1979. – 600 с.

10. Клейнрок, Л. Коммуникационные сети (стохастические потоки и задержки сообщений) [Текст] / Л. Клейнрок. – М.: Наука, 1970. – 256 с.

11. Бертсекас, Д. Сети передачи данных [Текст] / Д. Бертсекас, Р. Галлагер. – М.: Мир, 1989. – 544 с.

12. Саати, Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения [Текст] / Т.Л. Саати. – М.: Сов. радио, 1965. – 510 с.

13. Лабскер, Л.Г. Теория массового обслуживания в экономической сфере [Текст] / Л.Г. Лабскер, Л.О. Бабешко. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998. – 319 с.

14. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

15. Бережная, Е.В. Математические методы моделирования экономических систем [Текст] / Е.В. Бережная, В.И. Бережной. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 432 с.

Поступила в редакцию 2.03.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. стратегического управления И.В. Кононенко, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

## ІМОВІРНІСНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ВАНТАЖОПЕРЕВЕЗЕНЬ

*А.В. Попов, К.Р. Обрезанова, Є.Ю. Синєбрюхова*

Проводиться моделювання логістичної системи вантажних перевезень з використанням системи масового обслуговування (СМО). Розглядається модель логістичної системи на основі однофазної одноканальної і багатоканальної систем обслуговування з різними функціями розподілу інтервалів надходження транспортних засобів в логістичний центр та обробки елементів потоку. Для моделювання дільничного способу транспортування вантажів пропонується використовувати багатозафазну модель обслуговування з обчисленням основних характеристик обслуговування. Наведено приклади розрахунку показників ефективності логістичної системи.

**Ключові слова:** логістична система, дільничний метод транспортування, транспортна мережа, система масового обслуговування, системи передачі даних.

## PROBABILISTIC DESIGN OF CARGO TRANSPORTATION LOGISTIC SYSTEM

*A.V. Popov, E.R. Obrezanova, E.Y. Sinebryukhova*

The modeling of logistic system is performed using a queuing system (QS). A model of logistic center is examined based on single-phase one channel and multichannel service systems with the different distribution functions for the transports vehicles income intervals in a logistic center and the processing of the stream elements. To simulate the district method of transporting it is proposed to use a multiphase model of service with the calculation of the basic service characteristics. The examples of efficiency indexes calculation for the logistic system are resulted.

**Keywords:** logistic system, district method of transportation, transporting network, queuing system, data transmission system.

**Попов Андрей Вячеславович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інформаційних управляючих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

**Обрезанова Екатерина Родионовна** – магистр кафедри інформаційних управляючих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

**Синєбрюхова Евгения Юрьевна** – аспірант кафедри інформаційних управляючих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.