

Р. Н. Уразбахтин, С. В. Христофоров, С. С. Валеев

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК В КУРЬЕРСКОЙ СЛУЖБЕ

Рассматривается задача разработки и анализа эффективности системы оперативного планирования грузоперевозок в курьерской службе для повышения производительности, надежности и стабильности функционирования службы на основе автоматизации процедур принятия решений. *Оперативное планирование; эвристики; планирование маршрутов; курьерская служба*

ВВЕДЕНИЕ

Рассматривается задача проектирования системы оперативного планирования грузоперевозок в крупной курьерской службе, предоставляющей услуги по экспресс-доставке и перевозке грузов наземным и воздушным путем [1]. Следует отметить, что данный вид услуг является востребованным, несмотря на современное развитие электронного документооборота, и проблема срочной и своевременной доставки документации является актуальной.

Исследуется задача оптимизации планирования маршрутов курьеров, осуществляющих доставку и сбор грузов на территории мегаполиса. Эффективность решения данной задачи влияет на качество услуг, предоставляемых компанией, а также на величину возможных убытков, вызванных превышением оговоренных сроков доставки. Предлагаемое решение поставленной задачи основано на автоматизации процесса планирования маршрута с использованием распределенных информационных систем.

Также станет возможным расширение спектра услуг, предоставляемых компанией, за счет возможности доставки грузов в определенный интервал времени, удобный для получателя.

Основным достоинством разрабатываемой системы является возможность динамического планирования, то есть способность системы корректировать план работы каждого курьера в реальном времени.

1. БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ В КУРЬЕРСКОЙ СЛУЖБЕ

Объектом исследования является процесс доставки и сбора грузов, осуществляемый сотрудниками курьерской службы.

Рассмотрим основные компоненты этого процесса. В начале рабочего дня один из курье-

ров забирает из аэропорта груз, присланный из сортировочного центра и предназначенный для доставки клиентам. По прибытии груза в офис содержимое груза проходит предварительную обработку. Штрихкод каждого отправления сканируется для создания сетевого кода AR – arrival (груз прибыл на станцию назначения и доставки). Сетевые коды необходимы для того, чтобы можно было в любой момент времени определить местонахождение какого-либо отправления и его текущее состояние.

Далее все доставки сортируются по зонам, представляющим собой выделенные территории мегаполиса. За каждой зоной закреплен один курьер, осуществляющий доставку отправлений по адресам, включенным в эту зону, а также сбор грузов у клиентов, сделавших заявку на вызов курьера до определенного времени.

Каждый курьер самостоятельно формирует очередность доставки отправлений, в соответствии с которой будет осуществлять доставку отправлений и сбор грузов и документации у клиентов.

Всем отправлениям, выставленным на доставку, присваивается сетевой код WC – with courier (отправление находится на доставке с курьером) и распечатывается доставочный лист. После этого курьер осуществляет доставку корреспонденции и возвращается в офис к концу рабочего дня.

Информация о результате доставки каждого отправления по телефону передается оператору, который на основе полученных данных создает соответствующий сетевой код для каждого отправления.

Ответственность за планирование маршрута доставки полностью возлагается на курьеров. Процесс планирования обычно занимает у курьера 20–30 минут, перед тем как он выезжает на доставку. При этом необходимо учитывать следующие особенности:

- динамическое изменение набора адресов доставки;
- наличие приоритетных доставок, которые необходимо доставить в первую очередь;
- груз, который необходимо забрать у клиента, может быть готов к отправке только к определенному времени.

Согласно нормативам курьерской службы, все отправления, прибывшие на станцию назначения и доставки до 13:00, должны быть доставлены в тот же день. При достаточно большом количестве входящих грузов и заявок на вызов курьера возникает риск того, что курьер не успеет посетить все необходимые адреса, что может привести к превышению оговоренных сроков доставки. Это является грубым нарушением, в случае которого клиент вправе потребовать возмещения стоимости отправки.

Недостатками существующего подхода к планированию маршрута являются:

- высокий риск нерационального распределения материальных и временных ресурсов из-за присутствия большого числа факторов неопределенности, которые сложно учесть человеку в процессе планирования;
- возможность нарушений требований, предъявляемых к качеству операционной деятельности по доставке грузов.

Задача планирования маршрута имеет сходство с классической задачей коммивояжера, но также обладает своими особенностями:

- количество вершин графа непостоянно;
- некоторые вершины графа необходимо объехать в первую очередь;
- вершины графа можно посещать несколько раз.

Ввиду наличия перечисленных факторов, данную задачу невозможно решить с помощью классических алгоритмов решения задачи коммивояжера. Поэтому предлагается распределенная информационная система оперативного планирования на основе агентного подхода.

2. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является проектирование системы, формирующей оптимальные ежедневные планы доставок и сбора грузов и позволяющей повысить эффективность работы курьерской службы.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- построить модель системы оперативного планирования грузоперевозок;
- разработать эвристические алгоритмы планирования грузоперевозок;
- оценить эффективность функционирования разработанной системы при использовании различных алгоритмов планирования.

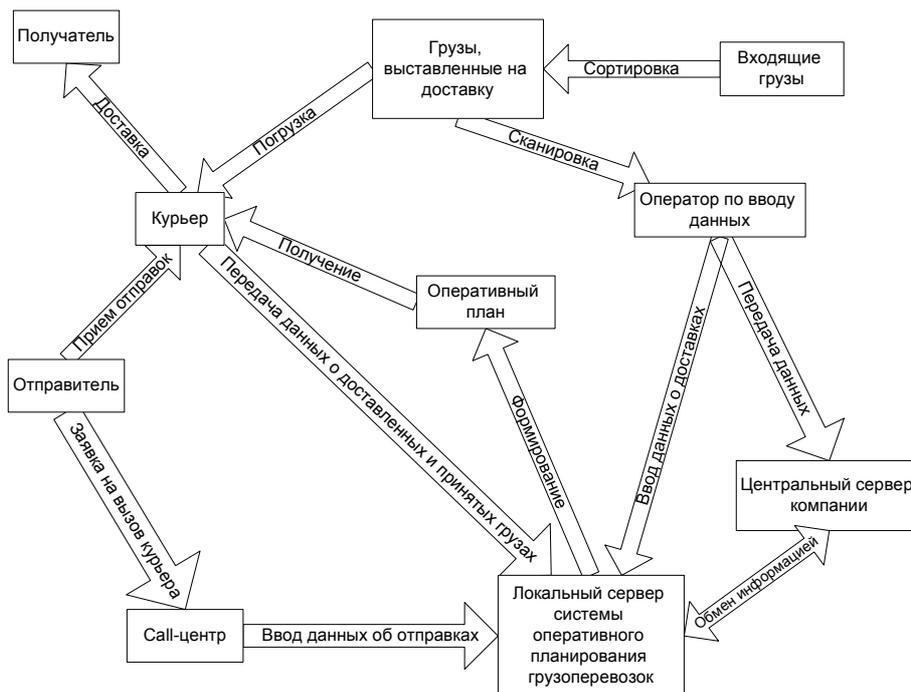


Рис. 1. Схема процесса доставки и сбора грузов после внедрения системы оперативного планирования грузоперевозок

3. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

Предлагается следующая структура системы оперативного планирования грузоперевозок. В офисе курьерской службы располагается сервер, хранящий базу данных, содержащую всю необходимую информацию об отправлениях и доставках. На сервере составляются ежедневные оперативные планы работы для всех курьеров, которые передаются на коммуникационные устройства курьеров. С помощью таких устройств также осуществляется обратная связь курьеров с сервером, то есть курьеры сообщают, какие грузы они доставили и какие приняли.

Для реализации данной распределенной системы воспользуемся DBS-моделью, т. е. моделью сервера базы данных [2].

На рис. 1 изображена схема функционирования системы оперативного планирования.

Консультант по работе с клиентами после принятия очередной заявки на вызов курьера либо самостоятельно вводит информацию об отправке в базу данных, либо передает ее оператору по вводу данных. Впоследствии эта информация будет учитываться при формировании оперативного плана.

Информация о доставках вносится в базу данных при проставлении сетевого кода WC – with courier (отправление находится на доставке с курьером). При этом некоторая информация для базы данных (имя получателя, код продукта, вес, пункт отправления, пункт назначения) может быть взята из преэдвайса. Преэдвайс – это данные обо всех грузах, адресованных в конкретный пункт назначения, но еще не прибывших в этот пункт. Информация для преэдвайса создается на стороне станции-отправителя.

Поскольку нам необходимо знать точный адрес доставки, а отправители зачастую могут ошибиться в написании названия улицы или номера дома, либо преэдвайс может просто отсутствовать, то адрес доставки целесообразно вводить при проставлении сетевого кода WC.

Проставлением сетевых кодов занимается оператор по вводу данных, следовательно, он также вносит все необходимые данные о грузах, выставленных на доставку, в базу данных системы оперативного планирования.

Требуется разработать программное обеспечение, позволяющее выполнять следующие операции:

- ввод и редактирование данных об отправлениях и доставках;
- формирование ежедневных оперативных планов доставки и сбора грузов для каждого курьера;

- обработка информации о доставленных и принятых отправлениях, полученной от курьеров.

4. АЛГОРИТМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК

Для того чтобы получить наиболее эффективный порядок посещения некоторого списка адресов, необходимо решить оптимизационную задачу. В качестве критериев эффективности такой задачи будут выступать:

- время, затраченное на обслуживание маршрута;
- доля грузов, доставленных вовремя, от общего числа грузов, переданных курьеру;
- доля приоритетных грузов, доставленных вовремя, от их общего количества;
- доля собранных отправок от общего количества отправок на маршруте;
- пройденное расстояние.

Данную задачу удобнее всего представить с помощью аппарата теории графов. Для этого необходимо представить территорию города в виде графа. Вершины графа – это пункты, в которые курьер должен доставить груз либо принять его. Дуги – возможные пути перемещения от одного пункта к другому с соответствующими расстояниями.

Очевидно, что для реализации подобной системы необходимо использовать специализированную геоинформационную систему, способную хранить и обрабатывать информацию о расположении зданий и улиц на территории города. В данной статье не рассматривалась проблема внедрения геоинформационных технологий, а всего лишь были сделаны попытки построения алгоритмов процесса сбора и доставки груза и оценки их эффективности, что и будет рассмотрено ниже.

Все алгоритмы основаны на реальном поведении и мышлении курьеров. Каждый из алгоритмов можно разделить на 2 этапа:

- обслуживание приоритетных доставок,
- обслуживание остальных доставок и отправок.

Первый этап можно реализовать двумя способами:

- со строгими приоритетами,
- без строгих приоритетов.

Обслуживание со строгими приоритетами означает, что курьер в первую очередь развозит приоритетные доставки, не обращая внимания на все остальные доставки и отправки, несмотря

на то, что они могут располагаться на пути следования от одной приоритетной доставки к другой.

Обслуживание без строгих приоритетов подразумевает, что курьер будет обслуживать все отправки и неприоритетные доставки, лежащие на пути следования к следующей приоритетной доставке.

Каждый из выделенных способов обслуживания приоритетных доставок можно осуществить еще двумя способами:

- с использованием группировки вершин;
- без использования группировки вершин.

Группировка вершин необходима для того, чтобы избежать перебора огромного числа возможных вариантов путей через некоторое число вершин.

Суть группировки вершин заключается в том, что все вершины графа, представляющего зону обслуживания, предварительно разделяются на группы. Процесс группировки можно описать следующим образом. Сначала среди всех вершин графа выбираются две наиболее удаленные друг от друга вершины, которые будут представлять собой центры двух различных групп. Затем все остальные вершины относятся к одной из двух групп, при этом вершина относится к той группе, расстояние до центра которой от этой вершины будет меньше, чем расстояние до центра другой группы. Далее в каждой из двух образовавшихся групп снова выбираются наиболее удаленные друг от друга вершины, и процесс группировки повторяется снова. Количество этапов группировки зависит от общего количества вершин. Если на некотором этапе деления группы вершин в одной из образовавшихся групп окажется лишь одна вершина, то такое разделение аннулируется, и искомая группа остается неделимой.

Алгоритм без использования группировки вершин отличается тем, что курьер просто выбирает ближайший пункт, в который имеется приоритетная доставка, определяет траекторию движения и направляется к нему. По пути к выбранной цели курьер может как осуществлять доставку и сбор грузов в точках, лежащих на траектории его движения, так и не делать этого в зависимости от строгости приоритетов алгоритма. Кратчайший путь от одной вершины до другой определяется при помощи алгоритма Дейкстры [3].

Второй этап всех разработанных алгоритмов «Дообслуживание всех оставшихся доставок и отправок» начинается, когда все приоритетные доставки уже доставлены, и у курьера оста-

лись необслуженные доставки и отправки. Данный этап также можно реализовать двумя способами:

- с использованием группировки вершин;
- без использования группировки вершин.

В первом случае после того, как все приоритетные доставки будут обслужены, курьер окажется в точке, принадлежащей некоторой группе. Далее будет сформирован оптимальный путь через все актуальные на данный момент точки обслуживания, принадлежащие этой же группе, путем полного перебора.

После обслуживания всех заявок в данной группе курьер перемещается к ближайшей заявке, принадлежащей другой группе вершин, и обслуживает все заявки в новой группе и т. д.

Обслуживание доставок и отправок без использования группировки вершин означает, что курьер будет стремиться обслужить наиболее близкую вершину, содержащую необслуженную доставку или отправку. Общая структура разработанных алгоритмов изображена на рис. 2.

5. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ

Для того чтобы оценить эффективность системы при использовании различных алгоритмов, в среде Microsoft Visual Studio был разработан специальный программный продукт (рис. 3–4). Он позволяет рассчитать эффективность системы при использовании каждого из восьми разработанных алгоритмов в зависимости от различных параметров, задающих уровень загруженности курьера.

Каждый алгоритм прогоняется одинаковое число раз, задаваемое пользователем. При этом на каждом прогоне случайно генерируется граф, описывающий обслуживаемую зону. Таким образом, условия эксперимента (количество доставок и отправок, расстояния между пунктами, которые необходимо посетить, время, необходимое для обслуживания клиента) не изменяются в течение одного прогона и остаются постоянными для каждого алгоритма.

Чтобы определить эффективность алгоритмов, введем следующую аддитивную функцию эффективности [4]:

$$E_k = \sum_{i=1}^N c_i p_i, \quad (1)$$

где E_k – эффективность k -го алгоритма; N – количество показателей эффективности; c_i – вес i -го показателя эффективности; p_i – нормированное значение i -го показателя эффективности.

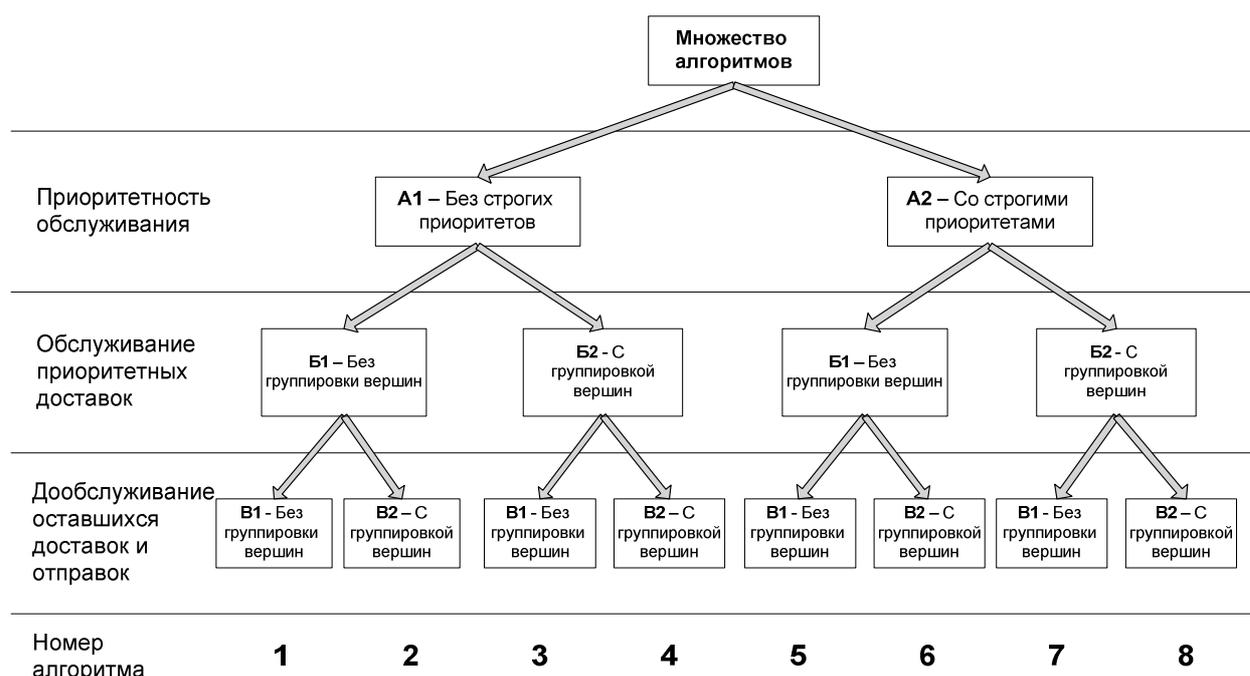


Рис. 2. Общая структура разработанных алгоритмов

Рассчитаем эффективность системы при использовании различных алгоритмов оперативного планирования при различных уровнях загруженности. Выделим три уровня загруженности: низкий, умеренный и высокий. Каждый из них характеризуется следующими параметрами:

- количество отправок;
- количество доставок;
- количество приоритетных доставок.

Величины параметров для каждого уровня загруженности представлены в табл. 1.

Обозначим показатели эффективности системы:

- время, затраченное на обслуживание маршрута (П1);
- доля грузов, доставленных вовремя, от общего числа грузов, переданных курьеру (П2);
- доля приоритетных грузов, доставленных вовремя, от их общего количества (П3);
- доля собранных отправок от общего количества отправок на маршруте (П4);
- пройденное расстояние (П5).

Отметим, что все показатели эффективности, кроме затраченного времени и пройденного расстояния, уже являются нормированными. Остается произвести нормировку оставшихся двух показателей. Сделаем это с помо-

щью вычисления попарных отношений величин каждого показателя для каждого алгоритма и последующего расчета средних геометрических полученных величин для каждого алгоритма. Таким образом мы получим собственный вектор показателей эффективности, откуда легко можно получить нормированные величины.

Таблица 1
Значения параметров уровней загруженности

Параметр	Уровень загруженности		
	низкий	умеренный	высокий
Количество отправок	3–8	6–12	10–15
Количество доставок	20–30	24–36	32–48
Количество приоритетных доставок	0–3	2–5	4–8

Аналогичный подход к оценке многокритериальных альтернатив используется в методе аналитической иерархии [5].

Весовые коэффициенты показателей эффективности определяются с помощью метода непосредственной оценки в баллах [6]. Для этого задается количество экспертов и вес каждого эксперта. Каждый эксперт должен проставить оценку важности каждого показателя по пятибалльной шкале.

Оценка эффективности системы

Файл Данные

Исходные данные Эксперимент Расчет весомости показателей Эффективность

Данные для эксперимента

0,8 Коэффициент охвата территории

0,3 Вероятность доставки до 12:00

30 Средняя скорость (км/ч)

8 · 15 Возможное число отправок

5 · 20 Время обслуживания одной отправки (мин)

3 · 12 Время обслуживания одной доставки (мин)

20 · 30 Количество вершин графа

100 Количество прогонов

Сброс

Коэффициент ЗДД

Оценка эффективности системы

Файл Данные

Исходные данные Эксперимент Расчет весомости показателей Эффективность

Алгоритм	Время работы, ч	Не доставлено всего, шт	Не доставлено до 12, шт	Не собрано, шт	Пробег, км
Алгоритм 1	5,66	0	0	0	16,44
Алгоритм 2	3,99	0	0	0	11,5
Алгоритм 3	5,65	0	0	0	16,18
Алгоритм 4	3,66	0	0	0	10,4
Алгоритм 5	5,69	0	0	0	17,18
Алгоритм 6	3,95	0	0	0	19,21
Алгоритм 7	5,65	0	0	0	15,26
Алгоритм 8	3,67	0	0	0	17,53

Пуск

Рис. 3. Экранные формы программы для оценки эффективности системы

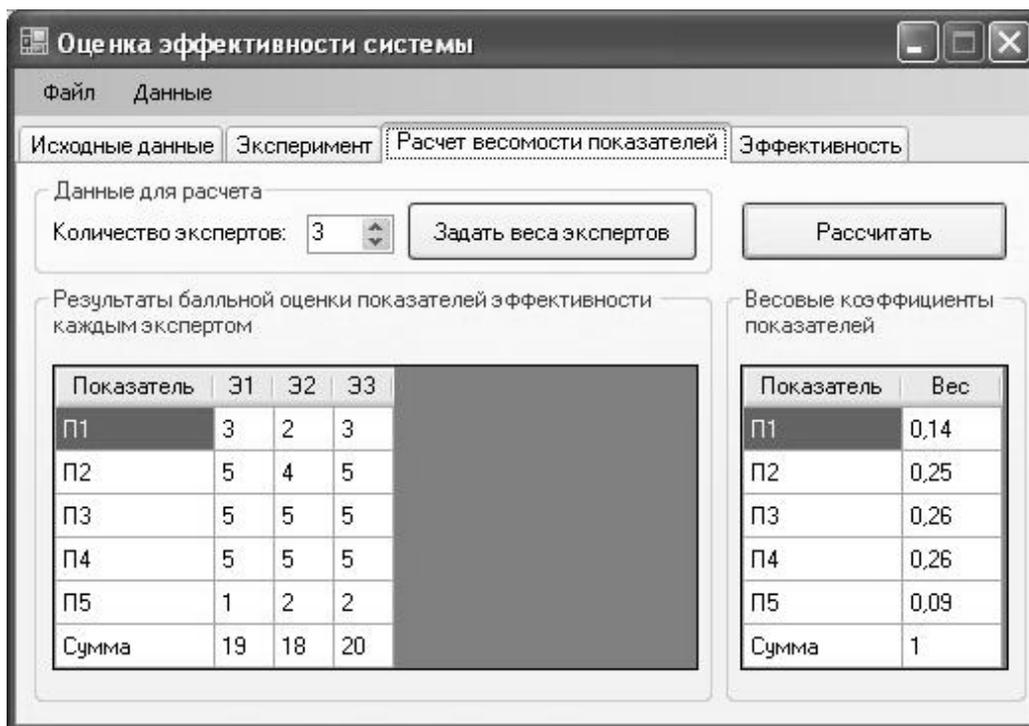


Рис. 4. Экранные формы программы для оценки эффективности системы (продолжение)

Нормированная оценка показателя рассчитывается по формуле:

$$q_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^n b_{ij}}, \tag{2}$$

где q_{ij} – нормированная оценка i -го показателя по j -му эксперту; b_{ij} – оценка значимости i -го показателя j -м экспертом.

Вес показателя c_i рассчитывается по формуле:

$$c_i = \frac{\sum_{j=1}^m (K_{\text{Э}j} \cdot q_{ij})}{\sum_{j=1}^m K_{\text{Э}j}}, \tag{3}$$

где $K_{\text{Э}j}$ – вес j -го эксперта.

Рассчитанные и используемые в ходе эксперимента значения весовых коэффициентов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения весовых коэффициентов показателей эффективности

	Показатель эффективности				
	П1	П2	П3	П4	П5
Вес	0,14	0,25	0,26	0,26	0,09

Результаты оценки эффективности работы системы оперативного планирования при использовании разработанных эвристических алгоритмов представлены на рис. 5–7.

6. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

В работе была предложена модель системы оперативного планирования грузоперевозок и разработано несколько эвристических алгоритмов планирования, основанных на реальном поведении курьеров.

Проведенная оценка эффективности работы системы при использовании различных алгоритмов планирования (см. рис. 5–7) показала, что система будет наиболее эффективна при использовании алгоритма № 4. Данный алгоритм оказался лучшим при всех уровнях загрузки. Он основан (см. рис. 2) на применении группировки вершин как на этапе обслуживания приоритетных доставок, так и на этапе дообслуживания оставшихся доставок и отправок, при этом строгая приоритетность не используется.

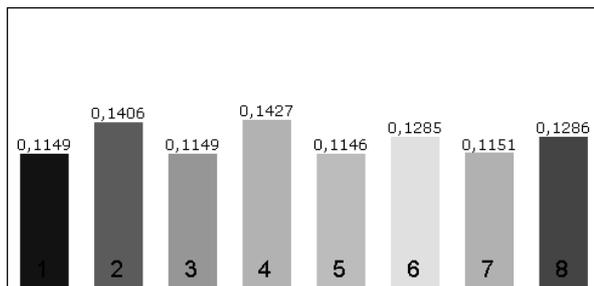


Рис. 5. Эффективность системы при низком уровне загрузки

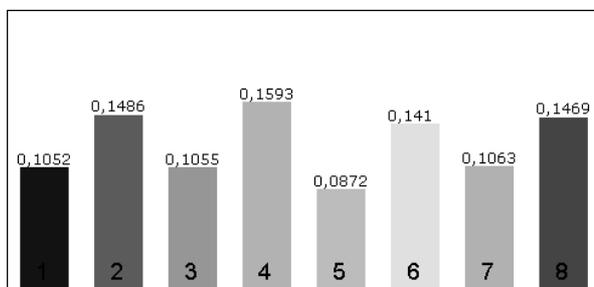


Рис. 6. Эффективность системы при умеренном уровне загрузки

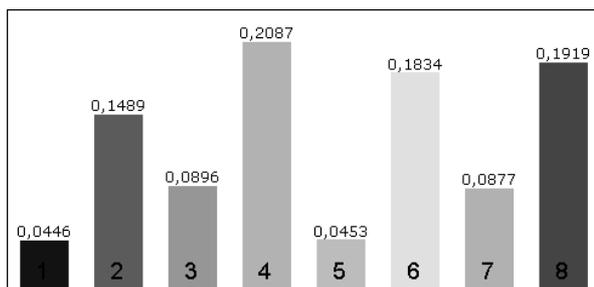


Рис. 7. Эффективность системы при высоком уровне загрузки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт компании DHL [электронный ресурс] (www.dhl.com).
2. **Таненбаум Э., Стеен М. ванн.** Распределенные системы. Принципы и парадигмы. СПб.: Питер, 2003. 877 с.
3. **Харари Ф.** Теория графов. М.: Едиториал УРСС, 2003. 296 с.
4. **Таха Х. А.** Введение в исследование операций. М.: Вильямс, 2007. 912 с.
5. **Ларичев О. И.** Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах. М.: Логос, 2003. 392 с.
6. **Орлов А. И.** Экспертные оценки. Учебное пособие. М.: ИВСТЭ, 2002. 184 с.

ОБ АВТОРАХ



Уразбахтин Рустем Нурович, доц. каф. информатики. Дипл. инж.-системоаналитик (УГАТУ, 1994). Канд. техн. наук по инф.-изм. сист. (УГАТУ, 1998). Иссл. в обл. моделир. орг.-техн. систем.



Христофоров Сергей Викторович, аспирант той же каф. Дипл. инж. в обл. моделир. и исслед. операций в орг.-техн. системах (УГАТУ, 2009).



Валеев Сагит Сабитович, проф., зав. той же каф. Дипл. инж.-электромех. (УАИ, 1970). Д-р техн. наук. по упр. в техн. системах (УГАТУ, 2005). Иссл. в обл. интеллект. упр. сложными объектами.