

УДК 519.6

## РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ МАРШРУТНЫХ МИКРОАВТОБУСОВ

Горюнова Анна Михайловна

студент

Оренбургский государственный университет, Оренбург

*author@apriori-journal.ru*

**Аннотация.** В статье представлена имитационная модель организации работы маршрутных микроавтобусов, которая позволяет в течение нескольких секунд подобрать оптимальные значения входных параметров: количество микроавтобусов, их вместимость и интервалы движения между ними, чтобы наилучшим образом обеспечить обслуживания маршрута, избежав, тем самым, очередей как самих маршрутных микроавтобусов, так и потенциальных пассажиров на остановочных пунктах. Программное средство предоставляет пользователю наглядным образом иллюстрировать в виде графиков данные имитации, подлежащие анализу и являющиеся входами для корректировки по необходимости общей стратегии работы парка микроавтобусов одного из маршрутов города.

**Ключевые слова:** имитационная модель; система массового обслуживания; эксперимент; вероятность; прибыль; очередь; парк маршрутных микроавтобусов.

# DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL OF THE MINIBUSES ORGANIZATION

**Goryunova Anna Mikhailovna**

student  
Orenburg State University, Orenburg

**Abstract.** The article presents a simulation model of the organization of the minibuses, which allows for a few seconds to find the optimal values of the input parameters: the number of minibuses, their capacity and traffic intervals between them to provide the best service route, avoiding thus the queues themselves as minibuses and potential passengers on stopping points. The software tool provides the user with a transparent manner in the form of graphs to illustrate the data simulation to be analyzed and is an input to adjust as necessary the overall strategy of the fleet of minibuses one of the routes of the city.

**Key words:** simulation model; queuing system; the experiment; the probability; profit; queue; park minibuses.

Во многих областях практической деятельности человека приходится сталкиваться с необходимостью пребывания в состоянии ожидания. Подобные ситуации возникают в очередях в билетных кассах, в крупных аэропортах, в ремонтных цехах в ожидании ремонта станков и оборудования и т.д. Изучением таких ситуаций занимается теория систем массового обслуживания (СМО).

В рамках настоящей статьи рассмотрено решение задачи СМО, а именно проблема очереди пассажиров и маршрутных микроавтобусов

на одном из городских маршрутов. Данный класс задач легко может быть решен с помощью имитационной модели.

Машинная (компьютерная) имитация (имитационное моделирование) – это экспериментальный метод изучения экономики с помощью компьютера. Имитационное моделирование применяется в тех случаях, когда модель слишком сложна, чтобы можно было использовать аналитические методы решения (формулы). Для многих проблем экономики такое положение дел неизбежно. Например, даже, столько отработанные методы, как линейное программирование в ряде случаев слишком огрубляют действительность, чтобы по полученным решениям можно было сделать обоснованные выводы по экономическим ситуациям. С другой стороны имитация применяется тогда, когда реальный экономический эксперимент по тем или иным соображениям невозможен. Так, использование реальных микроавтобусов одного из городских маршрутов в качестве объектов эксперимента невозможно в связи с наличием ряда случайных внешних факторов, а также в связи с непосредственным участием людей, поступление которых на остановку точно отследить не представляется возможным.

В современных условиях рыночных отношений построенная модель наглядным образом отобразит текущее состояние дел у владельцев частных маршрутных микроавтобусов, что позволит скорректировать по необходимости стратегию работы парка для получения максимальной прибыли.

Имеется остановка маршрутного микроавтобуса. С определенными интервалами времени на остановку приходят пассажиры и подъезжают микроавтобусы. Микроавтобусы уезжают после окончания отведенного промежутка времени в зависимости от времени суток. В раннее утреннее и вечернее время интервал подхода микроавтобусов должен быть минимальным, чтоб избежать очереди пассажиров на остановочных пунктах, и несколько увеличенным в дневное время, когда интенсив-

ность пассажиропотока невелика. Если пришедший пассажир не обнаруживает стоящего маршрутного микроавтобуса на остановке, он встает в очередь на посадку. Если микроавтобус подъехал на пустую остановку, он ждет пассажиров отведенное время. В случае, когда маршрутный микроавтобус подъехал и обнаруживает на остановке другой автобус, он встает в очередь. Если на остановке никто не выходит и в микроавтобусе нет свободных мест, он не останавливается.

Для построения имитационной модели и дальнейшего проведения процесса имитации с вариациями входных и анализом выходных параметров был использован пакет разработки программного обеспечения Microsoft Visual Studio 2010 при помощи конструкций языка C#.

При запуске программы пользователю необходимо ввести 2 типа исходных данных – корректируемые данные и данные, фиксированные окружающей действительностью (см. рис. 1).

The screenshot shows a software window titled "Form1" with a blue title bar. At the top, it displays "Время: 8:00:00". Below this is a grid of input fields for simulation parameters:

- Количество автобусов: [ ]
- Период выхода автобусов на маршрут: [ ]
- Количество мест в автобусе: [ ]
- Количество остановок: [ 20 ]
- Время между остановками: [ ]
- Цена проезда: [ 15 ]

To the right of these fields is a grid of time intervals (8ч, 12ч, 16ч, 20ч, 9ч, 13ч, 17ч, 21ч, 10ч, 14ч, 18ч, 22ч, 11ч, 15ч, 19ч, 23ч) with corresponding input boxes. Below the grid are buttons for "Старт", "Пауза", "Шаг", and "Стоп".

At the bottom, there are labels for "Прибыль по часам" and "Интенсивность обслуживания". At the very bottom, there are three status indicators: "Прибыль" (green), "Свободные места" (yellow), and "Люди на остановках" (red). Below these are three data fields: "Всего прибыли: --", "Время задержек автобусов: --", and "Обслужено из: --".

Рис. 1. Окно программного средства

К корректируемым данным следует отнести:

- количество автобусов, вышедших на маршрут в конкретно заданный рабочий день;
- количество мест в автобусе, если в парке имеются микроавтобусы различной вместимости, что позволит определить оптимальное соотношение микроавтобусов на маршруте в день; этот параметр также позволяет стать программному средству более универсальным для любого рабочего места с любым комплектом парка;
- время между остановками, т.е. интервал времени, отведенный на задержку в остановочном пункте для ожидания потенциальных пассажиров;
- время выхода автобусов на маршрут, т.е. интервал движения автобусов.

В пользовательском окне также указаны вероятности интервалов подхода потенциальных пассажиров на остановку. Данные варьируются в зависимости от времени суток. Очевидно, что интенсивность пассажиропотока велика в раннее утреннее и вечернее время, а спад наблюдается в днем. Это связано с тем, что основной массой клиентов, обслуживаемых микроавтобусами, являются люди трудоспособного возраста, а режим работы большинства предприятий города колеблется в интервале от 9:00 до 17:00 часов.

В качестве фиксированных исходных данных модели пользователю следует заполнить такие графы как:

- количество остановок на маршруте;
- цена одной поездки в маршрутном микроавтобусе. Данные о стоимости билета в микроавтобусе необходимо для подсчета общей прибыли за весь рабочий день.

В рамках поставленной задачи можно выделить два основных процесса, моделирование которых является задачей для исследования:

- обслуживание маршрутными микроавтобусами городского маршрута;
- отслеживание поступления на остановку потенциальных пассажиров.

В этой связи можно составить два алгоритма, отражающие изменение параметров обоих из процессов. Первый алгоритм представлен на рис. 2.

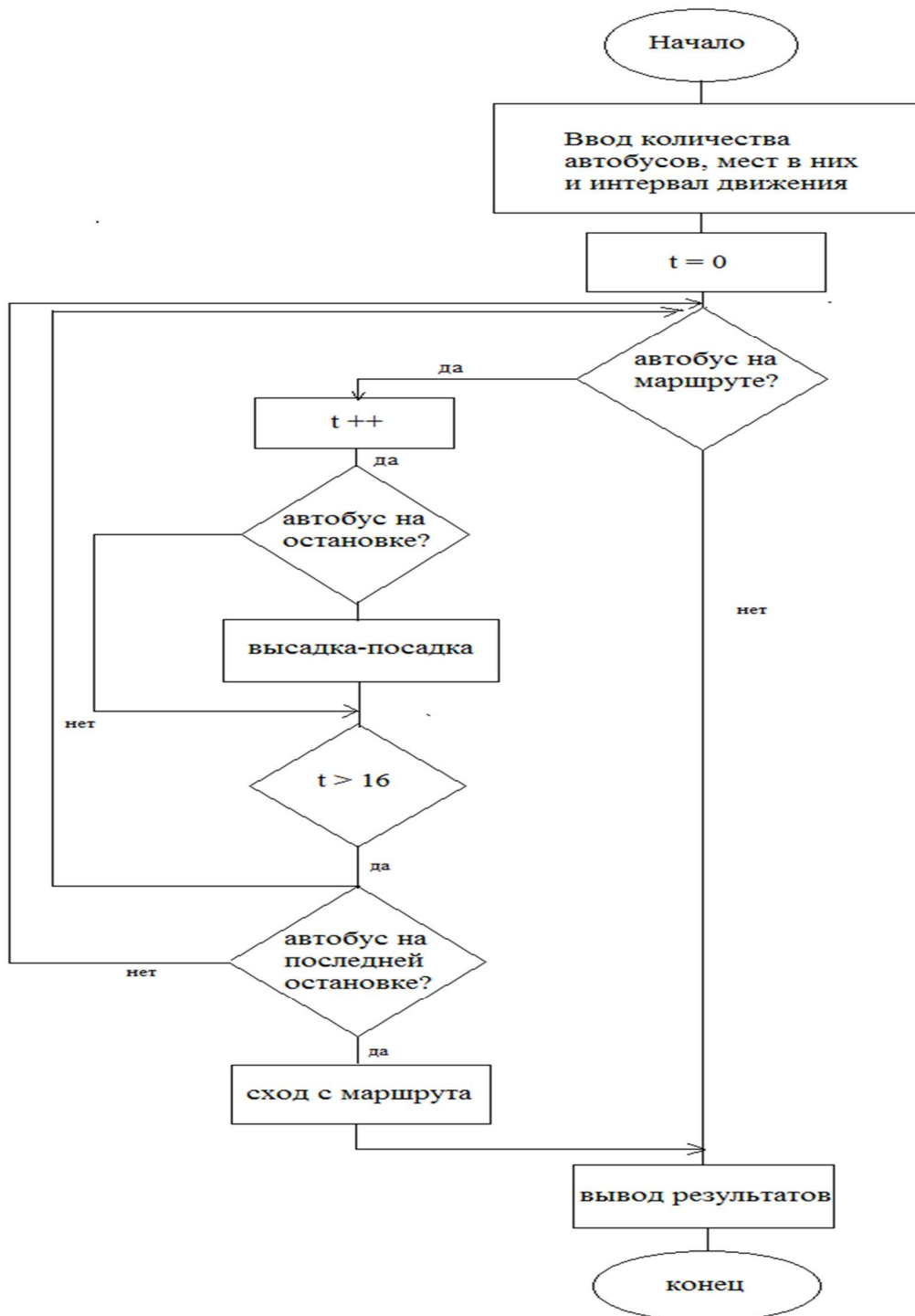


Рис. 2. Алгоритм работы программы

Модель, имитирующая работу парка микроавтобусов одного из маршрутов города, иллюстрирует один рабочий день с 8:00 до 0:00 часов. Таким образом, общее время имитации составляет 16 часов.

На первом этапе  $t$  принимается равным 0.

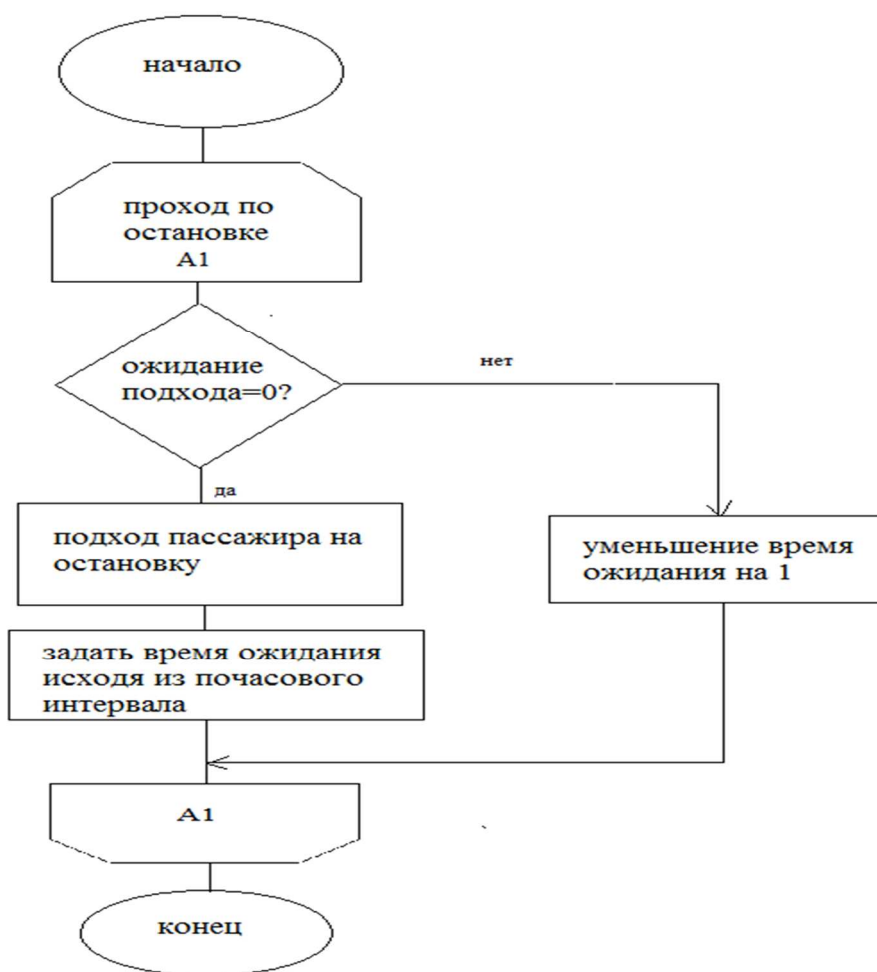
Принцип работы алгоритма программы обслуживания автобусами маршрута заключается в постоянном отслеживании наличия или отсутствия автобуса на маршруте, остановке и соблюдении условий и ограничений времени ожидания и имитации.

В момент запуска имитационной модели необходимо проверить есть ли хотя бы один маршрутный микроавтобус на маршруте. Если да, то увеличивается время  $t$  на единицу и проверяется еще одно из условий – есть ли автобус на остановке. Если да, то осуществляется высадка пассажиров по необходимости и посадка новых в случае наличия свободных мест в маршрутном микроавтобусе. Микроавтобусу при этом необходимо выстоять на остановке отведенное время. В зависимости от времени суток период времени может быть разным. Далее осуществляется проверка общего времени имитации. В случае, если 16 часов рабочего времени прошло, то микроавтобус должен сойти с маршрута, находясь на последней остановке, и собрать всех пассажиров и высадить по необходимости, если его положение было не на последней остановке всего маршрута на момент истечения времени имитации. Дополнительное время после наступления 0:00 часов также учитывается имитационной моделью.

Алгоритм прибытия на остановки пассажиров отражен на рис. 3.

Алгоритм отслеживает, подошел ли потенциальный пассажир на место остановочного пункта или нет. В случае, если отведенный интервал времени, указанный в окне программного средства по часам, в котором колеблется вероятность прибытия пассажира на остановку истек, то в массиве людей, ожидающих микроавтобус добавляется новый элемент, а также задается новый интервал ожидания пассажира в зависи-

мости от того, какой час рабочего времени обслуживается на данный момент и какова для этого интервала была задана пользователем вероятность. В случае если отведенное промежуток времени не истек, то на следующем проходе по остановке осуществляется уменьшение времени на единицу и прогон продолжается.



**Рис. 3. Алгоритм работы программы**

В момент совпадения нужного количества пассажиров на остановке и нужного количества мест в маршрутном микроавтобусе, осуществляется обслуживание маршрута микроавтобусом, то есть первый процесс.

Для работы с программой, имитирующей рабочий день маршрутных микроавтобусов, не требуется специальных навыков и знаний со стороны пользователя. Интерфейс программы является интуитивно понятным.



Клавиша «Старт» запустит программу.

Результатом работы программного средства пользователь будет считать два графика, которые построит программное средство после полного завершения времени имитации:

- график интенсивности обслуживания, на котором можно увидеть сколько было свободных мест в конкретном микроавтобусе в конкретный промежуток времени, а также сколько людей в это время ожидало своего микроавтобуса на остановке;
- график прибыли по часам. Этот вид данных позволит пользователю увидеть наиболее прибыльные интервалы времени, что позволит эффективным образом скорректировать интервалы движения и интервалы ожидания маршрутных микроавтобусов.

Результатом моделирования следует считать и числовое значение времени задержек автобусов и соотношение обслуженных пассажиров к заявкам, оставшимся в состоянии ожидания.

Например, при 10 микроавтобусах с вместимостью в 12 посадочных мест прибыль составляет 68445 рублей, но при этом чуть более трети потенциальных пассажиров так и останутся не обслуженными, хотя время задержек микроавтобусов относительно невелико – 323 минуты за 16 часов имитации.

Если же на маршрут выпустить очень мало микроавтобусов, то очередь пассажиров на остановках будет расти в геометрической прогрессии с каждым часом рабочего времени. Очередь из микроавтобусов будет минимальна, за все время испытаний всего 7 минут для введенных исходных данных.

Если на маршрут города выпустить большое количество автобусов, например 40, то 10 из микроавтобусов так и останутся стоять в парке, а у владельца парка будут издержки из-за содержания машин. К тому же, в этом случае будет на конечной остановке слишком большая очередь из микроавтобусов, ожидающих выхода последнего. В этой связи лишь

треть потенциальных пассажиров будет обслужено, а большая их часть так и останутся в очереди.

Небольшое количество микроавтобусов на маршруте, но с большой вместимостью тоже не решение задачи, поскольку около половины мест будут оставаться свободными, что не рентабельно.

Очевидно, что оптимальное количество микроавтобусов, около 10, но с небольшой вместимостью, будет приносить достаточный уровень прибыли, минимальный показатель свободных мест, низкий уровень очередей «маршруток», но, при этом, будут высоки значения очередей потенциальных пассажиров на остановке, чуть более половины из них будут обслужено (около 59 %).

В ходе нескольких прогонов направленного вычислительного эксперимента было выявлено, что наибольшую экономическую прибыль владелец парка будет иметь если количество микроавтобусов, выпускаемых на маршрут будет 12, вместимостью 10 посадочных мест. Прибыль будет составлять 98265 рублей, если цена билета за один проезд составляет 15 рублей (см. рис. 4).

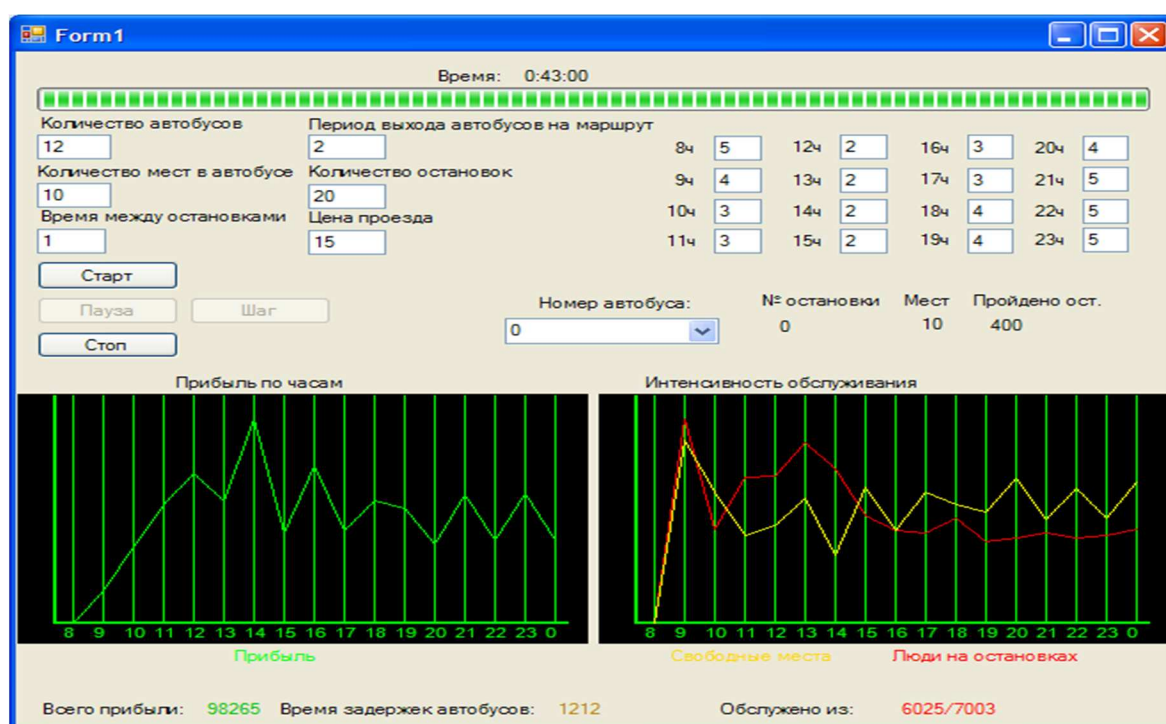


Рис. 4. Результаты имитации

При таком соотношении входных параметров пиковое значение прибыли отмечено в 14:00 часов, когда пассажиропоток задан вероятностью появления каждого нового потенциального пассажира через 2 минуты имитации.

Очередь у микроавтобусов будет составлять 1212 минут за 16 часов исследования, то есть каждый из водителей микроавтобуса был вынужден за весь рабочий день простоять в ожидании нового пассажира час (около 4 минут каждого нового часа работы). Это может быть связано как с ожиданием нового пассажира заданного промежутка времени, так и с очередью из микроавтобусов на остановочных пунктах.

Пиковое значение пассажиропотока в 9 часов утра успешно обслуживается. Очередь из людей на остановке накапливается в период с 11:00 и примерно до 14:50 часов. После этого графики, отражающие свободные места и людей на остановке, пересекаются, затем происходит стабилизация и некоторый рост свободных мест в автобусах. В описанной выше ситуации было обслужено более 86% пассажиров.

Такое соотношение входных и выходных параметров следует считать оптимальным только в случае определенных вероятностей появления нового потенциального пассажира на остановке. Если провести исследование для конкретного городского маршрута, где имеет место популярность маршрута, проход микроавтобусов по жизненно важным или востребованным местам города, то вероятностные значения будут иными, что приведет к несколько другому значению выхода.

Проведенный направленный вычислительный эксперимент с имитационной моделью объекта исследования позволил:

- 1) подсчитать, что количество микроавтобусов, выпускаемых на маршрут для оптимального обслуживания пассажиров, должно быть 12;
- 2) вычислить сколько мест должно быть в микроавтобусе – 10;
- 3) определить интервал движения микроавтобусов. Слишком частое циркулирование маршрутных микроавтобусов несет большие топ-

ливные издержки, большой же интервал движения влечет за собой длинные очереди на конечной остановке и большой объем пассажиров в ожидании на других остановочных пунктах. В результате проведенной работы выявлено, что время ожидания на остановках потенциальных пассажиров при наличии свободных мест лучше установить в 2 минуты, а интервал выхода на маршрут должен быть равным 1 минуте;

- 4) рассчитать выручку со всех маршрутных микроавтобусов в течение всего рабочего дня (время имитации 16 часов). При выше описанных входных данных денежная прибыль составит 98265 рублей.
- 5) определить длину очереди маршрутных микроавтобусов. Длина очереди при указанных исходных данных будет также минимальна – 4 минуты часа будет потрачено водителями на ожидание.

#### **Список использованных источников**

1. Томашевский В.Н., Жданова Е.Г. Имитационное моделирование средствами системы GPSS/PC. К.: ИЗМН, НТТУ КПИ, 1998.
2. Юдинцев А.Ю., Ошкало В.В. Информационные технологии и проблемы современного менеджера. Барнаул, 2004.
3. Хэмди Таха А. Введение в исследование операций. К., 2001.
4. Крылов Е. Моделирование систем массового обслуживания [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/2006/fvti/chernov/library/arto3.htm>