

УДК 378.141.21:330.47, ВАК 05.13.01:08.00.05, ГРНТИ 28.17.19

**СЕМЕРИКОВ А. В.**  
**ИМИТАЦИОННАЯ ПРОЦЕССНАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**  
**ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ОКАЗАНИЮ УСЛУГ**

Имитационная процессная модель  
 функционирования предприятия по  
 оказанию услуг

Simulation of a process model of  
 functioning of the enterprises for  
 rendering of services

А. В. Семериков

A. V. Semerikov

Ухтинский государственный  
 технический университет, г. Ухта

Ukhta State Technical University,  
 Ukhta

*В статье рассматривается процессная имитационная модель функционирования салона по оказанию услуг, которая разработана на основе инструментального средства AnyLogic. С помощью модели проведены эксперименты по определению характерных показателей систем массового обслуживания: средняя длина очереди, среднее время ожидания в очереди, среднее время обслуживания клиента, вероятность обслуживания клиента, уровень занятости мастеров. Наряду с этим с помощью имитационной модели рассмотрен пример решения оптимизационной задачи по определению максимальной прибыли при заданных исходных данных. При этом представлены два подхода при решении задачи: координатный метод и метод с использованием объекта AnyLogic оптимизационный эксперимент. Результаты решения по этим методам совпадают. Однако второй метод более предпочтителен, так как он менее трудоёмкий и менее затратный по времени реализации.*

*The article deals with a process simulation model of the functioning of the sa-Lona for the provision of services which are developed on the basis tool AnyLogic. With the help of model experiments, by definition, is characterized by a exponents systems of mass service: queue length, average waiting time in queue, average time customer service, the probability of the customer service-the employment of the masters. Along with this, using a simulation model of the considered example of the solution of the optimization problem, by definition, the maximum profits at the given source data. In this case presents two approaches to solving the problem: the coordinates method and the method using the object AnyLogic optimizing and adjust the district experiment. The results of solution by these methods coincide. However, the second method is more preferable, as less laborious and less time-consuming implementation.*

**Ключевые слова:** имитационное

**Keywords:** simulation, process

*моделирование, процессная модель model, optimization task, experiment. оптимизационная задача, эксперимент.*

## **Введение**

Имитационное моделирование является мощным инструментом исследования поведения реальных систем. Методы имитационного моделирования позволяют собрать необходимую информацию о поведении системы путём создания её компьютеризированной модели. Эта информация может быть использована затем для проектирования системы. Имитационное моделирование позволяет решить оптимизационную задачу, но скорее представляет собой технику оценки значений функциональных характеристик моделируемой системы.

Имитационное моделирование применяется для исследования систем, некоторые из них во многих случаях можно описать как системы массового обслуживания, представляющие собой многочисленные предприятия по оказанию услуг. По этой причине методы имитационного моделирования находят широкое применение при решении задачах, возникающих в процессе создания систем массового обслуживания. На основе построенной модели представляется возможным еще на стадии проектирования исследовать поведение системы и определить параметры, характеризующие её. Так очень важно знать такие показатели функционирования системы, как степень загрузки, длина очереди, среднее время нахождения клиента на обслуживании. Систему массового обслуживания можно описать с помощью дискретных процессов, так как показатели системы изменяются строго в определенные моменты времени, а именно в момент прихода и ухода клиента. В остальные моменты времени все показатели функционирования остаются неизменными. То есть система из одного состояния в другое переходит скачкообразно [1].

При имитации дискретных процессов в качестве инструментального средства получила широкое распространение система GPSS [2], в которой реализован специально ориентированный язык программирования. Наряду с ней применяется система моделирования AnyLogic [3, 4]. AnyLogic разработана компанией «The AnyLogic Company» на основе современных концепций в области информационных технологий и результатов исследований в теории гибридных систем и объектно-ориентированного моделирования. Это комплексный инструмент, охватывающий в одной модели основные в настоящее время направления моделирования. В системе моделирования AnyLogic реализована возможность моделирования: дискретно-событийное, системной динамики, агентное.

В настоящей статье рассматривается модель функционирования системы массового обслуживания и решена оптимизационная задача с использованием системы моделирования AnyLogic. При этом рассматриваются два подхода для решения оптимизационной задачи: покоординатный метод и метод, который реализован непосредственно в системе моделирования AnyLogic. В первом методе для нахождения оптимальных значений необходимо провести целый ряд

вычислений с различной комбинацией искомых параметров и затем среди них определить наилучшие. При реализации второго метода требуется только первоначальная подготовка исходных данных. После чего расчёт выполняется в автоматическом режиме.

### Экспериментальная часть

В основе имитационной модели заложено абстрактное представление функционирования реальной системы. В настоящей статье рассматривается процессная модель работы салона по оказанию услуг. Работа салона состоит в следующем.

В салон поступают клиенты с интервалами, распределенными по показательному закону со средним значением  $t_1$  мин. Перед тем как попасть на обслуживание клиент встает в очередь. Для комфортного ожидания помещение для очереди оборудовано мебелью и другими элементами комфорта. Для устройства очереди требуются затраты  $z_1$  рублей. Если очередь пустая и обслуживающее устройство не занято клиент поступает на обслуживание. Время обслуживания распределено по треугольному закону с максимальным значением времени  $t_2$  минут и минимальным временем  $t_3$  минут. В обслуживающем устройстве могут работать  $m$  мастеров, затраты на каждого из которых составляют  $z_2$  рублей. Каждый мастер приносит доход от каждого обслуженного клиента  $d$  рублей. В случае если длина очереди  $n$  больше наперед заданной величины клиент покидает салон необслуженным. После получения услуги в обслуживающем устройстве клиент так же покидает салон.

Таким образом, салон представляет собой систему массового обслуживания разомкнутого типа с ограниченной входной емкостью. Для построения имитационной модели воспользуемся объектами AnyLogic, которые расположены в библиотеке моделирования процессов. На рисунке 1 приведены объекты AnyLogic, которые использованы для создания диаграммы процесса.

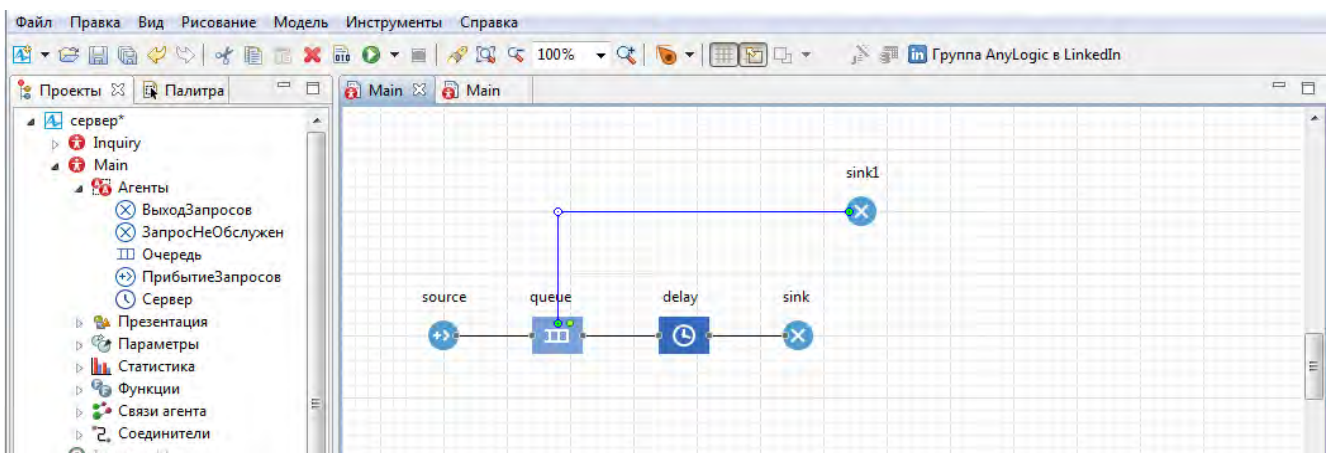


Рисунок 4. Имитационная модель функционирования салона

Для имитации процессов, возникающих в работе салона, используются следующие объекты: *source*, *queue*, *delay*, *sink*, *sink1*. Объект *source* генерирует

заявки определенного типа. Обычно он используется в качестве начальной точки диаграммы процесса, формализующей поток заявок. В данном примере заявками называют клиентов салона, а объект *source* будет моделировать их поступление. Объект *queue* моделирует очередь клиентов, ожидающих приема к мастеру. Этот объект позволяет моделировать различные виды встречающихся очередей. Объект *delay* задерживает заявки на заданный период времени. Он представляет в нашей модели место работы мастера. Объект *sink* уничтожает поступившие заявки. С помощью него можно определить количество обслуженных клиентов и время нахождения клиента в очереди. Объект *sink1* уничтожает заявки, которые не пошли на обслуживание из-за большого размера очереди. Помимо этих объектов для визуализации процесса в модели используются диаграммы, отражающие занятость сервиса, размер длины очереди и анимацию процесса в формате 2G. В окончательном варианте имитационная процессная модель для проведения экспериментов по вычислению характерных показателей представлена на рисунке 2.

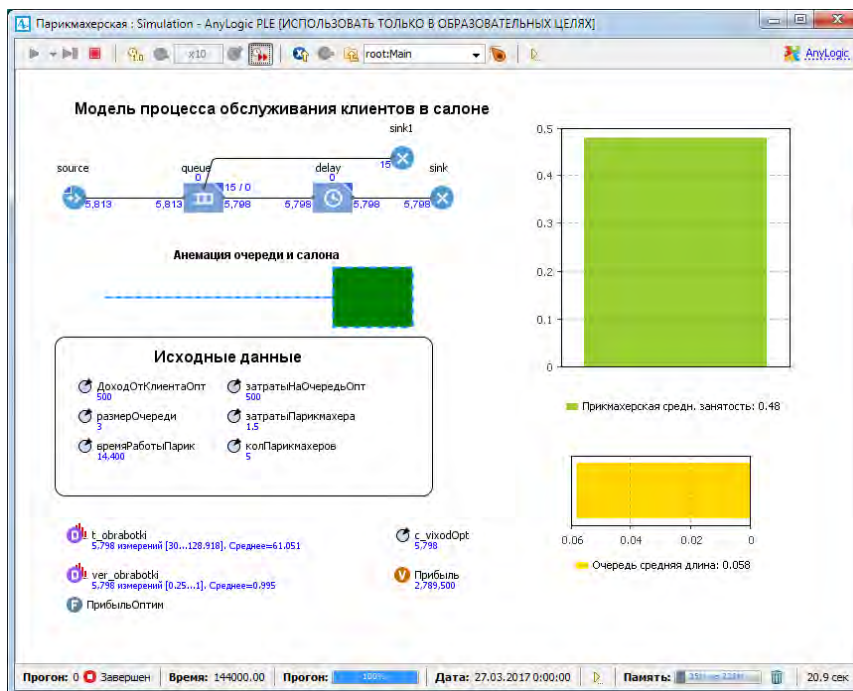


Рисунок 5. Имитационная модель салона с результатами расчёта

Основной целью создания салона по оказанию услуг является получение максимально возможной прибыли, которая в самом общем виде представляет собой разность между доходом и затратами на обеспечение функционирования салона.

При этом, доходы приносят обслуженные клиенты, которые покидают салон. Количество этих клиентов рассчитывается в объекте *sink* и сохраняется в переменной *c\_vixod*. Количество же всех клиентов, вошедших в салон, определяется в объекте *source* и сохраняется в переменной *c\_vход*. Таким образом, доход можно определить путём умножения *c\_vixod* на доход *d*, полученный от одного клиента.

В качестве затрат в рассматриваемой модели приняты затраты на обустройство очереди и затраты на содержание мастеров салона. Первые затраты обусловлены обустройством очереди, которые можно определить путем умножения затрат  $z_1$  на одного ожидающего клиента на размер очереди  $n$ . Вторые затраты можно определить путём умножения количества мастеров *колПарикмахеров* на затраты на одного мастера в единицу времени  $z_2$  и на время работы салона *времяРаботыПарик*.

На основании выше изложенного целевая функция для определения максимальной прибыли имеет следующий вид

$$\begin{aligned} \text{Прибыль} = & (c\_vixod * \text{доходОтКлиента}) - (\text{размерОчереди} * z_1) - \\ & - (\text{колПарикмахеров} * z_2 * \text{времяРаботыПарик}). \end{aligned}$$

В данной модели исходными данными выступают: *доходОтКлиента*,  $z_1$ ,  $z_2$ , *времяРаботыПарик*. Искомые оптимальные переменные *размерОчереди* и *колПарикмахеров* определяются путем их варьирования в наперед заданном диапазоне. Переменная  $c\_vixod$  – количество обслуженных клиентов – зависит от переменных *размерОчереди* и *колПарикмахеров*, поэтому её значение будет всегда соответствовать этим двум.

Наличие максимального значения у прибыли объясняется следующим. При увеличении количества обслуженных клиентов увеличивается доход салона, но одновременно увеличиваются затраты на обустройство очереди и содержание мастеров по оказанию услуг. И наоборот при уменьшении затрат на содержание салона приводит к уменьшению количества клиентов, а значит и уменьшению дохода. Тем самым, можно сказать, у функции прибыль может быть локальный максимум, значение которого в данном случае определяется путем варьирования в наперед заданном интервале длиной очереди и количеством мастеров салона.

После проведения эксперимента с помощью построенной имитационной модели представляется возможным определить массив значений прибыли, из которого выбирается её максимальное значение. Выбранной максимальной прибыли будут соответствовать искомые оптимальные значения длины очереди, количество мастеров.

Найденному оптимуму можно поставить соответствие количество обслуженных клиентов, время нахождения клиента в очереди, время нахождения клиента в салоне, уровень занятости мастеров, вероятность обслуживания клиента. Анализ всех перечисленных показателей позволяет менеджеру окончательно принять решение о приемлемости найденных оптимальных значений.

В настоящей статье рассматриваются два подхода для нахождения оптимального решения. Первый из них называется покоординатным. Для этого нужно изменять вначале только один параметр решения (например, *размерОчереди*), до тех пор, пока не будет найден максимум прибыли по этому направлению изменений, а затем изменять только второй параметр (*колПарикмахеров*), затем снова – только первый, и т. д. Схема покоординатной оптимизации проиллюстрирована на рисунке 3, где  $n_0$  – длина очереди,  $n_n$  – количество мастеров.



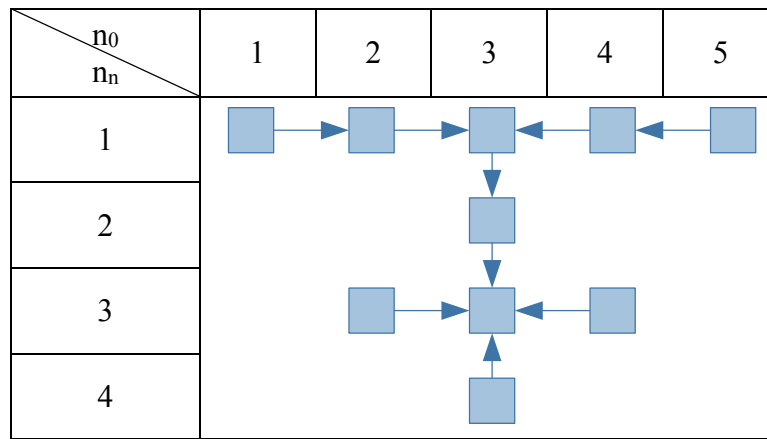


Рисунок 6. Схема покоординатной оптимизации

На этой схеме квадратики изображают числовые значения прибыли (прибыль), а стрелки показывают направление увеличения этого показателя. Мы продвигаемся вначале вдоль первой строки таблицы до тех пор, пока значение максимизируемого показателя увеличивается (т. е. до первого случая уменьшения показателя). Затем от максимального значения движемся вниз также до тех пор, пока показатель увеличивается. Так продолжается движение то в одном, то в другом направлении до тех пор, пока мы не «опустимся» в точку, все направления из которой уже не приводят к увеличению прибыли. Проиллюстрируем рассмотренный метод применительно к построенной модели, используя следующие входные данные. Доход от одного клиента (*доходОтКлиента*) равен 500 рублей, затраты  $z_2$  на одного мастера равны 1,5 рубля в минуту, затраты  $z_1$  на обустройство очереди на одного клиента равны 500 рублей, время работы салона (*времяРаботыПарик*) равно 14400 минут, клиенты поступают в салон по экспоненциальному закону в среднем через  $t_1$  25 минут, время обслуживания клиента подчинено треугольному закону с минимальным временем обслуживания  $t_3$  30 минут и максимальным временем  $t_2$  90 минут.

В данном примере в результате проведения серии расчётов получается таблица со следующими переходами (рис. 4).

$n_0 \backslash n_n$	1	2	3	4
1	8900	→ 96400	→ 96900	→ 96900
2			↓ 175800	
3	163700	→ 185700	→ 208200	← 196700
4			↑ 187600	

Рисунок 7. Таблица переходов для поиска максимальной прибыли

Из рисунка 4 наглядно видно, что при работе салона в течении 14400 минут существует максимум прибыли равный 208200 рублей. Оптимальный вари-

ант для моделируемого салона состоит в следующем: нанять на работу 3-х мастеров и обустроить очередь для 3-х клиентов.

Одновременно с расчётом оптимальных значений представляется возможным вычислить следующие показатели работы салона: количество обслуженных клиентов 549 человек, занятость мастеров 0,75, средняя длина очереди 0,63 человека, среднее время нахождения клиента в салоне 26 минут, вероятность обслуживания клиента 0,92, среднее время обслуживания клиента в салоне 75 минут. Анализ перечисленных показателей позволяет принять окончательное решение по стратегии управления деятельностью салона по оказанию услуг.

Перечисленные показатели и результаты оптимального решения представлены на рисунке 5.

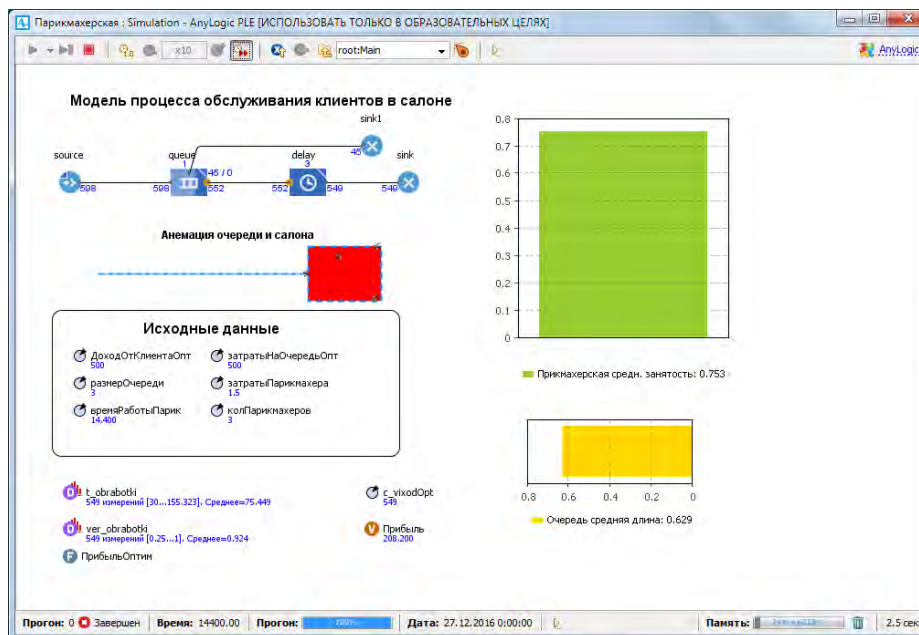


Рисунок 8. Результаты расчёта оптимального значения

Проиллюстрированный выше метод решения оптимизационной задачи реализуется путем проведения численного эксперимента по заданной методике. В ходе проведения эксперимента у экспериментатора возникает необходимость в принятии решения о величине исследуемых переменных для очередного эксперимента, что существенно увеличивает время проведения эксперимента. Логика представленного метода предписывает многократное проведение эксперимента. По этой причине при большом количестве переменных могут возникнуть большие затраты времени на реализацию эксперимента. Для решения этой проблемы в системе AnyLogic имеется объект, с помощью которого можно автоматизировать процесс проведения эксперимента.

Для использования этого объекта требуется следующее: сформировать целевую функцию, записать интервал изменения исследуемых переменных, определить количество итераций для одной прогонки, назначить количество репликаций.

Под итерацией понимается один опыт. Количество итераций – это цель стратегического планирования эксперимента определение количества наблю-

дений и уровней факторов в них для получения полной и достоверной информации о модели.

В нашей модели нужно менять факторы *размерОчереди* и *колПарикмахеров*. При этом каждый фактор имеет пять уровней, поэтому количество итераций равно  $5^2 = 25$ .

Число репликаций (прогонов) в одной итерации может быть фиксированным или переменным. Фиксированное число репликаций, например, при доверительной вероятности, точности и стандартном отклонении может быть определено по формуле:

$$n = t_{\alpha}^2 \cdot \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2},$$

где  $t_{\alpha}^2$  табулированный аргумент функции Лапласа при доверительной вероятности 0,95, равный 1,96; стандартное отклонение  $\varepsilon$  равно 1; точность переменной равна 1. Таким образом, количество репликаций в данном примере можно взять равным 4.

В рассматриваемом варианте для проведения оптимизационного эксперимента заполняются перечисленные величины. Они представлены на рисунке 6.

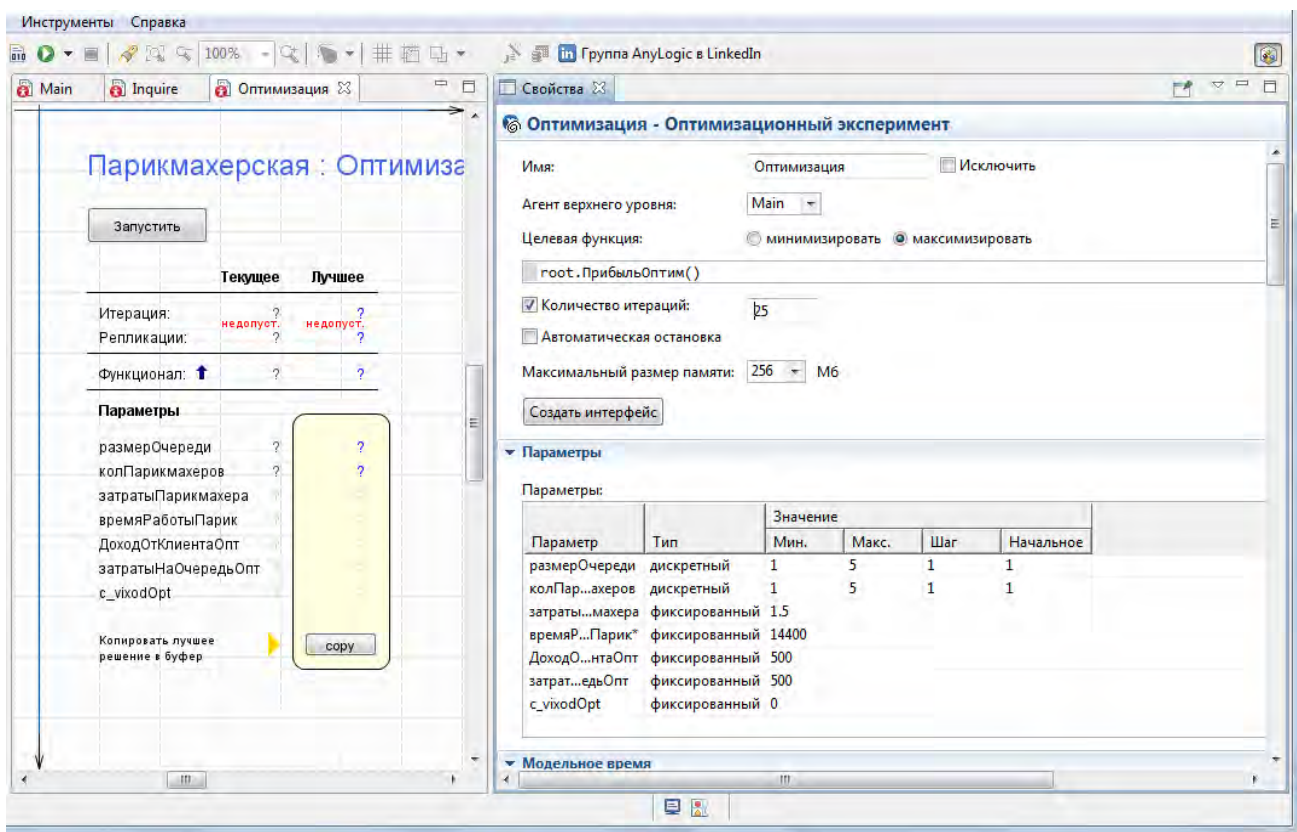


Рисунок 9. Исходные данные для проведения эксперимента

Из рисунка 6 видно, что параметры *размерОчереди* и *колПарикмахеров* являются дискретными величинами, и они изменяются в диапазоне от 1 до 5, остальные параметры – фиксированные.



Результаты проведенного эксперимента представлены на рисунке 7.

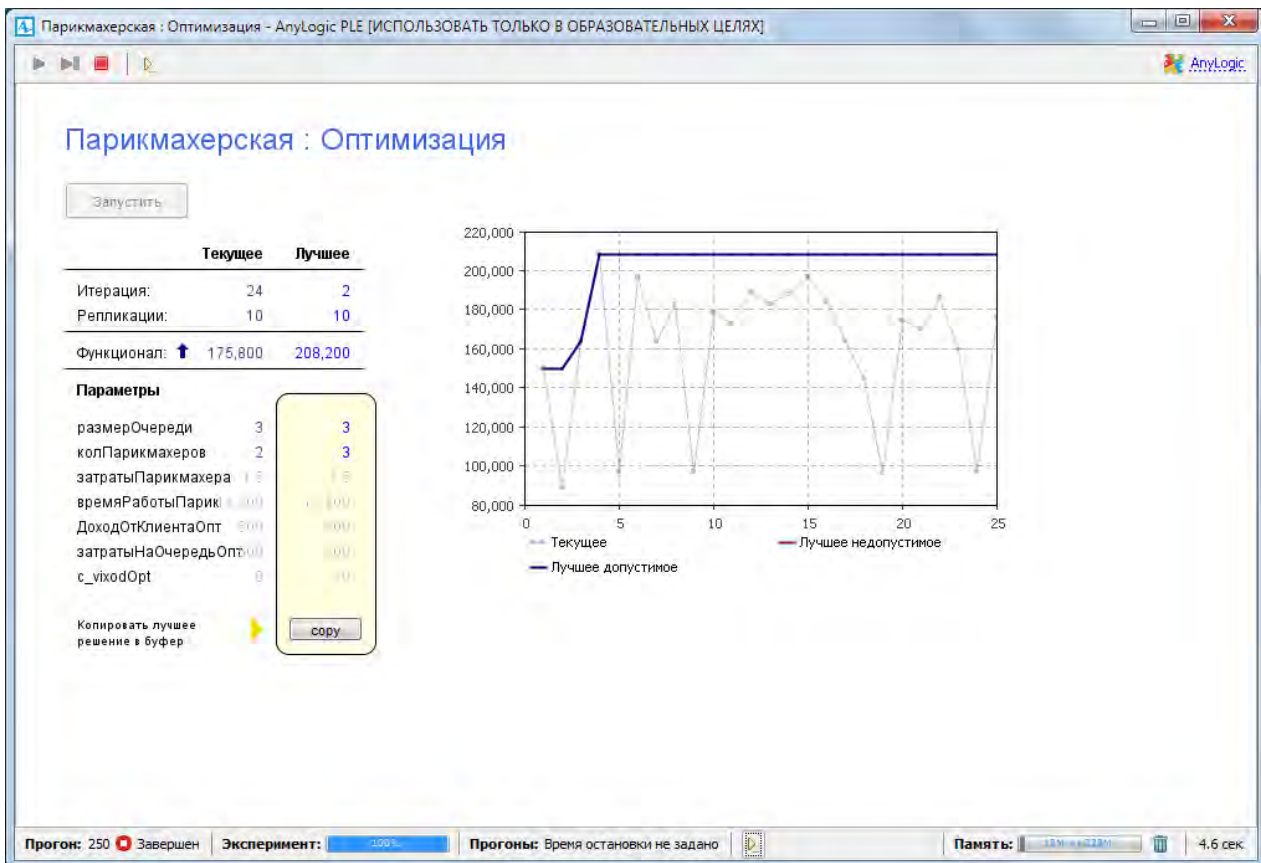


Рисунок 10. Результаты работы оптимизационного эксперимента

Для получения оптимальных значений потребовалось 24 итерации и 10 репликаций. Максимальное значение прибыли в размере 208200 рублей может быть достигнуто при размере очереди 3 и количестве мастеров равным 3.

Полученные результаты расчёта при данном подходе совпадают с результатами расчёта, полученными по координатному методу, рассмотренному выше.

## Результаты

Разработана на основе инструментального средства AnyLogic процессная имитационная модель функционирования салона по оказанию услуг. С помощью модели проведены эксперименты по определению характерных показателей систем массового обслуживания: средняя длина очереди, среднее время ожидания в очереди, среднее время обслуживания клиента, вероятность обслуживания клиента, уровень занятости мастеров. Наряду с этим с помощью имитационной модели рассмотрен пример решения оптимизационной задачи по определению максимальной прибыли при заданных исходных данных. При этом представлены два подхода при решении задачи: по координатный метод и метод с использованием объекта AnyLogic оптимизационный эксперимент. Результаты решения по этим методам совпадают. Однако, второй метод более предпочтителен, так как он менее трудоемкий и менее затратный по времени реализации.

В настоящей статье представлена упрощенная процессная модель функционирования предприятия. Однако, её можно легко расширить, добавляя необходимые объекты, имитирующие дополнительные процессы моделируемой системы.

### Список литературы

1. Таха Х. А. Введение в исследование операций. 7-е изд.; пер. с англ. М. : Издательский дом «Вильямс», 2005. 912 с.: ил.
2. Боев В. Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World : учеб. пособие. СПб. : БХВ-Петербург, 2004. 368 с.: ил.
3. Боев В. Д. Компьютерное моделирование: Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic7. СПб. : ВАС, 2014. 432 с.
4. The AnyLogic Company [Электронный ресурс]. [2014]. URL: <http://www.anylogic.com/anylogic/help/>.

### List of references

1. H. A. Taha. *Introduction to operations research*, 7<sup>th</sup> ed., Moscow : Publishing house "Williams", 2005, 912 p.
2. Boev V. D. *Modeling systems. GPSS tools world: textbook*. St. Petersburg : BHV-Peterburg, 2004, 368 p.
3. Boev V. D. *Computer simulation: a guide for practical classes, course and diploma projects in AnyLogic7*, St. Petersburg : VAS, 2014, 432 p.
4. *The AnyLogic company*, website, 2014, mode of access: <http://www.anylogic.com/ourcompany/help/>.