

О. И. Наранович, Ю. Е. Горбач, А. А. Ермакова

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Министерство образования
Республики Беларусь, ул.Войкова, 21, 225404, Барановичи, Республика Беларусь, +375(29)6552163,
gorbachje@mail.ru

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕННОСТИ РЕСУРСОВ

Представлено описание разработанного клиент-серверного приложения, которое позволяет находить оптимальный план пошива двух видов костюмов, максимизирующий прибыль организации. Данная имитационная модель подходит для объектов сферы малых городских организаций, работающих в условиях ограниченных ресурсов, например, небольших швейных ателье. В основе разработки лежат такие методы математического программирования, как симплекс-метод и генетический алгоритм. Обоснована и доказана их эффективность для решения задач, связанных с оптимальным использованием ограниченных ресурсов в ситуационном моделировании.

Ключевые слова: имитационная модель, ситуационное моделирование, оптимизационная задача, ресурсы, математическая модель, симплекс-метод, генетический алгоритм, клиент-серверное приложение, оптимальный план производства

Рис. 10. Библиогр.: 6 назв.

O. I. Naranovich, Y. E. Gorbach, A. A. Ermakova

Baranovich State University, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 21 Voykova str.,
225404, Baranovich, Republic of Belarus, +375 (29) 6552163, gorbachje@mail.ru

DEVELOPMENT OF AN SIMULATION MODEL FOR THE SOLUTION OF AN OPTIMIZATION PROBLEM TAKING INTO ACCOUNT THE RESTRICTION OF RESOURCES

The description of the developed client-server application is presented, which allows you to find the optimal plan for sewing two types of suits, maximizing the profit of the organization. This simulation model is suitable for objects of the sphere of small urban organizations working in conditions of limited resources, for example, small sewing ateliers. The development is based on mathematical programming methods such as the simplex method and the genetic algorithm. Their effectiveness for solving problems associated with the optimal use of limited resources in situational modeling is substantiated and proved.

Key words: simulation model, situational modeling, optimization task, resources, mathematical model, simplex method, genetic algorithm, client-server application, optimal production plan

Fig. 10. Ref.: 6 titles.

Введение. Особое значение в современных условиях хозяйствования имеет решение задач ситуационного моделирования для интеллектуальной поддержки стратегических решений на уровне малых и средних организаций в развитии их инвестиционной активности. Само по себе принятие решений в условиях рисков является риском, так как ошибки могут усугубить ситуацию. Поэтому и возникла потребность в инновациях организационного характера, а также необходимость ситуационного моделирования и выделения ситуационных инноваций. Они представляют собой новшества, получившие применение при определенных уникальных обстоятельствах [1].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки моделей развития малых и средних организаций, обеспечивающих оптимизацию использования ресурсов, с учетом имеющегося потенциала и изменчивости внешней среды [2]. Существующая высокая

публикационная активность по проблемам малых и средних образований в большей степени вскрывает их проблемы, чем предлагает какие-либо решения.

Практическая реализация подобных разработок возможна при организации стратегических центров, развивающих инвестиционную активность малых и средних образований, таких как бизнес-инкубаторы, центры трансфера технологий и др. Организация подобных структур позволит сформировать эффективную систему, способствующую развитию инновационного потенциала, продвижению результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в реальный сектор экономики [3].

Центр трансфера технологий Барановичского государственного университета проводит активную работу по отбору и оценке проектов, в том числе студенческих, обладающих коммерческим потенциалом.

Целью данной работы является разработка клиент-серверного приложения, которое позволит находить оптимальный план пошива двух видов костюмов, максимизирующий прибыль, для организации сферы малого и среднего бизнеса.

В статье предложена имитационная модель объекта сферы малых городских организаций, работающих в условиях ограниченных ресурсов, на примере пошива костюмов в небольших швейных ателье.

Постановка прикладной задачи. Частное швейное ателье намечает выпуск двух видов костюмов — мужских и женских. На женский костюм требуется 1 чел./день трудозатрат, 3 м шерсти и 4 м лавсана. На мужской костюм — 1 чел./день трудозатрат, 5 м шерсти и 1 м лавсана. Всего имеется 400 м шерсти, 300 м лавсана и 200 чел./день трудозатрат. Прибыль от реализации женского костюма составляет 20 ден. ед., от мужского — 30 ден. ед. Требуется принять решение о пошиве костюмов каждого вида, которые после реализации дадут максимальную прибыль. Следует рассмотреть дополнительные условия: а) мужских костюмов должно быть не менее 60; б) обязательный минимум мужских костюмов изменится на $\pm 15\%$; в) предприятие имеет возможность увеличить ресурс (запас) шерсти (лавсана) на 10% ; г) какова при этом будет допустимая («теневая») цена 1 м шерсти (лавсана); д) из-за конкуренции на рынке цена костюма каждого вида увеличится (уменьшится) на 10% .

Построение математической модели. Согласно рассматриваемой задаче, составлена математическую модель, в которой x_1 — количество мужских костюмов; x_2 — количество женских костюмов; целевая функция и ограничения имеют вид:

$$F(x) = 30 \cdot x_1 + 20 \cdot x_2 \rightarrow \max$$
$$\begin{cases} 5x_1 + 3x_2 \leq 400, \\ x_1 + 4x_2 \leq 300, \\ x_1 + x_2 \leq 200, \\ x_{1,2} \geq 0. \end{cases}$$

а) Мужских костюмов должно быть не менее 60:

$$F(x) = 30 \cdot x_1 + 20 \cdot x_2 \rightarrow \max$$
$$\begin{cases} 5x_1 + 3x_2 \leq 400, \\ x_1 + 4x_2 \leq 300, \\ x_1 + x_2 \leq 200, \\ x_1 \geq 60, \\ x_2 \geq 0. \end{cases}$$

б) Обязательный минимум мужских костюмов изменится на $\pm 15\%$:
при увеличении

$$F(x) = 30 \cdot x_1 + 20 \cdot x_2 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} 5x_1 + 3x_2 \leq 400, \\ x_1 + 4x_2 \leq 300, \\ x_1 + x_2 \leq 200, \\ x_1 \geq x_1 + 0,15x_1, \\ x_2 \geq 0; \end{cases}$$

при уменьшении

$$F(x) = 30 \cdot x_1 + 20 \cdot x_2 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} 5x_1 + 3x_2 \leq 400, \\ x_1 + 4x_2 \leq 300, \\ x_1 + x_2 \leq 200, \\ x_1 \geq x_1 - 0,15x_1, \\ x_2 \geq 0. \end{cases}$$

в) При увеличении запаса шерсти на 10%:

$$F(x) = 30 \cdot x_1 + 20 \cdot x_2 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} 5x_1 + 3x_2 \leq 440, \\ x_1 + 4x_2 \leq 300, \\ x_1 + x_2 \leq 200, \\ x_1 \geq x_1 - 0,15x_1, \\ x_2 \geq 0. \end{cases}$$

При увеличении запаса лавсана на 10%:

$$F(x) = 30 \cdot x_1 + 20 \cdot x_2 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} 5x_1 + 3x_2 \leq 400, \\ x_1 + 4x_2 \leq 330, \\ x_1 + x_2 \leq 200, \\ x_1 \geq x_1 - 0,15x_1, \\ x_2 \geq 0. \end{cases}$$

При увеличении запаса шерсти и лавсана на 10%:

$$F(x) = 30 \cdot x_1 + 20 \cdot x_2 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} 5x_1 + 3x_2 \leq 440, \\ x_1 + 4x_2 \leq 330, \\ x_1 + x_2 \leq 200, \\ x_1 \geq x_1 - 0,15x_1, \\ x_2 \geq 0. \end{cases}$$

г) Для нахождения «теневой» цены нам необходимо решить двойственную задачу. Для этого транспонируем матрицу ограничений и построим новую математическую модель, целевая функция которой будет стремиться к минимуму.

Обозначим:

y_1 — теневая цена шерсти;

y_2 — теневая цена лавсана;

y_3 — теневая цена трудозатрат;

В итоге была получена следующая математическая модель:

$$F(x) = 440 \cdot y_1 + 330 \cdot y_2 + 200 \cdot y_3 \rightarrow \min$$

$$\begin{cases} 5y_1 + y_2 + y_3 \geq 30, \\ 3y_1 + 4y_2 + y_3 \geq 20, \\ y_{1,2,3} \geq 0. \end{cases}$$

д) Из-за конкуренции на рынке цена костюма каждого вида увеличится (уменьшится) на 10 %.

Получаем соответствующие математические зависимости. При увеличении цены костюма каждого вида на 10%:

$$F(x) = 33 \cdot x_1 + 22 \cdot x_2 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} 5x_1 + 3x_2 \leq 400, \\ x_1 + 4x_2 \leq 300, \\ x_1 + x_2 \leq 200, \\ x_{1,2} \geq 0. \end{cases}$$

После уменьшения цены костюма каждого вида на 10%:

$$F(x) = 27 \cdot x_1 + 18 \cdot x_2 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} 5x_1 + 3x_2 \leq 400, \\ x_1 + 4x_2 \leq 300, \\ x_1 + x_2 \leq 200, \\ x_{1,2} \geq 0. \end{cases}$$

Для проверки корректности составленных математических моделей решим задачу средствами Microsoft Excel (рисунок 1).

Благодаря широкой популярности и доступности табличного процессора MS Excel встроенная в его среду Надстройка «Поиск решения» является наиболее распространенным инструментом для поиска оптимальных решений. С помощью нее могут решаться задачи линейного и нелинейного программирования.

E8 fx =B8*B5+C8*C5								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Основная задача							
2								
3	Переменные							
4		X1	X2					
5		41	65					
6								
7	Козф. целевой ф-и				Значение			
8		30	20		2529			
9								
10	Ограничения							
11		5	3	=	400	<=	400	
12		1	4	=	300	<=	300	
13		1	1	=	106	<=	200	
14								

Рисунок 1 — Решение задачи в Excel

Проверим, полученную модель на чувствительность и создадим отчет об устойчивости (рисунок 2) [4].

Ячейки переменных

Ячейка	Имя	Окончательное Значение	Приведенн. Стоимость	Целевая функция Коэффициент	Допустимое Увеличение	Допустимое Уменьшение
\$B\$5	X1	41,17647059	0	30	3,333333333	25
\$C\$5	X2	64,70588235	0	20	100	2

Рисунок 2 — Отчет об устойчивости в Excel

В столбце «Окончательное значение» находится оптимальный план задачи. В данной задаче максимальная прибыль будет достигнута при изготовлении 41 мужского костюма и 65 женского.

В столбцах «Допустимое увеличение» и «Допустимое уменьшение» находятся значения, которые позволяют увеличить/уменьшить коэффициенты целевой функции, при которых оптимальный план не изменится.

Таким образом, коэффициенты при x_i в целевой функции могут варьироваться от 5 до 33,33 при x_1 и от 18 до 120 при x_2 .

Обоснование вычислительной процедуры. Так как поставленная задача является задачей линейного программирования и имеет две переменные, то она может быть решена с помощью симплекс-метода.

Решение задачи начинается с рассмотрения одной из вершин многогранника условий. Если исследуемая вершина не соответствует максимуму (минимуму), то переходят к соседней, увеличивая значение целевой функции при решении задачи на максимум и уменьшая при решении задачи на минимум. Таким образом, переход от одной вершины к другой улучшает значение целевой функции. Так как число вершин многогранника ограничено, то за конечное число шагов гарантируется нахождение оптимального значения или установление того факта, что задача неразрешима. Этот метод является универсальным, применимым к любой задаче линейного программирования в канонической форме [5].

Использование симплекс-метода для решения задач линейного программирования позволяет найти значения переменных, при которых достигается наилучшее точное значение целевой функции. Если точность оптимального значения не требуется или не достижима из-за исходных данных, используют приближенные численные методы оптимизации и в качестве решения можно взять любое значение, которое лучше некоторой заданной величины.

В качестве второго метода решения был выбран генетический алгоритм. Генетический алгоритм — это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искоемых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе. Является разновидностью эволюционных вычислений, с помощью которых решаются оптимизационные задачи с использованием методов естественной эволюции, таких как наследование, мутации, отбор и кроссинговер. В этом случае генетические алгоритмы являются одним из наиболее приемлемых методов для поиска «хороших» значений. С другой стороны, нередко случаи, когда генетический алгоритм работает не так эффективно, как ожидалось. Эффективность генетического алгоритма зависит от таких деталей, как метод кодировки решений, операторы, настройки параметров, частный критерий успеха и т. д. [6].

Демонстрация работы программного продукта. В данном приложении разработаны два решения: приложение клиента и приложение сервера. Наглядное отображение функциональных возможностей приложения возможны с помощью Use Case диаграммы, представленной на рисунке 3.

Данный вид диаграмм позволяет создать список операций, выполняемых системой. В диаграмме отображено, что пользователь может добавлять, удалять и изменять данные. Далее приложение-клиент считывает измененные данные и отправляет их на сервер. Сервер в свою очередь производит обработку данных (решает задачу с помощью выбранного метода) и отправляет решение приложению-клиенту, которое демонстрирует его пользователю.

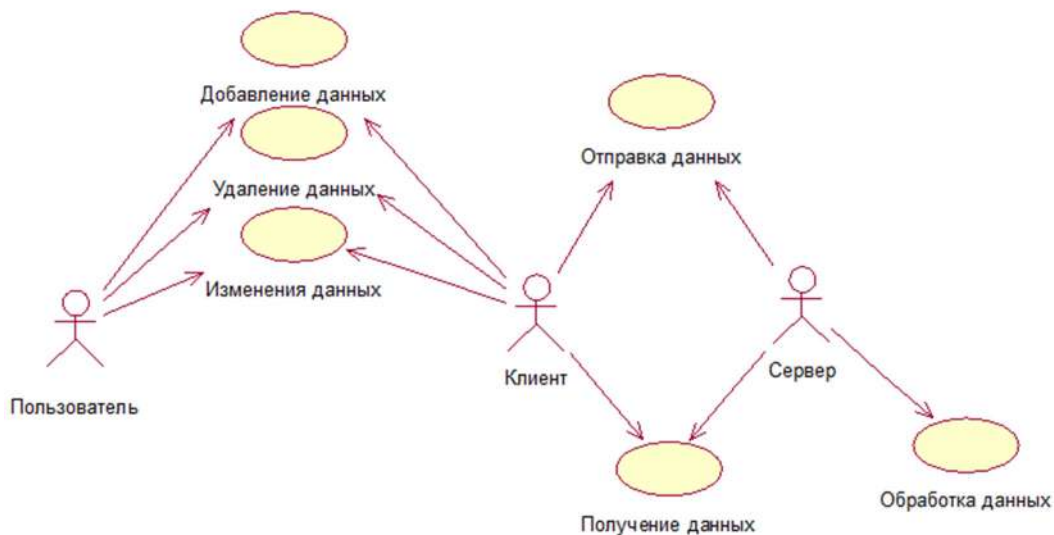


Рисунок 3 – Диаграмма Use Case

Для того чтобы разделить функционал и вычислительную нагрузку приложения в проекте была использована клиент-серверная архитектура и протокол TCP/IP. Для организации «общения» необходимо знать IP адрес и номер порта сервера, по которым он подключается к удаленному устройству (клиенту). TCP протокол отвечает за установление и поддержание соединения, доставку данных, упорядочивание и избавление от дублирования данных, контроль ошибок и скорости передачи.

После того, как программный продукт был установлен, следует запустить сервер, так как без его запуска клиент будет неработоспособен. Сервер после запуска представляет собой консольную панель, на которой будут отображаться все действия, происходящие между клиентом и сервером. При запуске приложения клиент вводит логин и пароль, и, как следствие успешной авторизации, открывается главная форма приложения (рисунок 4).

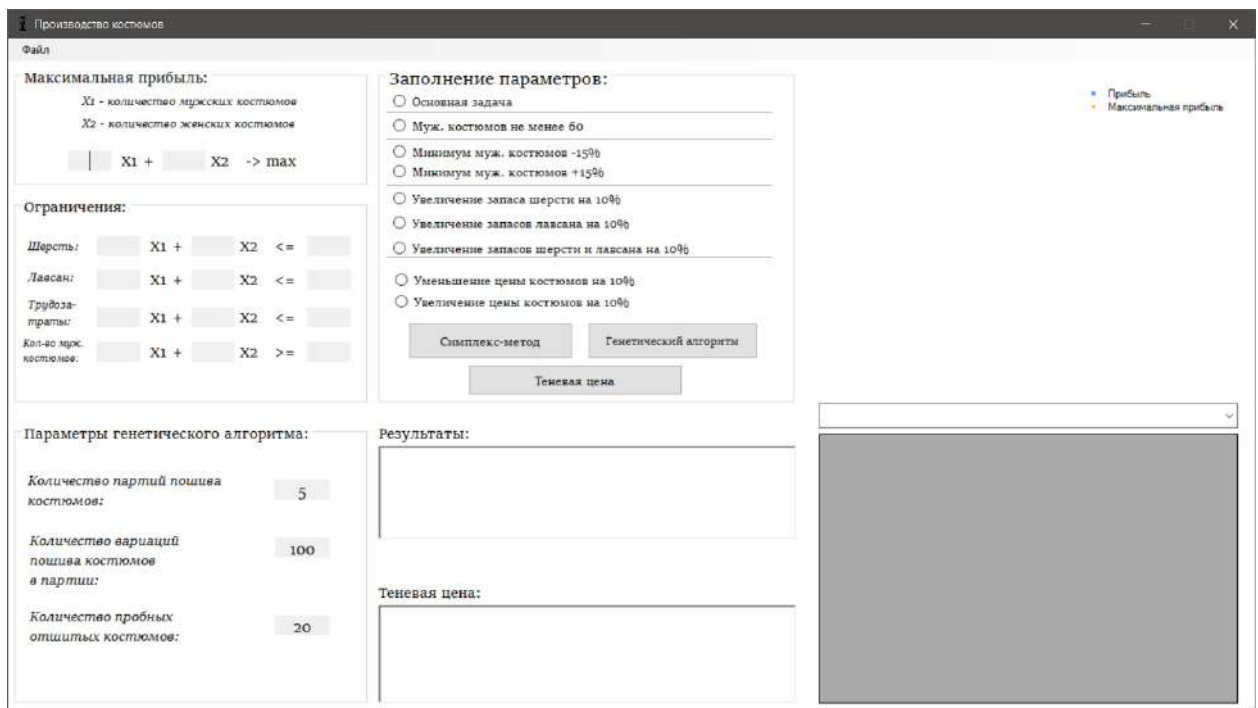


Рисунок 4 — Главная форма приложения

В группе заполнение параметров можно выбрать интересующую нас подзадачу, при выборе произойдет заполнение коэффициентами математической модели, представленной слева на форме.

При нажатии на кнопку «Симплекс-метод» или «Генетический алгоритм» будут проведены расчеты соответствующими алгоритмами и выведено решение в поле «Результаты», их промежуточные расчеты и график решения генетическим алгоритмом в определенное поле формы. При нажатии на кнопку «Теневая цена» будут проведены расчеты и выведено решение в поле «Теневая цена». Результаты расчетов представлены на рисунках 5-7.

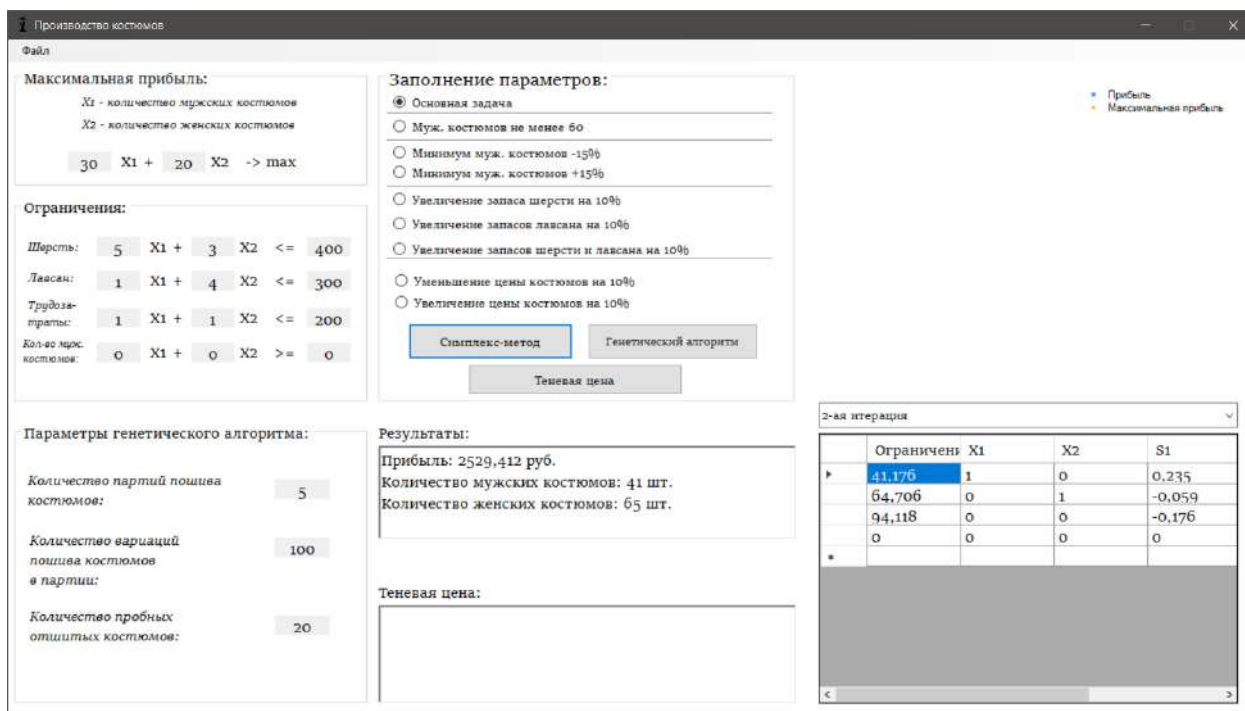


Рисунок 5 — Результаты решения симплекс-методом

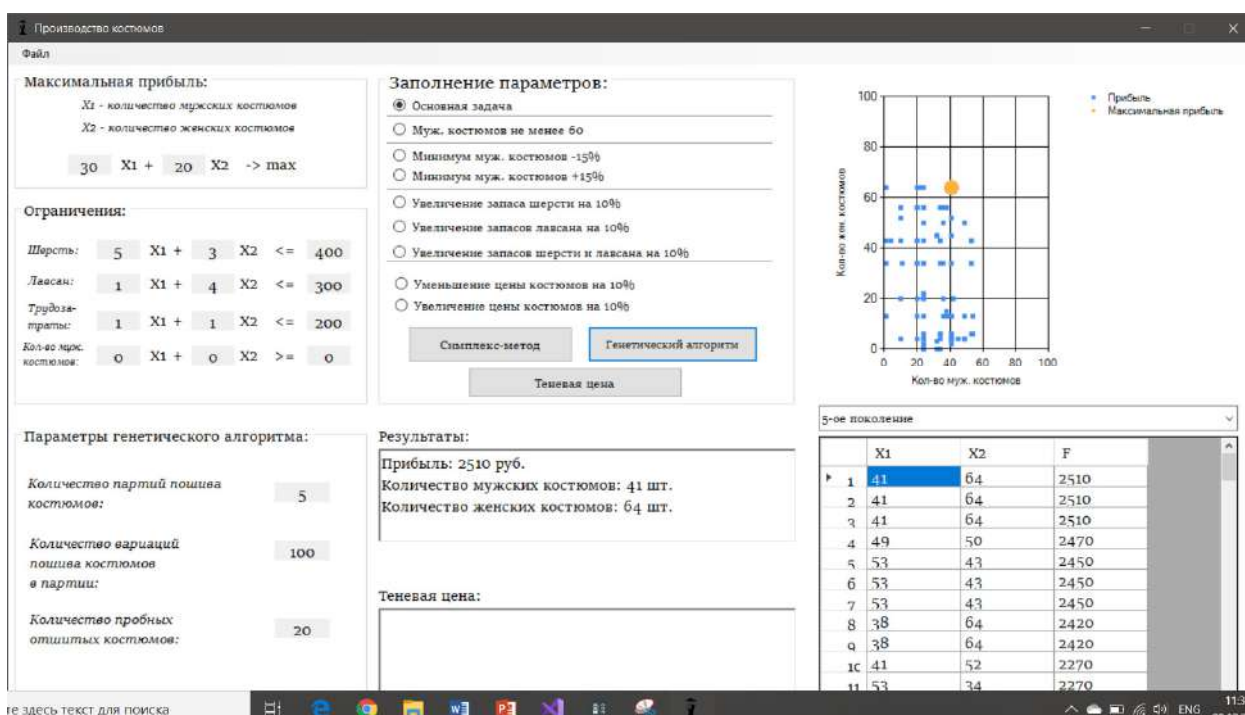


Рисунок 6 — Результаты решения генетическим алгоритмом

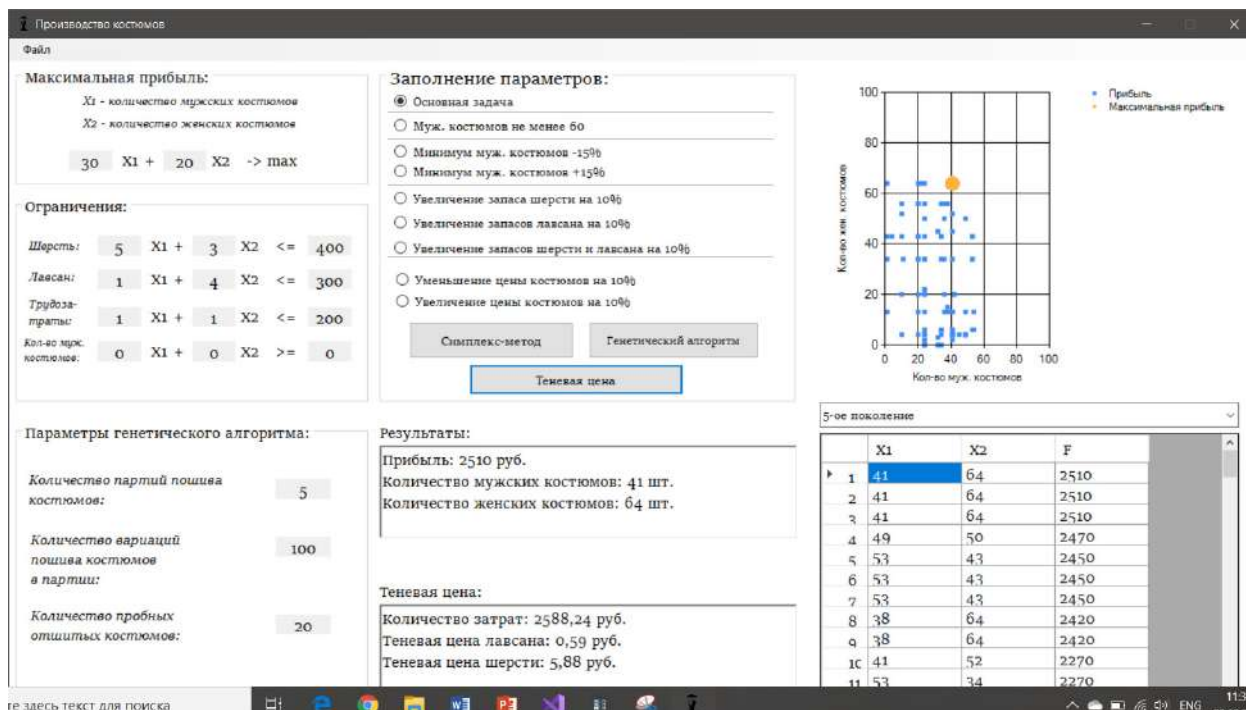


Рисунок 7 — Результаты вычисления теневой цены

В верхней части формы находится меню, представленное на рисунке 8.

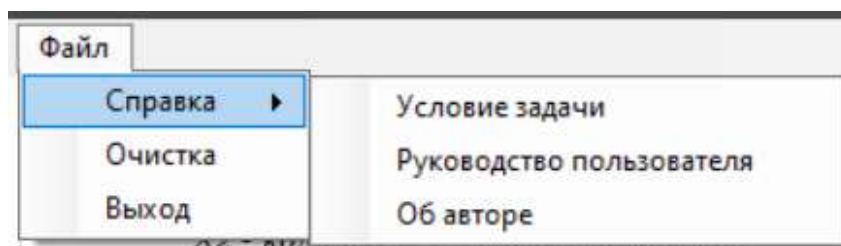


Рисунок 8 — Меню формы

При нажатии на кнопку «Файл – Очистка» будет произведена очистка полей для ввода значений и поля вывода результатов.

При нажатии на кнопку «Файл – Справка – Условие задачи» откроется форма с условием задачи, представленная на рисунке 9.

Условие задачи

Задача линейного программирования

Предприятие намечает выпуск двух видов костюмов — мужских и женских.

На женский костюм требуется 1 чел./день трудозатрат, 3 м шерсти и 4 м лавсана. На мужской костюм — 1 чел./день трудозатрат, 5 м шерсти и 1 м лавсана. Всего имеется 400 м шерсти, 300 м лавсана и 200 чел./день трудозатрат. Прибыль от реализации женского костюма составляет 20 ден. ед., от мужского — 30 ден. ед. Сколько костюмов каждого вида следует сшить для получения максимальной прибыли, если:

- а) мужских костюмов должно быть не менее 60;
- б) обязательный минимум мужских костюмов изменится на $\pm 15\%$;
- в) предприятие имеет возможность увеличить ресурс (запас) шерсти (лавсана) на 10 %; какова при этом будет допустимая («теневая») цена 1 м шерсти (лавсана);
- г) из-за конкуренции на рынке цена костюма каждого вида увеличится (уменьшится) на 10 %?



The image contains two fashion sketches. On the left, there are two views of a men's suit: a front view showing a single-breasted jacket with a notched lapel and a pair of trousers, and a back view showing the jacket's construction. On the right, there are two views of a women's suit: a front view showing a double-breasted jacket with a wide collar, a matching skirt, and a wide-brimmed hat, and a back view showing the jacket's construction.

Рисунок 9 — Форма с условием задачи

При нажатии на кнопку «Файл – Справка – Руководство пользователя» откроется форма с инструкцией по работе с приложением для пользователя (форма представлена на рисунке 10).

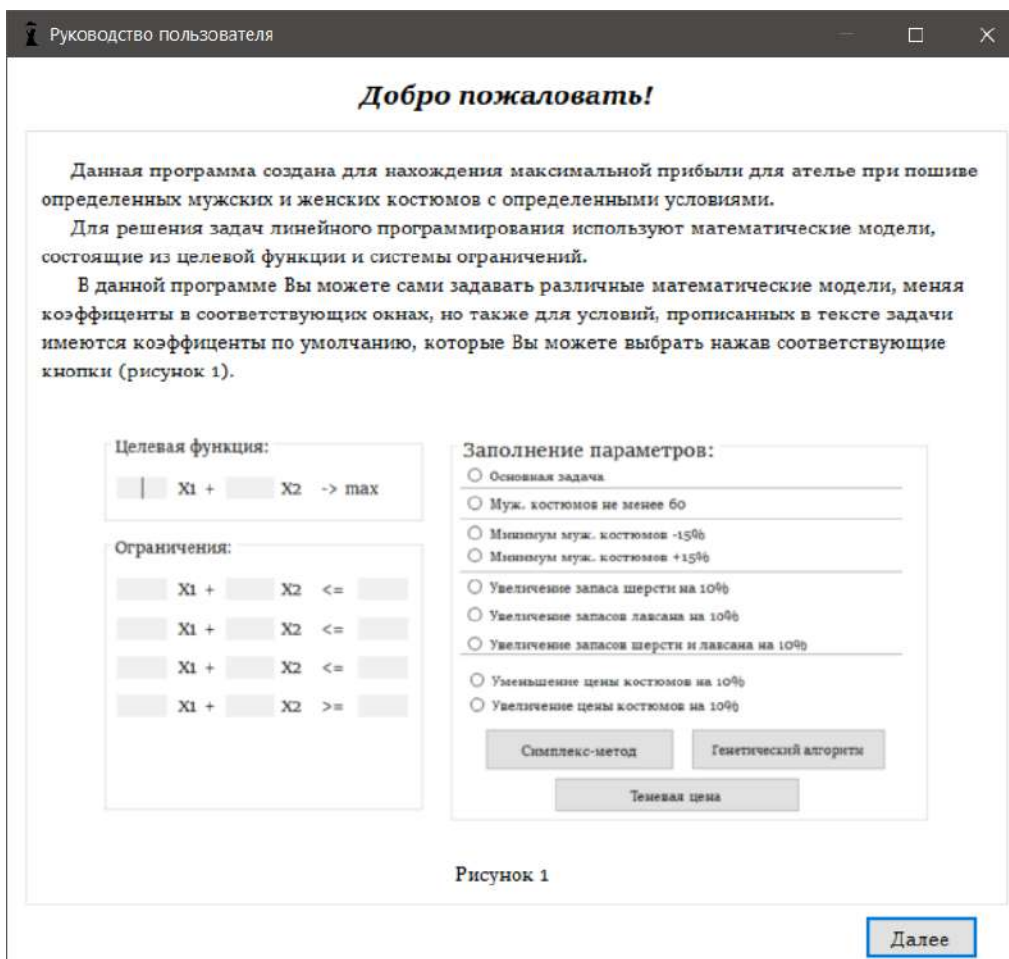


Рисунок 10 — Форма с руководством пользователя

После проведения расчётов было установлено, что ателье для получения максимальной прибыли должно произвести партию мужских костюмов в количестве 41 штука и женских в количестве 65 штук.

Заключение.

Составлена математическая модель оптимизации, выбраны наиболее оптимальные методы решения задачи ситуационного моделирования для интеллектуальной поддержки стратегических решений на уровне малых и средних организаций.

В представленной работе разработано клиент-серверное приложение для построения оптимального плана выпуска швейных изделий организации сферы малого бизнеса. Методы математического программирования оказались весьма эффективными для решения задач, связанных с оптимальным использованием ограниченных ресурсов. При этом были использованы симплекс метод и генетический алгоритм, среда разработки Visual Studio 2019, язык программирования C#.

Разработанный программный продукт позволяет выполнять следующие функции:

- выбор алгоритма решения задачи;
- изменение исходных данных решаемой задачи;
- поиск оптимального плана производства изделий;
- представление результатов решения в числовом и графическом виде.

Созданная имитационная модель пошива и реализации костюмов может быть использована при принятии решений в оценке возможностей ателье, малых субъектов хозяйствования, индивидуальных предпринимателей, занимающихся в сфере пошива и продажи одежды, и имеет прикладную значимость. При соответствующей модернизации имитационная модель может быть адаптирована для решения подобных задач принятия управленческих и производственных решений.

Список цитируемых источников

1. *Селицкий, В.* Ситуационные инновации: особенности и значение / Селицкий В., Пронзуо Ю. // Наука и инновации. — 2019. — № 4. — С. 29-32.
2. *Иванюк, В. А.* Методы оптимизации инвестиционной стратегии / Иванюк В. А., Андропов К. Н., Егорова Н. Е. // Фундаментальные исследования. — 2016. — № 3. — С. 159-163.
3. *Верняховская, В.* Высшее образование как ключевая составляющая национальной инновационной системы / Верняховская В. // Наука и инновации. — 2019. — № 5. — С. 45-49.
4. *Наранович О. И., Якубович Т. Р., Шляго Н. И., Онюшева И. В.* Анализ модели на чувствительность при решении производственной задачи / О. И. Наранович, И. В. Онюшева // Техника и технологии: инновации и качество: V Международная научно-практическая конференция, 19-20 декабря 2018 г., г. Барановичи, Респ. Беларусь / редкол.: В. В. Климук (гл. ред.) [и др.]. — Барановичи : РИО БарГУ, 2019. — С. 16-19.
5. Симплекс-метод. Решения задач линейного программирования [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://works.doklad.ru/view/wgdsLOdeEoM.html>. — Дата доступа 14.02.2020.
6. *Люггер Дж. Ф.* Искусственный интеллект / Дж. Ф. Люггер. — М : Издат. дом «Вильямс», 2003. — 864 с.