

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) 655 21 63, 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

Baranavichy State University, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 21 Voikov St.,
225404 Baranavičy, Republic of Belarus, +375 (29) 655 21 63, gorbachje@mail.ru

DEVELOPMENT OF A 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 the objects of the sphere of small urban organizations working in conditions of limited resources, for example, small sewing ateliers. The development is based on the 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 учреждения образования «Барановичский государственный университет» осуществляет отбор и оценку проектов, в том числе студенческих, обладающих коммерческим потенциалом.

Целью данного исследования 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.

Материалы и методы исследования. *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., 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 математическая модель, в которой x_1 — количество мужских костюмов; x_2 — количество женских костюмов; целевая функция и ограничения имеют следующий вид:

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

а) мужских костюмов должно быть не менее 60:

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

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

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

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

– при уменьшении:

$$F(x) = 30x_1 + 20x_2 \rightarrow \max$$
$$\begin{cases} 5x_1 + 3x_2 \leq 400, \\ x_1 + 4x_2 \leq 300, \\ x_1 + x_2 \leq 200, \\ x_1 \geq x_1 - 0,15x_1, \\ x_2 \geq 0; \end{cases}$$

в) при увеличении запаса шерсти на 10 %:

$$F(x) = 30x_1 + 20x_2 \rightarrow \max$$
$$\begin{cases} 5x_1 + 3x_2 \leq 440, \\ x_1 + 4x_2 \leq 300, \\ x_1 + x_2 \leq 200, \\ x_1 \geq x_1 - 0,15x_1, \\ x_2 \geq 0; \end{cases}$$

г) при увеличении запаса лавсана на 10 %:

$$F(x) = 30x_1 + 20x_2 \rightarrow \max$$
$$\begin{cases} 5x_1 + 3x_2 \leq 400, \\ x_1 + 4x_2 \leq 330, \\ x_1 + x_2 \leq 200, \\ x_1 \geq x_1 - 0,15x_1, \\ x_2 \geq 0; \end{cases}$$

д) при увеличении запаса шерсти и лавсана на 10 %:

$$F(x) = 30x_1 + 20x_2 \rightarrow \max$$
$$\begin{cases} 5x_1 + 3x_2 \leq 440, \\ x_1 + 4x_2 \leq 330, \\ x_1 + x_2 \leq 200, \\ x_1 \geq x_1 - 0,15x_1, \\ x_2 \geq 0. \end{cases}$$

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:

$$F(y) = 440y_1 + 330y_2 + 200y_3 \rightarrow \min$$
$$\begin{cases} 5y_1 + y_2 + y_3 \geq 30, \\ 3y_1 + 4y_2 + y_3 \geq 20, \\ y_{1,2,3} \geq 0. \end{cases}$$

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 %:

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

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

После уменьшения цены костюма каждого вида на 10 %:

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

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

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.

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

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

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_1 в целевой функции могут варьироваться от 5 до 33,33 при x_1 и от 18 до 120 при x_2 .

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		

Рисунок 1. — Решение задачи в Excel

Ячейки переменных

Ячейка	Имя	Окончательное	Приведенн.	Целевая функция	Допустимое	Допустимое
		Значение	Стоимость	Кoeffициент	Увеличение	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

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, 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, нередки 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].

Результаты исследования и их обсуждение. В данном приложении разработаны два решения: приложение клиента и приложение сервера. Наглядное отображение функциональных возможностей приложения возможно с помощью диаграммы Use Case (рисунок 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.

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).

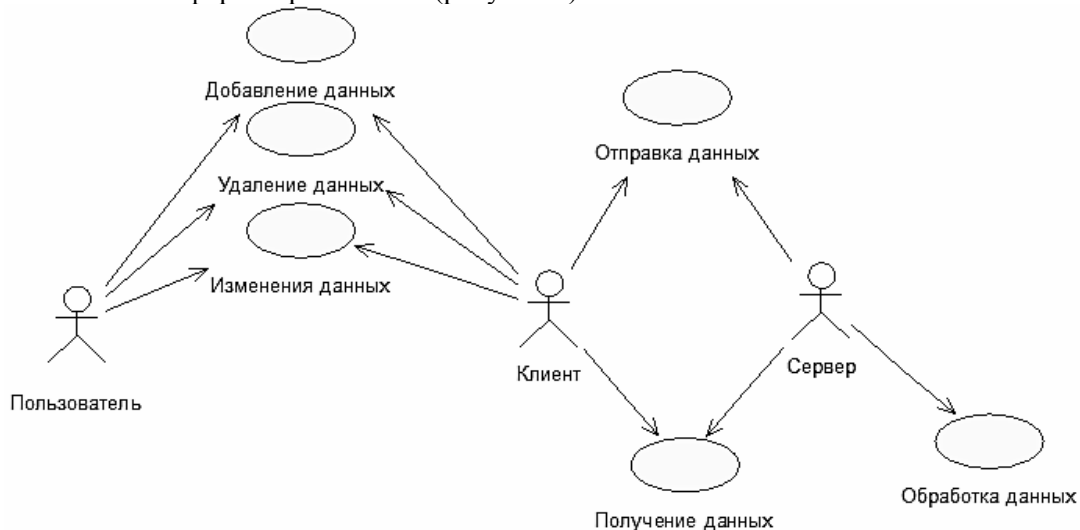


Рисунок 3. — Диаграмма Use Case

Примечание. Источник: собственная разработка.

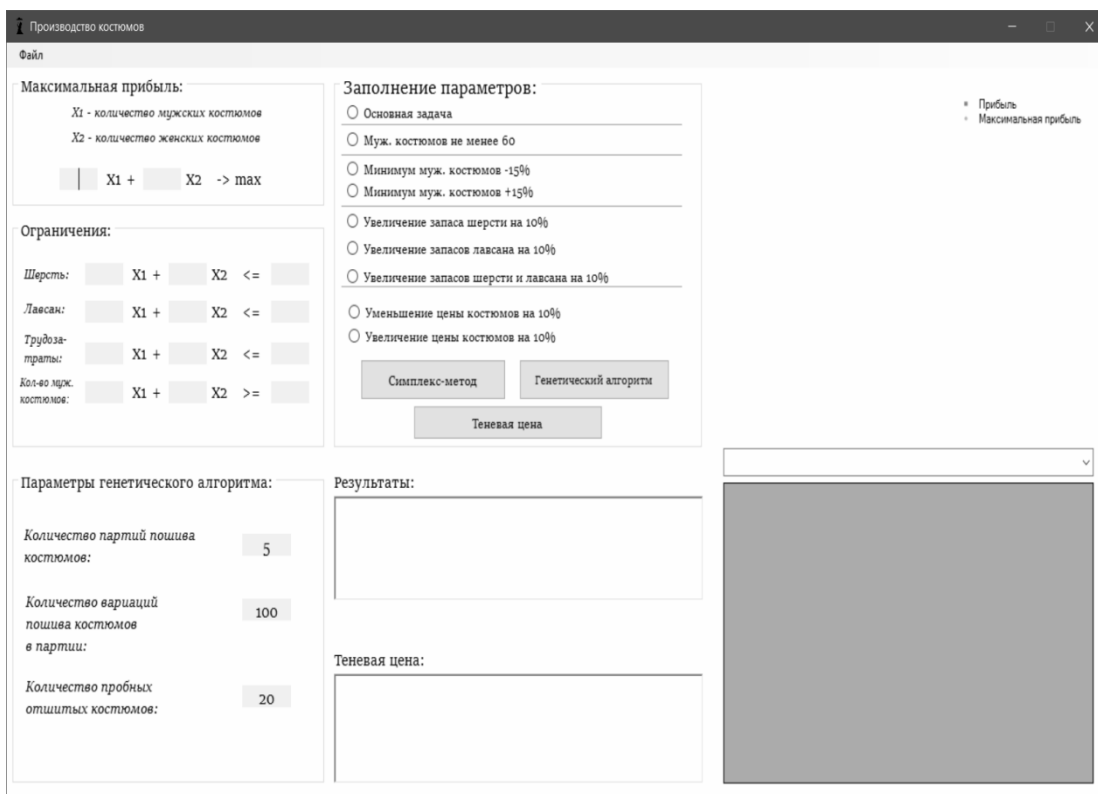


Рисунок 4. — Главная форма приложения

Примечание. Источник: собственная разработка.

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.

Производство костюмов

Максимальная прибыль:
 X_1 - количество мужских костюмов
 X_2 - количество женских костюмов
 $30 X_1 + 20 X_2 \rightarrow \max$

Ограничения:

Шерсть: $5 X_1 + 3 X_2 \leq 400$
Лавсан: $1 X_1 + 4 X_2 \leq 300$
Трудовые затраты: $1 X_1 + 1 X_2 \leq 200$
Кол-во муж. костюмов: $0 X_1 + 0 X_2 \geq 0$

Заполнение параметров:

- Основная задача
- Муж. костюмов не менее 60
- Минимум муж. костюмов -15%
- Минимум муж. костюмов +15%
- Увеличение запаса шерсти на 10%
- Увеличение запасов лавсана на 10%
- Увеличение запасов шерсти и лавсана на 10%
- Уменьшение цены костюмов на 10%
- Увеличение цены костюмов на 10%

Параметры генетического алгоритма:

Количество партий пошива костюмов: 5
Количество вариаций пошива костюмов в партии: 100
Количество пробных отшитых костюмов: 20

Результаты:

Прибыль: 2529,412 руб.
Количество мужских костюмов: 41 шт.
Количество женских костюмов: 65 шт.

Теневая цена:

2-ая итерация

Ограничени	X1	X2	S1
1	41,176	0	0,235
2	64,706	1	-0,059
3	94,118	0	-0,176
4	0	0	0

Рисунок 5. — Результаты решения симплекс-методом

Примечание. Источник: собственная разработка.

Производство костюмов

Максимальная прибыль:
 X_1 - количество мужских костюмов
 X_2 - количество женских костюмов
 $30 X_1 + 20 X_2 \rightarrow \max$

Ограничения:

Шерсть: $5 X_1 + 3 X_2 \leq 400$
Лавсан: $1 X_1 + 4 X_2 \leq 300$
Трудовые затраты: $1 X_1 + 1 X_2 \leq 200$
Кол-во муж. костюмов: $0 X_1 + 0 X_2 \geq 0$

Заполнение параметров:

- Основная задача
- Муж. костюмов не менее 60
- Минимум муж. костюмов -15%
- Минимум муж. костюмов +15%
- Увеличение запаса шерсти на 10%
- Увеличение запасов лавсана на 10%
- Увеличение запасов шерсти и лавсана на 10%
- Уменьшение цены костюмов на 10%
- Увеличение цены костюмов на 10%

Параметры генетического алгоритма:

Количество партий пошива костюмов: 5
Количество вариаций пошива костюмов в партии: 100
Количество пробных отшитых костюмов: 20

Результаты:

Прибыль: 2510 руб.
Количество мужских костюмов: 41 шт.
Количество женских костюмов: 64 шт.

Теневая цена:

5-ое поколение

	X1	X2	F
1	41	64	2510
2	41	64	2510
3	41	64	2510
4	49	50	2470
5	53	43	2450
6	53	43	2450
7	53	43	2450
8	38	64	2420
9	38	64	2420
10	41	52	2270
11	53	34	2270

Рисунок 6. — Результаты решения генетическим алгоритмом

Примечание. Источник: собственная разработка.

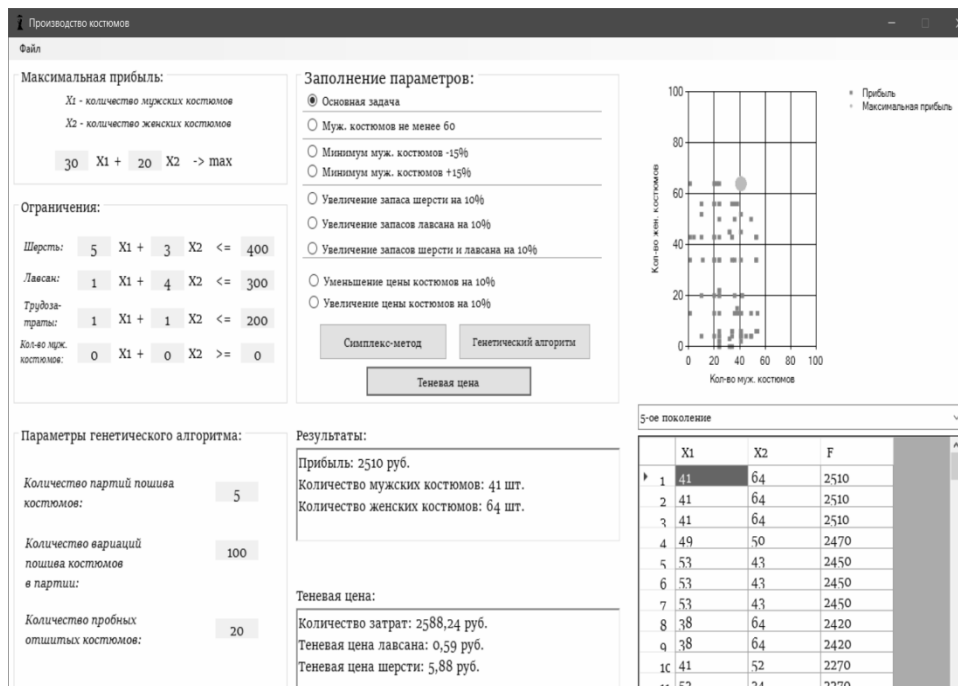


Рисунок 7. — Результаты вычисления теневой цены

Примечание. Источник: собственная разработка.

В верхней части формы находится меню (рисунок 8).

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 (рисунок 9).

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

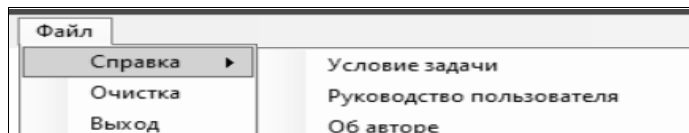


Рисунок 8. — Меню формы



Рисунок 9. — Форма с условием задачи

Примечание. Источник: собственная разработка.

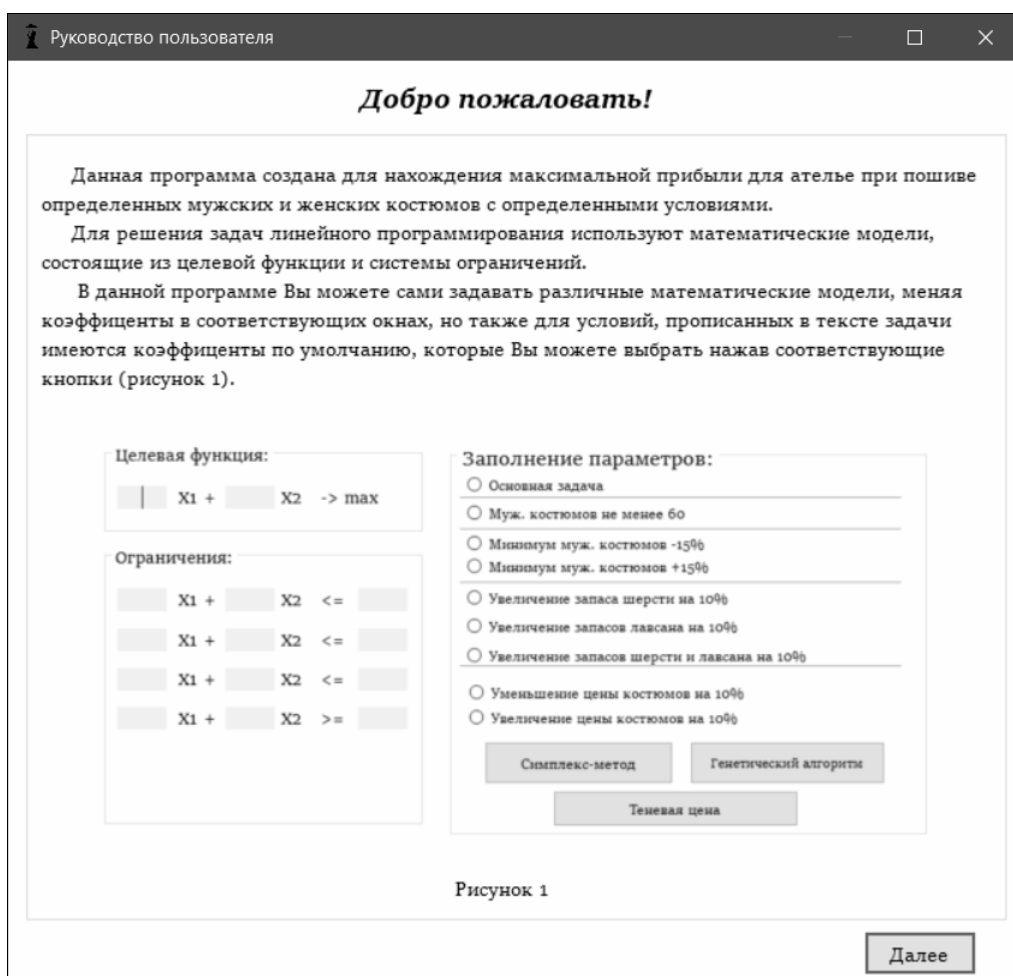


Рисунок 10. — Форма с руководством пользователя

Примечание. Источник: собственная разработка.

После проведения расчётов было установлено, что ателье для получения максимальной прибыли должно произвести партию мужских костюмов в количестве 41 штуки 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.

Было 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 видах.

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 / В. Селицкий, Ю. Пронзо // Наука и инновации. — 2019. — № 4. — С. 29—32.
2. Иванюк, В. А. Методы оптимизации инвестиционной стратегии / В. А. Иванюк, К. Н. Андропов, Н. Е. Егорова // Фундамент. исслед. — 2016. — № 3. — С. 159—163.
3. Верняховская, В. Высшее образование как ключевая составляющая национальной инновационной системы / В. Верняховская // Наука и инновации. — 2019. — № 5. — С. 45—49.
4. Анализ модели на чувствительность при решении производственной задачи / О. И. Наранович [и др.] // Техника и технологии: инновации и качество : V Междунар. науч.-практ. конф., 19—20 дек. 2018 г., г. Барановичи, Респ. Беларусь / редкол.: В. В. Климук (гл. ред.) [и др.]. — Барановичи : 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. : Вильямс, 2003. — 864 с.

Поступила в редакцию 08.07.2020