



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет математики и компьютерных наук

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
по дисциплине

**Исследование операций**

Кафедра прикладной математики факультета  
математики и компьютерных наук

Образовательная программа бакалавриата  
**01.03.02 - Прикладная математика и информатика**

Направленность (профиль) программы  
**Математическое моделирование и вычислительная математика**

Форма обучения  
***Очная***

Статус дисциплины: входит в часть ОПОП, формируемую  
участниками образовательных отношений

Махачкала, 2022

Фонд оценочных средств по дисциплине «Исследование операций» составлен в 2022 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО – бакалавриат по направлению подготовки 01.03.02 - Прикладная математика и информатика от 10 января 2018 г. № 9.

Разработчик:

1. кафедры прикладной математики Абдурагимов Г.Э., к.ф.-м. н., доцент;

Фонд оценочных средств по дисциплине «Исследование операций» одобрен: на заседании кафедры прикладной математики от 25 февраля 2022г., протокол № 6

Зав. кафедрой К Кадиев Р.И.

на заседании Методической комиссии факультета математики и компьютерных наук от 24 марта 2022г., протокол № 4.

Председатель М.К. Ризаев М.К.

Фонд оценочных средств по дисциплине «Исследование операций» согласован с учебно-методическим управлением «И» ИОУ 2022г.

          
(подпись)

Рецензент

доцент кафедры дифференциальных

уравнений и функционального анализа ДГУ В.Р. Рагимханов В.Р.

# 1. ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ по дисциплине «Исследование операций»

## 1.1. Основные сведения о дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 академических часов).

Вид работы	Трудоемкость, академических часов	
	7 семестр	всего
<b>Общая трудоёмкость</b>	<b>108</b>	<b>108</b>
<b>Контактная работа:</b>	<b>58</b>	<b>58</b>
Лекции (Л)	26	26
Практические занятия (ПЗ)	16	16
Лабораторные занятия (ЛЗ)	16	16
Консультации		
Промежуточная аттестация (зачет, экзамен)	экзамен	
<b>Самостоятельная работа:</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
- подготовка к лабораторной работе;	4	4
- подготовка к контрольной работе;	4	4
- самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий);	2	2
- подготовка к практическим занятиям;	4	4
- подготовка к экзамену	36	36

## 1.2. Требования к результатам обучения по дисциплине, формы их контроля и виды оценочных средств

№ п/п	Контролируемые модули, разделы, (темы) дисциплины, их наименование	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Оценочные средства		Способ контроля
			Наименование	№№ заданий	
1	Задачи линейного программирования	УК-1, ОПК-1, ПК-1	Типовая контрольная работа	1	Письменно
			Лабораторная работа	1	Защита отчета
2	Системы массового обслуживания и задачи управления запасами	УК-1, ОПК-1, ПК-1	Типовая контрольная работа	2	Письменно
			Лабораторная работа	2	Защита отчета
Промежуточная аттестация: экзамен		УК-1, ОПК-1, ПК-1	КИМ		Письменно

**1.3. В результате изучения дисциплины «Исследование операций» обучающийся должен:**

**1.3.1. Знать:**

- основные проблемы, при решении которых возникает необходимость в использовании математических методов исследования операций;
- основные задачи исследования операций;
- основные направления развития и совершенствования методов и моделей исследования операций и программного обеспечения для их реализации.

**1.3.2. Уметь:**

- формализовать задачу исследования операций и описать ее с помощью известных математических моделей;
- проанализировать полученные результаты и сделать выводы по поставленной задаче;
- анализировать, содержательно интерпретировать полученные результаты, самостоятельно овладевать новыми знаниями в области применения математических методов в экономических расчетах, используя современные образовательные технологии и ИКТ.

**1.3.3. Владеть:**

- методами решения задач исследования операций;
- теоретическими и практическими навыками интерпретации результатов моделирования с помощью ИКТ.

**1.4. Показатели и критерии определения уровня сформированности компетенций**

№ п/п	Код компетенции	Уровни сформированности компетенции			
		Недостаточный	Удовлетворительный (достаточный)	Базовый	Повышенный
	УК-1	Отсутствие признаков удовлетворительного уровня	<p><b>Знать:</b> структуру задач в области математики, теории вероятностей и математической статистики, а также базовые составляющие таких задач</p> <p><b>Уметь:</b> формулировать постановку математических задач, анализировать необходимость и (или) достаточность информации для ее решения</p> <p><b>Владеть:</b> необходимыми профессиональными редакто-</p>	<p><b>Знать:</b> принципы математического моделирования разнородных явлений, систематизации и научной информации в области математики и компьютерных наук</p> <p><b>Уметь:</b> системно подходить к решению задач на разнородные явления в области математики и компьютерных наук</p> <p><b>Владеть:</b> навыками систематизации разнородных</p>	<p><b>Знать:</b> современные методы сбора и анализа научного материала с использованием информационных технологий; основные методы работы с ресурсами сети Интернет</p> <p><b>Уметь:</b> применять современные методы и средства автоматизированного анализа и систематизации научных данных; практически использовать научно – образовательные ресурсы Интернет в научных исследованиях</p> <p><b>Владеть:</b> навыками использования информационных</p>

			рами и пакетами прикладных программ	явлений путем математических интерпретаций и оценок	технологий в организации и проведении научного исследования; навыками использования современных баз данных; навыками применения мультимедийных технологий обработки и представления информации; навыками автоматизации подготовки документов в различных текстовых и графических редакторах
	ОПК-1	Отсутствие признаков удовлетворительного уровня	<p><b>Знать:</b> теоретические основы базовых математических дисциплин, а также теории вероятностей и математической статистики</p> <p><b>Уметь:</b> решать задачи, связанные с исследованием различных методов, полученных в области математических и физических наук</p> <p><b>Владеть:</b> базовым математическим и естественнонаучным аппаратом</p>	<p><b>Знать:</b> способы использования знаний в различных областях математики при решении конкретных задач в области математики и естественных наук</p> <p><b>Уметь:</b> применять различные методы исследования операций</p> <p><b>Владеть:</b> навыками применения методами исследования операций</p>	<p><b>Знать:</b> различные методы исследования операций</p> <p><b>Уметь:</b> корректно выбирать методы решения задач прикладного характера</p> <p><b>Владеть:</b> навыками выбора методов решения задач исследования операций</p>
	ПК-1	Отсутствие признаков удовлетворительного уровня	<p><b>Знать:</b> современный математический аппарат, языки программирования и пакеты прикладных программ</p> <p><b>Уметь:</b> совершенствовать и применять в приложениях</p>	<p><b>Знать:</b> методы исследования операций, различные языки программирования</p> <p><b>Уметь:</b> решать задачи исследования операций</p>	<p><b>Знать:</b> методы исследования операций, современные информационные технологии</p> <p><b>Уметь:</b> применять методы исследования операций,</p>

			соответствующие знания;  <b>Владеть:</b> современными математическими методами и информационными технологиями	численными методами, применять различные языки программирования в прикладных исследованиях <b>Владеть:</b> методами исследований операций	информационные технологии  <b>Владеть:</b> навыками применения различных методов для решения задач исследования операций
--	--	--	---	--	--

## 2. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ИНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОЦЕНКИ знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины «Исследование операций»

### 2.1. Комплект заданий для контрольной работы

#### Примерная контрольная работа по модулю 1

1. Фирма выпускает платья двух моделей А и В. При этом используется ткань трех видов. На изготовление одного платья модели А требуется 2 м ткани первого вида, 1 м ткани второго вида, 2 м ткани третьего вида. На изготовление одного платья модели В требуется 3 м ткани первого вида, 1 м ткани второго вида, 2 м ткани третьего вида. Запасы ткани первого вида составляют 21 м, второго вида - 10 м, третьего вида - 16 м. Выпуск одного изделия типа А приносит доход 400 д.ед., одного изделия типа В - 300 д.ед.

Составьте план производства, обеспечивающий фирме наибольший доход.

2. Сведите приведенную ниже задачу к задаче, содержащей 2 переменных, и решите её графически

$$F = 7x_1 + 5x_2 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 19, \\ 2x_1 + x_2 + x_4 = 13, \\ x_2 + x_5 = 5, \\ x_1 + x_6 = 6, \end{cases}$$

где  $x_j \geq 0, j = \overline{1;6}$ .

---

## Примерная контрольная работа по модулю 2

- 1.** *Интенсивность потока телефонных звонков в агентство по заказу железнодорожных билетов, имеющему один телефон, составляет  $2N=16$  вызовов в час. Продолжительность оформления заказа на билет равна  $0,3N=2,4$  минуты. Определить относительную и абсолютную пропускную способность этой СМО и вероятность отказа (занятости телефона). Сколько телефонов должно быть в агентстве, чтобы относительная пропускная способность была не менее 0,75.*
- 2.** *Система массового обслуживания — билетная касса с одним окошком и неограниченной очередью. Касса продает билеты в пункты А и В. Пассажиры, желающих купить билет в пункт А, приходит в среднем трое за 20 мин, в пункт В — двое за 20 мин. Поток пассажиров простейший. Кассир в среднем обслуживает трех пассажиров за 10 мин. Время обслуживания — показательное. Вычислить финальные вероятности  $P_0, P_2, P_3$ , среднее число заявок в системе и в очереди, среднее время пребывания заявки в системе, среднее время пребывания заявки в очереди.*
- 3.** *Ежедневный спрос на некоторый продукт составляет 100 ед. Затраты на приобретение каждой партии этого продукта, не зависящие от объема партии, равны 100 ден.ед., а затраты на хранение единицы продукта — 0,02 ден. ед. в сутки. Определить наиболее экономичный объем партии и интервал между поставками партии такого объема.*

### **Критерии оценки:**

- **оценка «отлично»** выставляется студенту, если он правильно отвечает более чем на 85% заданий;
- **оценка «хорошо»** выставляется студенту, если он правильно отвечает от 65% и до 85% заданий;
- **оценка «удовлетворительно»** выставляется студенту, если он правильно отвечает от 50% и до 64% заданий;
- **оценка «неудовлетворительно»** выставляется студенту, если он правильно отвечает менее чем на 50% заданий.

## 2.2 Лабораторные работы.

По учебному плану дисциплины в течение 7-го семестра предусмотрено выполнение 2-х лабораторных работ, название и содержание которых приводится в соответствующей рабочей программе дисциплины. Кроме того, в научной библиотеке и на сайте ДГУ имеется комплект соответствующих учебно-методических пособий (лабораторные работы) по каждому разделу настоящей дисциплины.

### Критерии оценивания

- **оценка «зачтено»** выставляется студенту, который успешно защитил не менее 2/3 отчетов по лабораторным работам, прочно усвоил предусмотренный программный материал; правильно, аргументировано ответил на все вопросы, с приведением примеров;
- **оценка «не зачтено»** выставляется студенту, который не представил к защите 2/3 и более отчетов по лабораторным работам и не справляется с 50% вопросов и в ответах на другие вопросы допустил существенные ошибки. Не может ответить на дополнительные вопросы, предложенные преподавателем.

## 2.3 Вопросы к экзамену.

1. Классы задач, рассматриваемых в исследовании операций.
2. Математическое моделирование, основные этапы.
3. Задачи линейного программирования, примеры.
4. Графический метод решения задач линейного программирования.
5. Системы массового обслуживания (СМО), классификация, примеры.
6. Одноканальные СМО.
7. Многоканальные СМО.
8. Модели управления запасами, классификация.
9. Простейшая модель оптимального размера партии поставки.
10. Модель Уилсона, свойства.
11. Модели с учетом потерь от дефицита.
12. Модели управления запасами при случайном спросе.

### Критерии оценивания

- **оценки "отлично"** заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка "отлично" выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

- **оценки "хорошо"** заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка "хорошо" выставляется студентам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

- **оценки "удовлетворительно"** заслуживает студент, обнаруживший знания основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предсто-



ящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка "удовлетворительно" выставляется студентам, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

**-оценка "неудовлетворительно"** выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка "неудовлетворительно" ставится студентам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

**Рекомендуемые границы оценок:**

«отлично» - не менее 86% правильных ответов,

«хорошо» - 66-85% правильных ответов,

«удовлетворительно» - 51-65% правильных ответов,

«неудовлетворительно» - менее 50% правильных ответов.

## 1 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### «РЕШЕНИЕ ОДНОИНДЕКСНЫХ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MICROSOFT EXCEL»

#### 1.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Приобретение навыков решения одноиндексных задач линейного программирования (ЛП) в табличном редакторе Microsoft Excel.

#### 1.2 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Если в какой-либо системе (экономической, организационной, военной и т.д.) не хватает имеющихся в наличии ресурсов для эффективного выполнения каждой из намеченных работ, то возникают так называемые **распределительные задачи**. Цель решения распределительной задачи – отыскание оптимального распределения ресурсов по работам. Под оптимальностью распределения может пониматься, например, минимизация общих затрат, связанных с выполнением работ, или максимизация получаемого в результате общего дохода.

Для решения таких задач используются методы математического программирования. **Математическое программирование** – это раздел математики, занимающийся разработкой методов отыскания экстремальных значений функции, на аргументы которой наложены ограничения. Слово «программирование» заимствовано из зарубежной литературы, где оно используется в смысле «планирование».

Наиболее простыми и лучше всего изученными среди задач математического программирования являются задачи линейного программирования.

Характерные черты задач ЛП следующие:

1) показатель эффективности  $L$  представляет собой линейную функцию, заданную на элементах решения  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ;

2) ограничительные условия, налагаемые на возможные решения, имеют вид линейных равенств или неравенств.

В общей форме записи модель задачи ЛП имеет вид:

$$\begin{aligned} & \text{целевая функция (ЦФ)} \\ & L = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \rightarrow \max(\min), \\ & \text{при ограничениях} \end{aligned}$$



- c) **ввести зависимости из математической модели в экранную форму:**
- формулу для расчета ЦФ,
  - формулы для расчета значений левых частей ограничений;
- d) **задать ЦФ** (в окне «Поиск решения»):
- целевую ячейку,
  - направление оптимизации ЦФ;
- e) **ввести ограничения и граничные условия** (в окне «Поиск решения»):
- ячейки со значениями переменных,
  - граничные условия для допустимых значений переменных,
  - соотношения между правыми и левыми частями ограничений.

## 2 Решить задачу:

- a) **установить параметры решения задачи** (в окне «Поиск решения»);
- b) **запустить задачу на решение** (в окне «Поиск решения»);
- c) **выбрать формат вывода решения** (в окне «Результаты поиска решения»).

### 1.3.1.1. ПРимер решения одноиндексной задачи ЛП

Рассмотрим пример нахождения решения для следующей одноиндексной задачи

ЛП:

$$\begin{aligned}
 L(X) &= 130,5x_1 + 20x_2 + 56x_3 + 87,8x_4 \rightarrow \max; \\
 \left\{ \begin{aligned}
 -1,8x_1 + 2x_2 + x_3 - 4x_4 &= 756, \\
 -6x_1 + 2x_2 + 4x_3 - x_4 &\geq 450, \\
 4x_1 - 1,5x_2 + 10,4x_3 + 13x_4 &\leq 89, \\
 x_j &\geq 0; j = \overline{1,4}.
 \end{aligned} \right. \quad (1.1)
 \end{aligned}$$

### ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

*Создание экранной формы и ввод в нее условия задачи*

Экранная форма для ввода условий задачи (1.1) вместе с введенными в нее исходными данными представлена на рис. 1.1.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1				ПЕРЕМЕННЫЕ				
2	Имя	X1	X2	X3	X4			
3	Значение							
4	Нижн.гр.	0	0	0	0	ЦФ		
5						Значение	Направл.	
6	Коеф. ЦФ	130,5	20	56	87,8		max	
7								
8				ОГРАНИЧЕНИЯ				
9	Вид					Лев. часть	Знак	Прав. часть
10	Огран.1	-1,8	2	1	-4		=	756
11	Огран.2	-6	2	4	-1		>=	450
12	Огран.3	4	-1,5	10,4	13		<=	89
13								

Рис. 1.1. Экранная форма задачи (1.1) (курсор в ячейке F6)

В экранной форме на рис. 1.1 каждой переменной и каждому коэффициенту задачи поставлена в соответствие конкретная ячейка в Excel. Имя ячейки состоит из буквы, обозначающей столбец, и цифры, обозначающей строку, на пересечении которых находится объект задачи ЛП. Так, например, переменным задачи (1.1) соответствуют ячейки **B3** ( $x_1$ ), **C3** ( $x_2$ ), **D3** ( $x_3$ ), **E3** ( $x_4$ ), коэффициентам ЦФ соответствуют ячейки **B6** ( $c_1 = 130,5$ ), **C6** ( $c_2 = 20$ ), **D6** ( $c_3 = 56$ ), **E6** ( $c_4 = 87,8$ ), правым частям ограничений соответствуют ячейки **H10** ( $b_1 = 756$ ), **H11** ( $b_2 = 450$ ), **H12** ( $b_3 = 89$ ) и т.д.

*Ввод зависимостей из математической модели в экранную форму*

#### Зависимость для ЦФ

В ячейку **F6**, в которой будет отображаться значение ЦФ, необходимо ввести **формулу**, по которой это значение будет рассчитано. Согласно (1.1) значение ЦФ определяется выражением

$$130,5x_1 + 20x_2 + 56x_3 + 87,8x_4. \quad (1.2)$$

Используя обозначения соответствующих ячеек в Excel (см. [рис. 1.1](#)), формулу для расчета ЦФ (1.2) можно записать как **сумму произведений** каждой из ячеек, отведенных

для значений переменных задачи (**B3, C3, D3, E3**), на соответствующую ячейку, отведенную для коэффициентов ЦФ (**B6, C6, D6, E6**), то есть

$$B6 \cdot B3 + C6 \cdot C3 + D6 \cdot D3 + E6 \cdot E3, \quad (1.3)$$

Чтобы задать формулу (1.3) необходимо в ячейку **F6** ввести следующее выражение и нажать клавишу «Enter»

$$=СУММПРОИЗВ(B\$3:E\$3;B6:E6), \quad (1.4)$$

где символ \$ перед номером строки 3 означает, что при копировании этой формулы в другие места листа Excel номер строки 3 не изменится;

символ : означает, что в формуле будут использованы все ячейки, расположенные между ячейками, указанными слева и справа от двоеточия (например, запись **B6:E6** указывает на ячейки **B6, C6, D6 и E6**). После этого в целевой ячейке появится 0 (нулевое значение) (рис. 1.2).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1				ПЕРЕМЕННЫЕ				
2	Имя	X1	X2	X3	X4			
3	Значение							
4	Нижн.гр.	0	0	0	0	ЦФ		
5						Значение	Направл.	
6	Козф. ЦФ	130,5	20	56	87,8	0	max	
7								
8				ОГРАНИЧЕНИЯ				
9	Вид					Лев. часть	Знак	Прав. часть
10	Огран.1	-1,8	2	1	-4	0	=	756
11	Огран.2	-6	2	4	-1	0	>=	450
12	Огран.3	4	-1,5	10,4	13	0	<=	89
13								

Рис. 1.2. Экранная форма задачи (1.1) после ввода всех необходимых формул (курсор в ячейке F6)

**Примечание 1.1.** Существует другой способ задания функций в Excel с помощью режима «**Вставка функций**», который можно вызвать из меню «**Вставка**» или при нажатии кнопки « **$f_x$** » на стандартной панели инструментов. Так, например, формулу (1.4) можно задать следующим образом:

- курсор в поле **F6**;
- нажав кнопку « **$f_x$** », вызовите окно «**Мастер функций – шаг 1 из 2**»;
- выберите в окне «**Категория**» категорию «**Математические**»;
- в окне «**Функция**» выберите функцию **СУММПРОИЗВ**;
- в появившемся окне «**СУММПРОИЗВ**» в строку «**Массив 1**» введите выражение **B\$3:E\$3**, а в строку «**Массив 2**» – выражение **B6:E6** (рис.1.3);
- после ввода ячеек в строки «**Массив 1**» и «**Массив 2**» в окне «**СУММПРОИЗВ**» появятся числовые значения введенных массивов (см. рис. 1.3), а в экранной форме в ячейке **F6** появится текущее значение, вычисленное по введенной формуле, то есть 0 (так как в момент ввода формулы значения переменных задачи нулевые).

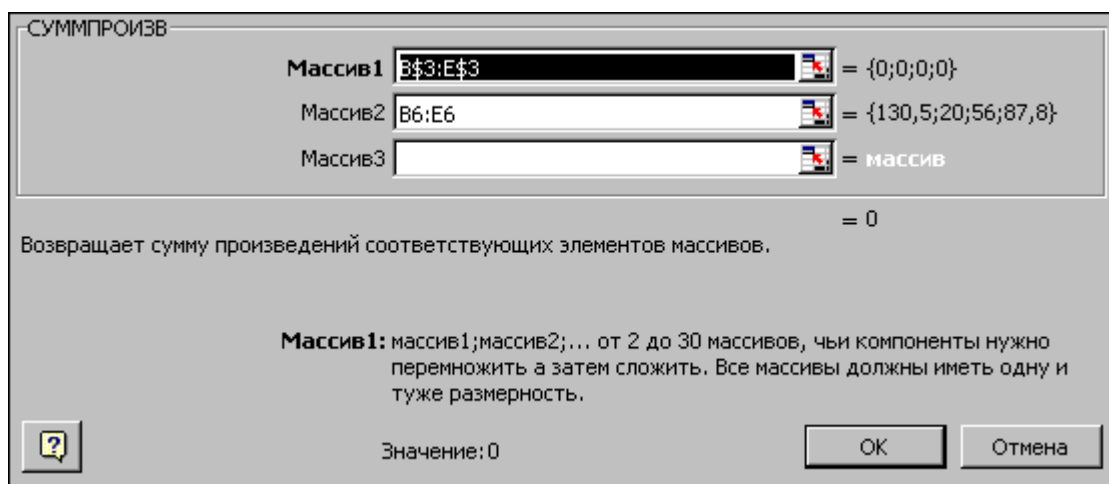


Рис. 1.3. Ввод формулы для расчета ЦФ в окно «**Мастер функций**»

### Зависимости для левых частей ограничений

Левые части ограничений задачи (1.1) представляют собой *сумму произведений* каждой из ячеек, отведенных для значений переменных задачи (**B3, C3, D3, E3**), на соответствующую ячейку, отведенную для коэффициентов конкретного ограничения (**B10, C10, D10, E10** – 1-е ограничение; **B11, C11, D11, E11** – 2-е ограничение и **B12, C12, D12, E12** – 3-е ограничение). Формулы, соответствующие левым частям ограничений, представлены в табл. 1.1.

## Формулы, описывающие ограничения модели (1.1)

Левая часть ограничения	Формула Excel
$-1,8x_1 + 2x_2 + x_3 - 4x_4$ или $B10 \cdot B3 + C10 \cdot C3 + D10 \cdot D3 + E10 \cdot E3$	=СУММПРОИЗВ(B\$3:E\$3;B10:E10)
$-6x_1 + 2x_2 + 4x_3 - x_4$ или $B11 \cdot B3 + C11 \cdot C3 + D11 \cdot D3 + E11 \cdot E3$	=СУММПРОИЗВ(B\$3:E\$3;B11:E11)
$4x_1 - 1,5x_2 + 10,4x_3 + 13x_4$ или $B12 \cdot B3 + C12 \cdot C3 + D12 \cdot D3 + E12 \cdot E3$	=СУММПРОИЗВ(B\$3:E\$3;B12:E12)

Как видно из табл. 1.1, формулы, задающие левые части ограничений задачи (1.1), отличаются друг от друга и от формулы (1.4) в целевой ячейке **F6** только номером строки во втором массиве. Этот номер определяется той строкой, в которой ограничение записано в экранной форме. Поэтому для задания зависимостей для левых частей ограничений достаточно скопировать формулу из целевой ячейки в ячейки левых частей ограничений. Для этого необходимо:

- поместить курсор в поле целевой ячейки **F6** и скопировать в буфер содержимое ячейки **F6** (клавишами «**Ctrl-Insert**»);
- помещать курсор поочередно в поля левой части каждого из ограничений, то есть в **F10**, **F11** и **F12**, и вставлять в эти поля содержимое буфера (клавишами «**Shift-Insert**») (при этом номер ячеек во втором массиве формулы будет меняться на номер той строки, в которую была произведена вставка из буфера);
- на экране в полях **F10**, **F11** и **F12** появится 0 (нулевое значение) (см. [рис. 1.2](#)).

### ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ ВВЕДЕНИЯ ФОРМУЛ

Для проверки правильности введенных формул производите поочередно двойное нажатие левой клавиши мыши на ячейки с формулами. При этом на экране рамкой будут выделяться ячейки, используемые в формуле (рис. 1.4 и 1.5).



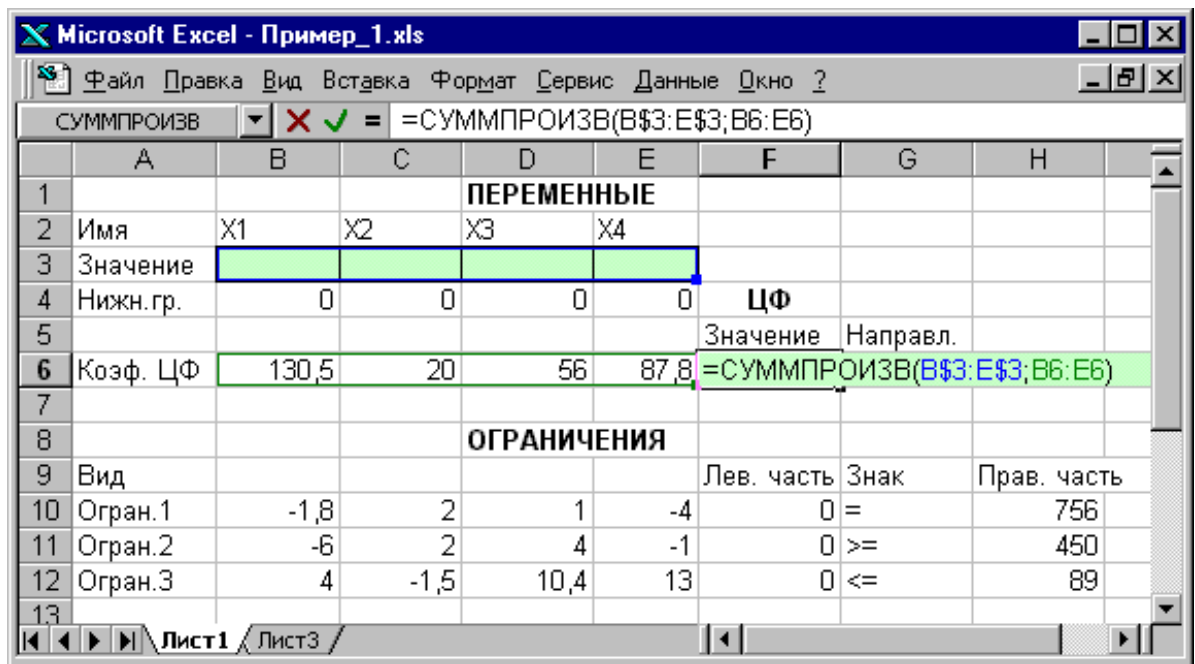


Рис. 1.4. Проверка правильности введения формулы в целевую ячейку F6

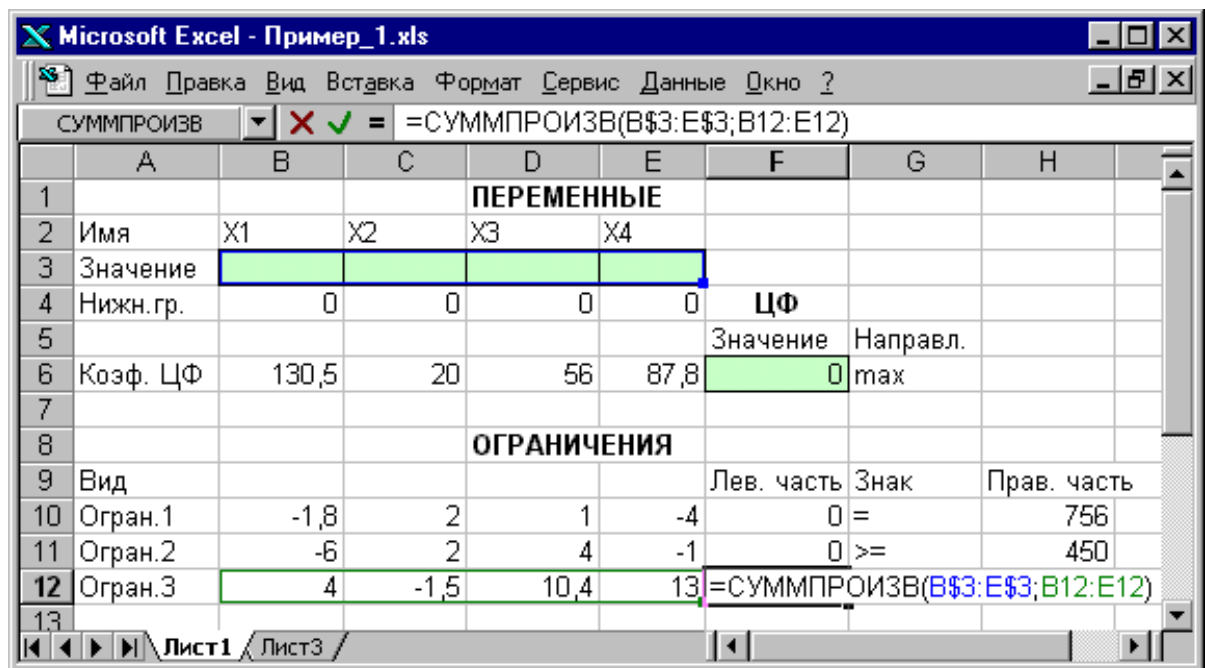


Рис. 1.5. Проверка правильности введения формулы в ячейку F12 для левой части ограничения 3

### Задание ЦФ

Дальнейшие действия производятся в окне «Поиск решения», которое вызывается из меню «Сервис» (рис. 1.6):

- поставьте курсор в поле «Установить целевую ячейку»;

- введите адрес целевой ячейки  $\$F\$6$  или сделайте одно нажатие левой клавиши мыши на целевую ячейку в экранной форме - это будет равносильно вводу адреса с клавиатуры;
- введите направление оптимизации ЦФ, щелкнув один раз левой клавишей мыши по селекторной кнопке «максимальному значению».

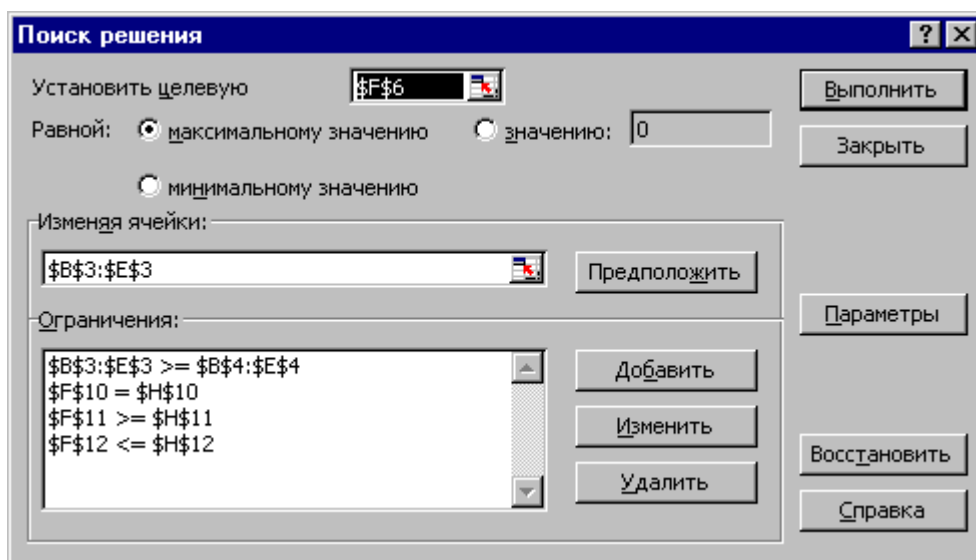


Рис. 1.6. Окно «Поиск решения» задачи (1.1)

### *Ввод ограничений и граничных условий*

#### *Задание ячеек переменных*

В окно «Поиск решения» в поле «Изменяя ячейки» впишите адреса  $\$B\$3:\$E\$3$ . Необходимые адреса можно вносить в поле «Изменяя ячейки» и автоматически путем выделения мышью соответствующих ячеек переменных непосредственно в экранной форме.

#### *Задание граничных условий для допустимых значений переменных*

В нашем случае на значения переменных накладывается только граничное условие неотрицательности, то есть их нижняя граница должна быть равна нулю (см. [рис. 1.1](#)).

- Нажмите кнопку «Добавить», после чего появится окно «Добавление ограничения» (рис.1.7).
- В поле «Ссылка на ячейку» введите адреса ячеек переменных  $\$B\$3:\$E\$3$ . Это можно сделать как с клавиатуры, так и путем выделения мышью всех ячеек переменных непосредственно в экранной форме.
- В поле знака откройте список предлагаемых знаков и выберите  $\geq$ .

- В поле «**Ограничение**» введите адреса ячеек нижней границы значений переменных, то есть  **$B\$4:E\$4$** . Их также можно ввести путем выделения мышью непосредственно в экранной форме.

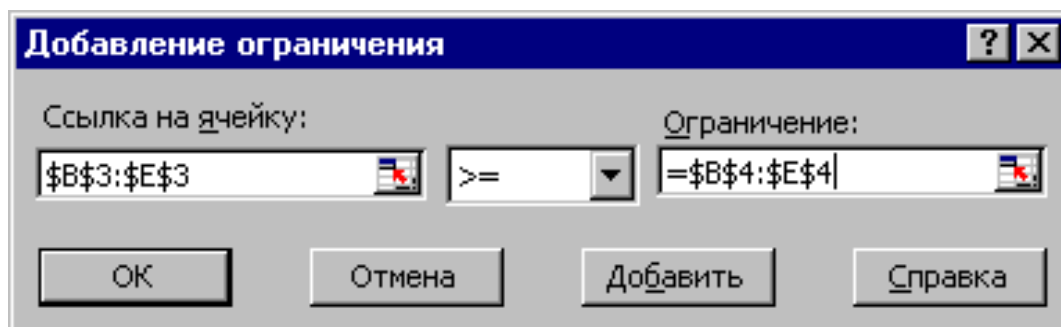


Рис. 1.7. Добавление условия неотрицательности переменных задачи (1.1)

Задание знаков ограничений  $\leq, \geq, =$

- Нажмите кнопку «**Добавить**» в окне «**Добавление ограничения**».
- В поле «**Ссылка на ячейку**» введите адрес ячейки левой части конкретного ограничения, например  **$F\$10$** . Это можно сделать как с клавиатуры, так и путем выделения мышью нужной ячейки непосредственно в экранной форме.
  - В соответствии с условием задачи (1.1) выбрать в поле знака необходимый знак, например  $=$ .
  - В поле «**Ограничение**» введите адрес ячейки правой части рассматриваемого ограничения, например  **$H\$10$** .
  - Аналогично введите ограничения:  **$F\$11 \geq H\$11$** ,  **$F\$12 \leq H\$12$** .
  - Подтвердите ввод всех перечисленных выше условий нажатием кнопки **ОК**.

Окно «**Поиск решения**» после ввода всех необходимых данных задачи (1.1) представлено на [рис. 1.6](#).

Если при вводе условия задачи возникает необходимость в изменении или удалении внесенных ограничений или граничных условий, то это делают, нажав кнопки «**Изменить**» или «**Удалить**» (см. [рис. 1.6](#)).

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

### *Установка параметров решения задачи*

Задача запускается на решение в окне «**Поиск решения**». Но предварительно для установления конкретных параметров решения задач оптимизации определенного класса

необходимо нажать кнопку «**Параметры**» и заполнить некоторые поля окна «**Параметры поиска решения**» (рис. 1.8).

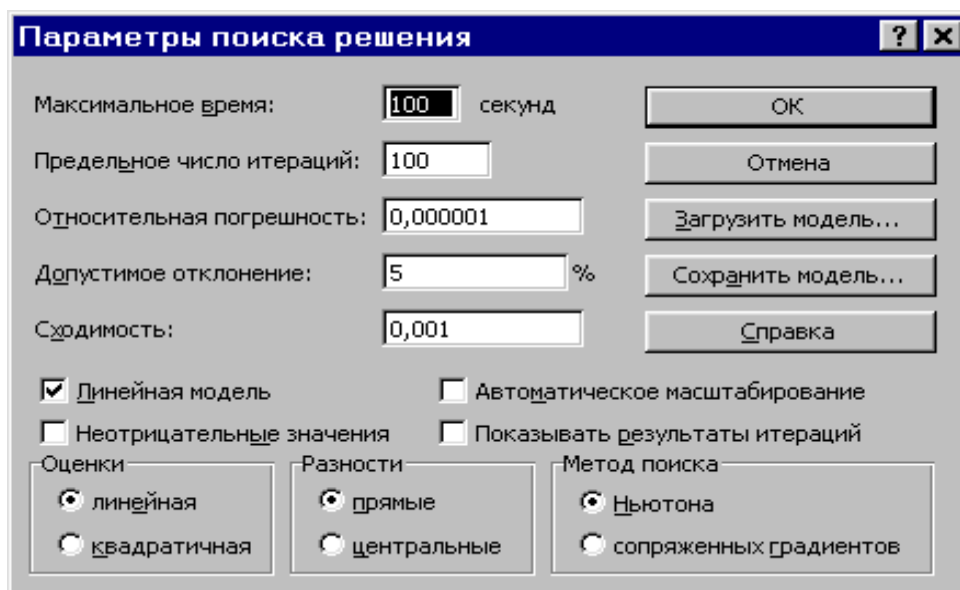


Рис. 1.8. Параметры поиска решения, подходящие для большинства задач ЛП

Параметр «**Максимальное время**» служит для назначения времени (в секундах), выделяемого на решение задачи. В поле можно ввести время, не превышающее 32 767 секунд (более 9 часов).

Параметр «**Предельное число итераций**» служит для управления временем решения задачи путем ограничения числа промежуточных вычислений. В поле можно ввести количество итераций, не превышающее 32 767.

Параметр «**Относительная погрешность**» служит для задания точности, с которой определяется соответствие ячейки целевому значению или приближение к указанным границам. Поле должно содержать число из интервала от 0 до 1. Чем *меньше* количество десятичных знаков во введенном числе, тем *ниже* точность. Высокая точность увеличит время, которое требуется для того, чтобы сошелся процесс оптимизации.

Параметр «**Допустимое отклонение**» служит для задания допуска на отклонение от оптимального решения в целочисленных задачах. При указании большего допуска поиск решения заканчивается быстрее.

Параметр «**Сходимость**» применяется только при решении нелинейных задач.

Установка флажка «**Линейная модель**» обеспечивает ускорение поиска решения линейной задачи за счет применения симплекс-метода.

Подтвердите установленные параметры нажатием кнопки «**ОК**».

## Запуск задачи на решение

Запуск задачи на решение производится из окна «Поиск решения» путем нажатия кнопки «Выполнить».

После запуска на решение задачи ЛП на экране появляется окно «Результаты поиска решения» с одним из сообщений, представленных на рис. 1.9, 1.10 и 1.11.

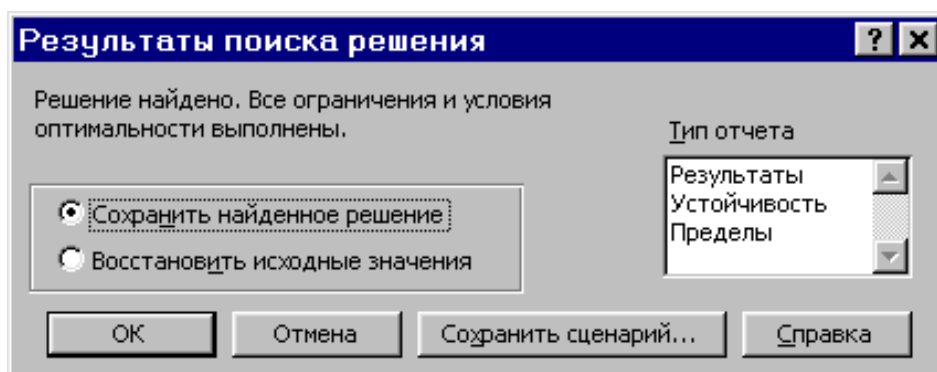


Рис. 1.9. Сообщение об успешном решении задачи

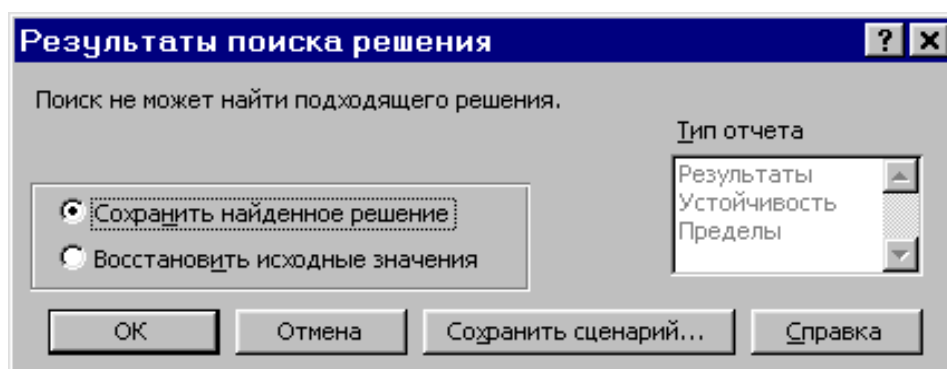


Рис. 1.10. Сообщение при несовместной системе ограничений задачи

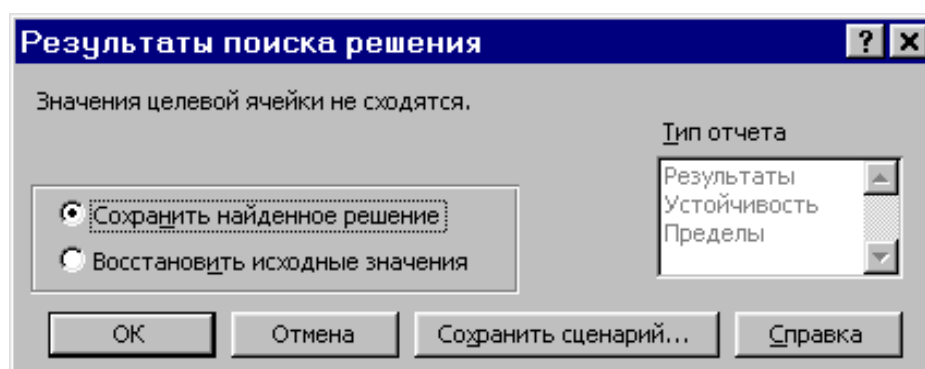


Рис. 1.11. Сообщение при неограниченности ЦФ в требуемом направлении

Иногда сообщения, представленные на [рис. 1.10](#) и [1.11](#), свидетельствуют не о характере оптимального решения задачи, а о том, что при вводе условий задачи в Excel были

допущены **ошибки**, не позволяющие Excel найти оптимальное решение, которое в действительности существует.

Если при решении задачи ЛП выдается сообщение о невозможности нахождения решения, то возможно, что причина заключается в ошибках ввода условия задачи в Excel. Поэтому, прежде чем делать вывод о принципиальной невозможности нахождения оптимального решения задачи, проверьте: не было ли допущено ошибок по ходу выполнения задания?

В том случае, когда при заполнении полей окна «Поиск решения» были допущены ошибки, не позволяющие Excel применить симплекс-метод для решения задачи или довести ее решение до конца, то после запуска задачи на решение на экран будет выдано соответствующее сообщение с указанием причины, по которой решение не найдено. Иногда слишком малое значение параметра «Относительная погрешность» не позволяет найти оптимальное решение. Для исправления этой ситуации увеличивайте погрешность поразрядно, например от 0,000001 до 0,00001 и т.д.

В окне «Результаты поиска решения» представлены названия трех типов отчетов: «Результаты», «Устойчивость», «Пределы». Они необходимы при анализе полученного решения на чувствительность. Для получения же ответа (значений переменных, ЦФ и левых частей ограничений) прямо в экранной форме просто нажмите кнопку «ОК». После этого в экранной форме появляется оптимальное решение задачи (рис. 1.12).

	A	B	C	D	E	F	G	H	
1				ПЕРЕМЕННЫЕ					
2	Имя	X1	X2	X3	X4				
3	Значение	100,661	546,444	0	38,925				
4	Нижн.гр.	0	0	0	0				
5						ЦФ			
6	Козф. ЦФ	130,5	20	56	87,8	Значение	Направл.		
7						27482,714	max		
8				ОГРАНИЧЕНИЯ					
9	Вид					Лев. часть	Знак	Прав. часть	
10	Огран.1	-1,8	2	1	-4	756	=	756	
11	Огран.2	-6	2	4	-1	450	>=	450	
12	Огран.3	4	-1,5	10,4	13	89	<=	89	

Рис. 1.12. Экранная форма задачи (1.1) после получения решения

### 1.3.1.2 ЦЕЛОЧИСЛЕННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Допустим, что к условию задачи (1.1) добавилось требование целочисленности значений всех переменных. В этом случае описанный выше процесс ввода условия задачи необходимо *дополнить* следующими шагами.

- В экранной форме укажите, на какие переменные накладывается требование целочисленности (этот шаг делается для наглядности восприятия условия задачи) ([рис. 1.13](#)).

- В окне «Поиск решения» (меню «Сервис»→«Поиск решения»), нажмите кнопку «Добавить» и в появившемся окне «Добавление ограничений» введите ограничения следующим образом ([рис. 1.14](#)):

- в поле «Ссылка на ячейку» введите адреса ячеек переменных задачи, то есть **\$B\$3:\$E\$3**;

- в поле ввода знака ограничения установите «целое»;

- подтвердите ввод ограничения нажатием кнопки «ОК».

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	Имя	X1	X2	X3	X4			
3	Значение	100	546	0	39			
4	Нижн. гр.	0	0	0	0			
5	Целочисл.	целое	целое	целое	целое	Значение	Направл.	
6	Козф. ЦФ	130,5	20	56	87,8	27394,2	max	
7								
8								
9	Вид					Лев. часть	Знак	Прав. часть
10	Огран.1	-1,8	2	1	-4	756	=	756
11	Огран.2	-6	2	4	-1	453	>=	450
12	Огран.3	4	-1,5	10,4	13	88	<=	89
13								

Рис. 1.13. Решение задачи (1.1) при условии целочисленности ее переменных

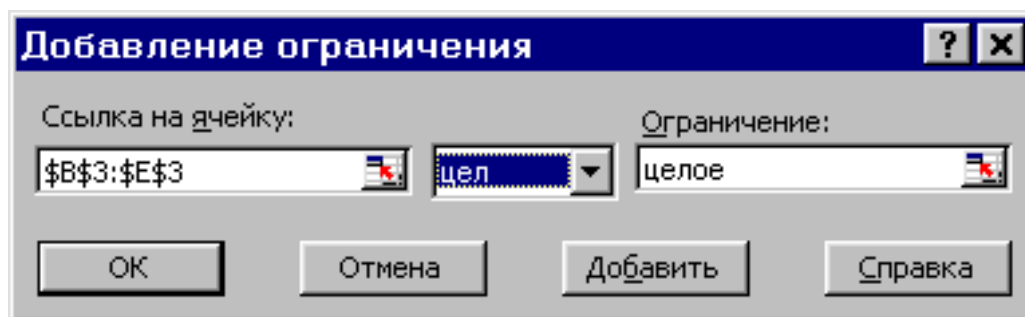


Рис. 1.14. Ввод условия целочисленности переменных задачи (1.1)

На [рис. 1.13](#) представлено решение задачи (1.1), к ограничениям которой добавлено условие целочисленности значений ее переменных.

#### 1.4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать титульный лист, номер варианта, все необходимые промежуточные таблицы Microsoft Excel и результаты решения задачи. Обязательно наличие выводов по проделанной работе. В случае несвоевременного выполнения задания к отчету прилагается дискета с выполненным заданием.

#### 1.5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Что такое «математическое программирование?»
- 2 Что значит «оптимальное решение»?
- 3 Каковы основные этапы решения задач ЛП в MS Excel?
- 4 Каков вид и способы задания формул для целевой ячейки и ячеек левых частей ограничений?
- 5 Почему при вводе формул в ячейки ЦФ и левых частей ограничений в них отображаются нулевые значения?
- 6 Каким образом в MS Excel задается направление оптимизации ЦФ?
- 7 Как наглядно отобразить в экранной форме ячейки, используемые в конкретной формуле, с целью проверки ее правильности?
- 8 Поясните общий порядок работы с окном «Поиск решения».
- 9 Каким образом можно изменять, добавлять, удалять ограничения в окне «Поиск решения»?
- 10 Какие сообщения выдаются в MS Excel в случаях: успешного решения задачи ЛП; несовместности системы ограничений задачи; неограниченности ЦФ?
- 11 Объясните смысл параметров, задаваемых в окне «Параметры поиска решения».
- 12 Каковы особенности решения в MS Excel целочисленных задач ЛП?



### 1.6 ЗАДАНИЯ

Используя MS Excel, найти решение для модели ЛП, соответствующей заданному варианту (табл.1.2).

Таблица 1.2

Варианты задач к лабораторной работе № 1

№ варианта	Математическая модель
1	$L(X) = 5x_1 + 7x_2 - 6x_3 + 9x_4 + 8x_5 \rightarrow \max;$ $\begin{cases} 0,7x_1 + 0,9x_2 + 1,5x_3 + 2,3x_4 + 1,8x_5 \leq 50000, \\ 0,4x_1 + 1,1x_2 - 0,5x_3 + 1,3x_4 - 2,8x_5 \geq 32000, \\ 0,5x_1 + 1,8x_3 + 0,7x_4 + 2x_5 \leq 40000, \\ 2,2x_1 - 1,4x_2 - 0,8x_3 + 0,9x_4 = 15000, \\ x_j \geq 0 (j = \overline{1,5}). \end{cases}$
2	$L(X) = x_1 + 4x_3 + 8x_4 - 12x_5 \rightarrow \min;$ $\begin{cases} x_1 + 9x_2 + 2x_3 - 4x_4 = 250, \\ 0,4x_1 + x_2 - 5x_3 + 3x_4 + 8x_5 \leq 460, \\ 0,5x_1 + 10x_2 - 8x_3 + 6x_4 + 2x_5 \leq 190, \\ 11x_2 - 8,5x_3 + 3x_4 + 2x_5 = 210, \\ x_j \geq 0 (j = \overline{1,5}). \end{cases}$
3	$L(X) = -45x_1 + 65x_2 + 2x_4 - 3x_5 \rightarrow \max;$ $\begin{cases} 15x_1 + 18x_2 + 34x_4 - 22x_5 = 56, \\ 2x_1 + 7x_3 - 4x_4 + 3x_5 \geq 91, \\ 0,2x_1 + 0,8x_2 + 1,5x_3 + 0,9x_4 + 4x_5 \leq 26, \\ 1,8x_1 - 42x_2 + 6,4x_3 + 3x_5 = 15, \\ x_j \geq 0 (j = \overline{1,5}). \end{cases}$
4	$L(X) = 14x_1 - 9x_2 - x_4 + 6,4x_5 \rightarrow \min;$ $\begin{cases} 0,9x_1 + 10x_2 - 28x_4 + 5x_5 \leq 245, \\ 0,8x_1 + 1,7x_2 - 0,2x_3 - 0,5x_4 = 9, \\ 6x_1 + 4x_3 - 7x_4 + 6,3x_5 \leq 54, \\ 8x_1 + 6,2x_2 - 4,8x_4 + 2,9x_5 \geq 17, \\ x_j \geq 0 (j = \overline{1,5}). \end{cases}$

5	$L(X) = 46x_1 + 2,3x_2 + 9,4x_3 - 4x_5 \rightarrow \max;$ $\begin{cases} 3x_1 + 7,8x_3 + 12x_4 + 9x_5 \geq 49, \\ 2,3x_2 + 5x_3 + 5,6x_4 - x_5 \leq 86, \\ 16x_1 - 40x_4 + 29x_5 = 50, \\ 190x_1 - 98x_2 - 4x_4 + 150x_5 \geq 300, \\ x_j \geq 0 (j = \overline{1,5}). \end{cases}$
6	$L(X) = 0,5x_1 + 1,8x_3 - 9,2x_4 + 14x_5 \rightarrow \min;$ $\begin{cases} 9,6x_2 + 15,7x_3 + 24x_4 - 8x_5 \leq 74, \\ 0,8x_1 + 11,1x_2 - 4,5x_3 + 1,5x_4 - 6,3x_5 = 22, \\ 14x_1 + 45x_2 - 38x_4 + 26x_5 \leq 46, \\ 220x_1 - 148x_2 - 7x_3 + 95x_5 \geq 150, \\ x_j \geq 0 (j = \overline{1,5}). \end{cases}$
8	$L(X) = 4x_1 + 6x_2 - 14x_3 + 49x_5 \rightarrow \min;$ $\begin{cases} 21x_1 + 9x_2 - 2x_4 - 12x_5 \geq 58, \\ 110x_2 - 60x_3 + 80x_4 - 45x_5 = 290, \\ 5x_2 + 27x_3 - 14x_4 + x_5 \leq 72, \\ 87x_1 - 6,4x_2 + 130x_4 = 140, \\ x_j \geq 0 (j = \overline{1,5}). \end{cases}$
9	$L(X) = -38x_1 + 60x_2 + x_3 + 4x_4 + 8x_5 \rightarrow \max;$ $\begin{cases} 18x_1 + 4x_2 + 2x_3 - 12x_5 \leq 86, \\ 2x_2 + 19x_3 - 7x_4 + 10x_5 = 130, \\ 0,4x_1 + 3x_2 - 4,2x_3 + 2x_4 - 5x_5 \leq 34, \\ 2,1x_1 + 13x_2 - 20x_3 + 6x_4 = 18, \\ x_j \geq 0 (j = \overline{1,5}). \end{cases}$
10	$L(X) = 10x_1 + 40x_3 + 13x_4 + 56x_5 \rightarrow \min;$ $\begin{cases} 7x_1 + 16x_3 + 5x_4 + 25x_5 \leq 600, \\ 8x_1 + 1,7x_2 - 0,5x_4 + 4,7x_5 = 890, \\ 6x_1 + 4x_3 - 7x_4 + 6,3x_5 \leq 270, \\ 84x_1 + 62x_2 + 80x_3 + 14x_5 \geq 2300, \\ x_j \geq 0 (j = \overline{1,5}). \end{cases}$

11	$L(X) = 84x_1 + 5,7x_2 + 10x_4 - 3x_5 \rightarrow \max;$ $\begin{cases} 4x_1 + 8,5x_2 + 16x_3 + 10x_5 \geq 50, \\ 10,4x_1 + 6x_3 + 2x_4 + 4x_5 \leq 120, \\ 19x_1 + 18x_2 - 20x_4 + 30x_5 = 600, \\ 200x_1 + 45x_2 - 8x_3 + 3,4x_4 \geq 210, \\ x_j \geq 0 (j = \overline{1,5}). \end{cases}$
12	$L(X) = 0,84x_2 - 4x_3 + 3,8x_4 + 12x_5 \rightarrow \min;$ $\begin{cases} 15x_1 + 9,6x_2 + 34x_4 - 8x_5 \leq 180, \\ 0,6x_1 + 11,1x_2 - 2,6x_3 + 1,5x_4 - 6,3x_5 = 68, \\ 14x_1 + 64x_3 - 38x_4 + 12x_5 \leq 81, \\ 190x_1 - 148x_2 - 7x_3 + 84x_5 \geq 230, \\ x_j \geq 0 (j = \overline{1,5}). \end{cases}$

### 1.7 БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Акоф, Р.** Основы исследования операций /Р. Акоф, М. Сасиени . – М. : Мир, 1971. – 531 с.
2. **Акулич, И.Л.** Математическое программирование в примерах и задачах /И.Л. Акулич. – М. : Высшая школа, 1986. – 317 с.
3. **Зайченко, Ю.П.** Исследование операций /Ю.П. Зайченко. – Киев : Вища школа, 1979. – 320 с.
4. **Кузнецов, А.В.** Сборник задач и упражнений по высшей математике. Математическое программирование /А.В. Кузнецов, В.А. Сакович, Н.И. Холод и др. – Минск : Вышэйшая школа, 1995. – 447 с.
5. **Курицкий, Б.** Решение оптимизационных задач средствами Excel /Б. Курицкий. – М. : ВНУ, 1997. – 280 с.
6. **Таха, Х.** Введение в исследование операций /Х. Таха. – М. : Мир, 1985. – 901 с.
7. **Эддоус, М.** Методы принятия решений /М. Эддоус, Р. Стенфилд. – М. : Аудит, ЮНИТИ, 1997. – 590 с.

Лабораторная работа №2.  
Системы массового обслуживания

1. Цель работы:

Приобретение навыков построения математической модели и определения характеристик системы массового обслуживания.

**Условие задачи:**

В мастерской работает 4 мастера. Клиенты приходят на обслуживание в среднем каждые 10 минут, время обслуживания 1 клиента составляет 30 минут. Определить вероятности первых 7-и состояний системы, вероятность отказа и среднюю длину очереди.

2. Теоретический материал

2.1. Построение математической модели СМО

Тип системы: СМО с ожиданием

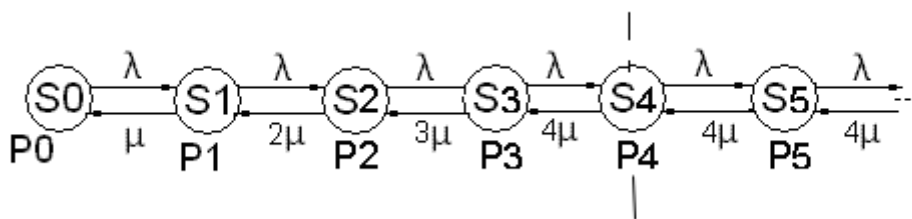
Количество каналов:  $n=4$

Интенсивность поступления заявок:  $\lambda = 1/10$

Интенсивность обслуживания:  $\mu = 1/30$

Коэффициент загрузки каналов:  $\rho = \lambda / \mu = 3$

Размеченный граф состояний системы:



$S_0$  – состояние, в котором в системе отсутствуют заявки;

$S_1$  – состояние, при котором в системе 1 заявка;

.....

$S_4$  – состояние, при котором в системе 4 заявки, все каналы заняты;

$S_5$  – состояние, при котором в системе 5 заявок, 1 заявка в очереди.

## 2.2. Решение задачи

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{n! \left(1 - \frac{\rho}{n}\right)}}$$

I. при  $k \leq n$   $P_k = P_0 \frac{\rho^k}{k!}$

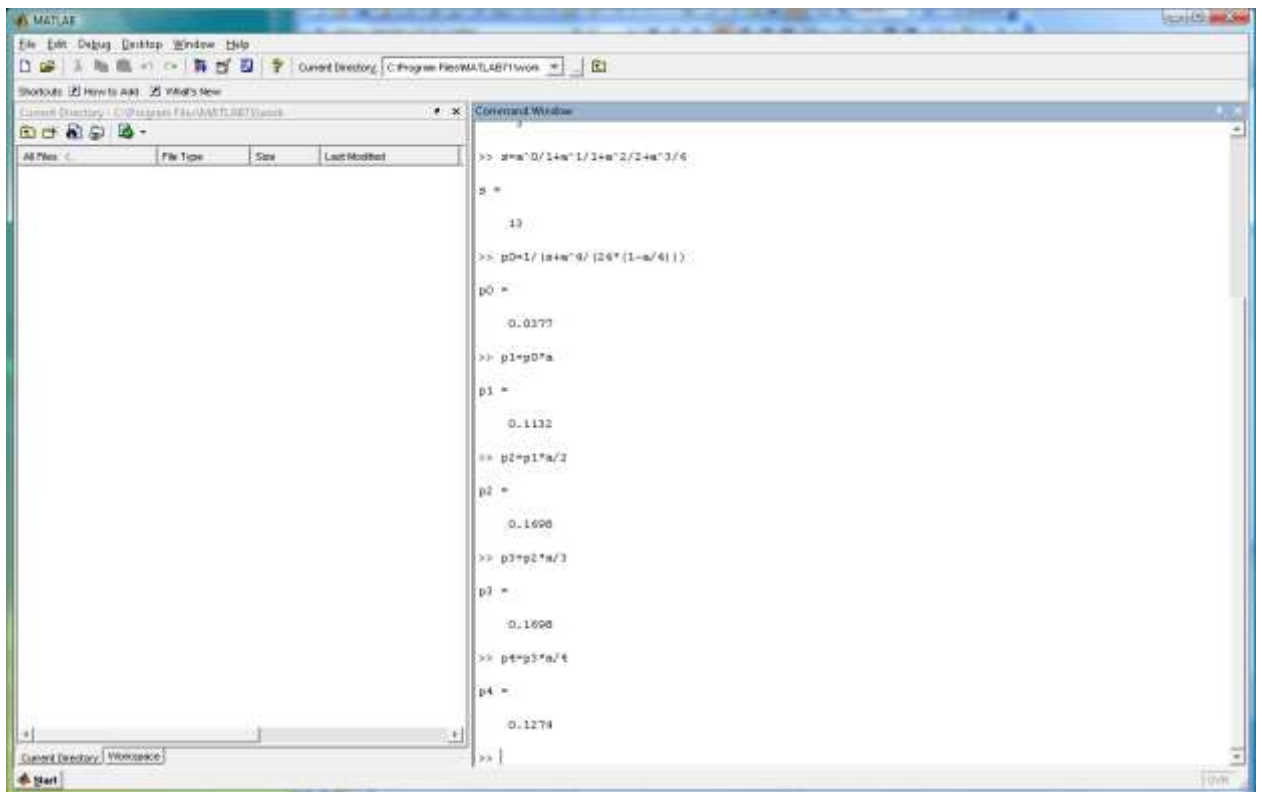
II. При  $k > n$   $P_k = P_0 \frac{\rho^k}{n! n^{k-n}}$

$$P_{\text{отк}} = P_n = P_4$$

$$L_q = P_n \frac{\rho n}{(n - \rho)^2}$$

## 3. Порядок выполнения работы

3.1. Вычислить значения  $P_0$  и  $P_k$ , используя программу Matlab.



```

>> a=a^0/14*a^1/14*a^2/14*a^3/6
a =
    13

>> p0=1/(a4*a^0/(24*(1-a/4)))
p0 =
    0.0379

>> p1=p0*a
p1 =
    0.1132

>> p2=p1*a/2
p2 =
    0.1698

>> p3=p2*a/3
p3 =
    0.1698

>> p4=p3*a/4
p4 =
    0.1274

>>

```

$$P_0 = 0,0379$$

$$P_1 = 0,1132$$

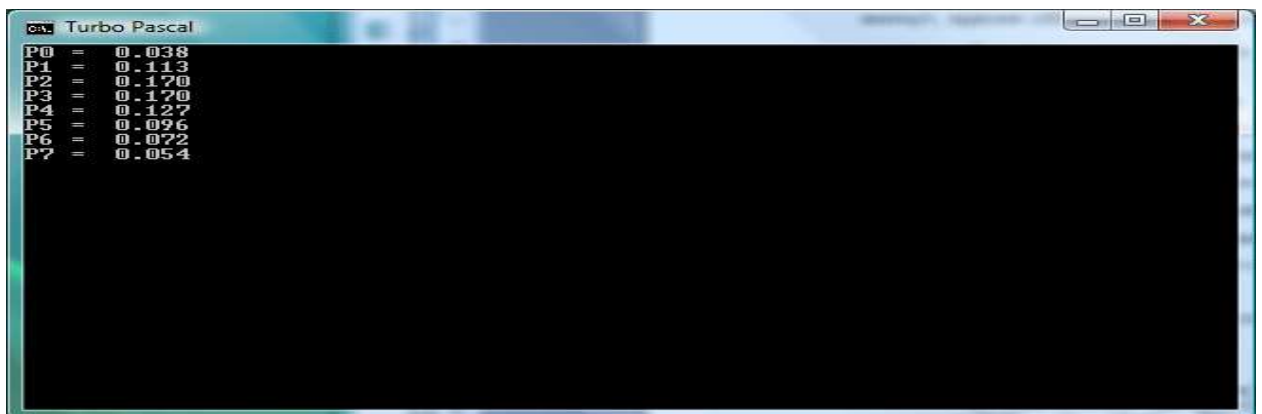
$$P_2 = 0,1698$$

$$P_3 = 0,1698$$

$$P_0 = 0,1274$$

3.2. Написать программу и привести программный код для вычисления требуемых данных:

- Описать подпрограмму-функцию для вычисления степени;
- Описать подпрограмму-функцию для вычисления факториала;
- Вычислить  $P_0$ ;
- Вычислить  $P_k$ ;
- Вычислить  $L_q$ .



```

Turbo Pascal
P0 = 0.038
P1 = 0.113
P2 = 0.170
P3 = 0.170
P4 = 0.127
P5 = 0.096
P6 = 0.072
P7 = 0.054

```

#### 4. Выводы:

Полученное решение полностью совпадает с теоретическим расчетом.

#### 5. Варианты задач

##### Задача №1

На станции работает несколько касс по продаже жетонов. Среднее время обслуживания составляет 1 минуту, а интенсивность потока заявок на обслуживание равна 3 (чел в минуту). Определить среднюю длину очереди для семи работающих касс и время пребывания в очереди.

##### Задача №2

В мастерской работает 5 мастеров. Клиенты приходят на обслуживание в среднем каждые 20 минут, время обслуживания 1 клиента составляет 1,5 часа. Определить среднее число клиентов в системе и среднюю длину очереди.

### **Задача №3**

АТС имеет 6 линий связи. Поток заявок имеет интенсивность 1 вызов в минуту, а время каждого разговора составляет в среднем 3 минуты. Определить вероятность отказа и вероятность того, что ни одна линия связи не будет занята.

### **Задача №4**

АТС имеет 5 линий связи. Поток заявок имеет интенсивность 2 вызова в минуту, а время каждого разговора составляет в среднем 3 минуты. Определить вероятность отказа и вероятность того, что ни одна линия связи не будет занята.

### **Задача №5**

На станции работает несколько касс по продаже жетонов. Среднее время обслуживания составляет 0.5 минуты, а интенсивность потока заявок на обслуживание равна 8 (чел. в минуту). Определить среднюю длину очереди для 5 работающих касс.

### **Задача №6**

В мастерской работает 8 мастеров. Клиенты приходят на обслуживание в среднем каждые 10 минут, время обслуживания 1 клиента составляет 1 час. Определить среднее число свободных мастеров и среднюю длину очереди.

### **Задача №7**

На станции работает несколько касс по продаже жетонов. Среднее время обслуживания составляет 1 минуту, а интенсивность потока заявок на обслуживание равна 5 (чел в минуту). Определить среднюю длину очереди для пяти работающих касс и время пребывания в очереди.

### **Задача №8**

СМО имеет 6 обслуживающих каналов. Поток заявок, поступающих на обслуживание, имеет интенсивность 0,3. Время обслуживания составляет в среднем 20 минут. Вычислить вероятности состояний системы среднее время пребывания заявки в очереди.

### **Задача №9**

СМО имеет 5 обслуживающих каналов. Время поступления заявок составляет 5 минут. Время обслуживания составляет в среднем 20 минут. Вычислить вероятности состояний системы среднее время пребывания заявки в очереди.

### **^ Задача №10**

Два мастера обслуживают 10 устройств, требующих постоянной регулировки. Среднее время, необходимое для регулировки 1-го устройства одним мастером составляет 2 часа, а интенсивность потока заявок на обслуживание устройств 0,2. Определить среднюю длину

очереди и вероятность отказа.

#### **^ Задача №11**

В автопарке работает 8 грузовых машин и 1 площадка для их ремонта. Интенсивность ремонта составляет 0,2, а интенсивность потока заявок на ремонт машин равна 0,01. Определить вероятность простоя площадки и вероятность отказа.

#### **^ Задача №12**

Три крана загружают 6 машин. Интенсивность погрузки машины краном составляет 20 погрузок в час, а время поступления машин на погрузку равна 0,05 часа. Определить среднюю длину очереди и вероятность отказа.

#### **^ Задача №13**

Два мастера обслуживают 8 устройств, требующих постоянной регулировки. Среднее время, необходимое для регулировки 1-го устройства одним мастером составляет 1 час, а среднее время поступления заявок составляет 4 часа. Определить среднее время пребывания заявки в очереди и вероятность отказа.

#### **^ Задача №14**

В автопарке работает 10 грузовых машин и 3 площадки для их ремонта. Среднее время ремонта равно 3 часа, а интервал поступления заявок на ремонт машин равно 9 часов. Определить вероятность простоя площадки и вероятность отказа.

#### **^ Задача №15**

Два крана загружают 9 машин. Интенсивность погрузки машины краном составляет 8 погрузок в час, а время поступления машин на погрузку равна 0,5 часа. Определить среднее число машин в очереди и вероятность отказа.

#### **^ Задача №16**

Два мастера обслуживают 8 устройств, требующих постоянной регулировки. Среднее время, необходимое для регулировки 1-го устройства одним мастером составляет 1 час, а среднее время поступления заявок составляет 4 часа. Определить среднее время пребывания заявки в очереди и вероятность отказа.

#### **^ Задача №17**

Три мастера обслуживают 8 устройств. Среднее время обслуживания равно 2 часа, а интервал поступления заявок на ремонт машин равно 5 часов. Определить вероятности всех состояний системы.

#### **^ Задача №18**

Два крана загружают 8 машин. Интенсивность погрузки машины краном составляет 6 погрузок в час, а время поступления машин на погрузку равна 0,5 часа. Определить вероятности всех состояний системы.



### **^ Задача №19**

На станции работает 3 кассы по продаже жетонов. Среднее время обслуживания составляет 1 минуту, а интенсивность потока заявок на обслуживание равна 4 (чел в минуту). Определить среднюю длину очереди и время пребывания в очереди и вероятности всех состояний системы.

### **^ Задача №20**

СМО имеет 5 обслуживающих каналов. Поток заявок, поступающих на обслуживание, имеет интенсивность 0,2. Время обслуживания составляет в среднем 10 минут. Вычислить вероятности 10-и состояний системы и среднее время пребывания заявки в очереди.

### **Отчет по лабораторной работе должен включать:**

- цель работы;
- построение математической модели задачи выбранного варианта;
- теоретическое решение задачи с помощью программы Matlab ;
- программный код решения задачи на языке Паскаль и результаты;
- выводы по работе.