**ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

**Министерство образования и науки Кыргызской Республики**

**Кыргызский Государственный Технический Университет им. И. Раззакова**

Кафедра программного обеспечения компьютерных систем

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ

ПРОГРАММАНЯ ИНЖЕНЕРИЯ

Учебная группа ПИ 2-15

Пояснительная записка

к курсовой работе

по методам оптимизации на тему:

«Максимизация прибыли путем варьирования ценой рынка»

Выполнил: студент группы ПИ 2-15

Шапранов Артём Вадимович

Проверил: к.т.н., профессор

Тен Иосиф Григорьевич

**Бишкек 2017**

Оглавление

[Пояснительная записка 1](#_Toc499188035)

[Введение 2](#_Toc499188036)

[1. Что называется задачей оптимизации? 2](#_Toc499188037)

[2. Что называется решающими или оптимизационными переменными? 2](#_Toc499188038)

[3. Что называется решением solution задачи оптимизации? 2](#_Toc499188039)

[5. Что такое “целевая функция”? 3](#_Toc499188040)

[6. Что такое “ограничение в задаче оптимизации”? 3](#_Toc499188041)

[7. Кратко, в двух-трех предложениях, опишите, что дальше появится в пояснительной записке. 3](#_Toc499188042)

[**Раздел №1: Описание лабораторной работы №1** 4](#_Toc499188043)

[Таблица №3:Программная реализация задачи(формулы в ячейках): 6](#_Toc499188044)

[Таблица 4:Зависимость Прибыли от Цены. 6](#_Toc499188045)

[Таблица №5:Зависимость решения задачи от Погрешности и Начального значения цены 8](#_Toc499188046)

[**3. Примените теорему №1 (о функции возрастающей или убывающей) к целевой функции, которая представляет зависимость прибыли от цены.** 11](#_Toc499188047)

[**4. Примените теорему 3 «тест по первой производной» и найдите точное решение (solution) задачи оптимизации №1.** 12](#_Toc499188048)

[**5. Что называется оптимальным решением (solution) задачи оптимизации №1?** 13](#_Toc499188049)

[**6. Дайте классификацию постановки задачи оптимизации №1 по количеству искомых переменных.** 13](#_Toc499188050)

[7. Дайте классификацию описания задачи оптимизации №1 по типу целевой функции. 13](#_Toc499188051)

[**8. Дайте классификацию описания задачи оптимизации №1 по наличию ограничений.** 14](#_Toc499188052)

[**9. Дайте классификацию типам экстремумов целевой функции задачи оптимизации №1.** 14](#_Toc499188053)

[**10. Определите величину допустимой погрешности, с которой должна быть решена задача оптимизации №1. Обоснуйте ваш выбор. Мотивируйте ваш выбор, используя таблицу, содержащую данные о зависимости между величиной оптимальной прибыли и погрешностью.** 15](#_Toc499188054)

[Глава №2: Описание лабораторной работы №2 16](#_Toc499188055)

[1. Постановка задачи оптимизации №2: «Найти максимум прибыли в зависимости от цены товара при ограничениях на величину кредита». 16](#_Toc499188056)

[3. Примените теорему 1 («о функции возрастающей или убывающей») к целевой функции, которая представляет зависимость прибыли от цены товара. 21](#_Toc499188057)

[4. Примените теорему 3 («тест по первой производной») и найдите точное решение (solution) задачи оптимизации №2. 22](#_Toc499188058)

[5. Что называется оптимальным решением (solution) задачи оптимизации №2? 23](#_Toc499188059)

[6. Дайте классификацию постановки задачи оптимизации №2 по количеству искомых переменных. 23](#_Toc499188060)

[7. Дайте классификацию описания задачи оптимизации №2 по типу целевой функции. 23](#_Toc499188061)

[8. Дайте классификацию описания задачи оптимизации №2 по наличию или отсутствию ограничений. 24](#_Toc499188062)

[9. Дайте классификацию типам экстремумов целевой функции задачи оптимизации №2. 24](#_Toc499188063)

[10. Определите величину допустимой погрешности, с которой должна быть решена задача оптимизации №1. Обоснуйте ваш выбор. Мотивируйте ваш выбор, используя таблицу, содержащую данные о зависимости между величиной оптимальной прибыли и погрешностью. 25](#_Toc499188064)

[Глава №3: Описание лабораторной работы №3 26](#_Toc499188065)

[1. Постановка задачи оптимизации без ограничений в виде задачи №1: «Найти максимум прибыли от цены товара без учета ограничений на величину кредита с использованием метода равномерного поиска». 26](#_Toc499188066)

[3. Дайте ответы на следующие вопросы: 30](#_Toc499188067)

[3.1. Какими соотношениями полностью определяется алгоритм равномерного поиска? 30](#_Toc499188068)

[3.2. Какие параметры должны быть заданы, чтобы начать вычисления по алгоритму равномерного поиска? 35](#_Toc499188069)

[3.3. Какому типу неравенства должно удовлетворять значение начальной аппроксимации х0 и какому неравенству должна удовлетворять величина шага поиска h в алгоритме равномерного поиска? 35](#_Toc499188070)

[3.4. Какой вид итерационного процесса будет генерировать метод равномерного поиска? 35](#_Toc499188071)

[3.5. Можно ли применить алгоритм равномерного поиска в случае, когда целевая функция не является дифференцируемой? 35](#_Toc499188072)

[3.6. Можно ли применить алгоритм равномерного поиска в случае, когда целевая функция не является унимодальной функцией? 35](#_Toc499188073)

[4. Определите порядок сходимости sigma и постоянную асимптотической ошибки А алгоритма равномерного поиска. 35](#_Toc499188074)

[5. Перечислите преимущества и недостатки алгоритма равномерного поиска. 37](#_Toc499188075)

[Глава №4: Описание лабораторной работы №4 37](#_Toc499188076)

[1. Постановка задачи оптимизации с учетом ограничений в виде задачи №2: «Найти максимум прибыли от цены товара с учетом ограничений на величину кредита с использованием метода равномерного поиска». 37](#_Toc499188077)

[2.1. Зависимость количества итераций от допустимой погрешности: 39](#_Toc499188078)

[2.2. Зависимость количества итераций от начальной цены: 40](#_Toc499188079)

[3. Дайте ответы на следующие вопросы: 41](#_Toc499188080)

[3.1. Какими соотношениями полностью определяется алгоритм равномерного поиска? 41](#_Toc499188081)

[3.2. Какие параметры должны быть заданы, чтобы начать вычисления по алгоритму равномерного поиска? 41](#_Toc499188082)

[3.3. Какому типу неравенства должно удовлетворять значение начальной аппроксимации х0 и какому неравенству должна удовлетворять величина шага поиска h в алгоритме равномерного поиска? 41](#_Toc499188083)

[3.4. Какой вид итерационного процесса будет генерировать метод равномерного поиска? 42](#_Toc499188084)

[3.5. Можно ли применить алгоритм равномерного поиска в случае, когда целевая функция не является дифференцируемой? 42](#_Toc499188085)

[3.6. Можно ли применить алгоритм равномерного поиска в случае, когда целевая функция не является унимодальной функцией? 42](#_Toc499188086)

[4. Определите порядок сходимости sigma и постоянную асимптотической ошибки А алгоритма равномерного поиска. 42](#_Toc499188087)

[5. Определите тип сходимости и величину скорости сходимости для последовательности, которую генерирует алгоритм равномерного поиска. 44](#_Toc499188088)

[6. Перечислите преимущества и недостатки алгоритма равномерного поиска. 44](#_Toc499188089)

[Глава №5: Описание лабораторной работы №5 45](#_Toc499188090)

[1. Сформулируйте задачу оптимизации без ограничений на примере задачи №1: «Найти максимум прибыли от цены товара без учета ограничений на величину кредита с использованием поразрядного поиска». 45](#_Toc499188091)

[2.2. Зависимость количества итераций от величины начального шага поиска h0. 49](#_Toc499188092)

[2.3. Зависимость количества итераций от начальной цены. 51](#_Toc499188093)

[2.4. Зависимость количества итераций от параметра R. 54](#_Toc499188094)

[3. Определите оптимальные значения параметров R и h0. 54](#_Toc499188095)

[4. Дайте ответы на следующие вопросы: 54](#_Toc499188096)

[4.1. Какое соотношение полностью описывает алгоритм поразрядного поиска? 54](#_Toc499188097)

[4.2. Какие параметры должны быть заданы, чтобы начать вычисления по алгоритму поразрядного поиска? 59](#_Toc499188098)

[4.3. Какие виды настроечных параметров имеются в алгоритме поразрядного поиска? 59](#_Toc499188099)

[4.4. Какой вид итерационного процесса генерирует метод поразрядного поиска? 60](#_Toc499188100)

[4.5. Можно ли применять метод поразрядного приближения в случае, когда целевая функция не является дифференцируемой? 60](#_Toc499188101)

[4.6. Можно ли применять метод поразрядного поиска в случае, когда целевая функция не является унимодальной? 60](#_Toc499188102)

[5. Определите порядок сходимости и константу асимптотической ошибки метода поразрядного поиска. 60](#_Toc499188103)

[6. Определите тип сходимости и значение скорости сходимости для последовательности, которая генерируется методом поразрядного поиска. 62](#_Toc499188104)

[7. Перечислите преимущества и недостатки алгоритма поразрядного поиска. 62](#_Toc499188105)

[Глава №6: Описание лабораторной работы №6 63](#_Toc499188106)

[1. Сформулируйте задачу оптимизации с учетом ограничений на примере задачи №2: «Найти максимум прибыли от цены товара с учетом ограничений на величину кредита с использованием метода поразрядного приближения». 63](#_Toc499188107)

[2.1. Зависимость Количества итераций от Допустимой Погрешности. 65](#_Toc499188108)

[2.3. Зависимость количества итераций от начальной цены. 69](#_Toc499188109)

[2.4. Зависимость количества итераций от параметра R. 71](#_Toc499188110)

[3. Определите оптимальные значения параметров R и h0. 71](#_Toc499188111)

[4. Дайте ответы на следующие вопросы: 72](#_Toc499188112)

[4.1. Какое соотношение полностью описывает алгоритм поразрядного поиска? 72](#_Toc499188113)

[4.2. Какие параметры должны быть заданы, чтобы начать вычисления по алгоритму поразрядного поиска? 72](#_Toc499188114)

[4.3. Какие виды настроечных параметров имеются в алгоритме поразрядного поиска? 72](#_Toc499188115)

[4.4. Какой вид итерационного процесса генерирует метод поразрядного поиска? 72](#_Toc499188116)

[4.5. Можно ли применять метод поразрядного приближения в случае, когда целевая функция не является дифференцируемой? 73](#_Toc499188117)

[4.6. Можно ли применять метод поразрядного поиска в случае, когда целевая функция не является унимодальной? 73](#_Toc499188118)

[6. Определите тип сходимости и значение скорости сходимости для последовательности, которая генерируется методом поразрядного поиска. 75](#_Toc499188119)

[7. Перечислите преимущества и недостатки алгоритма поразрядного поиска. 75](#_Toc499188120)

[Глава №7: Описание лабораторной работы №7 76](#_Toc499188121)

[1. Сформулируйте задачу оптимизации без ограничений на примере задачи №1: «Найти максимум прибыли в зависимости от цены товара без учета ограничений на величину кредита с использованием метода Ньютона». 76](#_Toc499188122)

[2.1. Зависимость Количества итераций от Допустимой Погрешности. 78](#_Toc499188123)

[3. Дайте ответы на следующие вопросы: 80](#_Toc499188124)

[3.1. Какому типу уравнения должна удовлетворять первая производная от целевой функции в экстремальной точке? 80](#_Toc499188125)

[3.2. Какой тип функции называется итерационной функцией Ньютона-Рафсона? 81](#_Toc499188126)

[3.3. Каким видом соотношения (формула, уравнение, выражение) полностью описывается алгоритм Ньютона? 81](#_Toc499188127)

[3.4. Какой тип локального экстремума ищет алгоритм Ньютона, если целевая функция – полимодальная? 84](#_Toc499188128)

[3.5. Какие типы параметров должны быть заданы для вычисления по алгоритму Ньютона? 84](#_Toc499188129)

[3.6. Какие типы параметров могут быть использованы для поиска одного или нескольких возможных экстремумов по алгоритму Ньютона? 84](#_Toc499188130)

[3.7. Какой тип итерационного процесса генерируется по алгоритму Ньютона? 84](#_Toc499188131)

[3.8. Можно ли использовать метод Ньютона в случае, когда целевая функция не является унимодальной функцией? 84](#_Toc499188132)

[3.9. Можно ли применить метод Ньютона в случае, когда целевая функция не является дифференцируемой функцией? 84](#_Toc499188133)

[4. Определите порядок сходимости и константу асимптотической ошибки для метода Ньютона. 84](#_Toc499188134)

[4.1. Зависимость скорости сходимости итерационного алгоритма от Начальной цены. 88](#_Toc499188135)

[5. Определите тип сходимости для последовательности, которая генерируется методом Ньютона. 88](#_Toc499188136)

[6. Перечислите преимущества и недостатки метода Ньютона. 89](#_Toc499188137)

[Глава №8: Описание лабораторной работы №8 90](#_Toc499188138)

[1. Сформулируйте задачу оптимизации с учетом ограничений на примере задачи №2: «Найти максимум прибыли в зависимости от цены товара с учетом ограничений на величину кредита с использованием метода Ньютона». 90](#_Toc499188139)

[2.1. Зависимость Количества итераций от Допустимой Погрешности. 92](#_Toc499188140)

[3. Ответы на вопросы. 96](#_Toc499188141)

[3.1. Какому типу уравнения должна удовлетворять первая производная от целевой функции в экстремальной точке? 96](#_Toc499188142)

[3.2. Какой тип функции называется итерационной функцией Ньютона-Рафсона? 96](#_Toc499188143)

[3.3. Каким видом соотношения (формула, уравнение, выражение) полностью описывается алгоритм Ньютона? 96](#_Toc499188144)

[3.5. Какие типы параметров должны быть заданы для вычисления по алгоритму Ньютона? 96](#_Toc499188145)

[3.6. Какие типы параметров могут быть использованы для поиска одного или нескольких возможных экстремумов по алгоритму Ньютона? 96](#_Toc499188146)

[3.7. Какой тип итерационного процесса генерируется по алгоритму Ньютона? 97](#_Toc499188147)

[3.8. Можно ли использовать метод Ньютона в случае, когда целевая функция не является унимодальной функцией? 97](#_Toc499188148)

[3.9. Можно ли применить метод Ньютона в случае, когда целевая функция не является дифференцируемой функцией? 97](#_Toc499188149)

[4. Определите порядок сходимости и константу асимптотической ошибки для метода Ньютона. 98](#_Toc499188150)

[5. Определите тип сходимости для последовательности, которая генерируется методом Ньютона. 101](#_Toc499188151)

[6. Перечислите преимущества и недостатки метода Ньютона. 102](#_Toc499188152)

[Глава №9: Описание лабораторной работы №9 103](#_Toc499188153)

[1. Сформулируйте задачу оптимизации без ограничений на примере задачи №1: «Найти максимум прибыли в зависимости от цены товара без учета ограничений на величину кредита при использовании метода золотого сечения». 103](#_Toc499188154)

[2.1. Зависимость Количества итераций от Допустимой Погрешности 106](#_Toc499188155)

[. 106](#_Toc499188156)

[3. Ответы на вопросы: 107](#_Toc499188157)

[3.1. Что такое золотое соотношение (золотой коэффициент)? 107](#_Toc499188158)

[3.2. Какому типу уравнения удовлетворяет золотой коэффициент? 108](#_Toc499188159)

[3.3. Какому типу условия должна удовлетворять целевая функция на заданном интервале [a;b], чтобы можно было использовать золотой поиск для нахождения экстремума? 108](#_Toc499188160)

[3.4. Какой вид внутренних точек, которые мы обозначили буквами c и d, требуется вычислять по алгоритму золотого поиска? 108](#_Toc499188161)

[3.5. Какой тип решающего (decision) процесса используется в алгоритме золотого поиска? 108](#_Toc499188162)

[3.7. Каким желаемым свойством обладает метод золотого сечения? Какое желаемое свойство присуще методу золотого сечения? 109](#_Toc499188163)

[3.8. Какой тип параметров может быть использован для поиска одного или нескольких возможных локальных экстремумов по методу золотого сечения? 109](#_Toc499188164)

[3.9. Можно ли применить алгоритм золотого сечения в случае, когда целевая функция не является дифференцируемой? 109](#_Toc499188165)

[3.10. Можно ли использовать метод золотого сечения в случае, когда целевая функция не является унимодальной на интервале [a;b]? 109](#_Toc499188166)

[4. Определите порядок сходимости и константу асимптотической ошибки для метода золотого сечения. 110](#_Toc499188167)

[5. Определите тип сходимости и значение скорости сходимости для последовательности, которая генерируется методом золотого сечения. 111](#_Toc499188168)

[6. Перечислите преимущества и недостатки метода золотого поиска. 111](#_Toc499188169)

[Глава №10: Описание лабораторной работы №10 112](#_Toc499188170)

[1. Сформулируйте задачу оптимизации с учетом ограничений на примере задачи №2: «Найти максимум прибыли в зависимости от цены товара с учетом ограничений на величину кредита при использовании метода золотого сечения. 112](#_Toc499188171)

[3. Ответы на вопросы: 117](#_Toc499188172)

[3.1. Что такое золотое соотношение (золотой коэффициент)? 117](#_Toc499188173)

[3.2. Какому типу уравнения удовлетворяет золотой коэффициент? 117](#_Toc499188174)

[3.3. Какому типу условия должна удовлетворять целевая функция на заданном интервале [a;b], чтобы можно было использовать золотой поиск для нахождения экстремума? 117](#_Toc499188175)

[3.4. Какой вид внутренних точек, которые мы обозначили буквами c и d, требуется вычислять по алгоритму золотого поиска? 117](#_Toc499188176)

[3.5. Какой тип решающего (decision) процесса используется в алгоритме золотого поиска? 117](#_Toc499188177)

[3.6. Какой блок-схемой описывается метод золотого поиска для нахождения: 117](#_Toc499188178)

[3.7. Каким желаемым свойством обладает метод золотого сечения? Какое желаемое свойство присуще методу золотого сечения? 118](#_Toc499188179)

[3.8. Какой тип параметров может быть использован для поиска одного или нескольких возможных локальных экстремумов по методу золотого сечения? 118](#_Toc499188180)

[3.9. Можно ли применить алгоритм золотого сечения в случае, когда целевая функция не является дифференцируемой? 119](#_Toc499188181)

[3.10. Можно ли использовать метод золотого сечения в случае, когда целевая функция не является унимодальной на интервале [a;b]? 119](#_Toc499188182)

[4. Определите порядок сходимости и константу асимптотической ошибки для метода золотого сечения. 119](#_Toc499188183)

[5. Определите тип сходимости и значение скорости сходимости для последовательности, которая генерируется методом золотого сечения. 120](#_Toc499188184)

[6. Перечислите преимущества и недостатки метода золотого поиска. 120](#_Toc499188185)

[Заключение 121](#_Toc499188186)

[1. Сравните преимущества и недостатки методов оптимизации, которые вы изучали. 121](#_Toc499188187)

[2. Дайте ваши обоснованные рекомендации по выбору наилучшего метода оптимизации. 124](#_Toc499188188)

## Введение

## 1. Что называется задачей оптимизации?

**Задача оптимизации** – это определенный тип задач, в которых рассматривается определенный тип функций. Данные функции, изучаемые в теории оптимизации, обладают одним характерным свойством иметь экстремумы (максимумы или минимумы). Полное определение задач оптимизации выражается следующими символами:

а) Задача максимизации:



б) Задача минимизации:



## 2. Что называется решающими или оптимизационными переменными?

Решающими или оптимальными переменными называются переменные, которые предоставляют решение задачи.

## 3. Что называется решением solution задачи оптимизации?

Решением задачи (solution) называется такая точка , при которой целевая функция *f(x)* достигает экстремума (min/max) согласно заданным условиям.

**4**. Что называется решением solving задачи оптимизации и чем оно отличается от решения solution задачи оптимизации?

Решением (**solving**) задачи оптимизации называется процесс нахождения такой точки , при которой целевая функция *f(x)* достигает экстремума (min/max), то есть оптимального, согласно заданным условиям, результата.

Отличие между **solution** и **solving** заключается в том, что **solving** – это процесс по нахождению оптимального результата, а **solution** – это оптимальный результат (число).

## 5. Что такое “целевая функция”?

Целевой функцией называется любая функция (линейная, нелинейная), достижение минимума или максимума, который дает признак решения задачи.

## 6. Что такое “ограничение в задаче оптимизации”?

Логическое условие, которое лимитирует нам выбор значения искомой переменной называется ограничением. Ограничение имеет вид (2.а) и (2.b). Обозначение *gi(x)* в этих формулах называется левой частью ограничения задачи. В задаче №2 ограничением является только одно ограничение на величину кредита, вычисляемое по формуле:

**Кредит = U\*C <=** 1,010800E+05

где **С** – себестоимость, **U** – объем выпуска товаров.

## 7. Кратко, в двух-трех предложениях, опишите, что дальше появится в пояснительной записке.

В дальнейшем в пояснительной записке появится описание результатов выполнения десяти лабораторных работ. Будут рассмотрены свойства следующих методов оптимизации:

1. Метод равномерного поиска;
2. Метод поразрядного приближения;
3. Метод Ньютона;
4. Метод золотого сечения.

Эти методы будут оценены по разным критериям, и будет сделан вывод по каждому методу оптимизации и даны рекомендации по выбору наилучшего метода оптимизации для решения задач.

**Раздел №1: Описание лабораторной работы №1**

1.Постановка задачи оптимизации №1 : «Найти максимум прибыли в зависимости от цены товара без ограничения на величину кредита».

Лабораторная работа №1 по методам оптимизации

Задача №1:Найти максимум прибыли путем варьирования ценой рынка без учета ограничения на величину кредита

Прибыль=Спрос\*(Цена-Себестоимость);Спрос=А/(Цена+Цена\*В)^(2\*D);Кредит=Себестоимость\*Спрос.

Суть задачи оптимизации №1 заключается в максимизации целевой функции для нахождения максимума прибыли в точке х\* без учета ограничений

**Таблица №1:Параметры модели рынка:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | Parametr\_A | | Parametr\_B | Cost | | Parametr\_D | Tolerance | Limit of Credit Value | X\*1 | X\*2 | | alfa |
| 20 | 8,90E+41 | 2,416 | | 4690 | 3,0759 | | 0,00001 | 1,033600E+05 | 5 600,361427 | 1,167310E+06 | 5E+38 | |

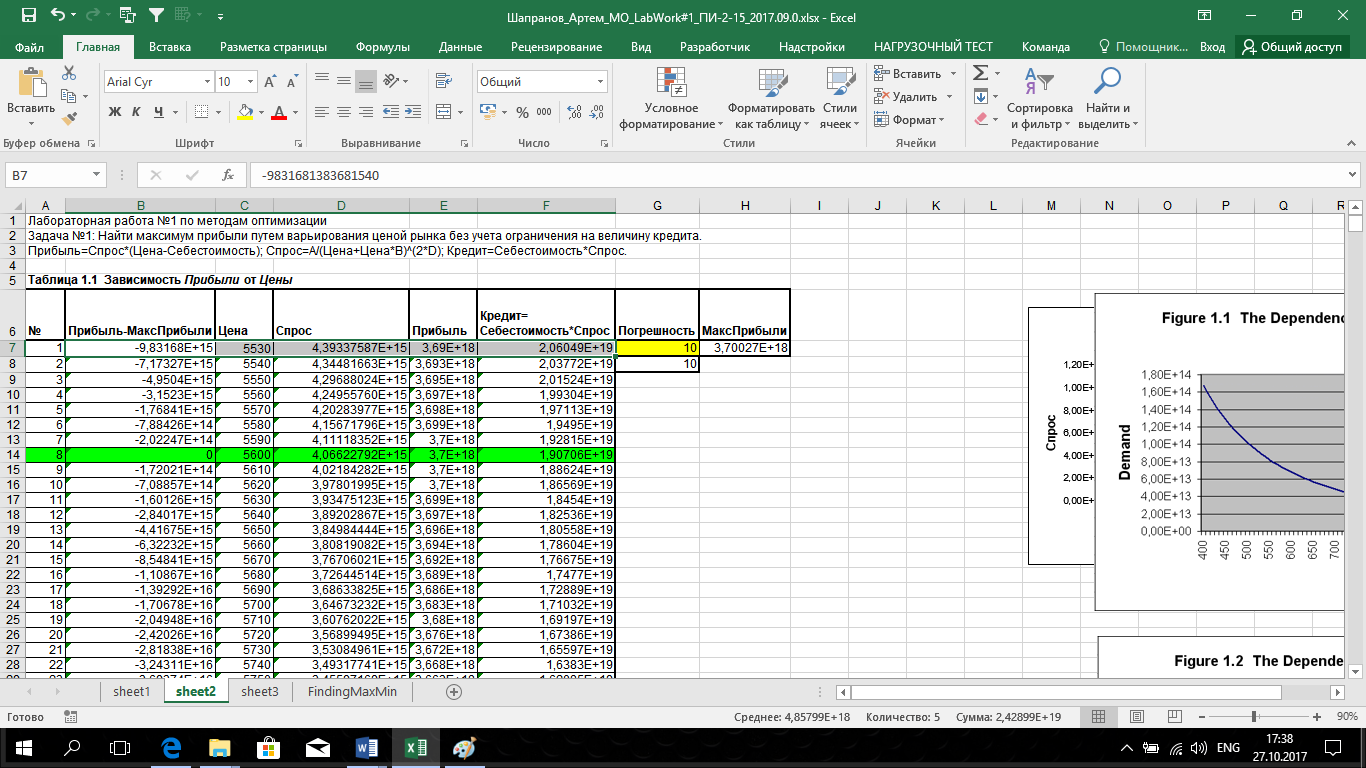
**Модель рынка:**

Прибыль=Спрос\*(Цена-Себестоимость);

Спрос=А/(Цена + Цена\*В)^(2\*D);

Кредит=Себестоимость\*Спрос;

**Таблица №2:Таблица Microsoft Excel:**



### Таблица №3:Программная реализация задачи(формулы в ячейках):

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Прибыль-Макс**  **Прибыли** | **Цена** | **Спрос** | **Прибыль** | **Кредит= Себестоимость\*Спрос** | **Погрешность** | **МаксПрибыли** |
| 1 | B7:=E7-$H$7 | C7:640 | D7:=sheet1!$B$21/(sheet2!C7+sheet2!C7\*sheet1!$C$21)^(2\*sheet1!$E$21) | E7:=D7\*(C7-sheet1!$D$21) | F7:=sheet1!$D$21\*sheet2!D7 | G7:10 | H7:=МАКС(E7:E1556) |
| 2 | B8:=E8-$H$7 | C8:=C7+  $G$7 | D8:=sheet1!$B$21/(sheet2!C8+sheet2!C8\*sheet1!$C$21)^(2\*sheet1!$E$21) | E8:=D8\*(C8-sheet1!$D$21) | F8:=sheet1!$D$21\*sheet2!D8 | G8:=G7 |  |

### Таблица 4:Зависимость Прибыли от Цены.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Прибыль-МаксПрибыли** | **Цена** | **Спрос** | **Прибыль** | **Кредит= Себестоимость\*Спрос** | **Погрешн** | **МаксПрибыль** |
| 1 | -9,83168E+15 | 5530 | 4,39337587E+15 | 3,6904E+18 | 2,06049E+19 | 10 | 3,70027E+18 |
| 2 | -7,17327E+15 | 5540 | 4,34481663E+15 | 3,6931E+18 | 2,03772E+19 | 10 |
| 3 | -4,9504E+15 | 5550 | 4,29688024E+15 | 3,6953E+18 | 2,01524E+19 |
| 4 | -3,1523E+15 | 5560 | 4,24955760E+15 | 3,6971E+18 | 1,99304E+19 |
| 5 | -1,76841E+15 | 5570 | 4,20283977E+15 | 3,6985E+18 | 1,97113E+19 |
| 6 | -7,88426E+14 | 5580 | 4,15671796E+15 | 3,6995E+18 | 1,9495E+19 |
| 7 | -2,02247E+14 | 5590 | 4,11118352E+15 | 3,7001E+18 | 1,92815E+19 |
| 8 | 0 | 5600 | 4,06622792E+15 | 3,7003E+18 | 1,90706E+19 |
| 9 | -1,72021E+14 | 5610 | 4,02184282E+15 | 3,7001E+18 | 1,88624E+19 |
| 10 | -7,08857E+14 | 5620 | 3,97801995E+15 | 3,6996E+18 | 1,86569E+19 |
| 11 | -1,60126E+15 | 5630 | 3,93475123E+15 | 3,6987E+18 | 1,8454E+19 |
| 12 | -2,84017E+15 | 5640 | 3,89202867E+15 | 3,6974E+18 | 1,82536E+19 |
| 13 | -4,41675E+15 | 5650 | 3,84984444E+15 | 3,6959E+18 | 1,80558E+19 |
| 14 | -6,32232E+15 | 5660 | 3,80819082E+15 | 3,6939E+18 | 1,78604E+19 |
|  |  |  |  |  |  |

По данным этой таблицы исследованы и получены зависимости следующих типов:

#### 2.1 Зависимость Прибыли от Цены

На графике Рис.1.1 видно, что при цене 4690 прибыль равна 0. Функция является унимодальной на интервале (4690:7480), т.к. она возрастает на интервале (4690:5600) и имеет единственное число х\*=5600.С увеличением цены прибыль уменьшается. Цена при которой прибыль достигает максимума, равна 5600(при погрешности 10), т.е. эта цена является оптимальной.

#### 2.2 Зависимость Кредита от Цены

На графике 1.2 видно, что график является убывающим, т.е. с увеличением цены кредит уменьшается. Оптимальный кредит достигается при Цене=5600 и он равен 1,90706E+19

#### 2.3 Зависимость Спроса от Цены

Награфике 1.3 видно, что функция является убывающей, т.е. с увеличением цены спрос падает. Так, максимальное значение спроса равно 1,20E+16 при цене равной 4690.

### Таблица №5:Зависимость решения задачи от Погрешности и Начального значения цены

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Прибыль-МаксПрибыли** | **Оптимальная Цена** | **Оптимальный Спрос** | **Оптимальная Прибыль** | **Оптимальный Кредит** | **Допустимая Погрешность** | **Начальная цена** | **ПрибыльN -ПрибыльN-1** |
| 1 | 0 | 5600 | 4,06623E+15 | 3,70027E+18 | 1,90706E+19 | 10 | 4690 |  |
| 2 | 0 | 5600 | 4,06623E+15 | 3,70027E+18 | 1,90706E+19 | 1 | 4690 | 0 |
| 3 | 0 | 5600,4 | 4,06444E+15 | 3,70027E+18 | 1,90622E+19 | 0,1 | 4690 | 2,41509E+11 |
| 4 | 0 | 5600,36 | 4,06462E+15 | 3,70027E+18 | 1,90631E+19 | 0,01 | 4690 | 2777728000 |
| 5 | 0 | 5600,361 | 4,06462E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 0,001 | 4690 | 3453952 |
| 6 | 0 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 0,0001 | 4690 | 333824 |
| 7 | 0 | 5600,36135 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 0,00001 | 4690 | 9216 |
| 8 | 0 | 5600,361396 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 0,000001 | 4690 | 16896 |
| 9 | 0 | 5600,361397 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 0,0000001 | 4690 | 4608 |
| 10 | 0 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 0,00000001 | 4690 | 0 |

На основании этой таблицы исследованы и построены погрешности следующих:

#### 2.4 Зависимость оптимальной цены от допустимой погрешности:

На графике 1.4 видно, что при значениях погрешности от 10 до 1 оптимальная цена резко падает. При погрешности 0,1 оптимальная цена возрастает, а при погрешности 0,01 принимает стабильное значение. Далее, при изменении погрешности, значение оптимальной цены изменяется несущественно

#### 2.5 Зависимость оптимальной цены от начальной точки поиска(от начальной аппроксимации):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **N** | **Нач. цена** | **Опт. цена** |
| 1 | 4690 | 5600,361397 |
| 2 | 2345 | 5600,361397 |
| Различие между оптимальными ценами | | 0 |

Для определения зависимости оптимальной цены от начальной аппроксимации строятся две таблицы с различной начальной точкой поиска (начальной аппроксимацией). Из этих таблиц берутся значения оптимальных цен. Разница этих значений равна нулю. Следовательно, значение оптимальной цены не зависит от начальной аппроксимации. Поэтому при использовании методов оптимизации мы можем использовать любое удобное для этого метода оптимизации начальную точку.

#### 2.6. Зависимость оптимального спроса от допустимой погрешности:

На графике Рис.1.5 видно, что спрос резко уменьшается при уменьшении погрешности от 1 до 0,1. При погрешности 1 значение оптимального спроса равно 4,06623E+15. При погрешности 0,1 оптимальный спрос равен 4,06444E+15. Дальше, при уменьшении погрешности, значения оптимального спроса изменяются незначительно.

2.7 Зависимость оптимальной прибыли от допустимой погрешности:

На графике Рис.1.6 видно, что при уменьшении погрешности от 1 до 0,1 прибыль резко возрастает, на данном интервале зависимость экспоненциальная, далее – линейная. Рост прибыли зависит от точности вычисления, т.е. от уменьшения погрешности. При погрешности 1, оптимальная прибыль равна 3,70027E+18. При погрешности 0,1 оптимальная прибыль = 3,70027E+18. Далее, при изменении погрешности, значение оптимальной прибыли изменяется несущественно.

#### 2.8 Зависимость оптимального кредита от допустимой погрешности:

На графике 1.7 видно, что кредит резко уменьшается при уменьшении погрешности от 1 до 0,1. При погрешности 1 значение оптимального кредита равно 1,90706E+19. При погрешности 0,1 оптимальный кредит равен 1,90622E+19. Далее, при уменьшении погрешности, значения оптимального кредита изменяются незначительно.

### **3. Примените теорему №1 (о функции возрастающей или убывающей) к целевой функции, которая представляет зависимость прибыли от цены.**

Основной задачей является максимизировать прибыль.

**Теорема №1 «Критерии возрастания или убывания функции»:**

Предположим, что функция f(x) является непрерывной и дифференцируемой на интервале *I = [a, b]*.

1. Если *f’(x)>0*, (*a; x\**), то функция *f(x)* называется возрастающей на этом интервале.
2. Если *f’(x)<0*, (*x\*; b*), то функция *f(x)* называется убывающей на этом интервале.

где , ,

где *А, В, D* – параметры, *x* – искомая переменная, *С* – себестоимость,

Проведем исследование целевой функции в интервале цен от 4690 (себестоимость товара) до 5751.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| x | f(x) | f`(x) |
| 4690 | 0 | 4690 |
| 4740 | 9,3834E+39 | 4432,41 |
| 4790 | 1,8571E+40 | 4174,82 |
| 4840 | 2,75689E+40 | 3917,23 |
| 4890 | 3,63828E+40 | 3659,64 |
| 4940 | 4,50185E+40 | 3402,05 |
| 4990 | 5,34811E+40 | 3144,46 |
| 5040 | 6,17759E+40 | 2886,87 |
| 5090 | 6,99079E+40 | 2629,28 |
| 5140 | 7,78817E+40 | 2371,69 |
| 5190 | 8,57019E+40 | 2114,1 |
| 5240 | 9,3373E+40 | 1856,51 |
| 5290 | 1,00899E+41 | 1598,92 |
| 5340 | 1,08284E+41 | 1341,33 |
| 5390 | 1,15533E+41 | 1083,74 |
| 5440 | 1,22648E+41 | 826,15 |
| 5490 | 1,29633E+41 | 568,56 |
| 5540 | 1,36493E+41 | 310,97 |
| 5590 | 1,4323E+41 | 53,38 |
| 5600 | 1,44563E+41 | 1,862000002 |
| 5600,361 | 1,44611E+41 | 0,00 |
| 5600,675 | 1,44652E+41 | -1,615464998 |
| 5601,10061 | 1,44709E+41 | -3,808122596 |
| 5651,10061 | 1,513E+41 | -261,3981226 |
| 5701,10061 | 1,57776E+41 | -518,9881226 |
| 5751 | 1,6414E+41 | -776,5781226 |

Условие №1 выполняется: первая производная *f’(x) > 0* на интервале (4690; 5600,361) –> *f(x)* возрастает на этом интервале.

Условие №2 выполняется: первая производная *f’(x) < 0* на интервале (5600,361; 5751) –> *f(x)* убывает на этом интервале.

**Вывод:**

Первая производная *f’(x) > 0, x*  (4690; 5600,361) и *f’(x) < 0, x*  (5600,361; 5751). Это значит, что *f(x\*)* является локальным экстремумом целевой функции, где *x\** решение задачи оптимизации. В данной задаче *x\** равно 5600,361.

### **4.** **Примените теорему 3 «тест по первой производной» и найдите точное решение (solution) задачи оптимизации №1.**

**Теорема №3 «Тест по первой производной»:**

Предположим, что функция *f(x)* является непрерывной на отрезке I = [*a, b*]. Кроме того, предположим, что производная этой функции  определена для всех значений *x*, принадлежащих открытому интервалу , исключая возможно точку *x* = *x*\*. Тогда утверждаем что:

**Утверждение 1:** если  на  и  на , то  является точкой локального минимума;

**Утверждение 2:** если  на  и  на , то  является точкой локального максимума.

В данной задаче функция непрерывна на интервале [4690,5620] (см. Таблицу 1.2 «Зависимость прибыли от цены »). Для этой функции  на открытом интервале (4690; 5600,361), и  на открытом интервале (5600,361; 7480), *f* (*x\**) является **локальным максимумом** этой целевой функции, при значении **х\*=**5600,361 (при данном значении цены прибыль максимальна).

### **5.** **Что называется оптимальным решением (solution) задачи оптимизации №1?**

Решением задачи оптимизации №1 является значение величины *х\** (оптимальной цены), которое обеспечивает выполнение условия *f(x\*) >= f(x)*. Прибыль при данной оптимальной цене будет максимальной. Решение: оптимальная цена, при которой будет достигаться максимальная прибыль, имеет значение *х\****= 5600,361**

### **6.** **Дайте классификацию постановки задачи оптимизации №1 по количеству искомых переменных.**

Любая задача оптимизации делится на два класса:

* одномерные задачи оптимизации, если *n=1*;
* многомерные задачи оптимизации, если *n>1*;

где *n* – это количество искомых переменных.

Задача оптимизации №1 – одномерная, так как искомая переменная здесь только одна, это значение переменной *х\**.

## 7. Дайте классификацию описания задачи оптимизации №1 по типу целевой функции.

По типу целевой функции любая задача оптимизации делится на два класса:

* линейные задачи оптимизации, если целевая функция имеет вид f(x)=a\*x+b.
* нелинейные задачи оптимизации, если целевая функция не может быть представлена в виде f(x)=a\*x+b.

Задача оптимизации №1 относится к классу нелинейных задач, так как целевая функция в этой задаче имеет вид: Прибыль=Спрос\*(Цена-Себестоимость), где Спрос=A/(Цена+Цена\*B) ^(2\*D). То есть целевая функция не может быть представлена в виде f(x)=a\*x+b. График целевой функции так же не представляет собой прямых линий (см. Рис. 1.8).

### **8.** **Дайте классификацию описания задачи оптимизации №1 по наличию ограничений.**

По наличию ограничений задачи оптимизации делятся на:

* задачи с ограничениями;
* задачи без ограничений;

Если задача оптимизации типа  и , а ограничивающее множество **Х** совпадает с **Rn**, то есть **Х=Rn**, то такая задача называется задачей без ограничений. То есть в качестве решения задачи оптимизации может рассматриваться любое вещественное число. Если же условие **Х=Rn** не выполняется, то задача называется задачей с ограничениями.

Задача оптимизации №1 относится к классу задач без ограничений, так искомая величина *х\** (цена) может принимать любые значения.

### **9.** **Дайте классификацию типам экстремумов целевой функции задачи оптимизации №1.**

Если точка **х**\* удовлетворяет неравенству ****, то такая точка **х**\* называется глобальным максимумом.

Если точка **х**\* удовлетворяет неравенству **** , то такая точка **х**\* называется глобальным минимумом.

Если точка **х\*** удовлетворяет неравенству , то такая точка называется точкой локального максимума.

Если точка **х\*** удовлетворяет неравенству , то такая точка называется точкой локального минимума.

Если точка **х\*** удовлетворяет строгому неравенству , то эта точка называется точкой строгого максимума.

Если точка **х\*** удовлетворяет неравенству , то эта точка называется точкой слабого максимума.

Если точка **х\*** удовлетворяет строгому неравенству , то эта точка называется точкой строгого минимума.

Если точка **х\*** удовлетворяет неравенству , то эта точка называется точкой слабого минимума.

Возьмем несколько точек слева и справа от найденного оптимального значения и проверим, удовлетворяет ли найденное оптимальное значение **х\*** неравенству **:**

*f(*4690*) = 0*

*f(*1975,59329*) =*3,70027E+18*> f(*1430*) = 0 *

*f(*1975,59329*) =* 3,70027E+18*> f(*5300*) =* 3,48036E+18**

*f(*1975,59329*) =* 3,70027E+18*> f(*5701,101*) =* 3,68284E+1**

*f(*1975,59329*) =* 3,70027E+18*> f(5751) =* 3,66287E+18 **

*f(*5300*) =* 3,48036E+18

Таким образом:

*f(5600,3614) =* 3,70027E+18

*f(*5701,101*) =* 3,68284E+18

*f(5751) =* 3,66287E+18

Точка ***х\**=** *5600,3614*удовлетворяет неравенству ****, и ограничивающее множество **Х** совпадает с *R1*, следовательно, целевая функция задачи оптимизации №1 имеет ***строгий глобальный максимум***.

### **10.** **Определите величину допустимой погрешности, с которой должна быть решена задача оптимизации №1. Обоснуйте ваш выбор. Мотивируйте ваш выбор, используя таблицу, содержащую данные о зависимости между величиной оптимальной прибыли и погрешностью.**

Задача оптимизации №1 должна быть решена с погрешностью 0,0000001. Как видно из таблицы №5, содержащей данные о зависимости между оптимальной прибылью и допустимой погрешностью, максимальная прибыль достигается при погрешности 0,0000001 и равна 3,70027E+18. Это значит, что при погрешности = 0,0000001 оптимальная прибыль принимает максимальное значение и далее, при уменьшении погрешности, прибыль остается постоянной.

## Глава №2: Описание лабораторной работы №2

## 1. Постановка задачи оптимизации №2: «Найти максимум прибыли в зависимости от цены товара при ограничениях на величину кредита».

|  |
| --- |
| Лабораторная работа №2 |
| Задача №2: Найти максимум прибыли путем варьирования ценой рынка с учетом ограничения на величину кредита. | |
|  | | |

**Таблица №1: Параметры модели рынка:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | Parametr\_A | | Parametr\_B | Cost | Parametr\_D | Tolerance | Limit of Credit Value | X\*1 | X\*2 | alfa |
| 20 | 8,90E+41 | 2,416 | | 4690 | 3,0759 | 0,00001 | 1,033600E+05 | 1,167310E+06 | 1,167310E+06 | 5E+38 |

**Модель рынка:**

Прибыль=Спрос\*(Цена-Себестоимость);

Спрос=A/(Цена+Цена\*B) ^(2\*D);

Кредит=Себестоимость\*Спрос;

Кредит <=Ограничения.

**Таблица №2: Таблица Microsoft Excel**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Таблица 2.1 Зависимость *Прибыли* от *Цены.*** |  |  |  |  |  |

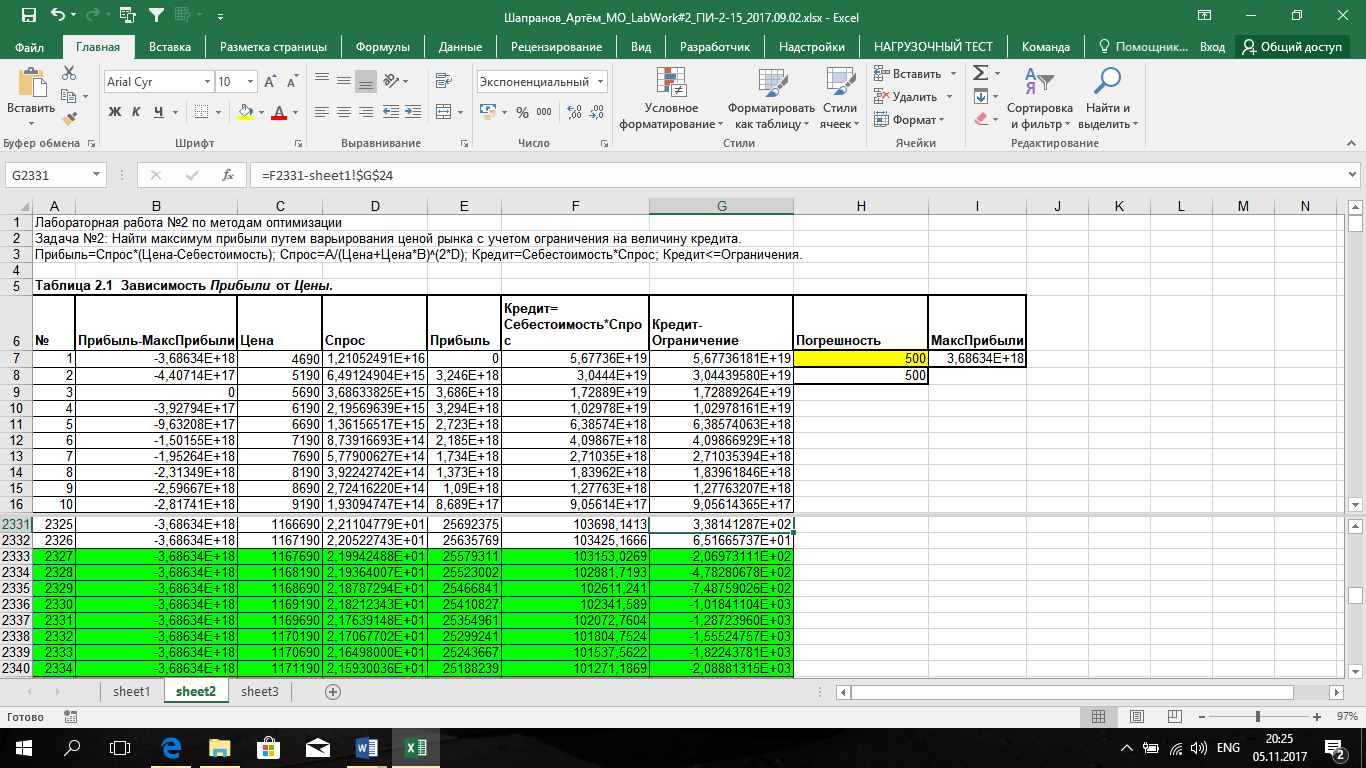


Таблица №3:Программная реализация задачи(формулы в ячейках):

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Прибыль-Макс**  **Прибыли** | **Цена** | **Спрос** | **Прибыль** | **Кредит= Себестоимость\*Спрос** | **Погрешность** | **МаксПрибыли** |
| 1 | B7:=E7-$H$7 | C7:1430 | D7:= sheet1!$B$13/(sheet2!C7+sheet2!C7\*sheet1!$C$13)^(2\*sheet1!$E$13) | E7:= D7\*(C7-sheet1!$D$13) | F7:= sheet1!$D$13\*sheet2!D7 | =sheet3!H7 | H7:=МАКС(E7:E3000) |
| 2 | B8:=E8-$H$7 | C8:= C7+$H$7 | D8:= sheet1!$B$13/(sheet2!C8+sheet2!C8\*sheet1!$C$13)^(2\*sheet1!$E$13) | E8:= D8\*(C8-sheet1!$D$13) | F8:= sheet1!$D$13\*sheet2!D8 | G8:=G7 |  |

**Таблица №4: Зависимость решения задачи от Погрешности и Начального значения цены.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Прибыль-МаксПрибыли** | **Оптимальная Цена** | **Оптимальный Спрос** | **Оптимальная Прибыль** | **Оптимальный Кредит** | **Оптимальный Кредит- Ограничение** | **Допустимая Погрешность** | **Начальная цена** | **ПрибыльN -ПрибыльN-1** |
| 1 | -28247,3501 | 1167440 | 22,02323935 | 25607521,55 | 103288,9925 | -71,0074651 | 250 | 4690 |  |
| 2 | -2824,920718 | 1167315,0000000 | 22,03775128 | 25621640,58 | 103357,0535 | -2,94651753 | 25 | 4690 | 14119,02667 |
| 3 | -282,4827742 | 1167310,0000000 | 22,03833198 | 25622205,53 | 103359,777 | -0,22299534 | 2,5 | 4690 | 564,9543925 |
| 4 | -225,986517 | 1167309,5000000 | 22,03839006 | 25622262,03 | 103360,0494 | 0,049361467 | 0,3 | 4690 | 56,4962572 |
| 5 | -2,824815169 | 1167309,6000000 | 22,03837844 | 25622250,73 | 103359,9949 | -0,005109956 | 0,025 | 4690 | -11,29926229 |
| 6 | -0,282481518 | 1167309,5925000 | 22,03837931 | 25622251,58 | 103359,999 | -0,0010246 | 0,0025 | 4690 | 0,847444508 |
| 7 | -0,028248146 | 1167309,5907500 | 22,03837952 | 25622251,77 | 103359,9999 | -7,13518E-05 | 0,00025 | 4690 | 0,197736703 |
| 8 | -0,002825107 | 1167309,5906250 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -3,2625E-06 | 0,000025 | 4690 | 0,014124066 |
| 9 | -0,000282437 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -5,37795E-07 | 0,0000025 | 4690 | 0,000565227 |
| 10 | -2,83532E-05 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,29454E-07 | 0,00000025 | 4690 | 8,47057E-05 |
| 11 | -2,72691E-06 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -6,0827E-09 | 0,000000025 | 4690 | 2,56263E-05 |
| 12 | -3,05474E-07 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,89175E-10 | 2,5E-09 | 4690 | 1,18837E-06 |
| 13 | -3,53903E-07 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,89175E-10 | 2,5E-10 | 4690 | 0 |

На основании этой таблицы исследованы и построены погрешности следующих типов:

2.1. Зависимость оптимальной цены товара от допустимой погрешности.

На графике Рис.2.1 видно, что при значениях погрешности от 2,50E+02 до 2,50E+01 оптимальная цена резко уменьшается. Так, при погрешности 2,50Е+00 оптимальная цена принимает стабильное значение. Далее при изменении погрешности значение оптимальной цены изменяется несущественно.

2.2.Зависимость оптимальной цены от начальной точки поиска (от начальной аппроксимации):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **N** | **Нач. цена** | **Опт. цена** |
| 1 | 4690 | 1167309,591 |
| 2 | 2345 | 1167309,591 |
| Различие между оптимальными ценами | | 0 |

Для определения зависимости оптимальной цены от начальной аппроксимации строятся две таблицы с различной начальной точкой поиска (начальной аппроксимацией). Из этих таблиц берутся значения оптимальных цен. Разница этих значений равна нулю. Следовательно, значение оптимальной цены не зависит от начальной аппроксимации. Поэтому при использовании методов оптимизации мы можем использовать любое удобное для этого метода оптимизации значение начальной точки.

2.3.Зависимость оптимального спроса от допустимой погрешности:

На графике Рис.2.2 видно, что при уменьшении погрешности от 2,50Е+02 до 2,50E+01 спрос резко возрастает. Так, при погрешности 1E+6 спрос равен 22,03775128, и далее, при уменьшении погрешности, изменяется незначительно.

2.4.Зависимость оптимальной прибыли от допустимой

погрешности:

На графике Рис.2.3 видно, что при уменьшении погрешности от 2,50E+02 до 2,50E+00 прибыль резко возрастает, на данном интервале зависимость экспоненциальная, далее линейная. Рост прибыли зависит от точности вычисления, т.е. от уменьшения погрешности. При погрешности 2,50E+02, оптимальная прибыль равна 25607521,55. При погрешности 2,50E+01 оптимальная прибыль = 25621640,58

При погрешности равной 2,50E+00 оптимальная прибыль равна 25622205,53 и далее, при уменьшении погрешности, изменяется несущественно

2.5. Зависимость оптимального кредита от допустимой погрешности:

На графике 2.4 видно, что кредит резко увеличивается при уменьшении погрешности от 2,50E+02 до 2,50E+00 Так, при погрешности 2,50E+00 значение Оптимального кредита равно 103359,777 , и далее, при уменьшении погрешности, изменяется незначительно.

**2.6.** **Зависимость минимальной величины кредита от ограничения**

Из таблицы 4 видно, что значение величины «оптимальный кредит - ограничение» имеет отрицательный знак. Это число

есть остаток от кредита, который мы используем. В лучшем случае это значение должно быть равным нулю. В моем случае

кредит не должен превышать значения 103360. Малейшее превышение этого значения, превысит ограничение, наложенное

на задачу. Если это произойдет, то в графе «оптимальный кредит - ограничение» значение станет больше нуля. А это

означает, что условия задачи не выполняются.

## 3. Примените теорему 1 («о функции возрастающей или убывающей») к целевой функции, которая представляет зависимость прибыли от цены товара.

Основной задачей является максимизировать прибыль.

**Теорема №1 «Критерии возрастания или убывания функции»:**

Предположим, что функция f(x) является непрерывной на интервале *I = [a; b]* и является дифференцируемой на этом интервале.

1) Если  то функция f(x) называется возрастающей на этом интервале.

2) Если  то функция f(x) называется убывающей на этом интервале.

где , , , 

где *А, В, D*– параметры, *x* – искомая переменная, *С* – себестоимость, *Огр* – ограничение.

Проведем исследование целевой функции в интервале цен от 4690 (себестоимость товара) до 1,748619E+06

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| x | f(x) | f`(x) |
| 4690 | 3,22324E+39 | -8,45576E+36 |
| 1,015750E+05 | 1,18969E+23 | -1,44105E+19 |
| 1,984599E+05 | 3,13669E+19 | -1,94464E+15 |
| 2,953449E+05 | 2,35507E+17 | -9,81296E+12 |
| 3,922299E+05 | 7,16454E+15 | -2,25014E+11 |
| 4,891148E+05 | 4,70513E+14 | -11892060090 |
| 5,859998E+05 | 4,99367E+13 | -1063801492 |
| 6,828848E+05 | 7,25697E+12 | -135766204 |
| 7,797697E+05 | 1,28449E+12 | -22115664,93 |
| 8,766547E+05 | 2,48336E+11 | -4208217,296 |
| 9,735397E+05 | 45100351371 | -847387,8104 |
| 1,070425E+06 | 5296132119 | -147332,9961 |
| 1,167310E+06 | 2,66417E-15 | 5,62315E-08 |
| 1,264195E+06 | 1605678221 | 24681,77355 |
| 1,361080E+06 | 3991324058 | 22948,29102 |
| 1,457964E+06 | 5934757083 | 17112,59747 |
| 1,554849E+06 | 7334380226 | 12007,83938 |
| 1,651734E+06 | 8307156938 | 8293,946286 |
| 1,748619E+06 | 8978870785 | 5735,913103 |

**Таблица №6. Первая производная целевой функции.**

**Условие №1** выполняется, первая производная *f’(x)<0* на интервале (4690; 1,167310E+06)  функция *f(x)* убывает на этом интервале.

**Условие №2** выполняется, первая производная *f’(x)>0* на интервале (1,167310E+06; 1,748619E+06)  функция *f(x)* возрастает на этом интервале.

**Вывод:** Первая производная *f’(x)<0 x*(4690; 1,167310E+06) и *f’(x)>0 x* (1,167310E+06; 1,748619E+06) а это значит, что *f(х\*)* является локальным минимумом целевой функции, где *х\** решение задачи оптимизации. В данной задаче *х\** равно 1,167310E+06.

## 4. Примените теорему 3 («тест по первой производной») и найдите точное решение (solution) задачи оптимизации №2.

**Теорема №3 «Тест по первой производной»:**

Пусть, что функция *f(x)* является непрерывной на отрезке *I = [a, b]*. Кроме того, предположим, что производная этой функции  определена для всех значений *x*, принадлежащих открытому интервалу , исключая, возможно точку *x* = *x*\*. Тогда утверждаем, что:

**Утверждение №1:** если  на  и  на , то  является точкой локального минимума;

**Утверждение №2:** если  на  и  на , то  является точкой локального максимума.

В данной задаче функция непрерывна на интервале [1430; 5,712115E+10] (см. график 2.1). Для этой функции  на открытом интервале (1430; 4,368088E+10) и  на открытом интервале (4,368088E+10; 5,712115E+10),  *f* (*x\**) является **локальным минимумом** этой целевой функции, при значении **х\*=**4,368088E+10 (при данном значении цены прибыль максимальна).

## 5. Что называется оптимальным решением (solution) задачи оптимизации №2?

Решением задачи оптимизации №2 является значение величины х\* (оптимальной цены), которое обеспечивает выполнение условия *f(x\*) <= f(x)*. Прибыль при данной оптимальной цене будет максимальной, так как кредит будет минимальным, исходя из формулы Прибыль=Спрос\*Цена - *f(x)* то есть прибыль имеет нелинейную зависимость с целевой функцией. Решение: Оптимальная цена, при которой будет достигаться максимальная прибыль, имеет значение **х\*=** 1,167310E+06.

## 6. Дайте классификацию постановки задачи оптимизации №2 по количеству искомых переменных.

Любая задача оптимизации делится на два класса:

* одномерные задачи оптимизации, если *n=1*;
* многомерные задачи оптимизации, если *n>1*;

где *n* – это количество искомых переменных.

Задача оптимизации №2 – одномерная, так как искомая переменная здесь только одна, это значение переменной *х\**.

## 7. Дайте классификацию описания задачи оптимизации №2 по типу целевой функции.

По типу целевой функции любая задача оптимизации делится на два класса:

* линейные задачи оптимизации, если целевая функция имеет вид *f(x)=a\*x+b*.
* нелинейные задачи оптимизации, если целевая функция не может быть представлена в виде *f(x)=a\*x+b*.

Задача оптимизации №2 относится к классу нелинейных задач, так как целевая функция в этой задаче имеет вид: Кредит=((спрос\*себестоимость)-ограничение)^2, где Спрос=A/(Цена+Цена\*B)^(2\*D). То есть целевая функция не может быть представлена в виде *f(x)=a\*x+b*. График целевой функции так же не представляет собой прямых линий (см. график 2.5.).

## 8. Дайте классификацию описания задачи оптимизации №2 по наличию или отсутствию ограничений.

По наличию ограничений задачи оптимизации делятся:

* задачи с ограничениями;
* задачи без ограничений;

Если задача оптимизации типа  и , а ограничивающее множество **Х** совпадает с **Rn**, то есть **Х=Rn**, то такая задача называется задачей без ограничений. То есть в качестве решения задачи оптимизации может рассматриваться любое вещественное число. Если же условие **Х=Rn** не выполняется, то задача называется задачей с ограничениями.

Задача оптимизации №2 относится к классу задач с ограничениями, так как искомая величина *х\** (цена) не может принимать любые значения.

## 9. Дайте классификацию типам экстремумов целевой функции задачи оптимизации №2.

Если точка **х**\* удовлетворяет неравенству ****, то такая точка **х**\* называется глобальным максимумом.

Если точка **х**\* удовлетворяет неравенству **** , то такая точка **х**\* называется глобальным минимумом.

Если точка **х\*** удовлетворяет неравенству , то такая точка называется точкой локального максимума.

Если точка **х\*** удовлетворяет неравенству , то такая точка называется точкой локального минимума.

Если точка **х\*** удовлетворяет строгому неравенству , то эта точка называется точкой строгого максимума.

Если точка **х\*** удовлетворяет неравенству , то эта точка называется точкой слабого максимума.

Если точка **х\*** удовлетворяет строгому неравенству , то эта точка называется точкой строгого минимума.

Если точка **х\*** удовлетворяет неравенству , то эта точка называется точкой слабого минимума.

Возьмем несколько точек слева и справа от найденного оптимального значения и проверим, удовлетворяет ли найденное оптимальное значение **х\*** неравенству **:**

*f(4690)* = 3,22E+39

*f(*8,77E+05*)* = 2,48E+11

*f(*1,17E+06*)* = 4,97E-02

*f(*1,36E+06*)* = 3,99E+09

*f(*1,65E+06) = 8,31E+09

Таким образом:

*f(*1,17E+06*) =* 4,97E-02*< f(4690) =* 3,22E+39 **

*f(*1,17E+06*) =* 4,97E-02 *< f(*8,77E+05*) =* 2,48E+11 **

*f(*1,17E+06*) =* 4,97E-02 *< f(1,17E+06) =* 3,99E+09 **

*f(*1,17E+06*) =* 4,97E-02 *< f(*1,65E+06*) =*  8,31E+09**

Точка **х\*=** 1,17E+06удовлетворяет неравенству ****, и ограничивающее множество **Х** совпадает с *R1*, следовательно, целевая функция задачи оптимизации №2 имеет *строгий глобальный минимум*.

## 10. Определите величину допустимой погрешности, с которой должна быть решена задача оптимизации №1. Обоснуйте ваш выбор. Мотивируйте ваш выбор, используя таблицу, содержащую данные о зависимости между величиной оптимальной прибыли и погрешностью.

Задача оптимизации №2 должна быть решена с погрешностью 2,5E-09. Как видно из таблицы №4, содержащей данные о зависимости между оптимальной прибылью и допустимой погрешностью, погрешность 2,5E-09 имеет максимальную прибыль. Это значит, что при погрешности =

2,5E-09, оптимальная прибыль принимает максимальное значение и далее, при уменьшении погрешности, прибыль остается постоянной.

## Глава №3: Описание лабораторной работы №3

## 1. Постановка задачи оптимизации без ограничений в виде задачи №1: «Найти максимум прибыли от цены товара без учета ограничений на величину кредита с использованием метода равномерного поиска».

Лабораторная работа №3

Задача №1: Найти максимум прибыли путем варьирования ценой рынка без учета ограничения на величину кредита.

**Таблица №1: Параметры модели рынка:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | Parametr\_A | Parametr\_B | Cost | Parametr\_D | Tolerance | Limit of Credit Value | X\*1 | X\*2 | alfa |
| 20 | 8,90E+41 | 2,416 | 4690 | 3,0759 | 0,00001 | 1,033600E+05 | 5600,361427 | 1,167310E+06 | 5E+38 |

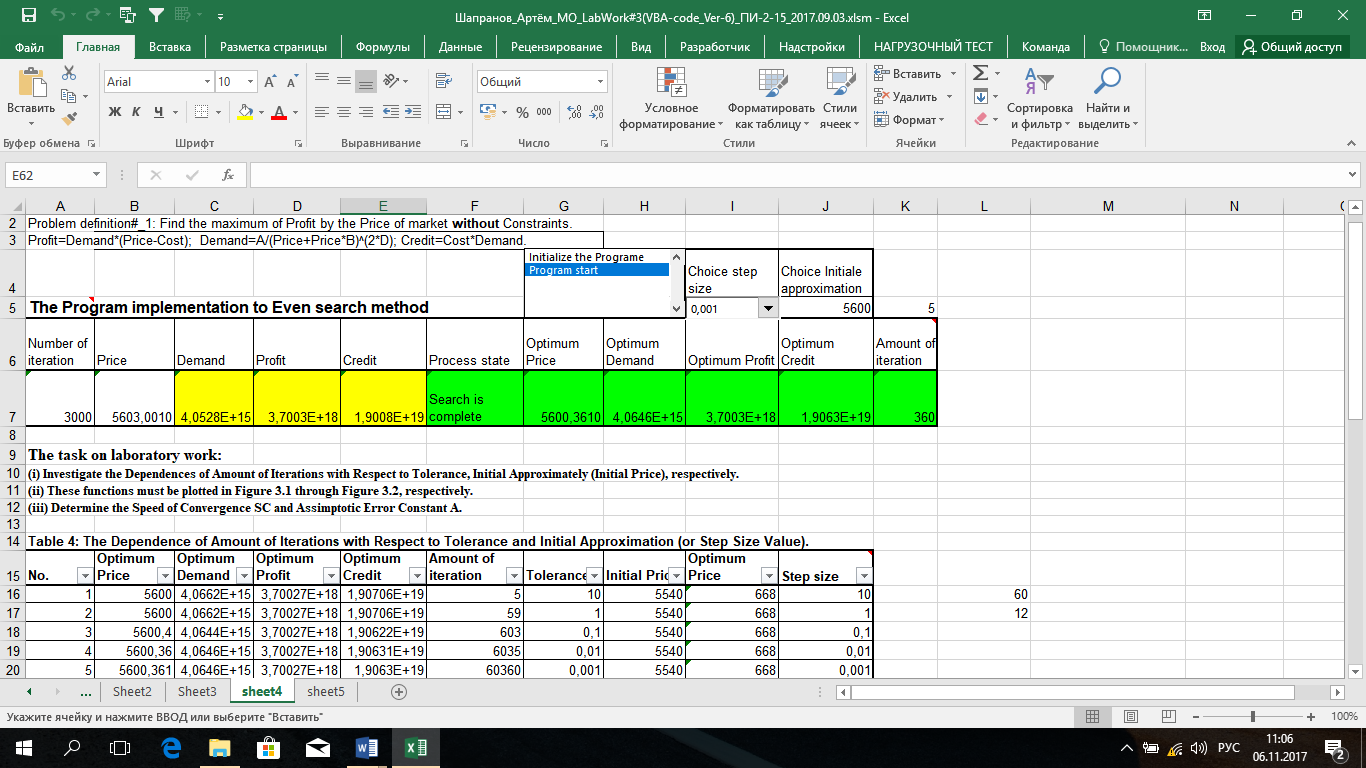
**Модель рынка:**

Прибыль=Спрос\*(Цена-Себестоимость);

Спрос=A/(Цена+Цена\*B)^(2\*D);

Кредит=Себестоимость\*Спрос;

**Таблица №2: Таблица Microsoft Excel:**



**Таблица №3: Программная реализация задачи (формулы в ячейках):**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **A** | **B** | **C** | **D** | **E** | **F** | **G** | **H** | **I**  **I** | **J** | **K** |
| **6** | Номер итерации | Цена | Спрос | Прибыль | Кредит | Состояние  процесса  поиска | Оптимальная  Цена | Оптимальный  Спрос | Оптимальная  Прибыль | Оптимальный кредит | Количество итерации. |
| **7** | =ЕСЛИ(H5=1;0;A7+1) | =ЕСЛИ(A7=0;J5+ИНДЕКС(J12:J22;I5);B7+ИНДЕКС(J12:J22;I5)) | =sheet1!B13/(B7+B7\*sheet1!C13)^(2\*sheet1!E13) | =C7\*(B7-sheet1!D13) | =C7\*sheet1!D13 | =ЕСЛИ(A7=0;"Исходное состояние";ЕСЛИ($D$7>0;  ЕСЛИ($D$7<$I$7;"Решение найдено";"Продолжайте поиск, щелкая по кнопке <F9>");"Продолжайте поиск") ) | =ЕСЛИ($A$7=0;0;  ЕСЛИ($D$7>0;  ЕСЛИ($D$7<$I$7;G7;B7);B7)) | =ЕСЛИ($A$7=0;0;ЕСЛИ($D$7>0;ЕСЛИ($D$7<$I$7;H7;C7);C7)) | =ЕСЛИ($A$7=0;0;ЕСЛИ($D$7>0;ЕСЛИ($D$7<$I$7;I7;D7);D7)) | =ЕСЛИ($A$7=0;0;ЕСЛИ($D$7>0;ЕСЛИ($D$7<$I$7;J7;E7);E7)) | =ЕСЛИ($A$7=0;0;ЕСЛИ($D$7>0;ЕСЛИ($D$7<$I$7;K7;A7);A7)) |

**Таблица 4: Зависимость Количества итераций от Допустимой погрешности.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Optimum Price** | **Optimum Demand** | **Optimum Profit** | **Optimum Credit** | **Amount of iteration** | **Tolerance** | **Initial Price** | **Initial Price- Optimum Price** | **Step size** |
| 1 | 5600 | 4,0662E+15 | 3,70027E+18 | 1,90706E+19 | 5 | 10 | 5540 | 668 | 10 |
| 2 | 5600 | 4,0662E+15 | 3,70027E+18 | 1,90706E+19 | 59 | 1 | 5540 | 668 | 1 |
| 3 | 5600,4 | 4,0644E+15 | 3,70027E+18 | 1,90622E+19 | 603 | 0,1 | 5540 | 668 | 0,1 |
| 4 | 5600,36 | 4,0646E+15 | 3,70027E+18 | 1,90631E+19 | 6035 | 0,01 | 5540 | 668 | 0,01 |
| 5 | 5600,361 | 4,0646E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 60360 | 0,001 | 5540 | 668 | 0,001 |
| 6 | 5602 | 4,0573E+15 | 3,70026E+18 | 1,90288E+19 | 4 | 10 | 5552 | 680 | 10 |
| 7 | 5600 | 4,0662E+15 | 3,70027E+18 | 1,90706E+19 | 47 | 1 | 5552 | 680 | 1 |
| 8 | 5600,4 | 4,0644E+15 | 3,70027E+18 | 1,90622E+19 | 483 | 0,1 | 5552 | 680 | 0,1 |
| 9 | 5600,36 | 4,0646E+15 | 3,70027E+18 | 1,90631E+19 | 4835 | 0,01 | 5552 | 680 | 0,01 |
| 10 | 5600,361 | 4,0646E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 48360 | 0,001 | 5552 | 680 | 0,001 |
| 11 | 5604 | 4,0484E+15 | 3,70024E+18 | 1,8987E+19 | 3 | 10 | 5564 | 692 | 10 |
| 12 | 5600 | 4,0662E+15 | 3,70027E+18 | 1,90706E+19 | 35 | 1 | 5564 | 692 | 1 |
| 13 | 5600,4 | 4,0644E+15 | 3,70027E+18 | 1,90622E+19 | 363 | 0,1 | 5564 | 692 | 0,1 |
| 14 | 5600,36 | 4,0646E+15 | 3,70027E+18 | 1,90631E+19 | 3635 | 0,01 | 5564 | 692 | 0,01 |
| 15 | 5600,361 | 4,0646E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 36360 | 0,001 | 5564 | 692 | 0,001 |
| 16 | 5596 | 4,0841E+15 | 3,70023E+18 | 1,91546E+19 | 1 | 10 | 5576 | 704 | 10 |
| 17 | 5600 | 4,0662E+15 | 3,70027E+18 | 1,90706E+19 | 23 | 1 | 5576 | 704 | 1 |
| 18 | 5600,4 | 4,0644E+15 | 3,70027E+18 | 1,90622E+19 | 243 | 0,1 | 5576 | 704 | 0,1 |
| 19 | 5600,36 | 4,0646E+15 | 3,70027E+18 | 1,90631E+19 | 2435 | 0,01 | 5576 | 704 | 0,01 |
| 20 | 5600,361 | 4,0646E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 24360 | 0,001 | 5576 | 704 | 0,001 |
| 21 | 5620 | 3,978E+15 | 3,69956E+18 | 1,86569E+19 | 1 | 10 | 5600 | 728 | 10 |
| 22 | 5602 | 4,0573E+15 | 3,70026E+18 | 1,90288E+19 | 1 | 1 | 5600 | 728 | 1 |
| 23 | 5600,4 | 4,0644E+15 | 3,70027E+18 | 1,90622E+19 | 3 | 0,1 | 5600 | 728 | 0,1 |
| 24 | 5600,36 | 4,0646E+15 | 3,70027E+18 | 1,90631E+19 | 35 | 0,01 | 5600 | 728 | 0,01 |
| 25 | 5600,361 | 4,0646E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 360 | 0,001 | 5600 | 728 | 0,001 |

**На основании этой таблицы построена следующая зависимость:**

**2.1.Зависимость количества итераций**

График Рис.3.1 показывает, что чем меньше погрешность, тем больше количество итераций, это увеличивает время нахождения точного решения определенной оптимизационной задачи.

Зависимость количества итераций от допустимой погрешности на интервале 10 до 1 почти линейная; на интервале 0.1 до 0.01 резко возрастает (количество итераций на этом интервале возрастает почти в 10 раз) и зависимость количества итераций от допустимой погрешности имеет характер экспоненциальной зависимости.

**Таблица 5 Зависимость Количества итераций от Размера области поиска.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Optimum Price** | **Optimum Demand** | **Optimum Profit** | **Optimum Credit** | **Amount of iteration** | **Tolerance** | **Initial Price** | **Initial Price- Optimum Price** | **Step size** |
| 1 | 5600 | 4,07E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 5 | 10 | 5540 | 668 | 10 |
| 2 | 5602 | 4,06E+15 | 3,7E+18 | 1,9E+19 | 4 | 10 | 5552 | 680 | 10 |
| 3 | 5604 | 4,05E+15 | 3,7E+18 | 1,9E+19 | 3 | 10 | 5564 | 692 | 10 |
| 4 | 5596 | 4,08E+15 | 3,7E+18 | 1,92E+19 | 1 | 10 | 5576 | 704 | 10 |
| 5 | 5620 | 3,98E+15 | 3,7E+18 | 1,87E+19 | 1 | 10 | 5600 | 728 | 10 |
| 6 | 5600 | 4,07E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 59 | 1 | 5540 | 668 | 1 |
| 7 | 5600 | 4,07E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 47 | 1 | 5552 | 680 | 1 |
| 8 | 5600 | 4,07E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 35 | 1 | 5564 | 692 | 1 |
| 9 | 5600 | 4,07E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 23 | 1 | 5576 | 704 | 1 |
| 10 | 5602 | 4,06E+15 | 3,7E+18 | 1,9E+19 | 1 | 1 | 5600 | 728 | 1 |
| 11 | 5600,4 | 4,06E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 603 | 0,1 | 5540 | 668 | 0,1 |
| 12 | 5600,4 | 4,06E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 483 | 0,1 | 5552 | 680 | 0,1 |
| 13 | 5600,4 | 4,06E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 363 | 0,1 | 5564 | 692 | 0,1 |
| 14 | 5600,4 | 4,06E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 243 | 0,1 | 5576 | 704 | 0,1 |
| 15 | 5600,4 | 4,06E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 3 | 0,1 | 5600 | 728 | 0,1 |
| 16 | 5600,36 | 4,06E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 6035 | 0,01 | 5540 | 668 | 0,01 |
| 17 | 5600,36 | 4,06E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 4835 | 0,01 | 5552 | 680 | 0,01 |
| 18 | 5600,36 | 4,06E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 3635 | 0,01 | 5564 | 692 | 0,01 |
| 19 | 5600,36 | 4,06E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 2435 | 0,01 | 5576 | 704 | 0,01 |
| 20 | 5600,36 | 4,06E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 35 | 0,01 | 5600 | 728 | 0,01 |
| 21 | 5600,361 | 4,06E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 60360 | 0,001 | 5540 | 668 | 0,001 |
| 22 | 5600,361 | 4,06E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 48360 | 0,001 | 5552 | 680 | 0,001 |
| 23 | 5600,361 | 4,06E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 36360 | 0,001 | 5564 | 692 | 0,001 |
| 24 | 5600,361 | 4,06E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 24360 | 0,001 | 5576 | 704 | 0,001 |
| 25 | 5600,361 | 4,06E+15 | 3,7E+18 | 1,91E+19 | 360 | 0,001 | 5600 | 728 | 0,001 |

На основании этой таблицы построена следующая зависимость:

На графике 3.2 построены 4 графика зависимости при разных значениях допустимой погрешности (ДП). Данный график показывает, что чем обширнее область поиска, т.е. чем дальше величина начальной аппроксимации от оптимального значения, тем больше количество итераций, что значительно увеличивает время нахождения оптимального решения. Здесь видно, что зависимость линейная. Следовательно, этот метод имеет глобальный тип сходимости: метод находит решение задачи оптимизации для любой начальной точки.

## 3. Дайте ответы на следующие вопросы:

## 3.1. Какими соотношениями полностью определяется алгоритм равномерного поиска?

Предположим, что задана задача минимизации целевой функции типа: 

Тогда алгоритм равномерного поиска для решения задачи минимизации полностью определяется соотношением:

If  /\* Для задачи минимизации \*/

Then 

Else 



Вычислительное описание.

|  |
| --- |
| **INPUT** {X0; Epsilon; MaxOfIterations; f(X);}  **Body of algorithm**  H: = Epsilon;  YF0: = f (X0);  X1: = X0 + H;  YF1: = f(X1);  K:=0;  |WHILE K < MaxOfIterations DO  | K: = K+1;  | |IF YF1 >= YF0 /\* Even Search Method to find a ***minimum* \*/**  | | |THEN DO X1: = X0; YF1: = YF0; END;  | | |ELSE |DO  | | | X0: = X1;  | | | YF0: = YF1;  | | | X1: = X0 + H;  | | | YF1: = f(X1);  | | |END;  | |endIF;  |endWHILE;  **OUTPUT**  PRINT ‘The optimum solution x\* equal’ X1  PRINT ‘The optimum solution was found with the desired tolerance’ Epsilon  PRINT ‘The minimum of objective function f(x\*) is’ YF1  PRINT ‘The accuracy is ±‘ Epsilon |
| X0 – Initial approximation;  H –Step-size of search;  Epsilon – Tolerance;  MaxOfIterations – Limiting number of iterations. |

Блок-схема



Для максимизации

Математическое описание

If  /\* Для задачи максимизации \*/

Then 

Else 



Вычислительное описание.

|  |
| --- |
| **INPUT** {X0; Epsilon; MaxOfIterations; f(X);}  **Body of algorithm**  H: = Epsilon;  YF0: = f (X0);  X1: = X0 + H;  YF1: = f(X1);  K:=0;  |WHILE K < MaxOfIterations DO  | K: = K+1;  | |IF YF1 >= YF0 /\* Even Search Method to find a ***minimum* \*/**  | | |THEN DO X1: = X0; YF1: = YF0; END;  | | |ELSE |DO  | | | X0: = X1;  | | | YF0: = YF1;  | | | X1: = X0 + H;  | | | YF1: = f(X1);  | | |END;  | |endIF;  |endWHILE;  **OUTPUT**  PRINT ‘The optimum solution x\* equal’ X1  PRINT ‘The optimum solution was found with the desired tolerance’ Epsilon  PRINT ‘The minimum of objective function f(x\*) is’ YF1  PRINT ‘The accuracy is ±‘ Epsilon |
| X0 – Initial approximation;  H –Step-size of search;  Epsilon – Tolerance;  MaxOfIterations – Limiting number of iterations. |

Блок схема



## 3.2. Какие параметры должны быть заданы, чтобы начать вычисления по алгоритму равномерного поиска?

Должны быть заданы параметры **ε** - погрешность, **h** – начальный шаг поиска и **х0** – начальная аппроксимация цены

## 3.3. Какому типу неравенства должно удовлетворять значение начальной аппроксимации х0 и какому неравенству должна удовлетворять величина шага поиска h в алгоритме равномерного поиска?

Алгоритм равномерного поиска работает, если **х0** задано слева от оптимальной точки, т.е. выполняется условие:  и шаг поиска **h** должен быть ≤, т.е.: 

## 3.4. Какой вид итерационного процесса будет генерировать метод равномерного поиска?

Метод равномерного поиска генерирует стационарный, одношаговый итерационный процесс, так как имеет постоянный размер шага h, который не зависит от номера итераций.  потому что использует одно значение предыдущей точки поиска для вычисления следующей.

## 3.5. Можно ли применить алгоритм равномерного поиска в случае, когда целевая функция не является дифференцируемой?

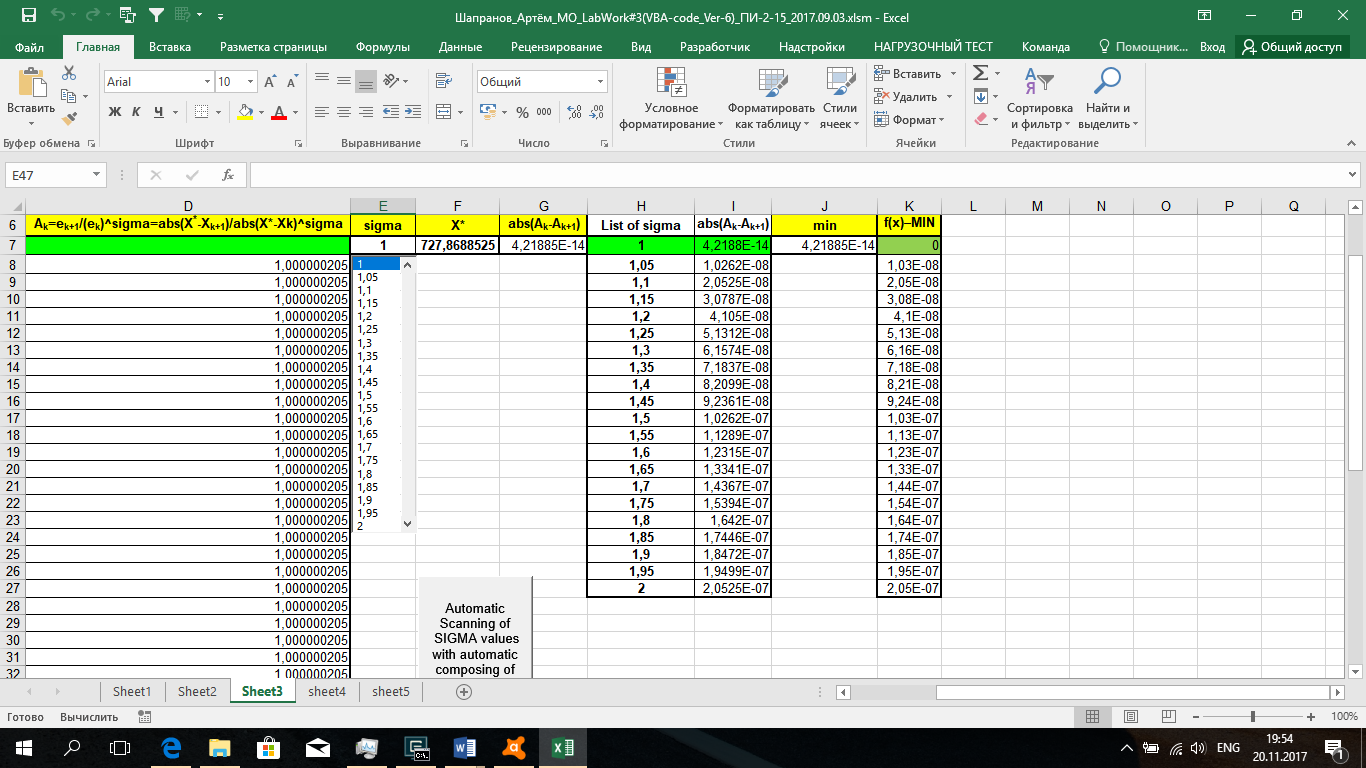
Если целевая функция не дифференцируема, то метод равномерного поиска можно использовать, так как этот метод относится к методам, не использующим производные от целевой функции.

## 3.6. Можно ли применить алгоритм равномерного поиска в случае, когда целевая функция не является унимодальной функцией?

Если целевая функция не является унимодальной, то алгоритм равномерного поиска применить нельзя, потому что целевая функция будет иметь не один, а несколько локальных экстремумов. Алгоритм остановится после нахождения произвольного первого экстремума, который может быть не самым лучшим.

## 4. Определите порядок сходимости sigma и постоянную асимптотической ошибки А алгоритма равномерного поиска.

**Таблица №5: Порядок сходимости σ и константа асимптотической ошибки А метода равномерного поиска.**



**Вывод:** Метод равномерного поиска имеет линейную скорость сходимости потому что последоваетльность {abs(X\*–Xk+1)/abs(X\*–Xk)^sigma} сходится к ПРЕДЕЛЬНОМУ ЗНАЧЕНИЮ ПОСТОЯННОЙ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ ОШИБКИ A = 0,996888874398898 только при SIGMA =1 **Таблица №6: Формулы в ячейках:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **X**k=Price(k) | **Error: ek=abs(X\*-Xk)** | **Ak=ek+1/(ek)^sigma=abs(X\*-Xk+1)/abs(X\*-Xk)^sigma** | **sigma** | **X\*** | **abs(Ak-Ak+1)** | **List of sigma** | **abs(Ak-Ak+1)** | **min** | **f(x)–MIN** |
| =ЕСЛИ(A7=sheet4!$A$7;sheet4!$B$7;B7) | =ABS($F$7-B7) |  | **=ИНДЕКС(H7:H27;E8)** | **=Sheet1!I24** | =ABS((D46-D45)/D46) | **1** | =ЕСЛИ(H7=$E$7;$G$7;I7) | =МИН(I7:I27) | =I7-$J$7 |
| =ЕСЛИ(A8=sheet4!$A$7;sheet4!$B$7;B8) | =ABS($F$7-B8) | =C8/C7^$E$7 | 1 |  |  | **1,05** | =ЕСЛИ(H8=$E$7;$G$7;I8) |  | =I8-$J$7 |

## 5. Перечислите преимущества и недостатки алгоритма равномерного поиска.

Преимущества метода равномерного поиска:

* Рассмотренный метод имеет простой алгоритм вычисления, т.к. шаг поиска *h* не меняется на каждой итерации. И данный алгоритм использует лишь два простых действия (сравнение и суммирование).

Недостатки метода равномерного поиска:

* Данный метод проводит очень много вычислений.
* Данный метод работает только при значениях погрешностей не менее 0,01, поэтому, если в задаче требуется более точное решение, то этот метод не годится.

## Глава №4: Описание лабораторной работы №4

## 1. Постановка задачи оптимизации с учетом ограничений в виде задачи №2: «Найти максимум прибыли от цены товара с учетом ограничений на величину кредита с использованием метода равномерного поиска».

Лабораторная работа №4

Задача №2: Найти максимум прибыли путем варьирования ценой рынка с учетом ограничения на величину кредита.

**Таблица №1: Параметры модели рынка:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | Parametr\_A | Parametr\_B | Cost | Parametr\_D | Tolerance | Limit of Credit Value | X\*1 | X\*2 | alfa |
| 20 | 8,90E+41 | 2,416 | 4690 | 3,0759 | 0,00001 | 1,033600E+05 | 5600,361427 | 1,167310E+06 | 5E+38 |

**Модель рынка:**

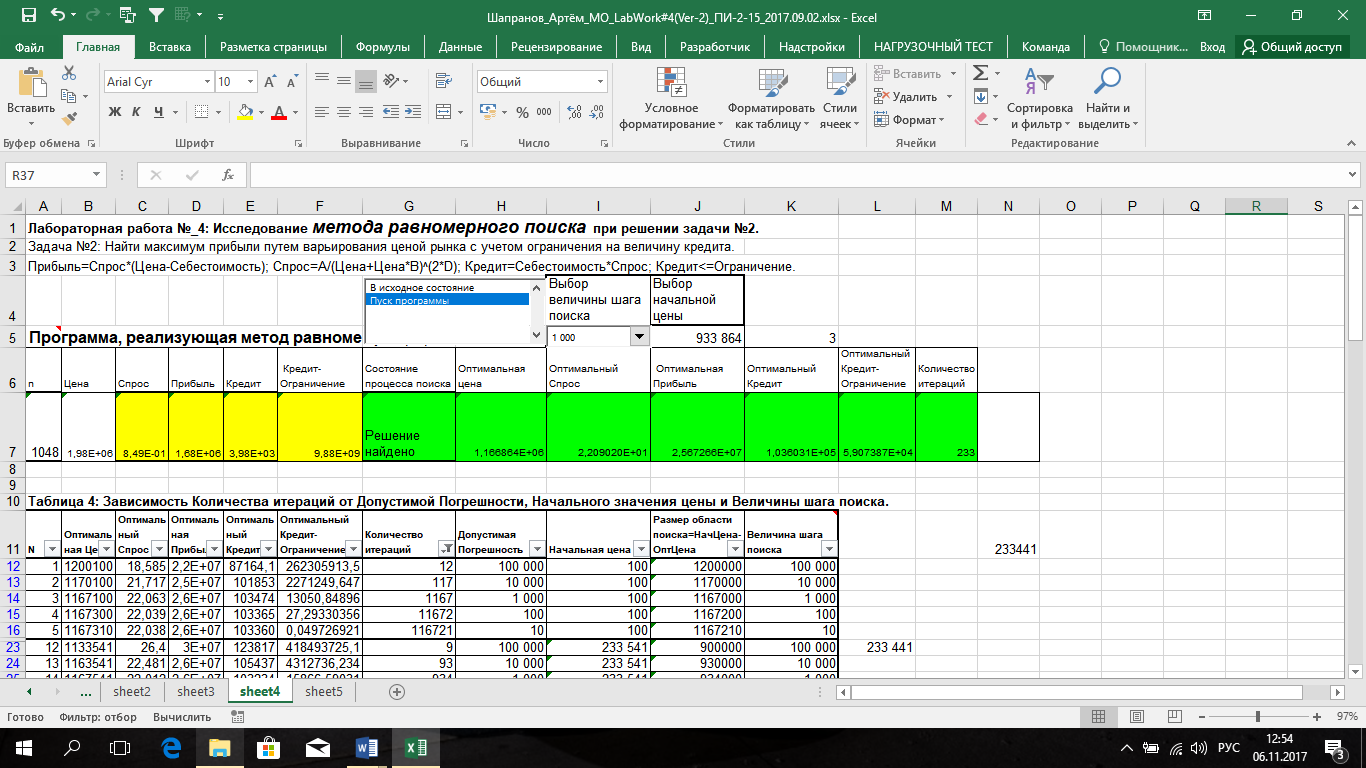
Прибыль=Спрос\*(Цена-Себестоимость);

Спрос=A/(Цена+Цена\*B)^(2\*D);

Кредит=Себестоимость\*Спрос;

Кредит ≤ Ограничения

**Таблица №2: Таблица Microsoft Excel:**



**Модель программы (формулы в ячейках):**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер итерации | Цена | Спрос | Прибыль | Кредит | Кредит- Ограничение | Состояние процесса поиска | Оптимальная цена | Оптимальный Спрос | Оптимальная Прибыль | Оптимальный Кредит | Оптимальный Кредит- Ограничение | Количество итераций |
| A7:=  ЕСЛИ(H5=1;0;A7+1) | B7:= ЕСЛИ(A7=0;J5;B7+ИНДЕКС(K12:K22;I5)) | C7:= sheet1!B13/(B7+B7\*sheet1!C13)^(2\*sheet1!E13) | D7:= C7\*(B7-sheet1!D13) | E7:= C7\*sheet1!D13 | F7:= (E7-sheet1!G13)\*(E7-sheet1!G13) | G7:=ЕСЛИ(A7=0;"Исходное состояние";  ЕСЛИ($F$7>$L$7;  "Решение найдено";"Продолжайте поиск, щелкая по кнопке <F9>")) | H7:=ЕСЛИ($A$7=0;B7;  ЕСЛИ($F$7>$L$7;  H7;B7)) | I:=ЕСЛИ($A$7=0;C7;  ЕСЛИ($F$7>$L$7;  I7;C7)) | J7:=ЕСЛИ($A$7=0;D7;  ЕСЛИ($F$7>$L$7;  J7;D7)) | K7:=ЕСЛИ($A$7=0;E7;  ЕСЛИ($F$7>$L$7;  K7;E7)) | L7:=ЕСЛИ($A$7=0;F7;  ЕСЛИ($F$7>$L$7;  L7;F7)) | M7:=ЕСЛИ($A$7=0;0;  ЕСЛИ($F$7>$L$7;  M7;A7)) |

**Таблица №3: Зависимость Количества итераций от Допустимой погрешности.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Оптимальная Цена** | **Оптимальный Спрос** | **Оптимальная Прибыль** | **Оптимальный Кредит** | **Оптимальный Кредит- Ограничение** | **Колличество итераций** | **Допустимая Погрешность** | **Начальная цена** | **Область поиска: НачЦена-ОптЦена** | **Величина шага поиска** |
| 1 | 1200100 | 18,58510426 | 22216819,49 | 87164,139 | 262305913,5 | 12 | 100000 | 100 | 1200000 | 100000 |
| 2 | 1170100 | 21,71704338 | 25309259,52 | 101852,9334 | 2271249,647 | 117 | 10000 | 100 | 1170000 | 10000 |
| 3 | 1167100 | 22,06273781 | 25645947,05 | 103474,2403 | 13050,84896 | 1167 | 1000 | 100 | 1167000 | 1000 |
| 4 | 1167300 | 22,03949345 | 25623335,48 | 103365,2243 | 27,29330356 | 11672 | 100 | 100 | 1167200 | 100 |
| 5 | 1133541 | 26,40023863 | 29801935,78 | 123817,1192 | 418493725,1 | 9 | 100000 | 233541 | 900000 | 100000 |
| 6 | 1163541 | 22,48117545 | 26052332,65 | 105436,7128 | 4312736,234 | 93 | 10000 | 233541 | 930000 | 10000 |
| 7 | 1167541 | 22,01152182 | 25596120,16 | 103234,0373 | 15866,59031 | 934 | 1000 | 233541 | 934000 | 1000 |
| 8 | 1167341 | 22,03473188 | 25618703,05 | 103342,8925 | 292,6661485 | 9338 | 100 | 233541 | 933800 | 100 |
| 9 | 1166982 | 22,07646534 | 25659299,06 | 103538,6225 | 31905,98128 | 7 | 100000 | 466982 | 700000 | 100000 |
| 10 | 1166982 | 22,07646534 | 25659299,06 | 103538,6225 | 31905,98128 | 70 | 10000 | 466982 | 700000 | 10000 |
| 11 | 1166982 | 22,07646534 | 25659299,06 | 103538,6225 | 31905,98128 | 701 | 1000 | 466982 | 700000 | 1000 |
| 12 | 1167282 | 22,04158428 | 25625369,55 | 103375,0303 | 225,9090413 | 7003 | 100 | 466982 | 700300 | 100 |
| 13 | 1200423 | 18,5543621 | 22186063,06 | 87019,95826 | 266996964,2 | 5 | 100000 | 700423 | 500000 | 100000 |
| 14 | 1170423 | 21,68020047 | 25273325,14 | 101680,1402 | 2821928,926 | 47 | 10000 | 700423 | 470000 | 10000 |
| 15 | 1167423 | 22,02521232 | 25609441,19 | 103298,2458 | 3813,585925 | 467 | 1000 | 700423 | 467000 | 1000 |
| 16 | 1167323 | 22,03682218 | 25620736,68 | 103352,696 | 53,3481165 | 4669 | 100 | 700423 | 466900 | 100 |
| 17 | 1133864 | 26,35400767 | 29758260,25 | 123600,296 | 409669580,5 | 2 | 100000 | 933864 | 200000 | 100000 |
| 18 | 1163864 | 22,44282141 | 26015135,07 | 105256,8324 | 3597973,239 | 23 | 10000 | 933864 | 230000 | 10000 |
| 19 | 1166864 | 22,09020281 | 25672659,36 | 103603,0512 | 59073,87227 | 233 | 1000 | 933864 | 233000 | 1000 |
| 20 | 1167264 | 22,04367534 | 25627403,81 | 103384,8373 | 616,8926551 | 2334 | 100 | 933864 | 233400 | 100 |

На основании этой таблицы построена следующая зависимость:

## 2.1. Зависимость количества итераций от допустимой погрешности:

График Рис.4.1 показывает, что чем меньше погрешность, тем больше количество итераций, это увеличивает время нахождения точного решения определенной оптимизационной задачи.

Зависимость количества итераций от допустимой погрешности на интервале от 1000 до 100 резко возрастает и зависимость количества итераций от допустимой погрешности имеет характер экспоненциальной зависимости. Этим методом данная задача не может быть решена с погрешностью меньше 100, потому что после данной погрешности количество итераций стремится к бесконечности.

**Таблица №4: Зависимость Количества итераций от Начальной цены.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Оптимальная Цена** | **Оптимальный Спрос** | **Оптимальная Прибыль** | **Оптимальный Кредит** | **Оптимальный Кредит- Ограничение** | **Колличество итераций** | **Допустимая Погрешность** | **Начальная цена** | **Область поиска: НачЦена-ОптЦена** | **Величина шага поиска** |
| 1 | 1200100 | 18,58510426 | 22216819,49 | 87164,139 | 262305913,5 | 12 | 100000 | 100 | 1200000 | 100000 |
| 2 | 1133541 | 26,40023863 | 29801935,78 | 123817,1192 | 418493725,1 | 9 | 100000 | 233541 | 900000 | 100000 |
| 3 | 1166982 | 22,07646534 | 25659299,06 | 103538,6225 | 31905,98128 | 7 | 100000 | 466982 | 700000 | 100000 |
| 4 | 1200423 | 18,5543621 | 22186063,06 | 87019,95826 | 266996964,2 | 5 | 100000 | 700423 | 500000 | 100000 |
| 5 | 1133864 | 26,35400767 | 29758260,25 | 123600,296 | 409669580,5 | 2 | 100000 | 933864 | 200000 | 100000 |
| 6 | 1170100 | 21,71704338 | 25309259,52 | 101852,9334 | 2271249,647 | 117 | 10000 | 100 | 1170000 | 10000 |
| 7 | 1163541 | 22,48117545 | 26052332,65 | 105436,7128 | 4312736,234 | 93 | 10000 | 233541 | 930000 | 10000 |
| 8 | 1166982 | 22,07646534 | 25659299,06 | 103538,6225 | 31905,98128 | 70 | 10000 | 466982 | 700000 | 10000 |
| 9 | 1170423 | 21,68020047 | 25273325,14 | 101680,1402 | 2821928,926 | 47 | 10000 | 700423 | 470000 | 10000 |
| 10 | 1163864 | 22,44282141 | 26015135,07 | 105256,8324 | 3597973,239 | 23 | 10000 | 933864 | 230000 | 10000 |
| 11 | 1167100 | 22,06273781 | 25645947,05 | 103474,2403 | 13050,84896 | 1167 | 1000 | 100 | 1167000 | 1000 |
| 12 | 1167541 | 22,01152182 | 25596120,16 | 103234,0373 | 15866,59031 | 934 | 1000 | 233541 | 934000 | 1000 |
| 13 | 1166982 | 22,07646534 | 25659299,06 | 103538,6225 | 31905,98128 | 701 | 1000 | 466982 | 700000 | 1000 |
| 14 | 1167423 | 22,02521232 | 25609441,19 | 103298,2458 | 3813,585925 | 467 | 1000 | 700423 | 467000 | 1000 |
| 15 | 1166864 | 22,09020281 | 25672659,36 | 103603,0512 | 59073,87227 | 233 | 1000 | 933864 | 233000 | 1000 |
| 16 | 1167300 | 22,03949345 | 25623335,48 | 103365,2243 | 27,29330356 | 11672 | 100 | 100 | 1167200 | 100 |
| 17 | 1167341 | 22,03473188 | 25618703,05 | 103342,8925 | 292,6661485 | 9338 | 100 | 233541 | 933800 | 100 |
| 18 | 1167282 | 22,04158428 | 25625369,55 | 103375,0303 | 225,9090413 | 7003 | 100 | 466982 | 700300 | 100 |
| 19 | 1167323 | 22,03682218 | 25620736,68 | 103352,696 | 53,3481165 | 4669 | 100 | 700423 | 466900 | 100 |
| 20 | 1167264 | 22,04367534 | 25627403,81 | 103384,8373 | 616,8926551 | 2334 | 100 | 933864 | 233400 | 100 |

На основе этой таблицы построена следующая зависимость:

## 2.2. Зависимость количества итераций от начальной цены:

График Рис.4.2 показывает, что чем обширнее область поиска, т.е. чем дальше величина начальной аппроксимации от оптимального значения, тем больше количество итераций, что значительно увеличивает время нахождения оптимального решения. Здесь видно, что зависимость линейная. Следовательно, этот метод имеет глобальный тип сходимости, метод находит решение задачи оптимизации для любой начальной точки.

## 3. Дайте ответы на следующие вопросы:

## 3.1. Какими соотношениями полностью определяется алгоритм равномерного поиска?

Предположим, что задана задача минимизации целевой функции типа: 

Тогда алгоритм равномерного поиска для решения задачи минимизации полностью определяется соотношением:

If  /\* Для задачи минимизации \*/

Then 

Else 



## 3.2. Какие параметры должны быть заданы, чтобы начать вычисления по алгоритму равномерного поиска?

Должны быть заданы параметры **ε** - погрешность, **h** – начальный шаг поиска и **х0** – начальная аппроксимация цены

## 3.3. Какому типу неравенства должно удовлетворять значение начальной аппроксимации х0 и какому неравенству должна удовлетворять величина шага поиска h в алгоритме равномерного поиска?

Алгоритм равномерного поиска работает, если **х0** задано слева от оптимальной точки, т.е. выполняется условие:  и шаг поиска **h** должен быть ≤, т.е.: 

## 3.4. Какой вид итерационного процесса будет генерировать метод равномерного поиска?

Метод равномерного поиска генерирует стационарный, одношаговый итерационный процесс, так как имеет постоянный размер шага h, который не зависит от номера итераций.  потому что использует одно значение предыдущей точки поиска для вычисления следующей.

## 3.5. Можно ли применить алгоритм равномерного поиска в случае, когда целевая функция не является дифференцируемой?

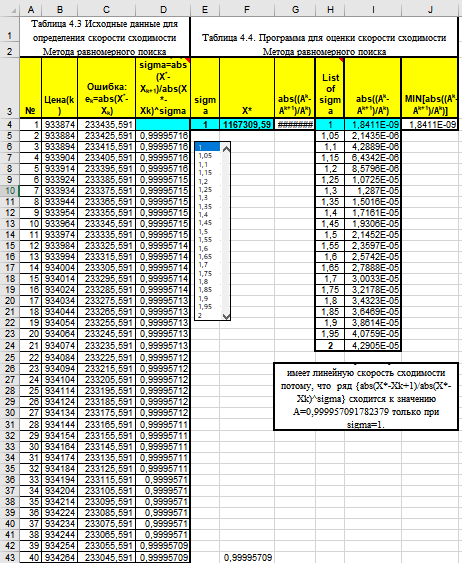
Если целевая функция не дифференцируема, то метод равномерного поиска можно использовать, так как этот метод относится к методам, не использующим производные от целевой функции.

## 3.6. Можно ли применить алгоритм равномерного поиска в случае, когда целевая функция не является унимодальной функцией?

Если целевая функция не является унимодальной, то алгоритм равномерного поиска применить нельзя, потому что целевая функция будет иметь не один, а несколько локальных экстремумов. Алгоритм остановится после нахождения произвольного первого экстремума, который может быть не самым лучшим.

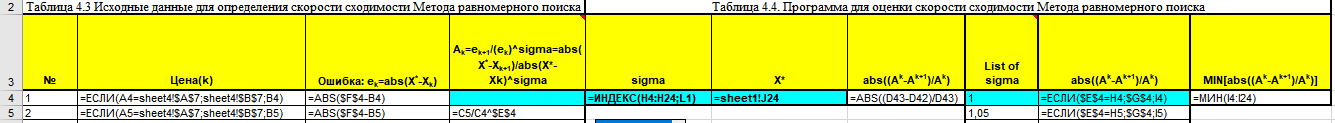
## 4. Определите порядок сходимости sigma и постоянную асимптотической ошибки А алгоритма равномерного поиска.

**Таблица №5: Порядок сходимости σ и константа асимптотической ошибки А метода равномерного поиска.**



**Вывод:** Метод равномерного поиска имеет линейную скорость сходимости потому, что ряд {abs(X\*-Xk+1)/abs(X\*-Xk)^sigma} сходится к значению А=0,999957091782379

**Таблица №6: Формулы в ячейках:**



## 5. Определите тип сходимости и величину скорости сходимости для последовательности, которую генерирует алгоритм равномерного поиска.

Последовательность, которую генерирует алгоритм равномерного поиска, имеет глобальный тип сходимости. Величина скорости сходимости **SС=0,999957091782379.**

## 6. Перечислите преимущества и недостатки алгоритма равномерного поиска.

Преимущества метода равномерного поиска:

* Рассмотренный метод имеет простой алгоритм вычисления, т.к. шаг поиска h не меняется на каждой итерации.

Недостатки метода равномерного поиска:

* Необходимо подобрать правильные  и . Начальная аппроксимация должна быть задана слева от оптимальной точки. Чем меньше величина , тем медленнее работает алгоритм. А при большом  мы получаем ответ с большой погрешностью.
* Данный метод работает только при значениях погрешностей не менее 0,01, поэтому, если в задаче требуется более точное решение, то этот метод не годится.

## Глава №5: Описание лабораторной работы №5

## 1. Сформулируйте задачу оптимизации без ограничений на примере задачи №1: «Найти максимум прибыли от цены товара без учета ограничений на величину кредита с использованием поразрядного поиска».

Лабораторная работа №5:

Задача №1: Найти максимум прибыли путем варьирования ценой рынка без учета ограничения на величину кредита.

**Таблица №1:**

**Параметры модели рынка:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | Parametr\_A | Parametr\_B | Cost | Parametr\_D | Tolerance | Limit of Credit Value | X\*1 | X\*2 | alfa |
| 20 | 8,90E+41 | 2,416 | 4690 | 3,0759 | 0,00001 | 1,033600E+05 | 5600,361427 | 1,167310E+06 | 5E+38 |

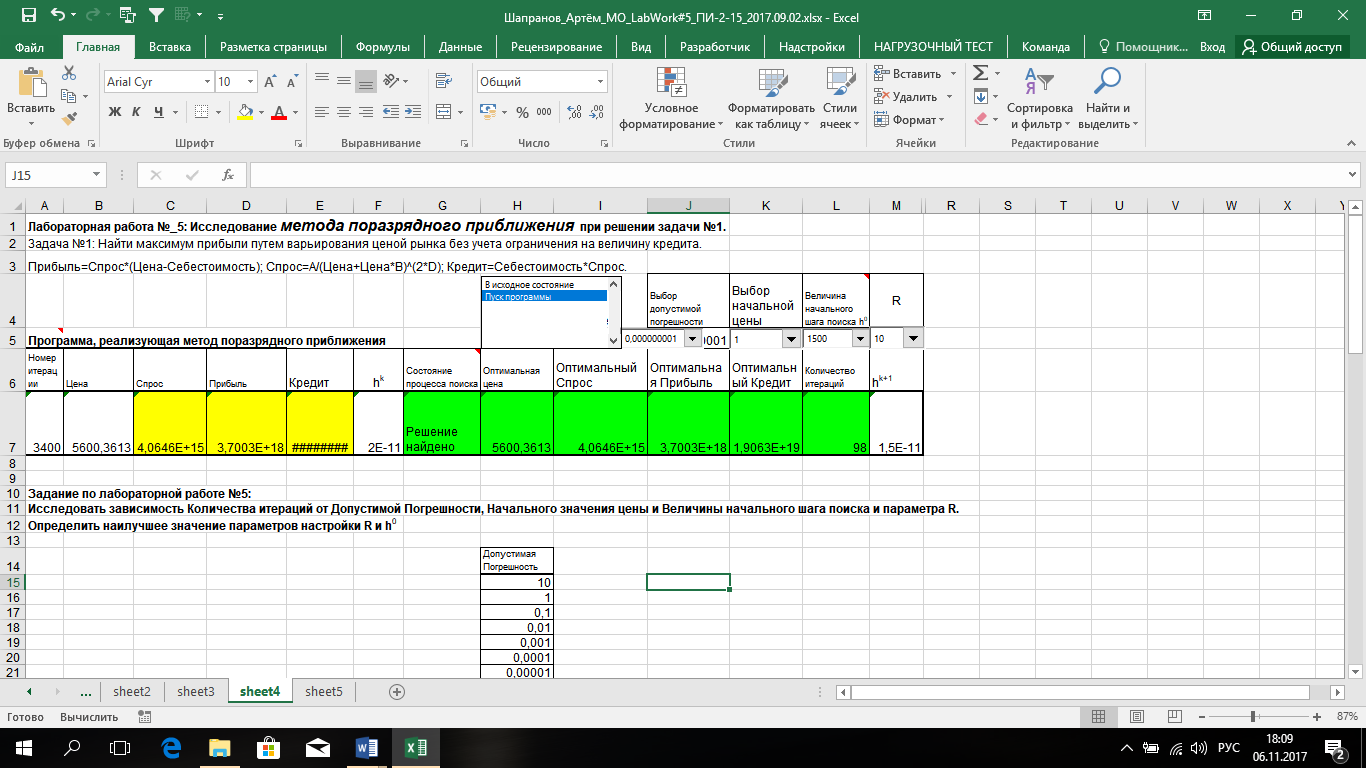
**Модель рынка:**

Прибыль=Спрос\*(Цена-Себестоимость);

Спрос=A/(Цена+Цена\*B)^(2\*D);

Кредит=Себестоимость\*Спрос.

**Таблица №2: Таблица Microsoft Excel:**



**Модель программы:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер итерации | Цена | Спрос | Прибыль | Кредит | hk | Состояние процесса поиска | Оптимальная цена | Оптимальный Спрос | Оптимальная Прибыль | Оптимальный Кредит | Количество итераций | hk+1 |
| A7:= ЕСЛИ(I5=1;0;A7+1) | B7:= ЕСЛИ(A7=0;K5;B7+F7) | C7:= ЕСЛИ((B7+B7\*sheet1!C13)<=(J5/M5);(J5/M5);sheet1!B13/(B7+B7\*sheet1!C13)^(2\*sheet1!E13)) | D7:=C7\*(B7-sheet1!D16) | E7:= C7\*sheet1!D13 | F7:= ЕСЛИ(A7=0;L5;ЕСЛИ(D7>0;ЕСЛИ(D7<J7;ЕСЛИ(ABS(F7)<=(J5/M5);M7;-F7/M5);F7);F7)) | G7:= ЕСЛИ(A7=0;"Исходное состояние"; ЕСЛИ(ABS(F7)<=(J5/M5); "Решение найдено"; "Продолжайте поиск")) | H7:= ЕСЛИ(A7=0;0;ЕСЛИ(ABS(F7)<=(J5/M5);H7;B7)) | I7:= ЕСЛИ(A7=0;0;ЕСЛИ(ABS(F7)<=(J5/M5);I7;C7)) | J7:= ЕСЛИ(A7=0;0;ЕСЛИ(ABS(F7)<=(J5/M5);J7;D7)) | K7:= ЕСЛИ(A7=0;0;ЕСЛИ(ABS(F7)<=(J5/M5);K7;E7)) | L7:= ЕСЛИ(A7=0;0;ЕСЛИ(ABS(F7)<=(J5/M5);L7;A7)) | M7:= ЕСЛИ(A7=0;L5;F7) |

**Таблица №3: Зависимость количества итераций от допустимой погрешности.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Оптимальная Цена** | **Оптимальный Спрос** | **Оптимальная Прибыль** | **Оптимальный Кредит** | **Колличество итераций** | **Величина начального шага поиска h0** | **Допустимая Погрешность** | **Начальная цена** | **Размер области поска: Начальная цена- Оптимальная цена** | **Параметр R** |
| 1 | 0,0000 | 0,0000E+00 | 0,0000E+00 | 0,0000E+00 | 0 | 1 | 10 | 1 | 1 | 10 |
| 2 | 5600,0000 | 4,0662E+15 | 3,7003E+18 | 1,9071E+19 | 5599 | 1 | 1 | 1 | 5599 | 10 |
| 3 | 5600,4000 | 4,0644E+15 | 3,7003E+18 | 1,9062E+19 | 5606 | 1 | 0,1 | 1 | 5599 | 10 |
| 4 | 5600,3600 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5613 | 1 | 0,01 | 1 | 5599 | 10 |
| 5 | 5600,3610 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5623 | 1 | 0,001 | 1 | 5599 | 10 |
| 6 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5638 | 1 | 0,0001 | 1 | 5599 | 10 |
| 7 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5642 | 1 | 0,00001 | 1 | 5599 | 10 |
| 8 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5645 | 1 | 0,000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 9 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5646 | 1 | 0,0000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 10 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5651 | 1 | 0,00000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 11 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5652 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |

2.1. Зависимость количества итераций от допустимой погрешности.

График Рис.5.1 показывает, что при уменьшении погрешности, возрастает количество итераций. Это увеличивает время нахождения точного решения определенной оптимизационной задачи. Данная зависимость линейная и это говорит о том, что мы найдем решение задачи при любой погрешности. А тип сходимости глобальный, то есть решение найдется при любой точке начальной аппроксимации.

**Таблица №4: Зависимость количества итераций от величины начального шага поиска h0.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Оптимальная Цена** | **Оптимальный Спрос** | **Оптимальная Прибыль** | **Оптимальный Кредит** | **Колличество итераций** | **Величина начального шага поиска h0** | **Допустимая Погрешность** | **Начальная цена** | **Размер области поска: Начальная цена- Оптимальная цена** | **Параметр R** |
| 1 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5652 | 1500 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 2 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 3791 | 1500,5 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 3 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 2870 | 1501 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 4 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 2305 | 1501,5 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 5 | 5600,3617 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 1906 | 1502 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 6 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 1672 | 1502,5 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 7 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 1481 | 1503 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 8 | 5600,3616 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 1294 | 1503,5 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 9 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 1188 | 1504 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 10 | 5600,3616 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 1074 | 1504,5 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 11 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 1000 | 1505 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 12 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 927 | 1505,5 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 13 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 872 | 1506 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 14 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 808 | 1506,5 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 15 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 774 | 1507 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 16 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 742 | 1507,5 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 17 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 685 | 1508 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 18 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 664 | 1508,5 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 19 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 638 | 1509 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 20 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 585 | 1509,5 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 21 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 595 | 1510 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 22 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 559 | 1510,5 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 23 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 548 | 1511 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 24 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 518 | 1511,5 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 25 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 508 | 1512 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 26 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 554 | 1512,5 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 27 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 460 | 1513 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 28 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 446 | 1513,5 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 29 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 439 | 1514 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 30 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 432 | 1514,5 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 31 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 416 | 1515 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 32 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 404 | 1515,5 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 33 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 387 | 1516 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 34 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 379 | 1516,5 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |

На основании этой таблицы исследована и построена следующая зависимость:

## 2.2. Зависимость количества итераций от величины начального шага поиска h0.

На графике Рис.5.2 видно, что количество итераций резко снижается при увеличении величины начального шага поиска от 1500 до 1505. Затем количество итераций немного колеблется (но незначительно) при дальнейшем увеличении начального шага поиска.

**Таблица №5: Зависимость количества итераций от начальной цены.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Оптимальная Цена** | **Оптимальный Спрос** | **Оптимальная Прибыль** | **Оптимальный Кредит** | **Колличество итераций** | **Величина начального шага поиска h0** | **Допустимая Погрешность** | **Начальная цена** | **Размер области поска: Начальная цена- Оптимальная цена** | **Параметр R** |
| 1 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5652 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 2 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5485 | 1 | 0,000000001 | 188 | 5413 | 10 |
| 3 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5275 | 1 | 0,000000001 | 374 | 5226 | 10 |
| 4 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5108 | 1 | 0,000000001 | 561 | 5039 | 10 |
| 5 | 5600,3616 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 4913 | 1 | 0,000000001 | 748 | 4853 | 10 |
| 6 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 4721 | 1 | 0,000000001 | 934 | 4666 | 10 |
| 7 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 4539 | 1 | 0,000000001 | 1 121 | 4479 | 10 |
| 8 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 4353 | 1 | 0,000000001 | 1 308 | 4293 | 10 |
| 9 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 4162 | 1 | 0,000000001 | 1 494 | 4106 | 10 |
| 10 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 3972 | 1 | 0,000000001 | 1 681 | 3920 | 10 |
| 11 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 3794 | 1 | 0,000000001 | 1 867 | 3733 | 10 |
| 12 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 3595 | 1 | 0,000000001 | 2 054 | 3546 | 10 |
| 13 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 3427 | 1 | 0,000000001 | 2 241 | 3360 | 10 |
| 14 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 3236 | 1 | 0,000000001 | 2 427 | 3173 | 10 |
| 15 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 3052 | 1 | 0,000000001 | 2 614 | 2986 | 10 |
| 16 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 2860 | 1 | 0,000000001 | 2 801 | 2800 | 10 |
| 17 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 2687 | 1 | 0,000000001 | 2 987 | 2613 | 10 |
| 18 | 5600,3616 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 2477 | 1 | 0,000000001 | 3 174 | 2426 | 10 |
| 19 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 2297 | 1 | 0,000000001 | 3 361 | 2240 | 10 |
| 20 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 2117 | 1 | 0,000000001 | 3 547 | 2053 | 10 |
| 21 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 1910 | 1 | 0,000000001 | 3 734 | 1866 | 10 |
| 22 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 1753 | 1 | 0,000000001 | 3 921 | 1680 | 10 |
| 23 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 1547 | 1 | 0,000000001 | 4 107 | 1493 | 10 |
| 24 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 1369 | 1 | 0,000000001 | 4 294 | 1307 | 10 |
| 25 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 1173 | 1 | 0,000000001 | 4 480 | 1120 | 10 |
| 26 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 992 | 1 | 0,000000001 | 4 667 | 933 | 10 |
| 27 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 800 | 1 | 0,000000001 | 4 854 | 747 | 10 |
| 28 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 631 | 1 | 0,000000001 | 5 040 | 560 | 10 |
| 29 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 428 | 1 | 0,000000001 | 5 227 | 373 | 10 |
| 30 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 267 | 1 | 0,000000001 | 5 414 | 187 | 10 |
| 31 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 68 | 1 | 0,000000001 | 5 600 | 0 | 10 |
| 32 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 1924 | 1 | 0,000000001 | 5 787 | 187 | 10 |
| 33 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 3810 | 1 | 0,000000001 | 5 974 | 373 | 10 |
| 34 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5660 | 1 | 0,000000001 | 6 160 | 560 | 10 |
| 35 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 7546 | 1 | 0,000000001 | 6 347 | 747 | 10 |
| 36 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 9402 | 1 | 0,000000001 | 6 534 | 933 | 10 |
| 37 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 11271 | 1 | 0,000000001 | 6 720 | 1120 | 10 |
| 38 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 13132 | 1 | 0,000000001 | 6 907 | 1307 | 10 |
| 39 | 5600,3616 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 15004 | 1 | 0,000000001 | 7 094 | 1493 | 10 |
| 40 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 16858 | 1 | 0,000000001 | 7 280 | 1680 | 10 |
| 41 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 18742 | 1 | 0,000000001 | 7 467 | 1866 | 10 |
| 42 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 20599 | 1 | 0,000000001 | 7 653 | 2053 | 10 |
| 43 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 22470 | 1 | 0,000000001 | 7 840 | 2240 | 10 |
| 44 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 24335 | 1 | 0,000000001 | 8 027 | 2426 | 10 |
| 45 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 26188 | 1 | 0,000000001 | 8 213 | 2613 | 10 |
| 46 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 28071 | 1 | 0,000000001 | 8 400 | 2800 | 10 |
| 47 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 29923 | 1 | 0,000000001 | 8 587 | 2986 | 10 |
| 48 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 31800 | 1 | 0,000000001 | 8 773 | 3173 | 10 |
| 49 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 33658 | 1 | 0,000000001 | 8 960 | 3360 | 10 |
| 50 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 35539 | 1 | 0,000000001 | 9 147 | 3546 | 10 |
| 51 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 37401 | 1 | 0,000000001 | 9 333 | 3733 | 10 |
| 52 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 39276 | 1 | 0,000000001 | 9 520 | 3920 | 10 |
| 53 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 41126 | 1 | 0,000000001 | 9 707 | 4106 | 10 |
| 54 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 43004 | 1 | 0,000000001 | 9 893 | 4293 | 10 |
| 55 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 44868 | 1 | 0,000000001 | 10 080 | 4479 | 10 |
| 56 | 5600,3616 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 46740 | 1 | 0,000000001 | 10 266 | 4666 | 10 |
| 57 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 48602 | 1 | 0,000000001 | 10 453 | 4853 | 10 |
| 58 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 50455 | 1 | 0,000000001 | 10 640 | 5039 | 10 |

На основании этой таблицы исследована и построена следующая зависимость:

## 2.3. Зависимость количества итераций от начальной цены.

На графике 5.3 видно, что данная зависимость является линейной зависимостью. Следовательно, имеет глобальный тип сходимости. Поэтому мы найдем решение задачи при любой начальной точке аппроксимации. Но лучше взять эту точку левее оптимального решения задачи (**x\* =** 1 975,593285), потому что слева количество итераций не так велико и нахождение решения займет меньше времени. А справа от оптимального решения задачи количество итераций начинает резко возрастать.

**Таблица №6: Зависимость количества итераций от параметра R.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Оптимальная Цена** | **Оптимальный Спрос** | **Оптимальная Прибыль** | **Оптимальный Кредит** | **Колличество итераций** | **Величина начального шага поиска h0** | **Допустимая Погрешность** | **Начальная цена** | **Размер области поска: Начальная цена- Оптимальная цена** | **Параметр R** |
| 1 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5896 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 1,2 |
| 2 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5718 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 1,5 |
| 3 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5681 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 2 |
| 4 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5667 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 2,5 |
| 5 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5661 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 3 |
| 6 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5661 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 3,5 |
| 7 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5655 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 4 |
| 8 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5649 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 4,5 |
| 9 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5650 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 5 |
| 10 | 5600,3612 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5652 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 5,5 |
| 11 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5655 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 6 |
| 12 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5666 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 6,5 |
| 13 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5662 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 7 |
| 14 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5652 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 7,5 |
| 15 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5645 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 8 |
| 16 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5648 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 8,5 |
| 17 | 5600,3616 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5667 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 9 |
| 18 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5656 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 9,5 |
| 19 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5652 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10 |
| 20 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5664 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 10,5 |
| 21 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5661 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 11 |
| 22 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5662 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 11,5 |
| 23 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5654 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 12 |
| 24 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5670 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 12,5 |
| 25 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5658 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 13 |
| 26 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5676 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 13,5 |
| 27 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5663 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 14 |
| 28 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5651 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 14,5 |
| 29 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5669 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 15 |
| 30 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5656 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 15,5 |
| 31 | 5600,3612 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5670 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 16 |
| 32 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5666 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 16,5 |
| 33 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5656 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 17 |
| 34 | 5600,3612 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5646 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 17,5 |
| 35 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5652 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 18 |
| 36 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5668 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 18,5 |
| 37 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5654 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 19 |
| 38 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5660 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 19,5 |
| 39 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5678 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 20 |
| 40 | 5600,3612 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5674 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 20,5 |
| 41 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5650 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 21 |
| 42 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5668 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 21,5 |
| 43 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5670 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 22 |
| 44 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5658 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 22,5 |
| 45 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5674 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 23 |
| 46 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5665 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 23,5 |
| 47 | 5600,3616 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5677 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 24 |
| 48 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5678 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 24,5 |
| 49 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5682 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 25 |
| 50 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5664 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 25,5 |
| 51 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5679 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 26 |
| 52 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5697 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 26,5 |
| 53 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5662 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 27 |
| 54 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5704 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 27,5 |
| 55 | 5600,3613 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5680 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 28 |
| 56 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5686 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 28,5 |
| 57 | 5600,3614 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5702 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 29 |
| 58 | 5600,3616 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5681 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 29,5 |
| 59 | 5600,3615 | 4,0646E+15 | 3,7003E+18 | 1,9063E+19 | 5675 | 1 | 0,000000001 | 1 | 5599 | 30 |

На основании этой таблицы исследована и построена следующая зависимость:

## 2.4. Зависимость количества итераций от параметра R.

На графике 5.4 видно, что количество итераций сначала падает экспоненциально при изменении R от 1,2 до 4, затем остается минимальным при изменении R от 4 до 9, а затем постепенно возрастает. Значит, оптимальное значение параметра R необходимо искать в точках от 4 до 9. Далее количество итераций начинает увеличиваться.

## 3. Определите оптимальные значения параметров R и h0.

При оптимальных значениях параметров R и h0 количество итераций наименьшее.

Для моей задачи:

Оптимальное значение: для R=8, количество итераций=5645

Оптимальное значение: для h0=17, количество итераций=1516,5.

## 4. Дайте ответы на следующие вопросы:

## 4.1. Какое соотношение полностью описывает алгоритм поразрядного поиска?

Если задана задача максимизации , то метод поразрядного приближения полностью определяется соотношением:

if 

then

if 

then 

else 

end if

else 

end if

Вычислительное описание

|  |
| --- |
| **INPUT** {X0; Epsilon; H0; R; Max; f(X);}  **Body of algorithm**  YF0: = f (X0);  H1: = H0;  X1: = X0 + H1;  YF1: = f(X1);  K:=0;  |WHILE K < Max DO  | K: = K+1;  | |IF YF1 <= YF0 /\* Pocket Search Method to find a ***maximum* \*/**  | | |THEN  | | | |IF abs(H0) < =(Epsilon/R)  | | | | |THEN DO H1: = H0; X1: = X0; YF1: = YF0; END;  | | | | |ELSE DO H1: = – (H0/R); H0: = H1;  | | | | X0: = X1; YF0: = YF1;  | | | | X1: = X0 + H1; YF1: = f(X1); END;  | | | |endIF  | | |ELSE DO H1: = H0; X0: = X1; YF0: = YF1;  | | X1: = X0 + H1; YF1: = f(X1); END;  | |endIF;  |endWHILE;  **OUTPUT**  PRINT ‘The optimum solution x\* equal’ X1  PRINT ‘The optimum solution was found with the desired tolerance’ Epsilon  PRINT ‘The minimum of objective function f(x\*) is’ YF1  PRINT ‘The accuracy is ±‘ Epsilon |
| X0 – Initial approximation of the solution;  H0 – Initial Increment (Initial Step-size of search);  Epsilon – Tolerance;  R – Adjustable parameter of the method (Significance of Digit Position);  Max – Limit number of iterations. |

Блок схема



Для минимизации

if 

then

if 

then 

else 

end if

else 

end if

Вычислительное описание

|  |
| --- |
| **INPUT** {X0; Epsilon; H0; R; Max; f(X);}  **Body of algorithm**  YF0: = f (X0);  H1: = H0;  X1: = X0 + H1;  YF1: = f(X1);  K:=0;  |WHILE K < Max DO  | K: = K+1;  | |IF YF1 >= YF0 /\* Pocket Search Method to find a ***minimum* \*/**  | | |THEN  | | | |IF abs(H0) < =(Epsilon/R)  | | | | |THEN DO H1: = H0; X1: = X0; YF1: = YF0; END;  | | | | |ELSE DO H1: = – (H0/R); H0: = H1;  | | | | X0: = X1; YF0: = YF1;  | | | | X1: = X0 + H1; YF1: = f(X1); END;  | | | |endIF  | | |ELSE DO H1: = H0; X0: = X1; YF0: = YF1;  | | X1: = X0 + H1; YF1: = f(X1); END;  | |endIF;  |endWHILE;  **OUTPUT**  PRINT ‘The optimum solution x\* equal’ X1  PRINT ‘The optimum solution was found with the desired tolerance’ Epsilon  PRINT ‘The minimum of objective function f(x\*) is’ YF1  PRINT ‘The accuracy is ±‘ Epsilon |
| X0 – Initial approximation of the solution;  H0 – Initial Increment (Initial Step-size of search);  Epsilon – Tolerance;  R – Adjustable parameter of the method (Significance of Digit Position);  Max – Limit number of iterations. |

Блок схема



## 4.2. Какие параметры должны быть заданы, чтобы начать вычисления по алгоритму поразрядного поиска?

Должны быть заданы: начальная аппроксимация х0, начальный шаг поиска **h0**, значимость разряда **R**, погрешность **ε**.

## 4.3. Какие виды настроечных параметров имеются в алгоритме поразрядного поиска?

Параметры h0, R являются настроечными параметрами для этого алгоритма. Они служат для повышения эффективности этого метода при решении различных задач оптимизации.

С помощью этих параметров можно:

* Увеличить скорость сходимости метода до максимальной (квадратичной).
* Обеспечить успешный поиск решения в случае сложных задач оптимизации.

## 4.4. Какой вид итерационного процесса генерирует метод поразрядного поиска?

Метод поразрядного приближения генерирует нестационарный (на каждом шаге итерации может изменять размер шага поиска), одношаговый (использует только одну предыдущую точку для вычисления новой точки) итерационный процесс.

## 4.5. Можно ли применять метод поразрядного приближения в случае, когда целевая функция не является дифференцируемой?

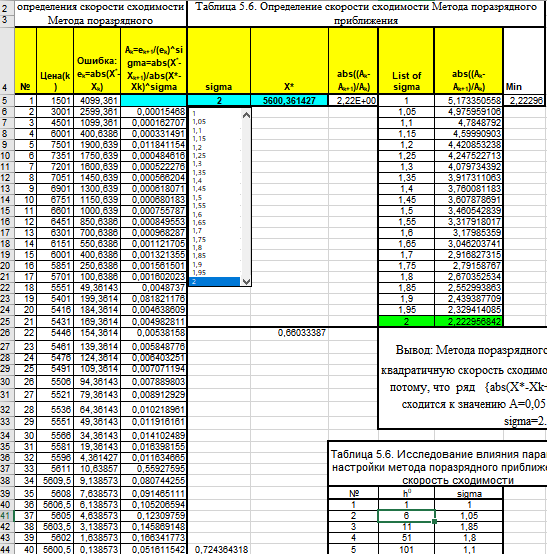
Если целевая функция не дифференцируема, то метод поразрядного приближения использовать можно, так как этот метод относится к классу методов, не использующих производные от целевой функции.

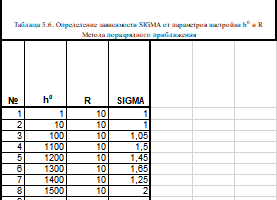
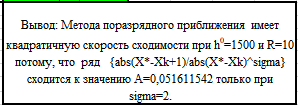
## 4.6. Можно ли применять метод поразрядного поиска в случае, когда целевая функция не является унимодальной?

Метод поразрядного поиска нельзя использовать, если целевая функция не унимодальная, так как этот метод имеет глобальный тип сходимости. Это означает, что алгоритм остановится после нахождения первого локального экстремума. А этот первый экстремум не всегда может оказаться нужным нам экстремумом, то есть самым минимальным или самым максимальным.

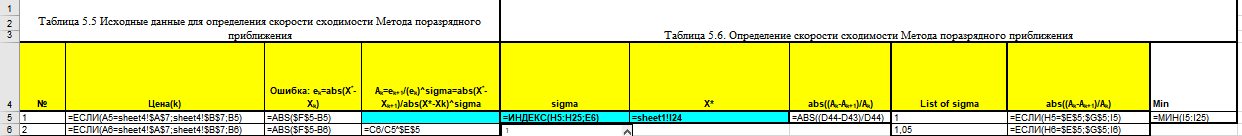
## 5. Определите порядок сходимости и константу асимптотической ошибки метода поразрядного поиска.

**Таблица №7: Порядок сходимости σ и константа асимптотической ошибки А метода равномерного поиска.**





**Таблица №8: Формулы в ячейках:**



## 6. Определите тип сходимости и значение скорости сходимости для последовательности, которая генерируется методом поразрядного поиска.

Последовательность, которая генерируется методом поразрядного поиска, имеет глобальный тип сходимости. Величина скорости сходимости SC = 0,051611542.

## 7. Перечислите преимущества и недостатки алгоритма поразрядного поиска.

Преимущества метода поразрядного приближения:

* Параметры h0 и R можно настроить так, чтобы повысить эффективность решения задачи оптимизации.
* Метод поразрядного поиска имеет самую высокую скорость сходимости.

Недостатки метода поразрядного приближения:

* Метод поразрядного приближения имеет сложный алгоритм.
* При настройке параметров h0 и R лучше брать значения не самые минимальные, так как при самых минимальных значениях этих параметров количество итераций резко возрастает.

## Глава №6: Описание лабораторной работы №6

## 1. Сформулируйте задачу оптимизации с учетом ограничений на примере задачи №2: «Найти максимум прибыли от цены товара с учетом ограничений на величину кредита с использованием метода поразрядного приближения».

Лабораторная работа №6

Задача №1: Найти максимум прибыли путем варьирования ценой рынка с учетом ограничения на величину кредита.

**Таблица №1: Параметры модели рынка:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | Parametr\_A | Parametr\_B | Cost | Parametr\_D | Tolerance | Limit of Credit Value | X\*1 | X\*2 | alfa |
| 20 | 8,90E+41 | 2,416 | 4690 | 3,0759 | 0,00001 | 1,033600E+05 | 5600,361427 | 1,167310E+06 | 5E+38 |

**Модель рынка:**

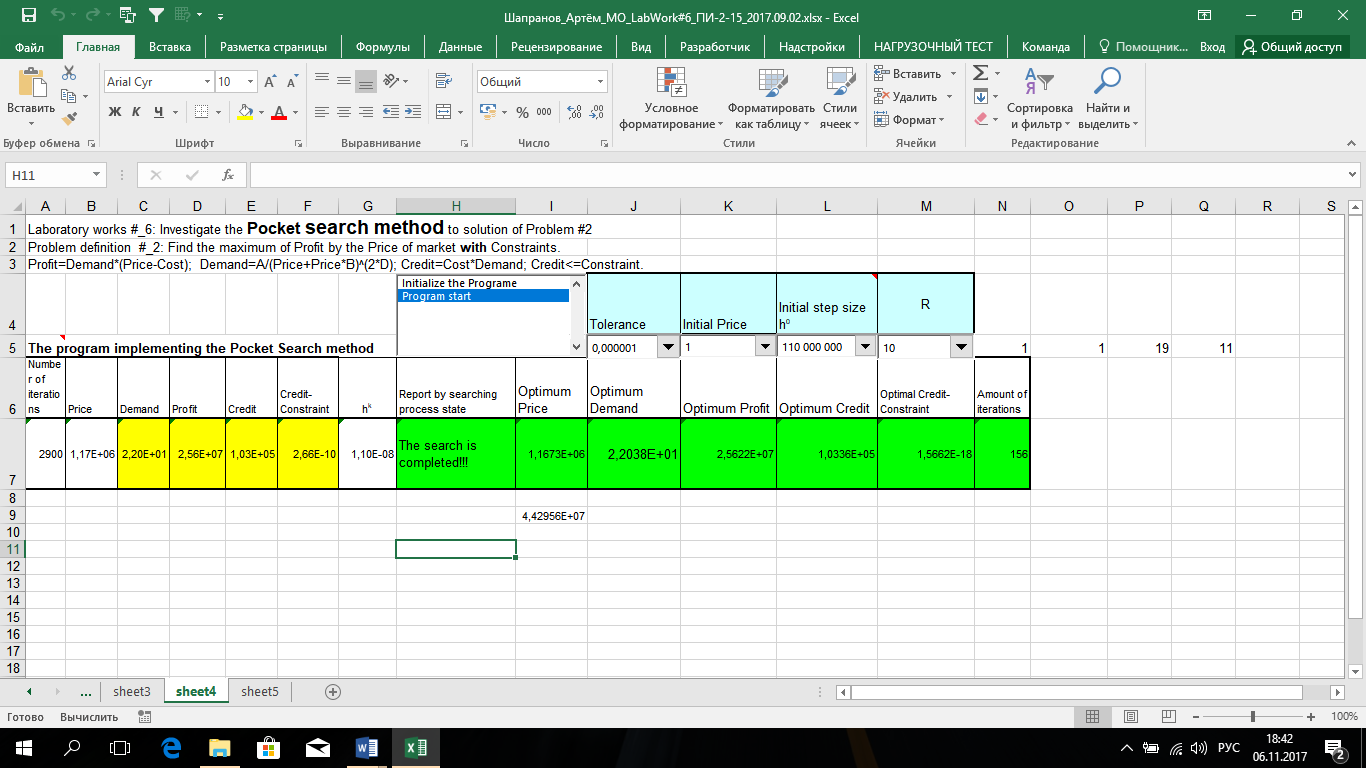
Прибыль=Спрос\*(Цена-Себестоимость);

Спрос=A/(Цена+Цена\*B)^(2\*D);

Кредит=Себестоимость\*Спрос;

Кредит ≤ Ограничения.

**Таблица №2: Таблица Microsoft Excel:**



**Модель программы:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер итерации | Цена | Спрос | Прибыль | Кредит | Кредит- Ограничение | hk | Состояние процесса поиска | Оптимальная цена | Оптимальный Спрос | Оптимальная Прибыль | Оптимальный Кредит | (Оптимальный Кредит- Ограничение) | Количество итераций |
| A7:= ЕСЛИ(I5=1;0;A7+1) | B7:= ЕСЛИ(A7=0;K5;B7+G7) | C7:= sheet1!B13/(B7+B7\*sheet1!C13)^(2\*sheet1!E13) | D7:= C7\*(B7-sheet1!D13) | E7:= C7\*sheet1!D13 | F7:= (E7-sheet1!G13)\*(E7-sheet1!G13) | G7:= ЕСЛИ(A7=0;L5;ЕСЛИ(F7>=M7;ЕСЛИ(ABS(G7)<=(J5/M5);G7;(-G7/M5));G7)) | H7:= ЕСЛИ(A7=0;"Initial state";ЕСЛИ(ABS(G7)<=(J5/M5);"The search is completed!!!";"Proceed the search by clicking on the button <F9>")) | I7:= ЕСЛИ($A$7=0;0;ЕСЛИ(ABS($G$7)<=(J5/$M$5);I7;B7)) | J7:= ЕСЛИ($A$7=0;0;ЕСЛИ(ABS($G$7)<=(J5/$M$5);J7;C7)) | K7:= ЕСЛИ($A$7=0;0;ЕСЛИ(ABS($G$7)<=(J5/$M$5);K7;D7)) | L7:= ЕСЛИ($A$7=0;0;ЕСЛИ(ABS($G$7)<=(J5/$M$5);L7;E7)) | M7:= ЕСЛИ($A$7=0;F7;ЕСЛИ(F7>M7;ЕСЛИ(ABS($G$7)<=(J5/$M$5);M7;F7);F7)) | N7:= ЕСЛИ($A$7=0;0;ЕСЛИ(ABS($G$7)<=(J5/$M$5);N7;A7)) |

**Таблица №3: Зависимость Количества итераций от Допустимой Погрешности.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Optimum Price** | **Optimum Demand** | **Optimum Profit** | **Optimum Credit** | **Optimal Credit-Constraint** | **Amount of iteration** | **Initial Step size h0** | **Tolerance** | **Initial Price** | **Search domain size= [Initial Price- Optimum Price]** | **Parameter R** |
| 1 | 1167501,0000 | 2,2016E+01 | 2,5601E+07 | 1,0326E+05 | 1,0189E+03 | 467 | 2 500 | 10000 | 1 | 1167309 | 10 |
| 2 | 1167251,0000 | 2,2045E+01 | 2,5629E+07 | 1,0339E+05 | 2,1898E+01 | 479 | 2 500 | 1000 | 1 | 1167309 | 10 |
| 3 | 1167301,0000 | 2,2039E+01 | 2,5623E+07 | 1,0336E+05 | 3,5293E-01 | 492 | 2 500 | 100 | 1 | 1167309 | 10 |
| 4 | 1167308,5000 | 2,2039E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,4366E-03 | 500 | 2 500 | 10 | 1 | 1167309 | 10 |
| 5 | 1167309,5000 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,6112E-05 | 515 | 2 500 | 1 | 1 | 1167309 | 10 |
| 6 | 1167309,6000 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,1369E-07 | 522 | 2 500 | 0,1 | 1 | 1167309 | 10 |
| 7 | 1167309,5900 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 4,2021E-09 | 529 | 2 500 | 0,01 | 1 | 1167309 | 10 |
| 8 | 1167309,5905 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,0653E-11 | 538 | 2 500 | 0,001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 9 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,9400E-13 | 554 | 2 500 | 0,0001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 10 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 567 | 2 500 | 0,00001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 11 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 574 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |

На основании этой таблицы исследована и получена следующая зависимость:

## 2.1. Зависимость Количества итераций от Допустимой Погрешности.

Данный график 6.1 показывает, что чем меньше погрешность, тем больше количество итераций, это увеличивает время нахождения точного решения определенной оптимизационной задачи. Данная зависимость линейная и это говорит о том, что мы найдем решение задачи при любой погрешности. А тип сходимости глобальный, то есть решение, мы сможем найти, взяв любую точку начальной аппроксимации.

**Таблица №4: Зависимость количества итераций от величины начального шага поиска h0.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Optimum Price** | **Optimum Demand** | **Optimum Profit** | **Optimum Credit** | **Optimal Credit-Constraint** | **Amount of iteration** | **Initial Step size h0** | **Tolerance** | **Initial Price** | **Search domain size= [Initial Price- Optimum Price]** | **Parameter R** |
| 1 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 574 | 110 000 000 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 2 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 508 | 110 000 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 3 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,1414E-17 | 445 | 110 001 000 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 4 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,7686E-17 | 395 | 110 001 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 5 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,3316E-16 | 371 | 110 002 000 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 6 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,2208E-17 | 320 | 110 002 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 7 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,2208E-17 | 323 | 110 003 000 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 8 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,6962E-16 | 303 | 110 003 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 9 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,6999E-17 | 296 | 110 004 000 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 10 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 288 | 110 004 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 11 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,4308E-16 | 265 | 110 005 000 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 12 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,6801E-16 | 269 | 110 005 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 13 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 4,9441E-16 | 252 | 110 006 000 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 14 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,0341E-16 | 257 | 110 006 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 15 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 5,0843E-17 | 221 | 110 007 000 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 16 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 226 | 110 007 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 17 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 223 | 110 008 000 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 18 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,5662E-18 | 222 | 110 008 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 19 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 251 | 110 009 000 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 20 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,5662E-18 | 199 | 110 009 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 21 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 194 | 110 010 000 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 22 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 225 | 110 010 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 23 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 206 | 110 011 000 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 24 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 198 | 110 011 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 25 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 202 | 110 012 000 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 26 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 206 | 110 012 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 27 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 184 | 110 013 000 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 28 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 9,8798E-18 | 185 | 110 013 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 29 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 196 | 110 014 000 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 30 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 194 | 110 014 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 31 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 200 | 110 015 000 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 32 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 177 | 110 015 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 33 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,7686E-17 | 196 | 110 016 000 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 34 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,2208E-17 | 192 | 110 016 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |

На основании этой таблицы исследована и построена следующая зависимость:

2.2. Зависимость количества итераций от величины начального шага поиска h0.

На графике 6.2 видно, что количество итераций снижается при увеличении величины начального шага поиска.

**Таблица №5: Зависимость количества итераций от начальной цены.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Optimum Price** | **Optimum Demand** | **Optimum Profit** | **Optimum Credit** | **Optimal Credit-Constraint** | **Amount of iteration** | **Initial Step size h0** | **Tolerance** | **Initial Price** | **Search domain size= [Initial Price- Optimum Price]** | **Parameter R** |
| 1 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 574 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 2 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,6999E-17 | 565 | 2 500 | 0,000001 | 38 911 | 1128398 | 10 |
| 3 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 545 | 2 500 | 0,000001 | 77 822 | 1089488 | 10 |
| 4 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 536 | 2 500 | 0,000001 | 116 732 | 1050578 | 10 |
| 5 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,2208E-17 | 517 | 2 500 | 0,000001 | 155 642 | 1011667 | 10 |
| 6 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 508 | 2 500 | 0,000001 | 194 552 | 972757 | 10 |
| 7 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,5662E-18 | 488 | 2 500 | 0,000001 | 233 463 | 933847 | 10 |
| 8 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,2208E-17 | 457 | 2 500 | 0,000001 | 272 373 | 894937 | 10 |
| 9 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 437 | 2 500 | 0,000001 | 311 283 | 856026 | 10 |
| 10 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,5662E-18 | 439 | 2 500 | 0,000001 | 350 194 | 817116 | 10 |
| 11 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 5,0843E-17 | 419 | 2 500 | 0,000001 | 389 104 | 778206 | 10 |
| 12 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 9,8798E-18 | 410 | 2 500 | 0,000001 | 428 014 | 739295 | 10 |
| 13 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,5662E-18 | 391 | 2 500 | 0,000001 | 466 924 | 700385 | 10 |
| 14 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,2208E-17 | 371 | 2 500 | 0,000001 | 505 835 | 661475 | 10 |
| 15 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 9,8798E-18 | 373 | 2 500 | 0,000001 | 544 745 | 622565 | 10 |
| 16 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,5662E-18 | 320 | 2 500 | 0,000001 | 583 655 | 583654 | 10 |
| 17 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,2208E-17 | 333 | 2 500 | 0,000001 | 622 566 | 544744 | 10 |
| 18 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 9,8798E-18 | 313 | 2 500 | 0,000001 | 661 476 | 505834 | 10 |
| 19 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,5662E-18 | 304 | 2 500 | 0,000001 | 700 386 | 466923 | 10 |
| 20 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,7686E-17 | 296 | 2 500 | 0,000001 | 739 296 | 428013 | 10 |
| 21 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,1414E-17 | 265 | 2 500 | 0,000001 | 778 207 | 389103 | 10 |
| 22 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,5662E-18 | 245 | 2 500 | 0,000001 | 817 117 | 350193 | 10 |
| 23 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,2208E-17 | 225 | 2 500 | 0,000001 | 856 027 | 311282 | 10 |
| 24 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,1414E-17 | 227 | 2 500 | 0,000001 | 894 938 | 272372 | 10 |
| 25 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 185 | 2 500 | 0,000001 | 933 848 | 233462 | 10 |
| 26 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,7686E-17 | 198 | 2 500 | 0,000001 | 972 758 | 194551 | 10 |
| 27 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,1414E-17 | 178 | 2 500 | 0,000001 | 1 011 668 | 155641 | 10 |
| 28 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,5662E-18 | 159 | 2 500 | 0,000001 | 1 050 579 | 116731 | 10 |
| 29 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,7686E-17 | 139 | 2 500 | 0,000001 | 1 089 489 | 77821 | 10 |
| 30 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 9,8798E-18 | 130 | 2 500 | 0,000001 | 1 128 399 | 38910 | 10 |
| 31 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 110 | 2 500 | 0,000001 | 1 167 310 | 0 | 10 |
| 32 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 266 | 2 500 | 0,000001 | 1 206 220 | 38910 | 10 |
| 33 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,1414E-17 | 422 | 2 500 | 0,000001 | 1 245 130 | 77821 | 10 |
| 34 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 578 | 2 500 | 0,000001 | 1 284 040 | 116731 | 10 |
| 35 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,7686E-17 | 724 | 2 500 | 0,000001 | 1 322 951 | 155641 | 10 |
| 36 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,1414E-17 | 880 | 2 500 | 0,000001 | 1 361 861 | 194551 | 10 |
| 37 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 1058 | 2 500 | 0,000001 | 1 400 771 | 233462 | 10 |
| 38 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,7686E-17 | 1192 | 2 500 | 0,000001 | 1 439 682 | 272372 | 10 |
| 39 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,6999E-17 | 1370 | 2 500 | 0,000001 | 1 478 592 | 311282 | 10 |
| 40 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 1515 | 2 500 | 0,000001 | 1 517 502 | 350193 | 10 |
| 41 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,7686E-17 | 1671 | 2 500 | 0,000001 | 1 556 412 | 389103 | 10 |
| 42 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,1414E-17 | 1805 | 2 500 | 0,000001 | 1 595 323 | 428013 | 10 |
| 43 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 1973 | 2 500 | 0,000001 | 1 634 233 | 466923 | 10 |
| 44 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 2129 | 2 500 | 0,000001 | 1 673 143 | 505834 | 10 |
| 45 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,6999E-17 | 2285 | 2 500 | 0,000001 | 1 712 054 | 544744 | 10 |
| 46 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 2463 | 2 500 | 0,000001 | 1 750 964 | 583654 | 10 |
| 47 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,7686E-17 | 2586 | 2 500 | 0,000001 | 1 789 874 | 622565 | 10 |
| 48 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,1414E-17 | 2764 | 2 500 | 0,000001 | 1 828 784 | 661475 | 10 |
| 49 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 2909 | 2 500 | 0,000001 | 1 867 695 | 700385 | 10 |
| 50 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,7686E-17 | 3066 | 2 500 | 0,000001 | 1 906 605 | 739295 | 10 |
| 51 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,6999E-17 | 3222 | 2 500 | 0,000001 | 1 945 515 | 778206 | 10 |
| 52 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 3378 | 2 500 | 0,000001 | 1 984 426 | 817116 | 10 |
| 53 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 3545 | 2 500 | 0,000001 | 2 023 336 | 856026 | 10 |
| 54 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,1414E-17 | 3701 | 2 500 | 0,000001 | 2 062 246 | 894937 | 10 |
| 55 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 3846 | 2 500 | 0,000001 | 2 101 156 | 933847 | 10 |
| 56 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 3991 | 2 500 | 0,000001 | 2 140 067 | 972757 | 10 |
| 57 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,1414E-17 | 4158 | 2 500 | 0,000001 | 2 178 977 | 1011667 | 10 |
| 58 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 4304 | 2 500 | 0,000001 | 2 217 887 | 1050578 | 10 |

На основании этой таблицы исследована и построена следующая зависимость:

## 2.3. Зависимость количества итераций от начальной цены.

На графике Рис.6.3. видно, что данная зависимость является линейной зависимостью. А следовательно, имеет глобальный тип сходимости. Это говорит о том, что мы найдем решение задачи при любой начальной точке аппроксимации. Но лучше взять эту точку левее оптимального решения задачи, потому что слева количество итераций не так велико и нахождение решения займет меньше времени. А справа количество итераций начинает резко возрастать, и при взятой точке справа нахождение оптимального значения займет больше времени.

**Таблица №6: Зависимость количества итераций от параметра R**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Optimum Price** | **Optimum Demand** | **Optimum Profit** | **Optimum Credit** | **Optimal Credit-Constraint** | **Amount of iteration** | **Initial Step size h0** | **Tolerance** | **Initial Price** | **Search domain size= [Initial Price- Optimum Price]** | **Parameter R** |
| 1 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8107E-14 | 806 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 1,2 |
| 2 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 600 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 1,5 |
| 3 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,1546E-15 | 558 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 2 |
| 4 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,1372E-15 | 549 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 2,5 |
| 5 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,1901E-15 | 545 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 3 |
| 6 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 536 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 3,5 |
| 7 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,1546E-15 | 534 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 4 |
| 8 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,0140E-16 | 553 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 4,5 |
| 9 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,6801E-16 | 554 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 5 |
| 10 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 6,3377E-16 | 551 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 5,5 |
| 11 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 5,0843E-17 | 555 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 6 |
| 12 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 559 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 6,5 |
| 13 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,5662E-18 | 565 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 7 |
| 14 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,0922E-16 | 566 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 7,5 |
| 15 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,2208E-17 | 563 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 8 |
| 16 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 585 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 8,5 |
| 17 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,7686E-17 | 579 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 9 |
| 18 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,3963E-17 | 562 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 9,5 |
| 19 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 574 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10 |
| 20 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,5662E-18 | 580 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 10,5 |
| 21 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 604 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 11 |
| 22 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,4308E-16 | 568 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 11,5 |
| 23 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,0140E-16 | 591 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 12 |
| 24 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,1414E-17 | 579 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 12,5 |
| 25 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 587 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 13 |
| 26 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 614 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 13,5 |
| 27 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 592 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 14 |
| 28 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,5662E-18 | 603 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 14,5 |
| 29 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,0341E-16 | 600 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 15 |
| 30 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,2208E-17 | 612 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 15,5 |
| 31 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,2208E-17 | 593 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 16 |
| 32 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 619 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 16,5 |
| 33 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,2208E-17 | 613 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 17 |
| 34 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 620 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 17,5 |
| 35 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 628 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 18 |
| 36 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,5662E-18 | 640 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 18,5 |
| 37 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 611 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 19 |
| 38 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 661 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 19,5 |
| 39 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,5662E-18 | 655 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 20 |
| 40 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 656 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 20,5 |
| 41 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,5662E-18 | 648 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 21 |
| 42 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 639 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 21,5 |
| 43 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 639 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 22 |
| 44 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,2208E-17 | 598 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 22,5 |
| 45 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,1414E-17 | 647 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 23 |
| 46 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 9,8798E-18 | 644 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 23,5 |
| 47 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 629 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 24 |
| 48 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 600 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 24,5 |
| 49 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 646 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 25 |
| 50 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 9,8798E-18 | 642 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 25,5 |
| 51 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 662 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 26 |
| 52 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 699 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 26,5 |
| 53 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 7,4844E-18 | 668 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 27 |
| 54 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 683 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 27,5 |
| 55 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 2,8005E-18 | 675 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 28 |
| 56 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 664 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 28,5 |
| 57 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 706 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 29 |
| 58 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 1,5662E-18 | 711 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 29,5 |
| 59 | 1167309,5906 | 2,2038E+01 | 2,5622E+07 | 1,0336E+05 | 3,5787E-20 | 666 | 2 500 | 0,000001 | 1 | 1167309 | 30 |

На основании этой таблицы исследована и построена следующая зависимость:

## 2.4. Зависимость количества итераций от параметра R.

На графике 6.4 видно, что количество итераций сначала падает экспоненциально при изменении R от 1,2 до 4, затем немного возрастает и колеблется при изменении R от 4 до 8,5, а затем постепенно возрастает. Значит, оптимальное значение параметра R необходимо искать в точках от 4 до 8,5. Далее количество итераций начинает увеличиваться.

## 3. Определите оптимальные значения параметров R и h0.

При оптимальных значениях параметров R и h0 количество итераций наименьшее.

Для моей задачи:

Оптимальное значение: для R=4, количество итераций=534

Оптимальное значение: для h0= 110015500, количество итераций=177.

## 4. Дайте ответы на следующие вопросы:

## 4.1. Какое соотношение полностью описывает алгоритм поразрядного поиска?

Если задана задача минимизации , то метод поразрядного приближения полностью определяется соотношением:

if 

then

if 

then 

else 

end if

else 

end if

## 4.2. Какие параметры должны быть заданы, чтобы начать вычисления по алгоритму поразрядного поиска?

Должны быть заданы: начальная аппроксимация х0, начальный шаг поиска **h0**, значимость разряда **R**, погрешность **ε**.

## 4.3. Какие виды настроечных параметров имеются в алгоритме поразрядного поиска?

Параметры h0, R являются настроечными параметрами для этого алгоритма. Они служат для повышения эффективности этого метода при решении различных задач оптимизации.

С помощью этих параметров можно:

* Увеличить скорость сходимости метода до максимальной (квадратичной).
* Обеспечить успешный поиск решения в случае сложных задач оптимизации.

## 4.4. Какой вид итерационного процесса генерирует метод поразрядного поиска?

Метод поразрядного приближения генерирует нестационарный (на каждом шаге итерации может изменять размер шага поиска), одношаговый (использует только одну предыдущую точку для вычисления новой точки) итерационный процесс.

## 4.5. Можно ли применять метод поразрядного приближения в случае, когда целевая функция не является дифференцируемой?

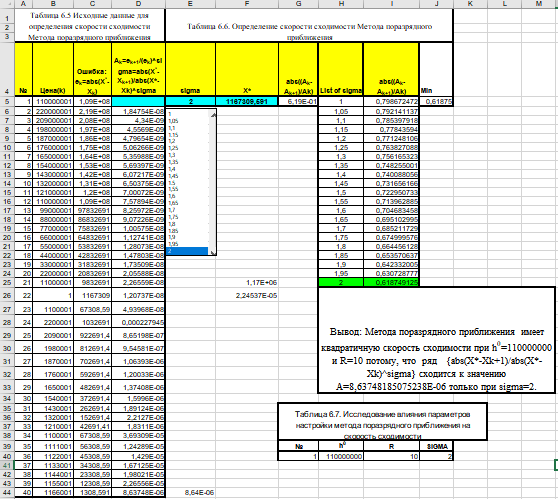
Если целевая функция не дифференцируема, то метод поразрядного приближения использовать можно, так как этот метод относится к классу методов, не использующих производные от целевой функции.

## 4.6. Можно ли применять метод поразрядного поиска в случае, когда целевая функция не является унимодальной?

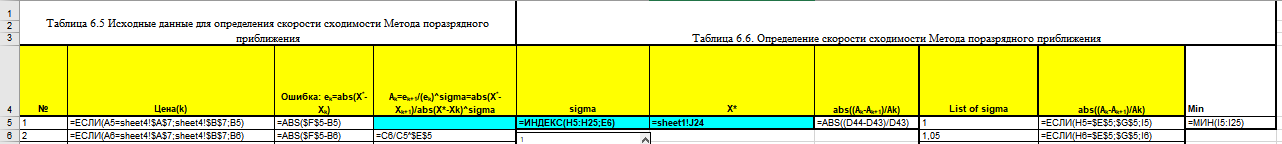
Метод поразрядного поиска нельзя использовать, если целевая функция не унимодальная, так как этот метод имеет глобальный тип сходимости. Это означает, что алгоритм остановится после нахождения первого экстремума. А этот первый экстремум не всегда может оказаться нужным нам экстремумом, то есть самым минимальным или самым максимальным.

**5. Определите порядок сходимости и константу асимптотической ошибки метода поразрядного поиска.**

**Таблица №7: Порядок сходимости σ и константа асимптотической ошибки А метода равномерного поиска.**



**Таблица №8: Формулы в ячейках:**



## 6. Определите тип сходимости и значение скорости сходимости для последовательности, которая генерируется методом поразрядного поиска.

Последовательность, которая генерируется методом поразрядного поиска, имеет глобальный тип сходимости. Величина скорости сходимости

SC = 8,63748185975238Е-06.

## 7. Перечислите преимущества и недостатки алгоритма поразрядного поиска.

Преимущества метода поразрядного приближения:

* Параметры h0 и R можно настроить так, чтобы повысить эффективность решения задачи оптимизации.
* Метод поразрядного поиска имеет самую высокую скорость сходимости.

Недостатки метода поразрядного приближения:

* Метод поразрядного приближения имеет сложный алгоритм.
* При настройке параметров h0 и R лучше брать значения не самые минимальные, так как при самых минимальных значениях этих параметров количество итераций резко возрастает.

## Глава №7: Описание лабораторной работы №7

## 1. Сформулируйте задачу оптимизации без ограничений на примере задачи №1: «Найти максимум прибыли в зависимости от цены товара без учета ограничений на величину кредита с использованием метода Ньютона».

Лабораторная №7

Задача №1: Найти максимум прибыли путем варьирования ценой рынка без учета ограничения на величину кредита.

**Таблица №1: Параметры модели рынка:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | Parametr\_A | Parametr\_B | Cost | Parametr\_D | Tolerance | Limit of Credit Value | X\*1 | X\*2 | alfa |
| 20 | 8,90E+41 | 2,416 | 4690 | 3,0759 | 0,00001 | 1,033600E+05 | 5600,361427 | 1,167310E+06 | 5E+38 |

**Модель рынка:**

Прибыль=Спрос\*(Цена-Себестоимость);

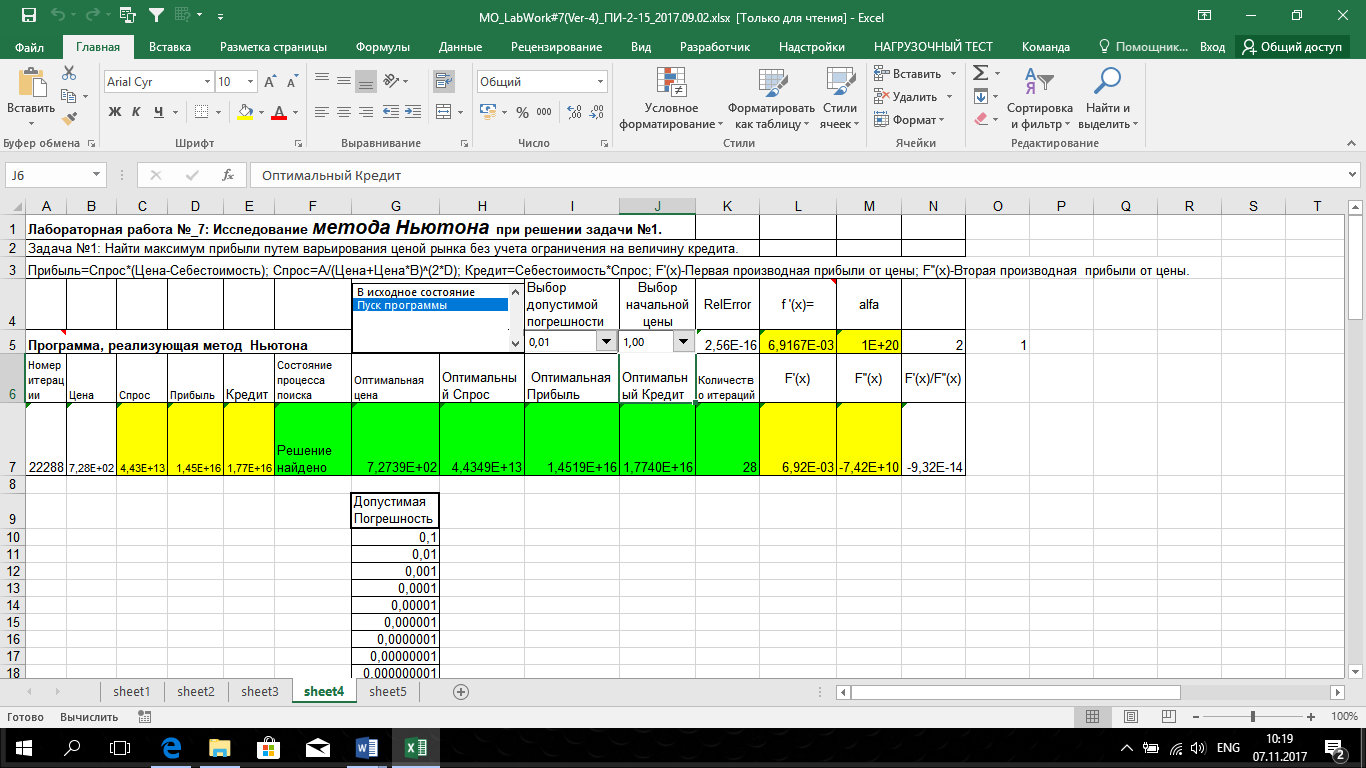
Спрос=A/(Цена+Цена\*B)^(2\*D);

Кредит=Себестоимость\*Спрос;

F'(x)-Первая производная прибыли от цены;

F''(x)-Вторая производная прибыли от цены.

**Таблица №2: Таблица Microsoft Excel:**



**Модель программы:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | | | | | | | RelError | f '(x)= | alfa |  |
| K5:= 2\*ABS(N7)/(ABS(B7)+I5) | L5:= M5\*(B7-2\*B7\*sheet1!E13+2\*sheet1!D13\*sheet1!E13)/B7^(2\*sheet1!E13+1) | M5:= sheet1!B13/(1+sheet1!C13)^(2\*sheet1!E13) |
| Номер итерации | Цена | Спрос | Прибыль | Кредит | Состояние процесса поиска | Оптимальная цена | Оптимальный Спрос | Оптимальная Прибыль | Оптимальный Кредит | Количество итераций | F'(x) | F''(x) | F'(x)/F''(x) |
| A7:= ЕСЛИ(H5=1;0;A7+1) | B7:= ЕСЛИ(A7=0;ЕСЛИ(J5<=0;I5;J5);ЕСЛИ(ABS(L7)<=I5;B7;ЕСЛИ((B7-(L7/M7))<0;I5;B7-(L7/M7)))) | C7:= ЕСЛИ((B7+B7\*sheet1!C13)<=0;I5;sheet1!B13/(B7+B7\*sheet1!C13)^(2\*sheet1!E13)) | D7:= C7\*(B7-sheet1!D13) | E7:= C7\*sheet1!D13 | F7:= ЕСЛИ(A7=0;"Исходное состояние";ЕСЛИ(ABS(K5)<I5;"Решение найдено";"Продолжайте поиск")) | G7:= ЕСЛИ(A7=0;B7;ЕСЛИ(ABS(K5)<I5;G7;B7)) | H7:= ЕСЛИ(A7=0;C7;ЕСЛИ(ABS(K5)<I5;H7;C7)) | I7:= ЕСЛИ(A7=0;D7;ЕСЛИ(ABS(K5)<I5;I7;D7)) | J7:= ЕСЛИ(A7=0;E7;ЕСЛИ(ABS(K5)<I5;J7;E7)) | K7:= ЕСЛИ(A7=0;0;ЕСЛИ(ABS(K5)<I5;K7;A7)) | L7:= M5\*(B7-2\*sheet1!E13\*B7+2\*sheet1!D13\*sheet1!E13)/B7^(2\*sheet1!E13+1) | M7:= (M5\*(1-2\*sheet1!E13)\*B7^(2\*sheet1!E13+1)-M5\*(1+2\*sheet1!E13)\*(B7-2\*sheet1!E13\*B7+2\*sheet1!E13\*sheet1!D13)\*B7^(2\*sheet1!E13))/B7^(4\*sheet1!E13+2) | N7:= L7/M7 |

**Таблица №3: Зависимость Количества итераций от Допустимой Погрешности.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Optimum Price** | **Optimum Demand** | **Optimum Profit** | **Optimum Credit** | **Amount of iteration** | **Tolerance** | **Initial Price** | **Initial Price – Optimum Price** | **Log of Tolerance** |
| 1 | 717,2435 | 4,57531E+13 | 1,45149E+16 | 1,83012E+16 | 27 | 0,1 | 1 | 727 | 2 |
| 2 | 727,3851 | 4,43489E+13 | 1,45192E+16 | 1,77396E+16 | 28 | 0,01 | 1 | 727 | 5 |
| 3 | 727,8678 | 4,42836E+13 | 1,45192E+16 | 1,77135E+16 | 29 | 0,001 | 1 | 727 | 7 |
| 4 | 727,8678 | 4,42836E+13 | 1,45192E+16 | 1,77135E+16 | 29 | 0,0001 | 1 | 727 | 9 |
| 5 | 432,9164 | 3,50683E+11 | 6,58992E+13 | 8,59174E+13 | 17 | 0,00001 | 1 | 727 | 12 |
| 6 | 432,9164 | 3,50683E+11 | 6,58992E+13 | 8,59174E+13 | 17 | 0,000001 | 1 | 727 | 14 |
| 7 | 433,0852 | 3,50369E+11 | 6,58992E+13 | 8,58404E+13 | 18 | 0,0000001 | 1 | 727 | 16 |
| 8 | 433,0852 | 3,50369E+11 | 6,58992E+13 | 8,58404E+13 | 18 | 0,00000001 | 1 | 727 | 18 |
| 9 | 433,0854 | 3,50369E+11 | 6,58992E+13 | 8,58403E+13 | 19 | 0,000000001 | 1 | 727 | 21 |
| 10 | 433,0854 | 3,50369E+11 | 6,58992E+13 | 8,58403E+13 | 19 | 1E-10 | 1 | 727 | 23 |
| 11 | 727,8689 | 4,42835E+13 | 1,45192E+16 | 1,77134E+16 | 11 | 1E-11 | 1 | 727 | 25 |

**На основани этой таблицы исследована получена следующая зависимость:**

## 2.1. Зависимость Количества итераций от Допустимой Погрешности.

На графике Рис.7.1 видно, что количество итераций постепенно возрастает при уменьшении погрешности. Данная зависимость линейная и это говорит о том, что мы найдем решение задачи при любой погрешности.

**Таблица №4: Зависимость Количества итераций от начальной аппроксимации цены.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Optimum Price** | **Optimum Demand** | **Optimum Profit** | **Optimum Credit** | **Amount of iteration** | **Tolerance** | **Initial Price** | **Initial Price – Optimum Price** |
| 1 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 73 | 1E-11 | 1,00 | 5599 |
| 2 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 37 | 1E-11 | 115,27 | 5485 |
| 3 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 31 | 1E-11 | 229,55 | 5371 |
| 4 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 28 | 1E-11 | 343,82 | 5257 |
| 5 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 26 | 1E-11 | 458,09 | 5142 |
| 6 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 24 | 1E-11 | 572,36 | 5028 |
| 7 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 23 | 1E-11 | 686,64 | 4914 |
| 8 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 22 | 1E-11 | 800,91 | 4799 |
| 9 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 21 | 1E-11 | 915,18 | 4685 |
| 10 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 20 | 1E-11 | 1029,45 | 4571 |
| 11 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 19 | 1E-11 | 1143,73 | 4457 |
| 12 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 18 | 1E-11 | 1258,00 | 4342 |
| 13 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 17 | 1E-11 | 1372,27 | 4228 |
| 14 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 17 | 1E-11 | 1486,54 | 4114 |
| 15 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 16 | 1E-11 | 1600,82 | 4000 |
| 16 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 16 | 1E-11 | 1715,09 | 3885 |
| 17 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 15 | 1E-11 | 1829,36 | 3771 |
| 18 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 15 | 1E-11 | 1943,64 | 3657 |
| 19 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 14 | 1E-11 | 2057,91 | 3542 |
| 20 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 14 | 1E-11 | 2172,18 | 3428 |
| 21 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 13 | 1E-11 | 2286,45 | 3314 |
| 22 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 13 | 1E-11 | 2400,73 | 3200 |
| 23 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 12 | 1E-11 | 2515,00 | 3085 |
| 24 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 12 | 1E-11 | 2629,27 | 2971 |
| 25 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 12 | 1E-11 | 2743,54 | 2857 |
| 26 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 11 | 1E-11 | 2857,82 | 2743 |
| 27 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 11 | 1E-11 | 2972,09 | 2628 |
| 28 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 11 | 1E-11 | 3086,36 | 2514 |
| 29 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 10 | 1E-11 | 3200,64 | 2400 |
| 30 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 10 | 1E-11 | 3314,91 | 2285 |
| 31 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 10 | 1E-11 | 3429,18 | 2171 |
| 32 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 9 | 1E-11 | 3543,45 | 2057 |
| 33 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 9 | 1E-11 | 3657,73 | 1943 |
| 34 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 9 | 1E-11 | 3772,00 | 1828 |
| 35 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 9 | 1E-11 | 3886,27 | 1714 |
| 36 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 8 | 1E-11 | 4000,54 | 1600 |
| 37 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 8 | 1E-11 | 4114,82 | 1486 |
| 38 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 8 | 1E-11 | 4229,09 | 1371 |
| 39 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 7 | 1E-11 | 4343,36 | 1257 |
| 40 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 7 | 1E-11 | 4457,63 | 1143 |
| 41 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 7 | 1E-11 | 4571,91 | 1028 |
| 42 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 7 | 1E-11 | 4686,18 | 914 |
| 43 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 6 | 1E-11 | 4800,45 | 800 |
| 44 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 6 | 1E-11 | 4914,73 | 686 |
| 45 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 6 | 1E-11 | 5029,00 | 571 |
| 46 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 5 | 1E-11 | 5143,27 | 457 |
| 47 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 5 | 1E-11 | 5257,54 | 343 |
| 48 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 5 | 1E-11 | 5371,82 | 229 |
| 49 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 4 | 1E-11 | 5486,09 | 114 |
| 50 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 0 | 1E-11 | 5600,36 | 0 |
| 51 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 4 | 1E-11 | 5714,63 | 114 |
| 52 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 5 | 1E-11 | 5828,91 | 229 |
| 53 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 6 | 1E-11 | 5943,18 | 343 |
| 54 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 7 | 1E-11 | 6057,45 | 457 |
| 55 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 8 | 1E-11 | 6171,72 | 571 |
| 56 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 11 | 1E-11 | 6286,00 | 686 |

**На основании этой таблицы исследована и получена следующая зависимость:**

**2.2** Зависимость Количества итераций от начальной аппроксимации цены.

На графике 7. 2 видно, что количество итераций тем меньше, чем ближе задана начальная аппроксимация цены от оптимального значения цены. При Начальной цене 5600,36 Количество итераций = 0. После начальной цены 5600,36 количество итераций возрастает, следовательно, зависимость имеет параболический вид. График показывает, что данная зависимость экспоненциальная, что слева, что справа от оптимальной точки, данный метод имеет локальный тип сходимости, т. е. при некоторых значениях начальной точки, находящихся вне области сходимости, метод Ньютона перестает находить решение.

## 3. Дайте ответы на следующие вопросы:

## 3.1. Какому типу уравнения должна удовлетворять первая производная от целевой функции в экстремальной точке?

Предположим, что задана задача оптимизации 

Из **теоремы 2** (о функции, имеющей локальный экстремум) нам известно:

1. если интервал [a; b] является областью определения целевой функции и этот интервал является допустимым интервалом;
2. если х\* является элементом открытого интервала (a; b), то есть является внутренней точкой замкнутого интервала [a; b];
3. если целевая функция  является дифференцируемой в точке х, равной х\*;
4. если целевая функция имеет локальный экстремум во внутренней точке х\*, то тогда первая производная целевой функции удовлетворяет следующему уравнению: 

## 3.2. Какой тип функции называется итерационной функцией Ньютона-Рафсона?

Функция в правой части уравнения  называется итерационной функцией Ньютона-Рафсона.

Здесь , а .

## 3.3. Каким видом соотношения (формула, уравнение, выражение) полностью описывается алгоритм Ньютона?

Алгоритм Ньютона полностью описывается следующим соотношением:  ,

где , а .

Вычислительное описание

|  |
| --- |
| **INPUT** {X0; Epsilon; Delta; R; Max}  **Body of algorithm**  Cond: = 0; /\* Condition for loop termination \*/  FX0: = f(X0); /\* Objective function at given point \*/  DFX0: = f ‘(X0); /\* First derivative of the objective function at given point \*/  DDFX0: = f ‘’(X0); /\* Second derivative of the objective function at given point  K=0  \*/  |While K< Max & Cond=0;  | DDFX0: = f ‘’(X0); /\* Second derivative of the objective function at given point \*/  | |IF abs( DDFX0)<=Epsilon THEN  | | Cond:=1; QND: =0; /\* QND stands for Quotient is Numerator/Denominator \*/  | | ELSE DP:= DFX0/DDFX0; /\* Quotient is the ratio = numerator/denominator \*/  | |IF K=1 THEN DP0:= DP;  | |ENDIF  | |IF SIGN(DP0)=SIGN(DP) /\* Handle an auto-oscillation \*/  | | THEN X1:= X0 – DP; /\* If an Oscillation is absent \*/  | | ELSE X1:= X0 – DP/R; /\* If an Oscillation is present \*/  | |ENDIF  | | DP0:=DP;  | | FX1:=f(X1); /\* New objective function value \*/  | | DFX1:=f ‘(X1); /\* First derivative of objective function value \*/  | | RelError:= 2\*ABS(DP)/(ABS(X1) + Epsilon); /\* Relative error \*/  | | |IF RelError < Delta THEN /\* Check of convergence of sequence \*/  | | | |If Cond ≠ 1 THEN Cond:= 2;  | | | |ENDIF  | | |ENDIF  | | X0:= X1; DFX0:= DFX1; /\* Update values \*/  | |ENDIF  |ENDDO  **OUTPUT**  PRINT ‘The optimum solution x\* equal’ X1  PRINT ‘The optimum solution was found with the desired tolerance’ Epsilon  PRINT ‘The minimum of objective function f(x\*) is’ FX1  PRINT ‘The value of first derivative f ’(x) is‘ DFX1  /\* *Report about searching process state is given from program \*/*  IF Cond = 0 THEN  PRINT “The maximum number of iterations was exceeded”  IF Cond = 1 THEN  PRINT “Division by zero was encountered”  IF Cond = 2 THEN  PRINT “The solution was found with the desired tolerance” |
| X0 – Initial approximation;  Epsilon – Tolerance;  Delta – Parameter to check convergence of sequence are generated under study method by comparison the relative error value;  R – Optional generic parameter to squeeze seeking area to handle auto-oscillation;  Max – Limit number of iterations. |

Блок схема

## 3.4. Какой тип локального экстремума ищет алгоритм Ньютона, если целевая функция – полимодальная?

Если целевая функция полимодальная, то алгоритм Ньютона будет искать либо локальный минимум, либо локальный максимум в зависимости от того, какой тип экстремума ближе к начальному значению х0.

## 3.5. Какие типы параметров должны быть заданы для вычисления по алгоритму Ньютона?

Для вычислений по алгоритму Ньютона необходимо задать начальную аппроксимацию **х0**.

## 3.6. Какие типы параметров могут быть использованы для поиска одного или нескольких возможных экстремумов по алгоритму Ньютона?

Для поиска одного или нескольких возможных экстремумов по алгоритму Ньютона может быть использована начальная аппроксимация х0 .

## 3.7. Какой тип итерационного процесса генерируется по алгоритму Ньютона?

Метод Ньютона генерирует стационарный (правило вычисления новой точки xk+1 не меняется на каждом шаге, то есть размер шага не зависит от номера итерации), одношаговый (использует только одну предыдущую точку для нахождения новой точки) итерационный процесс.

## 3.8. Можно ли использовать метод Ньютона в случае, когда целевая функция не является унимодальной функцией?

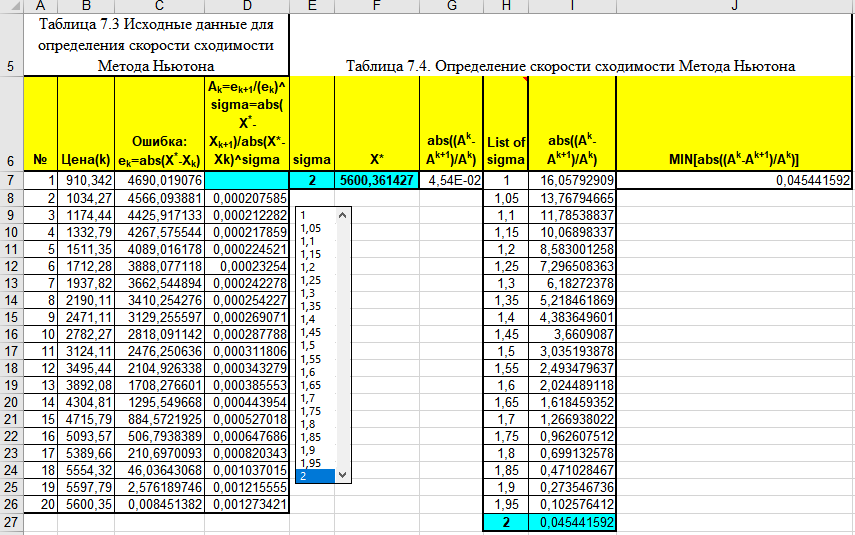
Если целевая функция не является унимодальной, то метод Ньютона может применяться. Все зависит от того, насколько близко находится начальная точка аппроксимации x0.

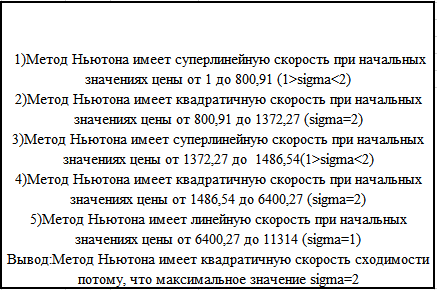
## 3.9. Можно ли применить метод Ньютона в случае, когда целевая функция не является дифференцируемой функцией?

Метод Ньютона нельзя применять, если целевая функция не дифференцируема, так как метод Ньютона использует производные от целевой функции.

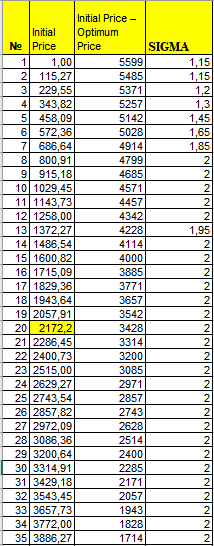
## 4. Определите порядок сходимости и константу асимптотической ошибки для метода Ньютона.

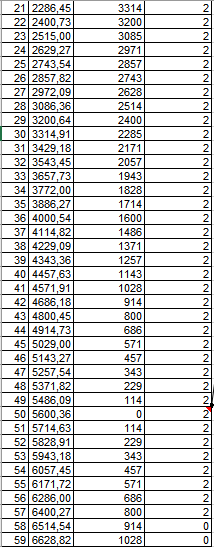
Таблица №5: Порядок сходимости σ и константа асимптотической ошибки А метода Ньютона.

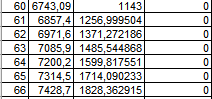




**Таблица №6: Зависимость скорости сходимости итерационного алгоритма от Начальной цены**







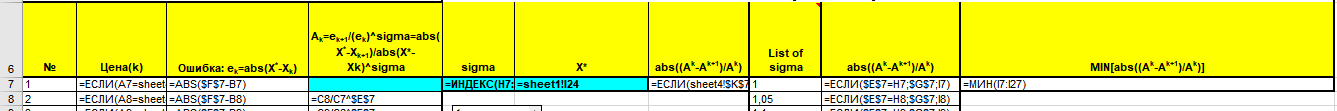
Как видно из таблицы №6, скорость сходимости Метода Ньютона зависит от задания значения начальной цены относительно оптимальной цены. Если начальная цена задана достаточно близко к оптимальной цене, то тем ближе скорость сходимости к **квадратичной**. Если начальная цена задана достаточно далеко от оптимальной цены, то скорость сходимости может быть **линейной или суперлинейной**. Поэтому начальная цена, равная оптимальной имеет квадратичную скорость сходимости — **SIGMA** **= 2**.

На основании этой таблицы исследована и получена следующая зависимость:

## 4.1. Зависимость скорости сходимости итерационного алгоритма от Начальной цены.

Скорость сходимости Метода Ньютона зависит от задания значения начальной цены. На графике 7.3 видно, что если начальная цена задана в интервалах [800,91;1258] и [1486,54;6400,27], что метод имеет квадратичную скорость сходимости. Вне этого интервала метод сходится с суперлинейной скоростью, либо не сходится совсем

**Таблица №7: Формулы в ячейках:**



## 5. Определите тип сходимости для последовательности, которая генерируется методом Ньютона.

Последовательность, которая генерируется методом Ньютона, имеет локальный тип сходимости.

Величина скорости сходимости SC = 0,001273421

## 6. Перечислите преимущества и недостатки метода Ньютона.

Преимущества метода Ньютона:

* Метод Ньютона производит меньше всего итераций среди всех методов оптимизации.
* Находит решение с любой точностью

Недостатки метода Ньютона:

* Начальное значение цены *х0* должно быть задано достаточно близко к оптимальному значению, что весьма сложно сделать потому что оптимальное значение всегда неизвестно.

На каждую итерацию метод Ньютона затрачивает по 6 вычислений ЦФ (при вычислении первой производной методу требуется вычислить 2 раза ЦФ, а при вычислении второй производной – 4 раза), что удлиняет время вычислений каждой итерации.

## 

## Глава №8: Описание лабораторной работы №8

## 1. Сформулируйте задачу оптимизации с учетом ограничений на примере задачи №2: «Найти максимум прибыли в зависимости от цены товара с учетом ограничений на величину кредита с использованием метода Ньютона».

Лабораторная №8

Задача: Найти максимум прибыли путем варьирования ценой рынка с учетом ограничения на величину кредита.

**Таблица №1:** **Параметры модели рынка:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | Parametr\_A | Parametr\_B | Cost | Parametr\_D | Tolerance | Limit of Credit Value | X\*1 | X\*2 | alfa |
| 20 | 8,90E+41 | 2,416 | 4690 | 3,0759 | 0,00001 | 1,033600E+05 | 5600,361427 | 1,167310E+06 | 5E+38 |

**Модель рынка:**

Прибыль=Спрос\*(Цена-Себестоимость);

Спрос=A/(Цена+Цена\*B)^(2\*D);

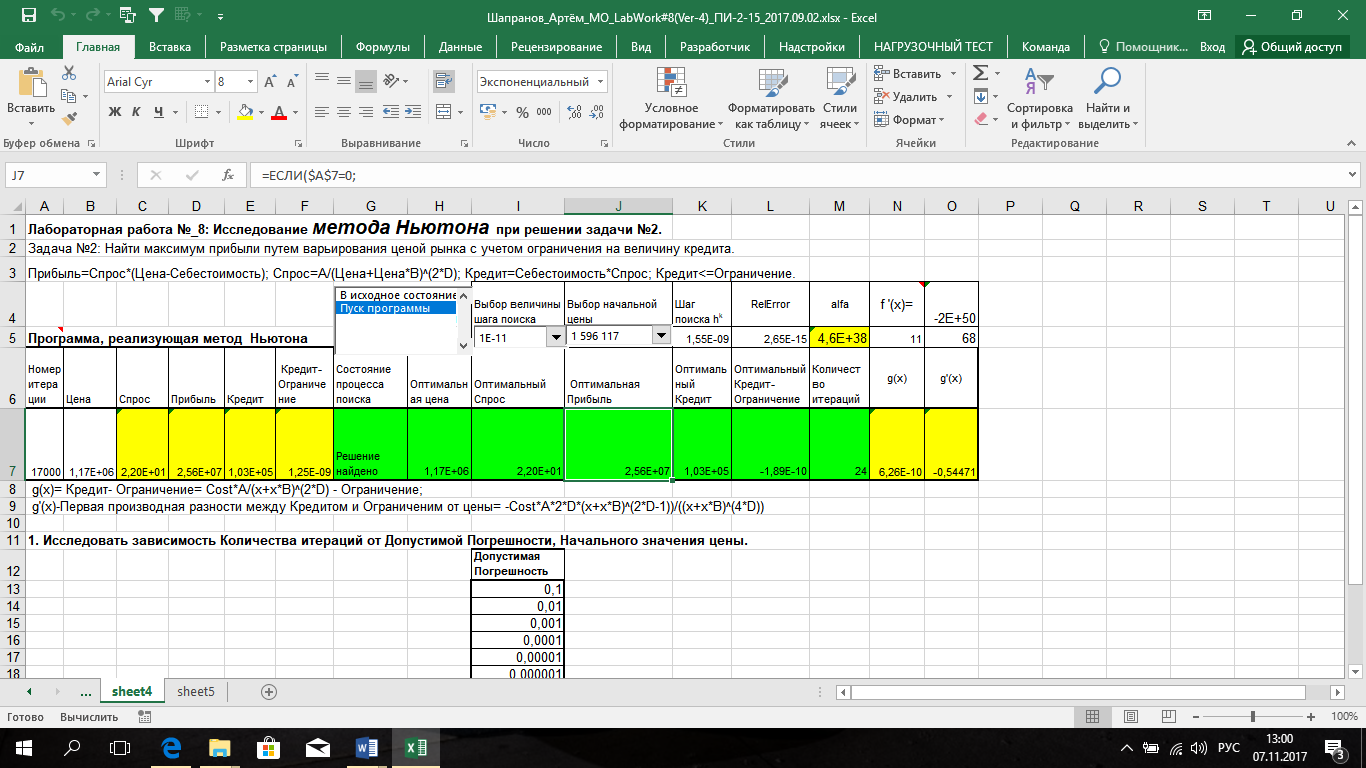
Кредит=Себестоимость\*Спрос;

F'(x)-Первая производная прибыли от цены;

F''(x)-Вторая производная прибыли от цены;

Кредит ≤ Ограничения.

**Таблица №2: Таблица Microsoft Excel:**



**Модель программы:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Шаг поиска hk | RelError | alfa |  | -4\*(((M5\*sheet1!D13/H7^(2\*sheet1!E13)-sheet1!G13)\*sheet4!M5\*sheet1!D13\*sheet1!E13/H7^(2\*sheet1!E13+1))) |
|  | |  | | | | | |  |  |  |  | K5:=N7/O7 | L5:=2\*ABS(K5)/(ABS(B7)+I5) | M5:= sheet1!B13/(1+sheet1!C13)^(2\*sheet1!E13) |  |  |
| Номер итерации | Цена | | Спрос | Прибыль |  | Кредит | Кредит- Ограничение | Состояние процесса поиска | Оптимальная цена | Оптимальный Спрос | Оптимальная Прибыль | Оптимальный Кредит | Оптимальный Кредит- Ограничение | Количество итераций | g(x) | g'(x) |
| A7:= ЕСЛИ(H5=1;0;A7+1) | B7:= ЕСЛИ(A7=0;J5;B7-K5) | | C7:= sheet1!B13/(B7+B7\*sheet1!C13)^(2\*sheet1!E13) | D7:= C7\*(B7-sheet1!D13) |  | E7:= C7\*sheet1!D13 | F7:= E7-sheet1!G13 | G7:= ЕСЛИ(A7=0;  "Исходное состояние";  ЕСЛИ(L5<=I5; "Решение найдено"; "Продолжить поиск")) | H7:= ЕСЛИ($A$7=0;  B7; ЕСЛИ($L$5<=I5; H7; B7)) | I7= ЕСЛИ($A$7=0;  C7; ЕСЛИ($L$5<=I5; I7;  C7)) | J7:= ЕСЛИ($A$7=0;  D7; ЕСЛИ($L$5<=I5; J7; D7)) | K7:= ЕСЛИ($A$7=0;  E7; ЕСЛИ($L$5<=I5;  K7; E7)) | L7:= ЕСЛИ($A$7=0;  F7; ЕСЛИ($L$5<=I5;  L7; F7)) | M7:= ЕСЛИ($A$7=0;  A7; ЕСЛИ($L$5<=I5; M7; A7)) | N7:= M5\*sheet1!D13/B7^(2\*sheet1!E13)-sheet1!G13 | O7:= -2\*M5\*sheet1!D13\*sheet1!E13/B7^(2\*sheet1!E13+1) |

**Таблица №3: Зависимость Количества итераций от Допустимой Погрешности.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Оптимальная Цена** | **Оптимальный Спрос** | **Оптимальная Прибыль** | **Оптимальный Кредит** | **Оптимальный Кредит- Ограничение** | **Количество итераций** | **Допустимая Погрешность** | **Начальная цена** | **Начальная цена- Оптимальная цена** | **Logarithm of Tolerance** |
| 1 | 1,15E+06 | 2,36E+01 | 2,71E+07 | 1,11E+05 | 7,35E+03 | 94 | 0,1 | 1 | 1 154 347 | 2,30 |
| 2 | 1,17E+06 | 2,21E+01 | 2,57E+07 | 1,04E+05 | 2,75E+02 | 95 | 0,01 | 1 | 1 166 804 | 4,61 |
| 3 | 1,17E+06 | 2,21E+01 | 2,57E+07 | 1,04E+05 | 2,75E+02 | 95 | 0,001 | 1 | 1 166 804 | 6,91 |
| 4 | 1,17E+06 | 2,20E+01 | 2,56E+07 | 1,03E+05 | 4,25E-01 | 96 | 0,0001 | 1 | 1 167 308 | 9,21 |
| 5 | 1,17E+06 | 2,20E+01 | 2,56E+07 | 1,03E+05 | 4,25E-01 | 96 | 0,00001 | 1 | 1 167 308 | 11,51 |
| 6 | 1,17E+06 | 2,20E+01 | 2,56E+07 | 1,03E+05 | 1,01E-06 | 97 | 0,000001 | 1 | 1 167 309 | 13,82 |
| 7 | 1,17E+06 | 2,20E+01 | 2,56E+07 | 1,03E+05 | 1,01E-06 | 97 | 0,0000001 | 1 | 1 167 309 | 16,12 |
| 8 | 1,17E+06 | 2,20E+01 | 2,56E+07 | 1,03E+05 | 1,01E-06 | 97 | 0,00000001 | 1 | 1 167 309 | 18,42 |
| 9 | 1,17E+06 | 2,20E+01 | 2,56E+07 | 1,03E+05 | 1,01E-06 | 97 | 0,000000001 | 1 | 1 167 309 | 20,72 |
| 10 | 1,17E+06 | 2,20E+01 | 2,56E+07 | 1,03E+05 | 1,01E-06 | 97 | 1E-10 | 1 | 1 167 309 | 23,03 |
| 11 | 1,17E+06 | 2,20E+01 | 2,56E+07 | 1,03E+05 | 1,01E-06 | 97 | 1E-11 | 1 | 1 167 309 | 25,33 |

На основании этой таблицы исследована и получена следующая зависимость:

## 2.1. Зависимость Количества итераций от Допустимой Погрешности.

На графике 8.1 видно, что количество итераций постепенно возрастает при уменьшении погрешности. Данная зависимость линейная и это говорит о том, что мы найдем решение задачи при любой погрешности.

**Таблица №4: Зависимость Количества итераций от Начального значения цены**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Оптимальная Цена** | **Оптимальный Спрос** | **Оптимальная Прибыль** | **Оптимальный Кредит** | **Оптимальный Кредит- Ограничение** | **Количество итераций** | **Допустимая Погрешность** | **Начальная цена** | **Начальная цена- Оптимальная цена** |
| 1 | 1,1673E+06 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,01475E-06 | 97 | 1E-11 | 1 | 1 167 309 |
| 2 | 1,1673E+06 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 31 | 1E-11 | 23 824 | 1 143 486 |
| 3 | 1,1673E+06 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 26 | 1E-11 | 47 646 | 1 119 663 |
| 4 | 1,1673E+06 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,88884E-08 | 23 | 1E-11 | 71 469 | 1 095 841 |
| 5 | 1,1673E+06 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,15819E-07 | 21 | 1E-11 | 95 291 | 1 072 018 |
| 6 | 1,1673E+06 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 20 | 1E-11 | 119 114 | 1 048 195 |
| 7 | 1,1673E+06 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 19 | 1E-11 | 142 937 | 1 024 373 |
| 8 | 1,1673E+06 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 18 | 1E-11 | 166 759 | 1 000 550 |
| 9 | 1,1673E+06 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,25146E-09 | 17 | 1E-11 | 190 582 | 976 728 |
| 10 | 1,1673E+06 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 16 | 1E-11 | 214 405 | 952 905 |
| 11 | 1,1673E+06 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 2,18279E-08 | 15 | 1E-11 | 238 227 | 929 082 |
| 12 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 15 | 1E-11 | 262 050 | 905 260 |
| 13 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,25146E-09 | 14 | 1E-11 | 285 872 | 881 437 |
| 14 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 2,79497E-06 | 13 | 1E-11 | 309 695 | 857 614 |
| 15 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 13 | 1E-11 | 333 518 | 833 792 |
| 16 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,25146E-09 | 13 | 1E-11 | 357 340 | 809 969 |
| 17 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,25146E-09 | 12 | 1E-11 | 381 163 | 786 147 |
| 18 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 12 | 1E-11 | 404 986 | 762 324 |
| 19 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,45214E-07 | 11 | 1E-11 | 428 808 | 738 501 |
| 20 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 11 | 1E-11 | 452 631 | 714 679 |
| 21 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 11 | 1E-11 | 476 453 | 690 856 |
| 22 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 9,08622E-08 | 10 | 1E-11 | 500 276 | 667 033 |
| 23 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 10 | 1E-11 | 524 099 | 643 211 |
| 24 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 10 | 1E-11 | 547 921 | 619 388 |
| 25 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 7,01897E-07 | 9 | 1E-11 | 571 744 | 595 566 |
| 26 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 2,73576E-09 | 9 | 1E-11 | 595 567 | 571 743 |
| 27 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,6735E-09 | 9 | 1E-11 | 619 389 | 547 920 |
| 28 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,25146E-09 | 9 | 1E-11 | 643 212 | 524 098 |
| 29 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 3,6553E-07 | 8 | 1E-11 | 667 034 | 500 275 |
| 30 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 2,73576E-09 | 8 | 1E-11 | 690 857 | 476 452 |
| 31 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 8 | 1E-11 | 714 680 | 452 630 |
| 32 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,25146E-09 | 8 | 1E-11 | 738 502 | 428 807 |
| 33 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,77561E-06 | 7 | 1E-11 | 762 325 | 404 985 |
| 34 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 3,06463E-08 | 7 | 1E-11 | 786 148 | 381 162 |
| 35 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,25146E-09 | 7 | 1E-11 | 809 970 | 357 339 |
| 36 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,25146E-09 | 7 | 1E-11 | 833 793 | 333 517 |
| 37 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 7 | 1E-11 | 857 615 | 309 694 |
| 38 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 9,45714E-07 | 6 | 1E-11 | 881 438 | 285 871 |
| 39 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,88884E-08 | 6 | 1E-11 | 905 261 | 262 049 |
| 40 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 6 | 1E-11 | 929 083 | 238 226 |
| 41 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 6 | 1E-11 | 952 906 | 214 404 |
| 42 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 6 | 1E-11 | 976 729 | 190 581 |
| 43 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 7,70931E-07 | 5 | 1E-11 | 1 000 551 | 166 758 |
| 44 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,3024E-08 | 5 | 1E-11 | 1 024 374 | 142 936 |
| 45 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 5 | 1E-11 | 1 048 196 | 119 113 |
| 46 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,6735E-09 | 5 | 1E-11 | 1 072 019 | 95 290 |
| 47 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,98271E-06 | 4 | 1E-11 | 1 095 842 | 71 468 |
| 48 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 5,67525E-09 | 4 | 1E-11 | 1 119 664 | 47 645 |
| 49 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,25146E-09 | 4 | 1E-11 | 1 143 487 | 23 823 |
| 50 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,25146E-09 | 0 | 1E-11 | 1 167 310 | 0 |
| 51 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 4 | 1E-11 | 1 191 132 | 23 823 |
| 52 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,3024E-08 | 4 | 1E-11 | 1 214 955 | 47 645 |
| 53 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 5 | 1E-11 | 1 238 777 | 71 468 |
| 54 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,25146E-09 | 5 | 1E-11 | 1 262 600 | 95 290 |
| 55 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,74186E-08 | 5 | 1E-11 | 1 286 423 | 119 113 |
| 56 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,25146E-09 | 6 | 1E-11 | 1 310 245 | 142 936 |
| 57 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 6 | 1E-11 | 1 334 068 | 166 758 |
| 58 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 3,21015E-08 | 6 | 1E-11 | 1 357 891 | 190 581 |
| 59 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,25146E-09 | 7 | 1E-11 | 1 381 713 | 214 404 |
| 60 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 2,73576E-09 | 7 | 1E-11 | 1 405 536 | 238 226 |
| 61 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 8 | 1E-11 | 1 429 358 | 262 049 |
| 62 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 8,64675E-08 | 8 | 1E-11 | 1 453 181 | 285 871 |
| 63 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,25146E-09 | 9 | 1E-11 | 1 477 004 | 309 694 |
| 64 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,25146E-09 | 10 | 1E-11 | 1 500 826 | 333 517 |
| 65 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 9,03136E-07 | 11 | 1E-11 | 1 524 649 | 357 339 |
| 66 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,65761E-07 | 13 | 1E-11 | 1 548 472 | 381 162 |
| 67 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | 1,05587E-06 | 16 | 1E-11 | 1 572 294 | 404 985 |
| 68 | 1167309,591 | 22,03837953 | 25622251,79 | 103360 | -1,8917E-10 | 24 | 1E-11 | 1 596 117 | 428 807 |

На основании этой таблицы исследована и получена следующая зависимость:

На графике 8.2 видно, что чем меньше количество итераций, тем ближе задана начальная аппроксимация цены от оптимального значения цены. При Начальной цене 1 167 310 количество итераций = 0. После начальной цены 1 167 310 количество итераций возрастает. График показывает, что данная зависимость экспоненциальная, что слева, что справа от оптимальной точки, данный метод имеет локальный тип сходимости, т. е. при некоторых значениях начальной точки, находящихся вне области сходимости, метод Ньютона перестает находить решение

## 3. Ответы на вопросы.

## 3.1. Какому типу уравнения должна удовлетворять первая производная от целевой функции в экстремальной точке?

Предположим, что задана задача оптимизации 

Из **теоремы 2** (о функции, имеющей локальный экстремум) нам известно:

1. если интервал *[a; b]* является областью определения целевой функции и этот интервал является допустимым интервалом;
2. если *х\** является элементом открытого интервала *(a; b)*, то есть является внутренней точкой замкнутого интервала *[a; b]*;
3. если целевая функция  является дифференцируемой в точке *х*, равной *х\**;
4. если целевая функция имеет локальный экстремум во внутренней точке *х\**;

то тогда первая производная целевой функции удовлетворяет следующему уравнению: 

## 3.2. Какой тип функции называется итерационной функцией Ньютона-Рафсона?

Функция в правой части уравнения  называется итерационной функцией Ньютона-Рафсона.

Здесь , а .

## 3.3. Каким видом соотношения (формула, уравнение, выражение) полностью описывается алгоритм Ньютона?

Алгоритм Ньютона полностью описывается следующим соотношением:  , где , а .

3.4. Какой тип локального экстремума ищет алгоритмом Ньютона, если целевая функция – полимодальная?

Если целевая функция полимодальная, то алгоритм Ньютона будет искать либо локальный минимум, либо локальный максимум в зависимости от того, какой тип экстремума ближе к начальному значению *х0*.

## 3.5. Какие типы параметров должны быть заданы для вычисления по алгоритму Ньютона?

Для вычислений по алгоритму Ньютона необходимо задать начальную аппроксимацию **х0**.

## 3.6. Какие типы параметров могут быть использованы для поиска одного или нескольких возможных экстремумов по алгоритму Ньютона?

Для поиска одного или нескольких возможных экстремумов по алгоритму Ньютона может быть использована начальная аппроксимация *х0*.

## 3.7. Какой тип итерационного процесса генерируется по алгоритму Ньютона?

Метод Ньютона генерирует стационарный (правило вычисления новой точки *xk+1* не меняется на каждом шаге, то есть размер шага не зависит от номера итерации), одношаговый (использует только одну предыдущую точку для нахождения новой точки) итерационный процесс.

## 3.8. Можно ли использовать метод Ньютона в случае, когда целевая функция не является унимодальной функцией?

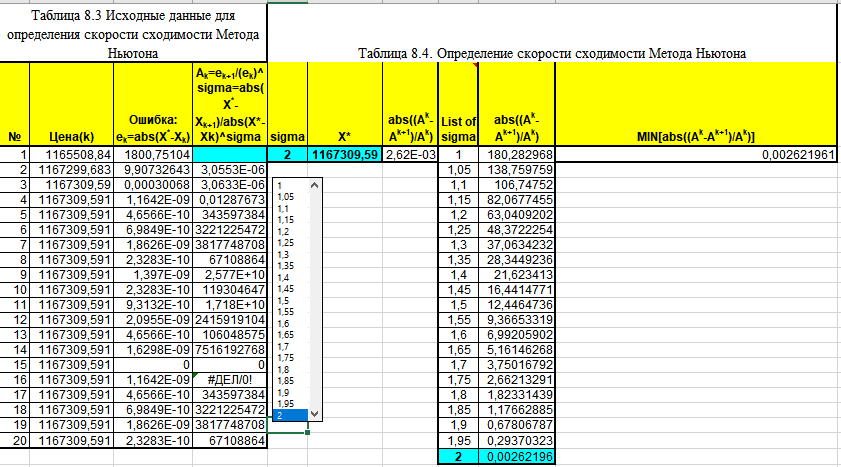
Если целевая функция не является унимодальной, то метод Ньютона может применяться. Все зависит от того, насколько близко находится начальная точка аппроксимации *x0*.

## 3.9. Можно ли применить метод Ньютона в случае, когда целевая функция не является дифференцируемой функцией?

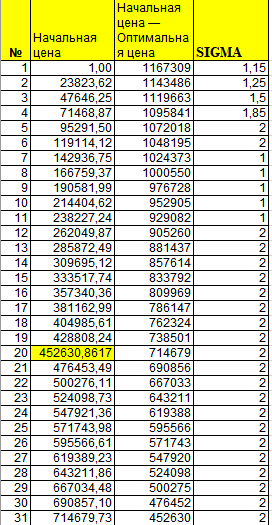
Метод Ньютона нельзя применять, если целевая функция не дифференцируема, так как метод Ньютона использует производные от целевой функции.

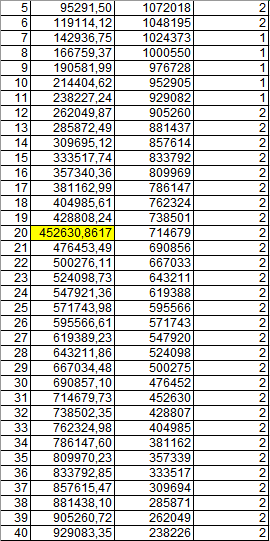
## 4. Определите порядок сходимости и константу асимптотической ошибки для метода Ньютона.

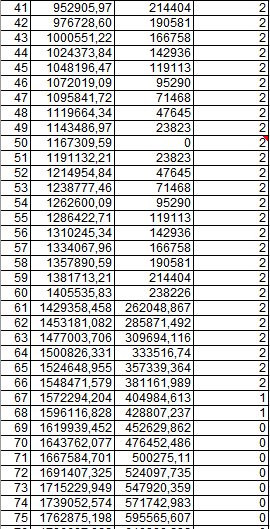
**Таблица №5: Порядок сходимости и константа асимптотической ошибки А метода Ньютона.**



**Таблица №6: Зависимость скорости сходимости итерационного алгоритма от Начальной цены**





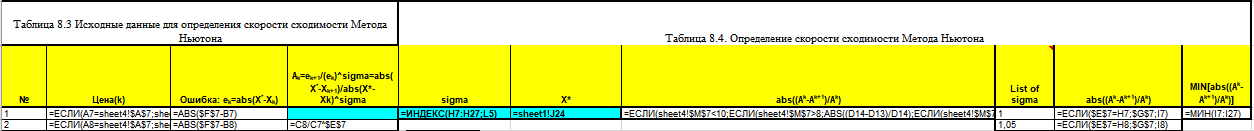


Как видно из таблицы №6, скорость сходимости Метода Ньютона зависит от задания значения начальной цены относительно оптимальной цены. Если начальная цена задана достаточно близко к оптимальной цене, то тем ближе скорость сходимости к **квадратичной**. Если начальная цена задана достаточно далеко от оптимальной цены, то скорость сходимости может быть **линейной или суперлинейной**. Поэтому начальная цена, равная оптимальной имеет квадратичную скорость сходимости — **SIGMA** **= 2**.

4.1. Зависимость скорости сходимости итерационного алгоритма от Начальной цены.

Скорость сходимости Метода Ньютона зависит от задания значения начальной цены. На графике видно, что если начальная цена задана в интервале [95291,497; 119114,121] и [262049,867; 1548471,579], что метод имеет квадратичную скорость сходимости. Вне этого интервала метод сходится с суперлинейной скоростью, либо не сходится совсем.

**Таблица №7: Формулы в ячейках:**



## 

## 5. Определите тип сходимости для последовательности, которая генерируется методом Ньютона.

Последовательность, которая генерируется методом Ньютона, имеет локальный тип сходимости.

Величина скорости сходимости SC = 67108864.

## 6. Перечислите преимущества и недостатки метода Ньютона.

Преимущества метода Ньютона:

* Метод Ньютона производит меньше всего итераций среди всех методов оптимизации.
* Находит решение с любой точностью

Недостатки метода Ньютона:

* Начальное значение цены *х0* должно быть задано достаточно близко к оптимальному значению, что весьма сложно сделать потому что оптимальное значение всегда неизвестно.

На каждую итерацию метод Ньютона затрачивает по 6 вычислений ЦФ (при вычислении первой производной методу требуется вычислить 2 раза ЦФ, а при вычислении второй производной – 4 раза), что удлиняет время вычислений каждой итерации.

## Глава №9: Описание лабораторной работы №9

## 1. Сформулируйте задачу оптимизации без ограничений на примере задачи №1: «Найти максимум прибыли в зависимости от цены товара без учета ограничений на величину кредита при использовании метода золотого сечения».

Лабораторная №9

Задача №1: Найти максимум прибыли путем варьирования ценой рынка без учета ограничения на величину кредита.

**Таблица №1: Параметры модели рынка:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | Parametr\_A | Parametr\_B | Cost | Parametr\_D | Tolerance | Limit of Credit Value | X\*1 | X\*2 | alfa |
| 20 | 8,90E+41 | 2,416 | 4690 | 3,0759 | 0,00001 | 1,033600E+05 | 5600,361427 | 1,167310E+06 | 5E+38 |

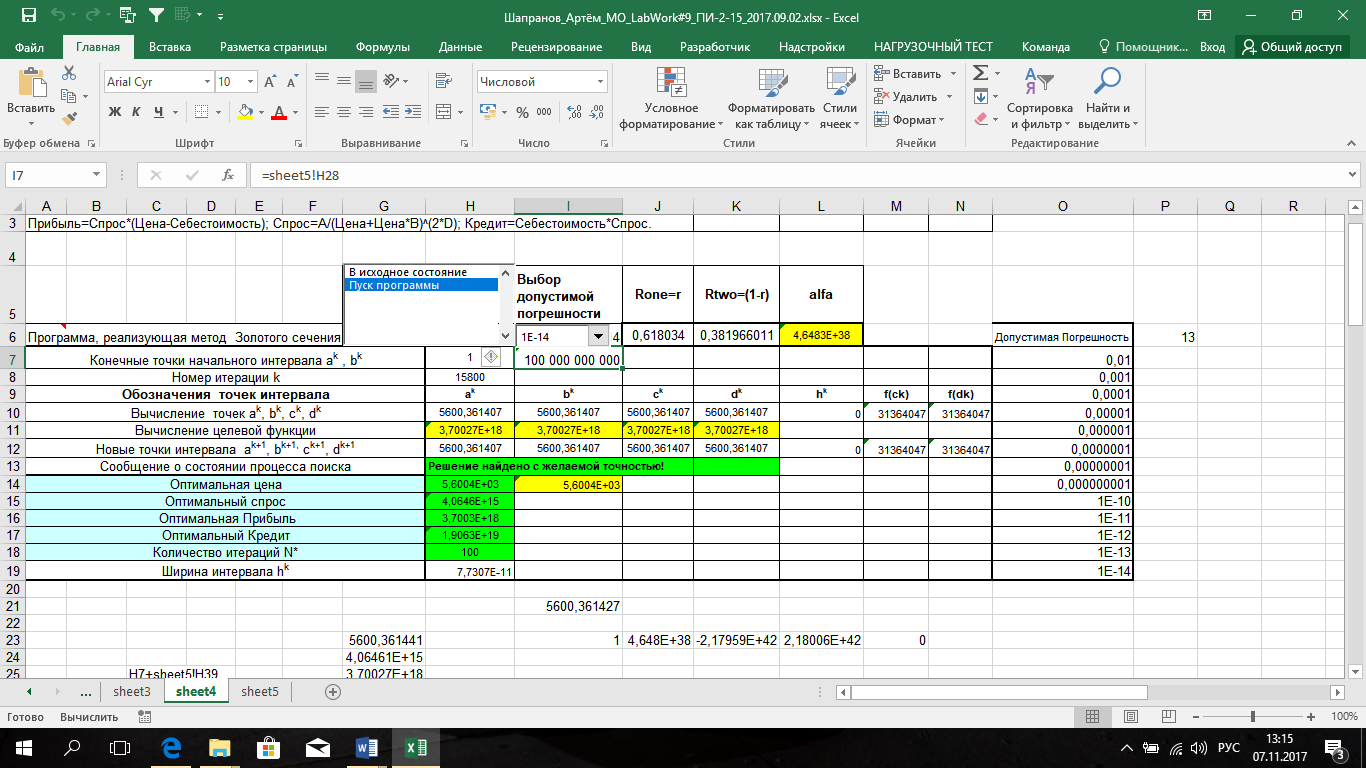
**Модель рынка:**

Прибыль=Спрос\*(Цена-Себестоимость);

Спрос=A/(Цена+Цена\*B)^(2\*D);

Кредит=Себестоимость\*Спрос.

**Таблица №2: Таблица Microsoft Excel:**



|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Модель программы:** | | | | | **alfa** |  | |
| L6:= sheet1!B13/(1+sheet1!C13)^(2\*sheet1!E13) |
| Конечные точки начального интервала ak , bk |  | I7:=H7-sheet5!H39 |  |  |  |  |  |
| Номер итерации k | H8:=IF(H6=1,0,H8+1) |  |  |  |  |  |  |
| **Обозначения точек интервала** | **ak** | **bk** | **ck** | **dk** | **hk** | **f(ck)** | **f(dk)** |
| Вычисление точек ak, bk, ck, dk | H10:=IF($H$8=0,H7,H12) | I10:=IF($H$8=0,I7,I12) | J10:=IF($H$8=0,$H$10+$K$6\*($I$10-$H$10),J12) | K10:=IF($H$8=0,$H$10+J6\*($I$10-$H$10),K12) | L10:=I10-H10 | M10:=J10^2-SIN(J10) | N10:=K10^2-SIN(K10) |
| Вычисление целевой функции | H11:= $L$6\*(H10-sheet1!$D$13)/(H10^(2\*sheet1!$E$13)) | I11: = $L$6\*(I10-sheet1!$D$13)/(I10^(2\*sheet1!$E$13)) | J11:= $L$6\*(J10-sheet1!$D$13)/(J10^(2\*sheet1!$E$13)) | K11:= $L$6\*(K10-sheet1!$D$13)/(K10^(2\*sheet1!$E$13)) |  |  |  |
| Новые точки интервала ak+1, bk+1, ck+1, dk+1 | H12:=IF($J$11>$K$11,H10,J10) | I12:=IF($J$11>$K$11,K10,I10) | J12:=IF($J$11>$K$11,$H$12+$K$6\*($I$12-$H$12),K10) | K12:=IF($J$11>$K$11,J10,$H$12+J6\*($I$12-$H$12)) | L12:=I12-H12 | M12:=J12^2-SIN(J12) | N12:=K12^2-SIN(K12) |
| Сообщение о состоянии процесса поиска | **H13:=IF(H6=1,"Программа в исходном состоянии",IF(ABS((I10-H10)/H10)<I6,"Решение найдено с желаемой точностью!","Продолжайте итерации, щелкая по кнопке <F9>"))** |  |  |  |  |  |  |
| Оптимальная цена | H14:= ЕСЛИ($H$8=0;$H$10;ЕСЛИ(ABS((I12-H12)/H12)<I6;H14;ЕСЛИ(H11<I11;H10;I10))) | I14:= sheet1!I13 |  |  |  |  |  |
| Оптимальный спрос | H15:= sheet1!B13/(H14+H14\*sheet1!C13)^(2\*sheet1!E13) |  |  |  |  |  |  |
| Оптимальная Прибыль | H16:= ЕСЛИ($H$8=0;$H$11;ЕСЛИ(ABS((I12-H12)/H12)<I6;H16;ЕСЛИ(H11<I11;H11;I11))) |  |  |  |  |  |  |
| Оптимальный Кредит | H17:=H15\*sheet1!D13 |  |  |  |  |  |  |
| Количество итераций N\* | H18: = ЕСЛИ($H$8=0;0;ЕСЛИ(ABS((I12-H12)/H12)<I6;H18;H8)) |  |  |  |  |  |  |
| Ширина интервала hk | H19:=IF(ABS((I12-H12))<I6,H19,I12-H12) |  |  |  |  |  |  |

**Таблица №3: Зависимость Количества итераций от Допустимой Погрешности.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Оптимальная Цена** | **Оптимальный Спрос** | **Оптимальная Прибыль** | **Оптимальный Кредит** | **Колличество итераций** | **Допустимая Погрешность** | **Размер области поиска=b-a** |
| 1 | 5657,8155 | 3,81724E+15 | 3,69439E+18 | 1,79029E+19 | 43 | 0,01 | 100 000 000 000 |
| 2 | 5594,0562 | 4,09288E+15 | 3,70019E+18 | 1,91956E+19 | 48 | 0,001 | 100 000 000 000 |
| 3 | 5601,1626 | 4,06104E+15 | 3,70027E+18 | 1,90463E+19 | 52 | 0,0001 | 100 000 000 000 |
| 4 | 5600,4462 | 4,06424E+15 | 3,70027E+18 | 1,90613E+19 | 57 | 0,00001 | 100 000 000 000 |
| 5 | 5600,3527 | 4,06465E+15 | 3,70027E+18 | 1,90632E+19 | 62 | 0,000001 | 100 000 000 000 |
| 6 | 5600,3621 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 67 | 0,0000001 | 100 000 000 000 |
| 7 | 5600,3613 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 71 | 0,00000001 | 100 000 000 000 |
| 8 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 76 | 0,000000001 | 100 000 000 000 |
| 9 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 81 | 1E-10 | 100 000 000 000 |
| 10 | 5600,3614 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 86 | 1E-11 | 100 000 000 000 |
| 11 | 5600,36139 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 91 | 1E-12 | 100 000 000 000 |
| 12 | 5600,36139 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 95 | 1E-13 | 100 000 000 000 |
| 13 | 5600,36141 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 100 | 1E-14 | 100 000 000 000 |

На основании данной таблицы исследована и получена следующая зависимость:

## 

## 2.1. Зависимость Количества итераций от Допустимой Погрешности

## .

Из графика 9.1 видно, что чем выше точность вычислений, тем больше итераций необходимо совершить. Зависимость количества итераций от допустимой погрешности в данной задаче линейная. Это говорит о том, что мы найдем решение задачи при любой погрешности.

**Таблица №4: Зависимость Количества итераций от размера области поиска.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Оптимальная Цена** | **Оптимальный Спрос** | **Оптимальная Прибыль** | **Оптимальный Кредит** | **Колличество итераций** | **Допустимая Погрешность** | **Размер области поиска=b-a** |
| 1 | 5600,36148 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 100 | 1E-14 | 100 000 000 000 |
| 2 | 5600,36153 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 95 | 1E-14 | 10 000 000 000 |
| 3 | 5600,36155 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 91 | 1E-14 | 1 000 000 000 |
| 4 | 5600,36146 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 86 | 1E-14 | 100 000 000 |
| 5 | 5600,36135 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 81 | 1E-14 | 10 000 000 |
| 6 | 5600,36151 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 76 | 1E-14 | 1 000 000 |
| 7 | 5600,36138 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 71 | 1E-14 | 100 000 |
| 8 | 5600,36147 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 67 | 1E-14 | 10 000 |
| 9 | 5600,3615 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 62 | 1E-14 | 1 000 |
| 10 | 5600,36146 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 57 | 1E-14 | 100 |
| 11 | 5600,36144 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 52 | 1E-14 | 10 |
| 12 | 5600,36144 | 4,06461E+15 | 3,70027E+18 | 1,9063E+19 | 48 | 1E-14 | 1 |

На основании данной таблицы исследована и получена следующая зависимость:

Из графика Рис.9.2 видно, что снижается количество итераций при уменьшении области поиска. Зависимость количества итераций от размера области поиска в данной задаче линейная.

## 3. Ответы на вопросы:

## 3.1. Что такое золотое соотношение (золотой коэффициент)?

Метод золотого сечения использует решающий процесс, суть которого заключается в сжатии исходного интервала *[0; r]* либо справа и получении нового интервала *[0; r]*, либо слева и получении нового интервала *[1-r; 1]*.

Затем этот новый подинтервал делится снова на три подинтервала с тем же самым соотношением, что и на первом шаге. Это означает что соотношение *()* должно быть равно соотношению *()*, то есть *() = ()*. Получается уравнение , где число  называется золотым числом или золотым соотношением.

Это число равно r =0, 6180339887498950

## 3.2. Какому типу уравнения удовлетворяет золотой коэффициент?

Золотой коэффициент удовлетворяет уравнению .

## 3.3. Какому типу условия должна удовлетворять целевая функция на заданном интервале [a;b], чтобы можно было использовать золотой поиск для нахождения экстремума?

Для того, чтобы можно было использовать метод золотого сечения для поиска экстремума некоторой целевой функции *f(x)*, необходимо выполнение следующего условия:

Целевая функция должна быть унимодальной на интервале *[a; b]* , то есть на этом интервале существует единственное оптимальное значение *х\**.

## 3.4. Какой вид внутренних точек, которые мы обозначили буквами c и d, требуется вычислять по алгоритму золотого поиска?

Применяя метод золотого сечения, мы делим начальный интервал *[a; b]* двумя точками на 3 подинтервала. Эти точки вычисляются так:







## 3.5. Какой тип решающего (decision) процесса используется в алгоритме золотого поиска?

В алгоритме золотого поиска используется стационарный (правило вычисления новой точки *xk+1* не меняется на каждом шаге, то есть размер шага не зависит от номера итерации), одношаговый (использует только одну предыдущую точку для нахождения новой точки) итерационный процесс.

**3.6.** **Какой блок-схемой описывается метод золотого поиска для нахождения:**

а) минимума целевой функции

Поиск минимума целевой функции по методу золотого сечения описывается следующей блок-схемой:

Предположим, что интервал  был задан. Тогда алгоритм метода золотого сечения имеет вид:

1. Вычислим две внутренние точки этого интервала:





2) Вычислим значение целевой функции в точках ck и dk: f(ck) и f(dk).

3) *if *

*then *

4) Если , то тогда итерационный процесс заканчивается, в противном случае итерации продолжаются

б) максимума целевой функции

Поиск максимума целевой функции по методу золотого сечения описывается следующей блок-схемой:

Предположим, что интервал  был задан. Тогда алгоритм метода золотого сечения имеет вид:

1. Вычислим две внутренние точки этого интервала:





2) Вычислим значение целевой функции в точках *ck* и *dk*: *f(ck)* и *f(dk)*.

3) *if *

*then *

4) Если , то тогда итерационный процесс заканчивается, в противном случае итерации продолжаются.

## 3.7. Каким желаемым свойством обладает метод золотого сечения? Какое желаемое свойство присуще методу золотого сечения?

Метод золотого сечения затрачивает минимум времени на вычисления на каждой итерации, тем самым, уменьшая общее время вычисления оптимального значения целевой функции.

## 3.8. Какой тип параметров может быть использован для поиска одного или нескольких возможных локальных экстремумов по методу золотого сечения?

Для поиска одного или нескольких возможных локальных экстремумов по методу золотого сечения необходимо использовать параметры **a** и **b**, то есть границы области поиска.

## 3.9. Можно ли применить алгоритм золотого сечения в случае, когда целевая функция не является дифференцируемой?

Если целевая функция не дифференцируема, то метод золотого сечения использовать можно, так как метод золотого сечения не использует производные от целевой функции.

## 3.10. Можно ли использовать метод золотого сечения в случае, когда целевая функция не является унимодальной на интервале [a;b]?

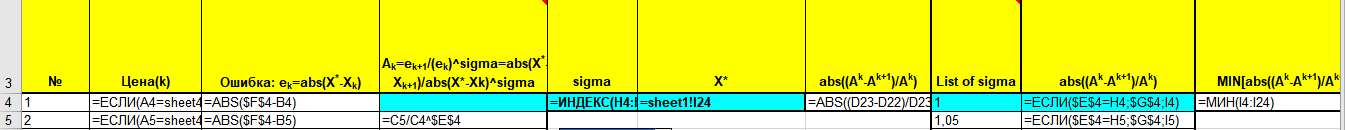
Если целевая функция не является унимодальной на интервале *[a;b]*, то метод золотого сечения не может быть применен, так как этот метод предполагает, что на интервале *[a;b]* только один локальный экстремум.

## 4. Определите порядок сходимости и константу асимптотической ошибки для метода золотого сечения.

**Таблица №5: Порядок сходимости σ и константа асимптотической ошибки А метода золотого сечения.**



**Вывод:** Метод золотого сечения имеет линейную скорость сходимости потому, что ряд {abs(X\*-Xk+1)/abs(X\*-Xk)^sigma} сходится к значению А=0,61771083 только при sigma=1.



## 5. Определите тип сходимости и значение скорости сходимости для последовательности, которая генерируется методом золотого сечения.

Последовательность, которая генерируется методом золотого сечения, имеет глобальный тип сходимости.

Величина скорости сходимости SC = 0,617710183388198.

## 6. Перечислите преимущества и недостатки метода золотого поиска.

Преимущества метода золотого сечения:

* Метод можно применять в случае, если область поиска слишком велика.
* Метод золотого сечения затрачивает минимум времени на вычисления на каждой итерации, тем самым, уменьшая общее время вычисления оптимального значения целевой функции.

Недостатки метода золотого сечения:

* Целевая функция должна быть унимодальной на интервале [a;b], так как этот метод предполагает, что на интервале [a;b] только один локальный экстремум.

## Глава №10: Описание лабораторной работы №10

## 1. Сформулируйте задачу оптимизации с учетом ограничений на примере задачи №2: «Найти максимум прибыли в зависимости от цены товара с учетом ограничений на величину кредита при использовании метода золотого сечения.

Лабораторная работа №10

Задача №2: Найти максимум прибыли путем варьирования ценой рынка с учетом ограничения на величину кредита.

**Таблица №1: Параметры модели рынка:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | Parametr\_A | Parametr\_B | Cost | Parametr\_D | Tolerance | Limit of Credit Value | X\*1 | X\*2 | alfa |
| 20 | 8,90E+41 | 2,416 | 4690 | 3,0759 | 0,00001 | 1,033600E+05 | 5600,361427 | 1,167310E+06 | 5E+38 |

**Модель рынка:**

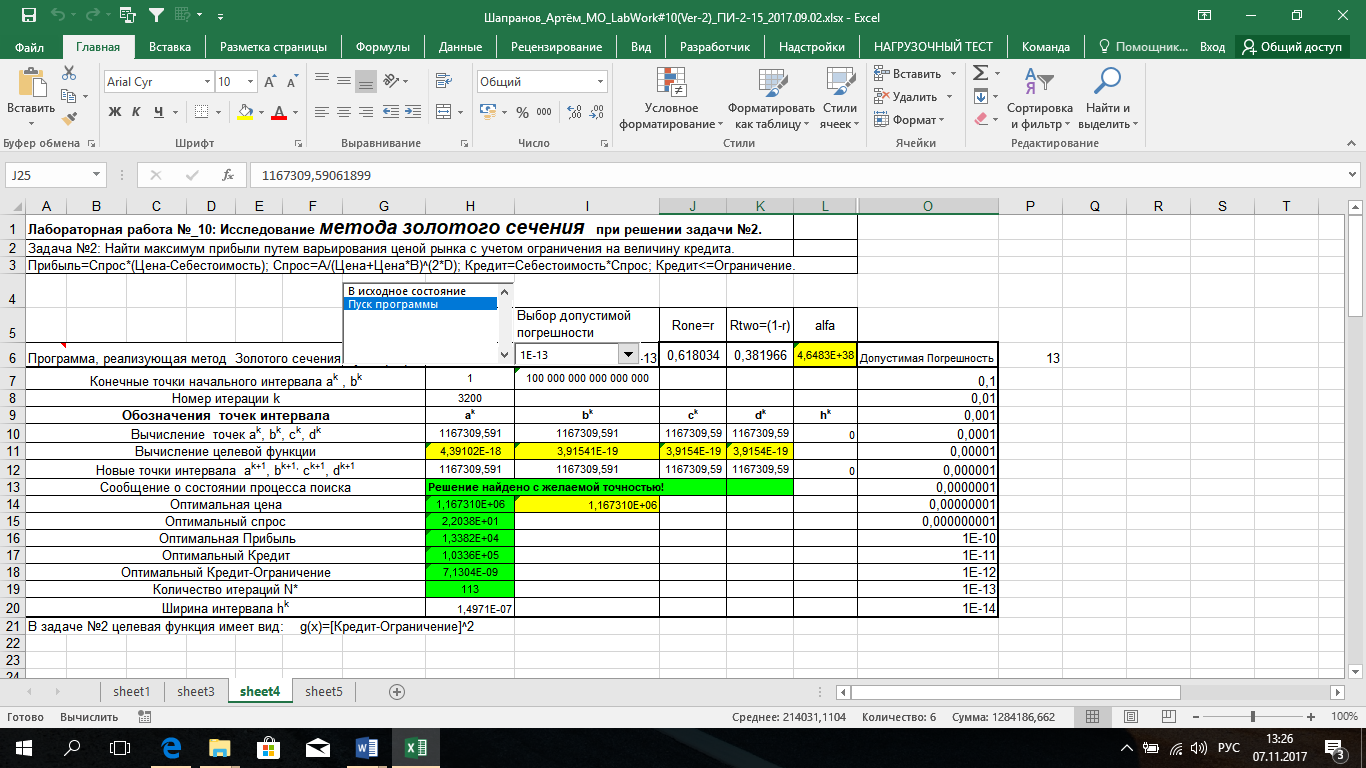
Прибыль=Спрос\*(Цена-Себестоимость);

Спрос=A/(Цена+Цена\*B)^(2\*D);

Кредит=Себестоимость\*Спрос;

Кредит ≤ Ограничения

**Таблица №2: Таблица Microsoft Excel:**



**Модель программы:**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | | alfa |
| L6:= sheet1!B13/(1+sheet1!C13)^(2\*sheet1!E13) |
| Конечные точки начального интервала ak , bk |  | I7:=H7-sheet5!$I$39 |  |  |  |
| Номер итерации k | H8:=IF(H6=1,0,H8+1) |  |  |  |  |
| **Обозначения точек интервала** | **ak** | **bk** | **ck** | **dk** | **hk** |
| Вычисление точек ak, bk, ck, dk | H10:=IF($H$8=0,H7,H12) | I10:=IF($H$8=0,I7,I12) | J10:=IF($H$8=0,$H$10+$K$6\*($I$10-$H$10),J12) | K10:=IF($H$8=0,$H$10+J6\*($I$10-$H$10),K12) | L10:=I10-H10 |
| Вычисление целевой функции | H11:= ($L$6\*sheet1!$D$13/(H10^(2\*sheet1!$E$13))-sheet1!$G$13)^2 | I11:= ($L$6\*sheet1!$D$13/(I10^(2\*sheet1!$E$13))-sheet1!$G$13)^2 | J11:= ($L$6\*sheet1!$D$13/(J10^(2\*sheet1!$E$13))-sheet1!$G$13)^2 | K11:= ($L$6\*sheet1!$D$13/(K10^(2\*sheet1!$E$13))-sheet1!$G$13)^2 |  |
| Новые точки интервала ak+1, bk+1, ck+1, dk+1 | H12:=IF($J$11<=$K$11,H10,J10) | I12:=IF($J$11<=$K$11,K10,I10) | J12:=IF($J$11<=$K$11,H12+K6\*(I12-H12),K10) | K12:=IF($J$11<=$K$11,J10,H12+J6\*(I12-H12)) | L12:=I12-H12 |
| Сообщение о состоянии процесса поиска | **H13:=IF(H6=1,"Программа в исходном состоянии",IF(ABS((I12-H12)/H12)<I6,"Решение найдено с желаемой точностью!","Продолжайте итерации, щелкая по кнопке <F9>"))** |  |  |  |  |
| Оптимальная цена | H14:= ЕСЛИ($H$8=0;$H$10;ЕСЛИ(ABS((I12-H12)/H12)<I6;H14;ЕСЛИ(J11<=K11;J10;K10))) | I14:= sheet1!J13 |  |  |  |
| Оптимальный спрос | H15:= sheet1!B13/(H14+H14\*sheet1!C13)^(2\*sheet1!E13) |  |  |  |  |
| Оптимальная Прибыль | H16:= L6\*(H14-sheet1!D13)/(H14+sheet1!C13\*H14)^(2\*sheet1!E13) |  |  |  |  |
| Оптимальный Кредит | H17:= H15\*sheet1!D13 |  |  |  |  |
| Оптимальный Кредит-Ограничение | H18:= H17-sheet1!G13 |  |  |  |  |
| Количество итераций N\* | H19:=IF($H$8=0,0,IF(ABS((I12-H12))<I6,H19,H8)) |  |  |  |  |
| Ширина интервала hk | H20:= ЕСЛИ($H$8=0;0;ЕСЛИ(ABS((I12-H12)/H12)<I6;H19;H8)) |  |  |  |  |

**Таблица №3: Зависимость Количества итераций от Допустимой Погрешности.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Оптимальная Цена** | **Оптимальный Спрос** | **Оптимальная Прибыль** | **Оптимальный Кредит** | **Оптимальный Кредит- Ограничение** | **Количество итераций** | **Допустимая Погрешность** | **Размер области поиска: b-a** |
| 1 | 1167615,01 | 22,00294038 | 13364,02404 | 103193,7904 | -166,2096023 | 65 | 0,001 | 100 000 000 000 000 000 |
| 2 | 1167324,67 | 22,03662853 | 13381,14374 | 103351,7878 | -8,212216851 | 70 | 0,0001 | 100 000 000 000 000 000 |
| 3 | 1167311,58 | 22,03814877 | 13381,9162 | 103358,9177 | -1,082286391 | 75 | 0,00001 | 100 000 000 000 000 000 |
| 4 | 1167309,67 | 22,03837058 | 13382,0289 | 103359,958 | -0,041995755 | 80 | 0,000001 | 100 000 000 000 000 000 |
| 5 | 1167309,6 | 22,03837822 | 13382,03278 | 103359,9938 | -0,006166 | 84 | 0,0000001 | 100 000 000 000 000 000 |
| 6 | 1167309,59 | 22,03837933 | 13382,03335 | 103359,9991 | -0,000938509 | 89 | 0,00000001 | 100 000 000 000 000 000 |
| 7 | 1167309,59 | 22,03837949 | 13382,03343 | 103359,9998 | -0,000175828 | 94 | 0,000000001 | 100 000 000 000 000 000 |
| 8 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 4,21681E-06 | 99 | 1E-10 | 100 000 000 000 000 000 |
| 9 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 3,84622E-07 | 103 | 1E-11 | 100 000 000 000 000 000 |
| 10 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 3,79805E-08 | 108 | 1E-12 | 100 000 000 000 000 000 |
| 11 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 7,13044E-09 | 113 | 1E-13 | 100 000 000 000 000 000 |
| 12 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | -1,89175E-10 | 118 | 1E-14 | 100 000 000 000 000 000 |
| 13 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 123 | 1E-15 | 100 000 000 000 000 000 |

На основании данной таблицы исследована и получена следующая зависимость:

2.1. Зависимость Количества итераций от Допустимой Погрешности

Из графика Рис.10.1 видно, что чем выше точность вычислений, тем больше итераций необходимо совершить. Зависимость количества итераций от допустимой погрешности в данной задаче линейная. Это говорит о том, что мы найдем решение задачи при любой погрешности.

**Таблица №4: Зависимость Количества итераций от размера области поиска.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Оптимальная Цена** | **Оптимальный Спрос** | **Оптимальная Прибыль** | **Оптимальный Кредит** | **Оптимальный Кредит- Ограничение** | **Количество итераций** | **Допустимая Погрешность** | **Размер области поиска: b-a** |
| 1 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 122 | 1E-15 | 100 000 000 000 000 000 |
| 2 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 118 | 1E-15 | 10 000 000 000 000 000 |
| 3 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 113 | 1E-15 | 1 000 000 000 000 000 |
| 4 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 108 | 1E-15 | 100 000 000 000 000 |
| 5 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 103 | 1E-15 | 10 000 000 000 000 |
| 6 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 98 | 1E-15 | 1 000 000 000 000 |
| 7 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 94 | 1E-15 | 100 000 000 000 |
| 8 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 89 | 1E-15 | 10 000 000 000 |
| 9 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 84 | 1E-15 | 1 000 000 000 |
| 10 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 80 | 1E-15 | 100 000 000 |
| 11 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 75 | 1E-15 | 10 000 000 |
| 12 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 70 | 1E-15 | 1 000 000 |
| 13 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 65 | 1E-15 | 100000 |
| 14 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 60 | 1E-15 | 10000 |
| 15 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 56 | 1E-15 | 1000 |
| 16 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 51 | 1E-15 | 100 |
| 17 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 46 | 1E-15 | 10 |
| 18 | 1167309,59 | 22,03837953 | 13382,03345 | 103360 | 1,25146E-09 | 41 | 1E-15 | 1 |

На основании данной таблицы исследована и получена следующая зависимость:

2.2. Зависимость Количества итераций от размера области поиска.

На графике 10.2 можно наблюдать снижение количества итераций при уменьшении области поиска. Зависимость количества итераций от размера области поиска в данной задаче линейная.

## 3. Ответы на вопросы:

## 3.1. Что такое золотое соотношение (золотой коэффициент)?

Метод золотого сечения использует решающий процесс, суть которого заключается в сжатии исходного интервала *[0; r]* либо справа и получении нового интервала *[0; r]*, либо слева и получении нового интервала *[1-r; 1].*

Затем этот новый подинтервал делится снова на три подинтервала с тем же самым соотношением, что и на первом шаге. Это означает что соотношение *()* должно быть равно соотношению *()*, то есть *() = ()*. Получается уравнение , где число  называется золотым числом или золотым соотношением.

Это число равно r = 0, 6180339887498950

## 3.2. Какому типу уравнения удовлетворяет золотой коэффициент?

Золотой коэффициент удовлетворяет уравнению .

## 3.3. Какому типу условия должна удовлетворять целевая функция на заданном интервале [a;b], чтобы можно было использовать золотой поиск для нахождения экстремума?

Для того, чтобы можно было использовать метод золотого сечения для поиска экстремума некоторой целевой функции *f(x)*, необходимо выполнение следующего условия:

Целевая функция должна быть унимодальной на интервале *[a; b]* , то есть на этом интервале существует единственное оптимальное значение *х\**.

## 3.4. Какой вид внутренних точек, которые мы обозначили буквами c и d, требуется вычислять по алгоритму золотого поиска?

Применяя метод золотого сечения, мы делим начальный интервал *[a; b]* двумя точками на 3 подинтервала. Эти точки вычисляются так:







## 3.5. Какой тип решающего (decision) процесса используется в алгоритме золотого поиска?

В алгоритме золотого поиска стационарный (правило вычисления новой точки *xk+1* не меняется на каждом шаге, то есть размер шага не зависит от номера итерации), одношаговый (использует только одну предыдущую точку для нахождения новой точки) итерационный процесс.

## 3.6. Какой блок-схемой описывается метод золотого поиска для нахождения:

а) минимума целевой функции

Поиск минимума целевой функции по методу золотого сечения описывается следующей блок-схемой:

Предположим, что интервал  был задан. Тогда алгоритм метода золотого сечения имеет вид:

1. Вычислим две внутренние точки этого интервала:





2) Вычислим значение целевой функции в точках *ck* и *dk*: *f(ck)* и *f(dk)*.

3) *if *

*then *

4) Если , то тогда итерационный процесс заканчивается, в противном случае итерации продолжаются

б) максимума целевой функции

Поиск максимума целевой функции по методу золотого сечения описывается следующей блок-схемой:

Предположим, что интервал  был задан. Тогда алгоритм метода золотого сечения имеет вид:

1. Вычислим две внутренние точки этого интервала:





2) Вычислим значение целевой функции в точках *ck* и *dk: f(ck)* и *f(dk)*.

3) *if *

*then *

4) Если , то тогда итерационный процесс заканчивается, в противном случае итерации продолжаются.

## 3.7. Каким желаемым свойством обладает метод золотого сечения? Какое желаемое свойство присуще методу золотого сечения?

Метод золотого сечения затрачивает минимум времени на вычисления на каждой итерации, тем самым, уменьшая общее время вычисления оптимального значения целевой функции.

## 3.8. Какой тип параметров может быть использован для поиска одного или нескольких возможных локальных экстремумов по методу золотого сечения?

Для поиска одного или нескольких возможных локальных экстремумов по методу золотого сечения необходимо использовать параметры **a** и **b**, то есть границы области поиска.

## 3.9. Можно ли применить алгоритм золотого сечения в случае, когда целевая функция не является дифференцируемой?

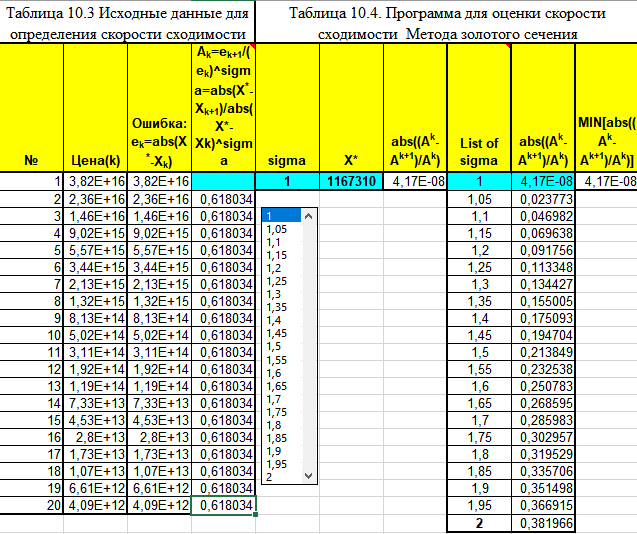
Если целевая функция не дифференцируема, то метод золотого сечения использовать можно, так как метод золотого сечения не использует производные от целевой функции.

## 3.10. Можно ли использовать метод золотого сечения в случае, когда целевая функция не является унимодальной на интервале [a;b]?

Если целевая функция не является унимодальной на интервале *[a;b]*, то метод золотого сечения не может быть применен, так как этот метод рассматривает на интервале *[a;b]* только один локальный экстремум.

## 4. Определите порядок сходимости и константу асимптотической ошибки для метода золотого сечения.

**Таблица №5: Порядок сходимости σ и константа асимптотической ошибки А метода золотого сечения.**



**Вывод:** Метод золотого сечения имеет линейную скорость сходимости потому, что ряд {abs(X\*-Xk+1)/abs(X\*-Xk)^sigma} сходится к значению А=0,618034 только при sigma=1.

**Таблица №6: Формулы в ячейках:**



## 5. Определите тип сходимости и значение скорости сходимости для последовательности, которая генерируется методом золотого сечения.

Последовательность, которая генерируется методом золотого сечения, имеет глобальный тип сходимости.

Величина скорости сходимости SC = 0,618034.

## 6. Перечислите преимущества и недостатки метода золотого поиска.

Преимущества метода золотого сечения:

* Метод можно применять в случае, если область поиска слишком велика.
* Метод золотого сечения затрачивает минимум времени на вычисления на каждой итерации, тем самым, уменьшая общее время вычисления оптимального значения целевой функции.

Недостатки метода золотого сечения:

* Целевая функция должна быть унимодальной на интервале [a;b], так как этот метод предполагает, что на интервале [a;b] только один локальный экстремум.

## Заключение

## 1. Сравните преимущества и недостатки методов оптимизации, которые вы изучали.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Тип критерия | Метод равномерного поиска | Метод поразрядного приближения | Метод Ньютона | Метод Золотого сечения |
| 1 | Количество итераций на поиск решения при погрешности 0,01 |  |  |  |  |
|  | Максимальное количество баллов=4 | 1 | 2 | 4 | 3 |
| 2 | Минимально достижимая для данного метода Допустимая погрешность | 0,01 | 1E-09 | 1Е-11 | 1Е-13 |
|  | Максимальное количество баллов=4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 3 | Максимальный Размер начальной области поиска = =max|X0-X\*| |  |  |  |  |
|  | Максимальное количество баллов=4 | 1 | 3 | 2 | 4 |
| 4 | Скорость сходимости | Линейная | Квадратичная | Квадратичная | Линейная |
|  | Максимальное количество баллов=3 | 1 | 3 | 3 | 1 |
| 5 | Область сходимости | Глобальная | Глобальная | Локальная | Глобальная |
|  | Максимальное количество баллов=2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 6 | Использование производных от целевой функции | нет | нет | Да (f ‘(x), f ‘’(x)) | нет |
|  | Максимальное количество баллов=2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 7 | Количество вычислений целевой функции на каждой итерации |  |  |  |  |
|  | Максимальное количество баллов=2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 8 | Время поиска решения с погрешностью 0.01 (в сек.) |  |  |  |  |
|  | Максимальное количество баллов=4 | 1 | 2 | 4 | 3 |
| 9 | Время на 1000 итераций (в сек.) |  |  |  |  |
|  | Максимальное количество баллов=4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 10 | Баллы, оценивающие алгоритм | 12 | 20 | 22 | 25 |

**Таблица №1: Критерии для сравнения и выбора наилучшего алгоритма оптимизации при решении задачи № 1.**

**Таблица №2: Критерии для сравнения и выбора наилучшего алгоритма оптимизации при решении задачи № 2.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Тип критерия | Метод равномерного поиска | Метод поразрядного приближения | Метод Ньютона | Метод Золотого сечения |
| 1 | Количество итераций на поиск решения при погрешности 0,01 |  |  |  |  |
|  | Максимальное количество баллов=4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 2 | Минимально достижимая для данного метода Допустимая погрешность | 0,01 | 0,000000001 | 1E-10 | 1E-13 |
|  | Максимальное количество баллов=4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 3 | Максимальный Размер начальной области поиска = =max|X0-X\*| |  |  |  |  |
|  | Максимальное количество баллов=4 | 1 | 3 | 2 | 4 |
| 4 | Скорость сходимости | Линейная | Квадратичная | Квадратичная | Линейная |
|  | Максимальное количество баллов=3 | 1 | 3 | 3 | 1 |
| 5 | Область сходимости | Глобальная | Глобальная | Локальная | Глобальная |
|  | Максимальное количество баллов=2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 6 | Использование производных от целевой функции | нет | нет | Да (f ‘(x), f ‘’(x)) | нет |
|  | Максимальное количество баллов=2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 7 | Количество вычислений целевой функции на каждой итерации | 1 | 1 | 6 | 1 |
|  | Максимальное количество баллов=2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 8 | Время поиска решения с погрешностью 0.01 (в сек.) |  |  |  |  |
|  | Максимальное количество баллов=4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9 | Время на 1000 итераций (в сек.) |  |  |  |  |
|  | Максимальное количество баллов=4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 10 | Баллы, оценивающие алгоритм |  |  |  |  |

Я сравнил 4 метода оптимизации, при которых были решены задачи №1 и №2, и получил следующие результаты (общие баллы, оценивающие алгоритм, в виде сумм результатов Таблицы №1 и Таблицы №2):

* Метод Равномерного поиска имеет 24 балла
* Метод Поразрядного приближения имеет 40 баллов
* Метод Ньютона имеет 42 балла
* Метод Золотого сечения имеет 52 балла.

По этим результатам видно, что метод Золотого сечения по сравнению с тремя другими методами имеет наивысший оценочный балл. Наихудшим является метод Равномерного поиска, а методы Поразрядного приближения и Ньютона имеют практически одинаковое количество баллов.

**Итак, сравнение осуществлялось по 9 критериям:**

* *Количество итераций при погрешности 0,01***:** по этому критерию наилучшим является метод Золотого сечения, он тратит наименьшее количество итераций по итогам двух таблиц.
* *Минимально возможная для метода Допустимая погрешность:*по итогам двух таблицпервое место занимает метод Золотого сечения. У него самая высокая точность решения.
* *Максимальный Размер начальной области поиска max|X0-X\*|:*порезультатам двух таблиц лидирует метод Золотого сечения, так как у него самый большой размер области поиска.
* *Скорость сходимости:*по этому критерию метод Ньютона и метод поразрядного приближения превосходят остальные методы, так как у этих двух методов квадратичная скорость сходимости, тогда как у метода Золотого сечения и метода равномерного поиска – линейная.
* По *области сходимости*лучшими являются методы Золотого сечения, поразрядного поиска и равномерного поиска с глобальным типом сходимости. Последним является метод Ньютона, так как у него локальный тип сходимости.
* По критерию *Использование производных от целевой функции*худшим является метод Ньютона, так как только он требует вычисления первой и второй производных целевой функции.
* *По количеству вычислений целевой функции на каждую итерацию*по итогам двух таблиц лучшими являются методы Золотого сечения, поразрядного поиска и равномерного поиска, так как они в процессе нахождения оптимального решения вычисляют целевую функцию только один раз. А метод Ньютона вычисляет 6 раз (во время вычисления первой производной -2 раза, во время вычисления второй – 4 раза).
* По критерию *Время поиска решения с погрешностью 0.01* порезультатам двух таблиц лучшим является метод Золотого сечения и метод Ньютона.
* *Время поиска решения за 1000 итераций:* по итогам двух таблицлучшим является метод Золотого сечения.

## 2. Дайте ваши обоснованные рекомендации по выбору наилучшего метода оптимизации.

В результате сравнения четырех методов оптимизации, я пришел к выводу, что наилучшим из них является метод Золотого сечения, так как он имеет превосходство (8 из 9 критериев сравнения в пользу него) над другими рассмотренными методами оптимизации. И именно его я бы рекомендовал при решении задач оптимизации, подобных задачам №1 и №2. Обосновывая свой выбор тем, что применение этого метода оптимизации, по сравнению с тремя остальными, позволяет получить решение задачи с более высокой точностью при относительно меньших временных и материальных затратах.