
МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

Научная статья

УДК 004.45; DOI: 10.61260/2307-7476-2023-4-6-14

СНИЖЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОСФЕРЫ

✉ **Лабинский Александр Юрьевич.**

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ labynsci@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены возможности компьютерного моделирования в решении задач оптимизации объектов техносферы.

В качестве компьютерных моделей оптимизации рассмотрены: модель безусловной оптимизации функций одной переменной, модель безусловной оптимизации функции нескольких переменных, модель условной оптимизации функции двух переменных и модель многокритериальной оптимизации. Указанные компьютерные модели реализованы в виде программ для ЭВМ.

Ключевые слова: объекты техносферы, оптимизация, принцип оптимизации, целевая функция, ограничения, условная оптимизация, многокритериальная оптимизация

Для цитирования: Лабинский А.Ю. Снижение техногенных рисков путем оптимизации параметров объектов техносферы // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 4 (48). С. 6–14. DOI: 10.61260/2307-7476-2023-4-6-14.

Scientific article

REDUCING TECHNOLOGICAL RISKS BY OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF TECHNOSPHERE OBJECTS

✉ **Labinskiy Alexander Yu.**

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ labynsci@yandex.ru

Abstract. The article considers possibilities of computer modeling in solving problems of optimization of technosphere objects.

The model of unconditional optimization of functions of one variable, the model of unconditional optimization of function of several variables, the model of conditional optimization of function of two variables and the model of multi-criteria optimization are considered as computer models of optimization. These computer models are implemented as computer programs.

Keywords: technosphere objects, optimization, principle of optimization, target function, limitations, conditional optimization, multi-criteria optimization

For citation: Labinskiy A.Yu. Reducing technological risks by optimization of parameters of technosphere objects // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 4 (48). P. 6–14. DOI: 10.61260/2307-7476-2023-4-6-14.

Введение

Системный анализ причин возникновения чрезвычайных ситуаций предполагает использование методов оптимизации как составной части системного анализа [1].

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

Принцип оптимизации является достаточно важным принципом методологии моделирования сложных процессов и явлений. Он подразумевает, что модель объекта техносферы не должна содержать избыточное количество информации.

Следование данному принципу позволяет создавать такое описание исследуемого объекта, при котором при минимальных затратах на разработку модели обеспечивается заданная точность и достоверность моделирования.

В статье рассматриваются различные классификационные признаки методов оптимизации, включая вид и характер целевой функции, вид производных и поиска, а также возможность использования градиента [2]. Приведенная классификация методов оптимизации позволяет различать оптимизацию одномерной и многомерной функции, функции с ограничениями и без них, оптимизацию выпуклой, квадратичной и сепарабельной функции, детерминированный и случайный поиск оптимума, а также использование в процессе оптимизации вторых производных целевой функции.

Приведенная в статье классификация методов оптимизации представлена на рис. 1.

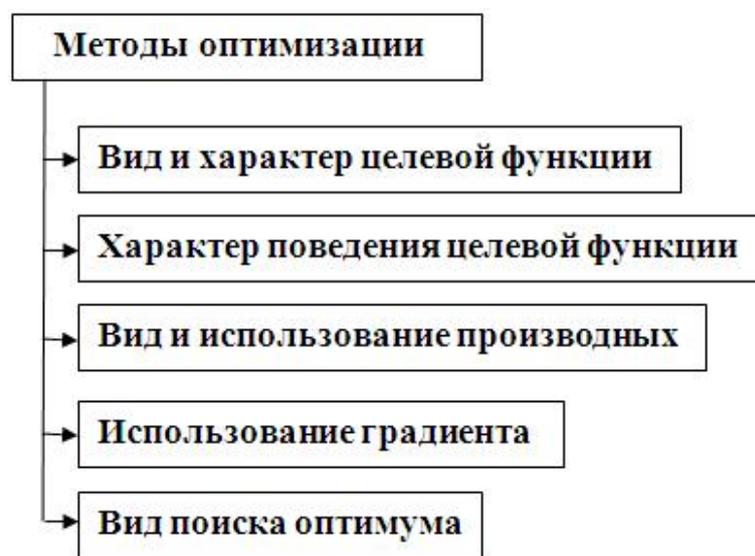


Рис. 1. Классификация методов оптимизации

На рис. 1 под видом целевой функции понимается одномерная или многомерная функция, имеющая один или несколько экстремумов. Под характером целевой функции понимается наличие ограничений на переменные (условная оптимизация) или отсутствие ограничений на переменные (безусловная оптимизация). Под характером поведения целевой функции понимается вид функции – сепарабельная, квадратичная или выпуклая функция. Под использованием градиента понимается использование информации о значениях целевой функции и её первых производных. Под видом поиска оптимума понимается случайный или детерминированный поиск.

Методам оптимизации посвящены работы многих авторов [2–8].

Сформулируем постановку задачи, связанную с результатами решения этой задачи, которые представлены в данной статье. Нужно произвести компьютерное моделирование различных методов оптимизации моделей объектов техносферы. Тема статьи актуальна, так как системный анализ причин возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах техносферы с целью их предотвращения предполагает использование методов оптимизации как составной части системного анализа.

Новизна исследования, отражающая личный вклад автора, заключается в разработке компьютерных моделей, реализующих методы условной и безусловной, одномерной и многомерной, а также многокритериальной оптимизации [9–11]. Указанные компьютерные модели реализованы в виде программ для ЭВМ.

Компьютерное моделирование методов оптимизации

Безусловная оптимизация функций одной переменной.

В общем случае функция $F(X)$ на отрезке $[A, B]$ может иметь несколько экстремумов (максимумов или минимумов). Главный из них называется глобальным. Задача поиска экстремума сводится к локализации и уточнению значений X и $F(X)$ в точке экстремума, под которым понимается максимум значения функции $F(X)$. Данными программами можно воспользоваться и для поиска минимума функции $F(X)$, для чего достаточно сменить знак у целевой функции $F(X)$. Функцию $F(X)$ называют унимодальной функцией на отрезке $[A, B]$ в том случае, если функция $F(X)$ на отрезке $[A, B]$ имеет один максимум (минимум).

В программе **ROptimal** используются следующие методы поиска экстремума [3]:

– метод, в котором задается начальное приближение (X_0), шаг поиска h и погрешность вычислений E , затем вычисляются значения функции при $X = X_0$ и $X = X_{0+h}$. Если $F(X_{0+h}) > F(X_0)$, то продолжаем итерационный процесс, иначе задаем $H = -H / 4$ и проверяем условие $|H| > E$. Если оно выполняется, то продолжаем итерации с уменьшенным отрицательным шагом (**метод поразрядного приближения**);

– метод, основанный на последовательном делении интервала поиска пополам (**метод дихотомии**);

– метод, основанный на последовательном делении интервала поиска по правилу золотого сечения (**метод золотого сечения**);

– метод, в котором функция $F(X)$ на отрезке $[X_{0-h}, X_{0+h}]$ заменяется квадратичной параболой (**метод квадратичной интерполяции-экстраполяции**).

Функция $F(X)$ может быть задана в виде полинома 5-й степени:

$$Y=A + B*X + C*X^2 + D*X^3 + E*X^4 + F*X^5$$

и представлена на графике.

Интерфейс программы **ROptimal** представлен на рис. 2, 3.

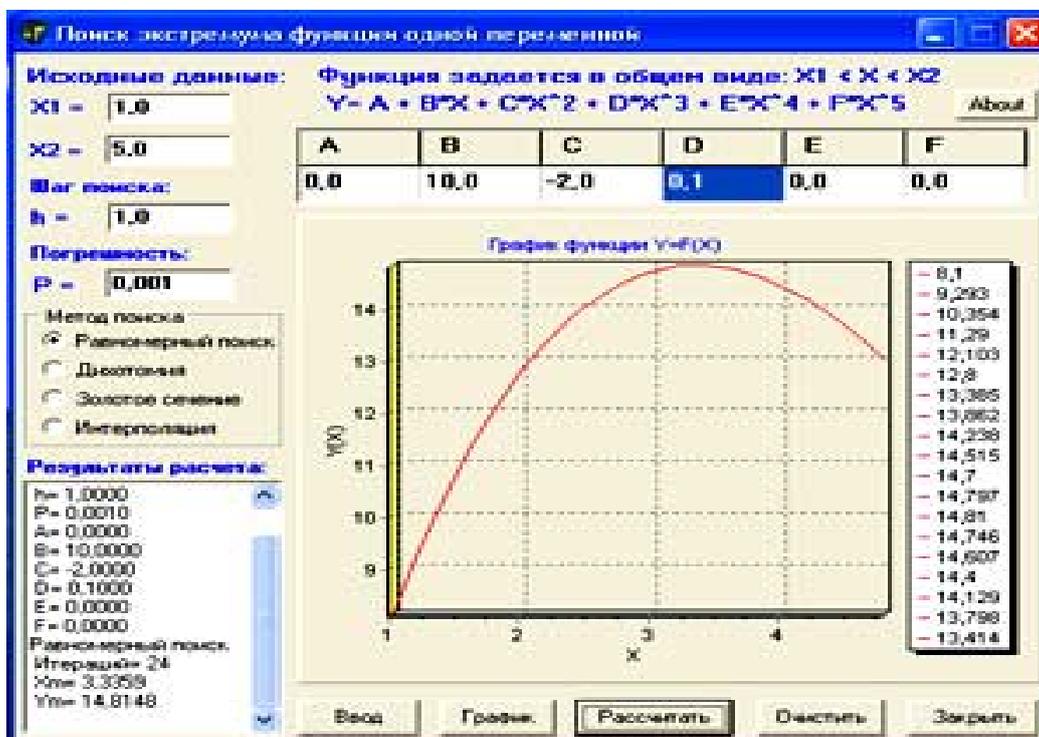


Рис. 2. Поиск максимума в программе ROptimal

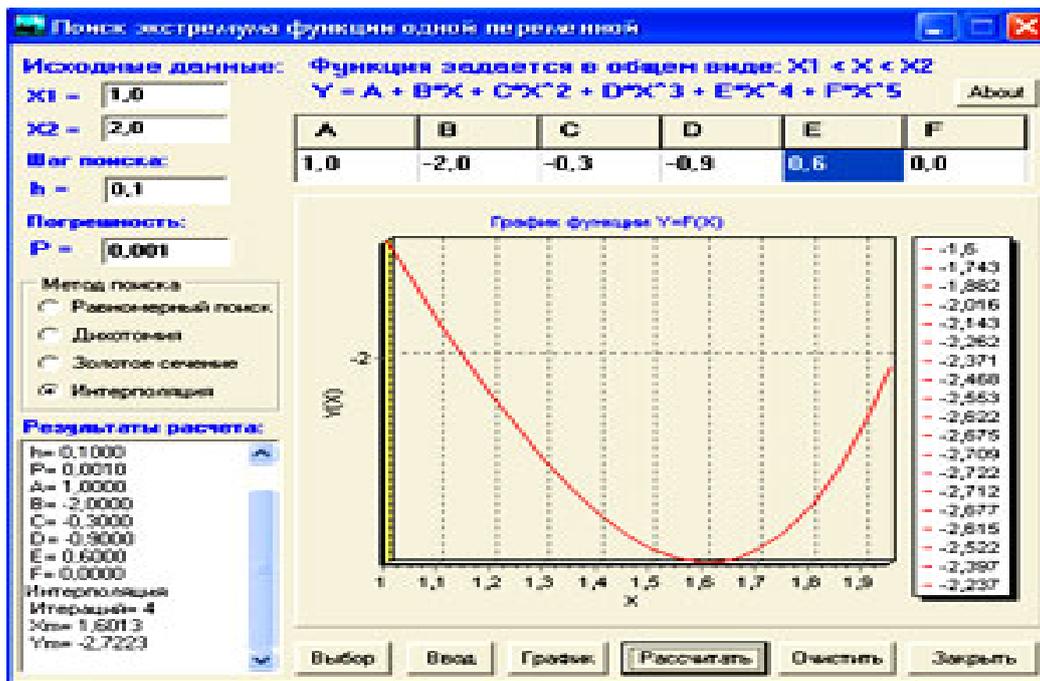


Рис. 3. Поиск минимума в программе POptimal

Безусловная оптимизация функций многих переменных.

При многомерной оптимизации производится поиск экстремумов функции многих переменных $F(X1, X2, \dots, Xn)$. Из многочисленных методов многомерной оптимизации рассмотрим три простых метода поиска минимума $F(X1, X2, \dots, Xn)$, которые используются в программе **PMOptimal** [3]:

– поочередный поиск минимума по координате $X1$, затем $X2, \dots, Xn$ и т.д., в котором поиск ведется с одинаковым шагом, уменьшающимся после нахождения всех значений $X1m, X2m, \dots, Xnm$ (**метод координатного спуска**);

– поиск, при котором шаг поиска меняется каждый раз при переходе от поиска минимума по одной переменной к поиску минимума по другой переменной (**метод спирального координатного спуска**);

– поиск, при котором производится последовательный поиск минимума по каждой переменной с применением для этого метода квадратичной интерполяции-экстраполяции (**метод координатного спуска с квадратичной интерполяцией-экстраполяцией**).

Функция трех переменных в данной программе может быть задана в следующем виде:

$$Y(X[1], X[2], X[3]) = A[i,j] * X[i] * X[j] + B[i] * X[i] + C,$$

где $i = 1, 2, 3$ и $j = 1, 2, 3$.

Программа позволяет строить графики зависимостей $Y = F1(X[1])$, $Y = F2(X[2])$ и $Y = F3(X[3])$. Интерфейс программы представлен на рис. 4, 5.



Рис. 4. Ввод исходных данных в программе PMOptimal

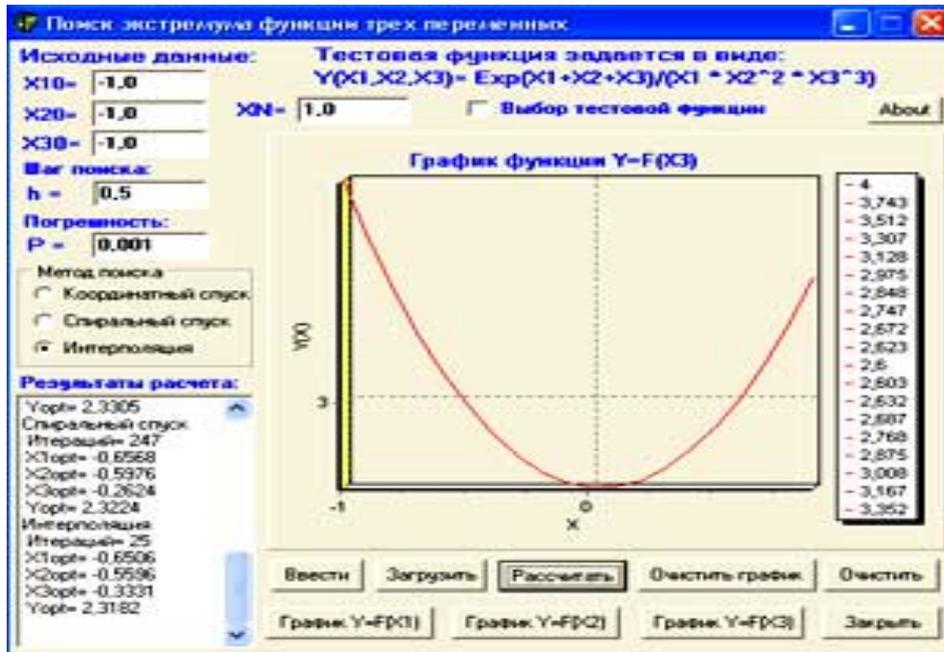


Рис. 5. Построение графика в программе PMOptimal

Оптимизация функции двух переменных при наличии ограничений.

Рассмотрим оптимизацию функции двух переменных $Y = f(X1, X2)$ с двумя ограничениями на переменные $G1(X)$ и $G2(X)$. Процесс оптимизации происходит с учетом ограничений на переменные, для чего используется метод штрафных функций.

Интерфейс программы поиска оптимума представлен на рис. 6:

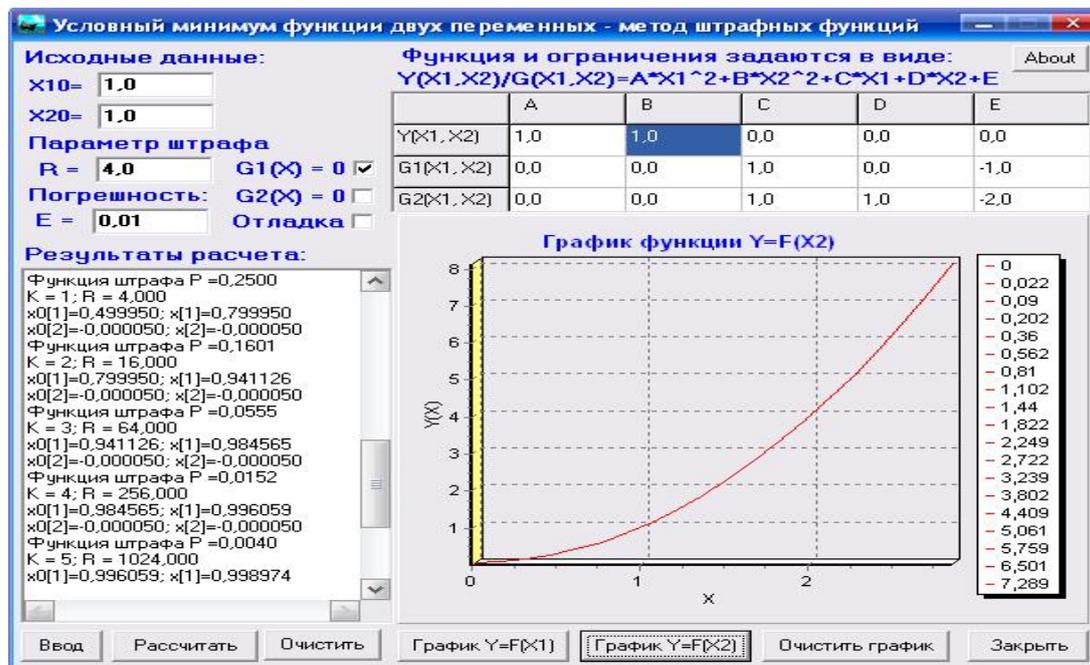


Рис. 6. Интерфейс программы поиска оптимума методом наискорейшего градиентного спуска

Для поиска оптимума используется метод наискорейшего градиентного спуска [3]. При нарушении ограничений на переменные с помощью штрафной функции происходит изменение значения целевой функции.

На каждом шаге поиска минимума происходит максимально возможное уменьшение целевой функции, которое предусмотрено в методе наискорейшего градиентного спуска.

Многокритериальная оптимизация

С помощью генетических алгоритмов (ГА) может быть выполнен эффективный поиск решений на множестве альтернатив (многокритериальная оптимизация).

Одним из преимуществ ГА является то, что в качестве методов комбинаторного перебора вариантов решения задач оптимизации ГА используют методы эволюции живых организмов. Кроме того, ГА не предъявляют требований к виду как целевых функций, так и ограничений, что также является преимуществом ГА.

Рассмотрим задачу многокритериальной оптимизации, используемую для демонстрации возможностей разработанного ГА. Постановка задачи многокритериальной оптимизации имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 &F_1(X) = x_1 + x_2 + 2 \rightarrow \max; \quad F_2(X) = x_1 - x_2 + 6 \rightarrow \max; \\
 &G_1(X) = x_1 - 4 \leq 0; \quad G_2(X) = x_2 - 2 \leq 0; \quad G_3(X) = x_1 + 2x_2 - 6 \leq 0; \\
 &G_4(X) = x_1 \geq 0; \quad G_5(X) = x_2 \geq 0.
 \end{aligned}$$

Начальные значения переменных: $x_1 = 0,1; x_2 = 0,1$.

Начальные значения целевых функций (критериев): $F_1(X) = 2,2; F_2(X) = 6,0$.

Оптимальные значения переменных: $x_{10} = 4,0; x_{20} = 0,5$.

Оптимальные значения целевых функций (критериев): $F_{10}(X) = 6,5; F_{20}(X) = 9,5$.

На рис. 7 представлена область допустимых решений задачи.

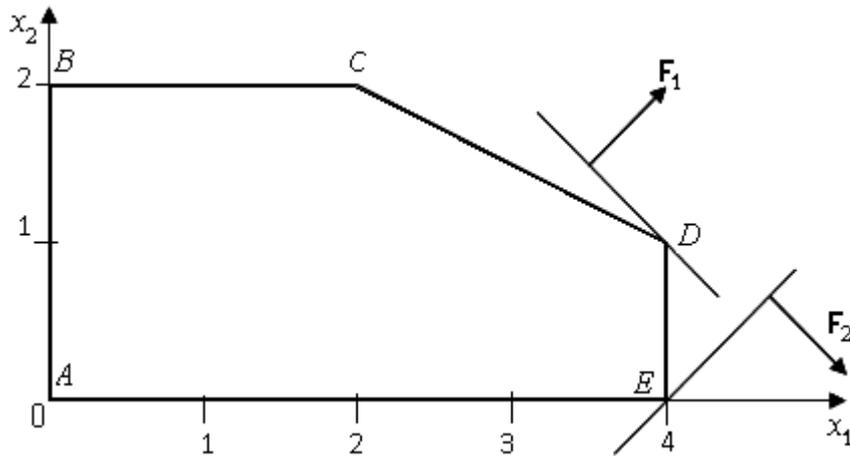


Рис. 7. Область допустимых решений

В алгоритме многокритериальной оптимизации в качестве целевой функции (функции полезности) $ZF(X)$ использовалась величина, составленная из взвешенной суммы критериев W_i и вспомогательной штрафной функции $F(X, R_t)$:

$$ZF(X) = \sum_{i=1}^n [W_i * F(X, R_t)],$$

где $W_i \in [0,4; 0,6]$.

Окно консольной программы, реализующей ГА многокритериальной оптимизации, представлено на рис. 8.

```

C:\> F:\Education\GA\Program\ConGA_MCO_E.exe
ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ
Максимизация двух функций двух
переменных: F1(x,y)=x+y+2 ->max
              F2(x,y)=x-y+6 ->max
Ограничения: 0<=x<=4; 0<=y<=2; x+2y<=6
Функция полезности: U=W1*F1+W2*F2; W1+W2=1
Веса критериев: 0,4<W1<0,6; 0,4<W2<0,6
Оптимальные значения:
X0=4;Y0=0,5; F10(X,Y)=6,5; F20(X,Y)=9,5
Функция полезности: Uopt=8,0.
В хромосоме три гена A, B и C
- искомые значения X, Y, Z.
Размер популяции 2490 особей.
Функция приспособленности равна
величине целевой функции:
ФП = W1*F1(x,y)+W2*F2(x,y).
Расчет начальной популяции:

Поколение 1
# эпохи: 1
Объем популяции: 2490
ЦФmax=4,998E+000; ЦФmin=4,00057
Распределение ФП по популяции:
ЦФ> 2,50E-001; 0,24; 0,24; 0,23; 0,23; 0,23; 0,22; 0,21; 0,21; 0,20
ФП> 4,001; 4,100; 4,200; 4,300; 4,399; 4,499; 4,599; 4,699; 4,798; 4,898
Число особей: 2489; 2245; 2020; 1787; 1521; 1254; 988; 739; 495; 254
Значения коэфф-в:
# особи: 0; 622; 1245; 1867; 2489
A= 0,992; 0,736; 0,365; 0,385; 0,778
B= 0,011; 0,040; 0,121; 0,037; 0,778
C= 0,942; 0,165; 0,925; 0,134; 0,589
ФП: 4,99153; 4,73589; 4,36518; 4,38495; 4,37939
Средние значения коэфф-в:
A= 0,503; B= 0,502; C= 0,499
Средняя ФП популяции: 4,50300
Целевая функция ФП: 4,50300
Функции: F1=3,005; F2=6,001
    
```

Рис. 8. Окно консольной программы, реализующей ГА

Результаты многокритериальной оптимизации, полученные в процессе вычислительных экспериментов, приведены в таблице.

Таблица

Эпоха	№ поколения	X_{10}	X_{20}	W_i	$F_1(X_{10}, X_{20})_{\max}$ $F_2(X_{10}, X_{20})_{\max}$	$A_{\text{opt}}, \%$
Оптимум		4,0	0,5		6,50; 9,50	–
13	7	3,78	0,53	0,4; 0,6	6,31; 9,26	7,4
3	45	3,71	0,499	0,5; 0,5	6,21; 9,22	11,8
1	245	3,94	0,515	0,6; 0,4	6,46; 9,43	4,4

Вывод

Произведено компьютерное моделирование различных методов оптимизации, а именно созданы следующие компьютерные модели: модель оптимизации функций одной переменной при отсутствии ограничений на переменные, модель оптимизации функции нескольких переменных при отсутствии ограничений на переменные, модель оптимизации функции двух переменных при наличии ограничений на переменные и модель поиска решений на множестве альтернатив (многокритериальная оптимизация). Указанные компьютерные модели реализованы в виде программ для ЭВМ.

Список источников

1. Системный анализ и принятие решений: учеб. / В.С. Артамонов [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2017.
2. Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации и принятие решений: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2013.
3. Пантелеев А.В., Летова Т.А. Методы оптимизации в примерах и задачах. М.: Высшая школа, 2002.
4. Taha H. Operation research: an introduction. 3rd edition. New Jersey: Prentice Hall, 2012.
5. Nahmias S. Production and operations analysis. 6rd edition. N.Y.: The McGraw-Hill Inc., 2015.
6. Dilworth J.B. Production and operations management. 9th edition. N.Y.: The McGraw-Hill Inc., 2017.
7. Ritzman L.P., Krajewski L.J. Foundations of operations management. New Jersey: Prentice Hall, 2013.
8. Ehrgott M. Multicriteria Optimization. Munchen: Springer, 2016.
9. Лабинский А.Ю., Подружкина Т.А. Оптимизация методом случайного поиска как способ снижения техногенных рисков // Природные и техногенные риски. 2015. № 1.
10. Лабинский А.Ю. Использование генетического алгоритма для многокритериальной оптимизации // Природные и техногенные риски. 2018. № 4.
11. Лабинский А.Ю. Многопараметрическая оптимизация с помощью генетического алгоритма // Природные и техногенные риски. 2020. № 2.

References

1. Sistemnyj analiz i prinyatie reshenij: ucheb. / V.S. Artamonov [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2017.
2. Chernoruckij I.G. Metody optimizacii i prinyatie reshenij: ucheb. posobie. SPb.: Lan', 2013.
3. Panteleev A.V., Letova T.A. Metody optimizacii v primerah i zadachah. M.: Vysshaya shkola, 2002.
4. Taha H. Operation research: an introduction. 3rd edition. New Jersey: Prentice Hall, 2012.
5. Nahmias S. Production and operations analysis. 6rd edition. N.Y.: The McGraw-Hill Inc., 2015.

6. Dilworth J.B. Production and operations management. 9th edition. N.Y.: The McGraw-Hill Inc., 2017.
7. Ritzman L.P., Krajewski L.J. Foundations of operations management. New Jersey: Prentice Hall, 2013.
8. Ehrgott M. Multicriteria Optimization. Munchen: Springer, 2016.
9. Labinskij A.Yu., Podrzhkina T.A. Optimizaciya metodom sluchajnogo poiska kak sposob snizheniya tekhnogennyh riskov // Prirodnye i tekhnogennye riski. 2015. № 1.
10. Labinskij A.Yu. Ispol'zovanie geneticheskogo algoritma dlya mnogokriterial'noj optimizacii // Prirodnye i tekhnogennye riski. 2018. № 4.
11. Labinskij A.Yu. Mnogoparametricheskaya optimizaciya s pomoshch'yu geneticheskogo algoritma // Prirodnye i tekhnogennye riski. 2020. № 2.

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 06.10.2023

Принята к публикации: 04.12.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 06.10.2023

Accepted for publication: 04.12.2023

Информация об авторах:

Лабинский Александр Юрьевич, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: labynsciy@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-2735-4189>, SPIN-код: 8338-4230

Information about the authors:

Labinsky Alexander Yu., associate professor of the department of applied mathematics and information technologies of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: labynsciy@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-2735-4189>, SPIN: 8338-4230