

УДК 004.021

Н.М. Зайцева, кандидат технических наук

Инновационный Евразийский университет (г. Павлодар, Республика Казахстан)

E-mail: zaitzevns@mail.ru

## Построение оптимизационной модели энергоэффективного режима функционирования энергоемкого производства на основе нечеткого генетического алгоритма

*Аннотация.* Статья посвящена решению оптимизационной задачи поиска энергоэффективного режима функционирования одного из видов энергоемких производств, обладающего свойствами нелинейности, инерционности и замкнутости. В качестве метода решения рассмотрена оптимизационная модель на основе генетического алгоритма. При этом вычисление функции приспособленности для отбора хромосом предложено вычислять на основе нечеткой логики.

**Ключевые слова:** оптимизационная задача, энергоэффективность, режим функционирования, информационные технологии, моделирование, генетический алгоритм, нечеткая логика,

**Введение.** Современные экономические условия выдвигают перед промышленными предприятиями требование повышения их энергоэффективности. Эта задача стоит особо остро для энергоемких предприятий с непрерывным инерционным производством, к которым относятся предприятия цветной металлургии и химической промышленности. В комплекс мер, направленных на решение этой задачи, включается поиск стратегий управления технологией производства с минимизацией энергопотребления.

Для решения этой оптимизационной задачи необходима разработка многокритериальной целевой функции, которая должна базироваться на моделировании основных технологических процессов рассматриваемого производства. Очевидно, что такая функция не может иметь аналитического представления, а следовательно, невозможно определить ее свойства. В виду этого применение классических методов оптимизации, решающих описанную выше задачу, серьезно затруднено, т.к. для этих методов необходима информация о характере поведения целевой функции. Так, для градиентных методов требуется определить область сходимости решения и начальные приближения.

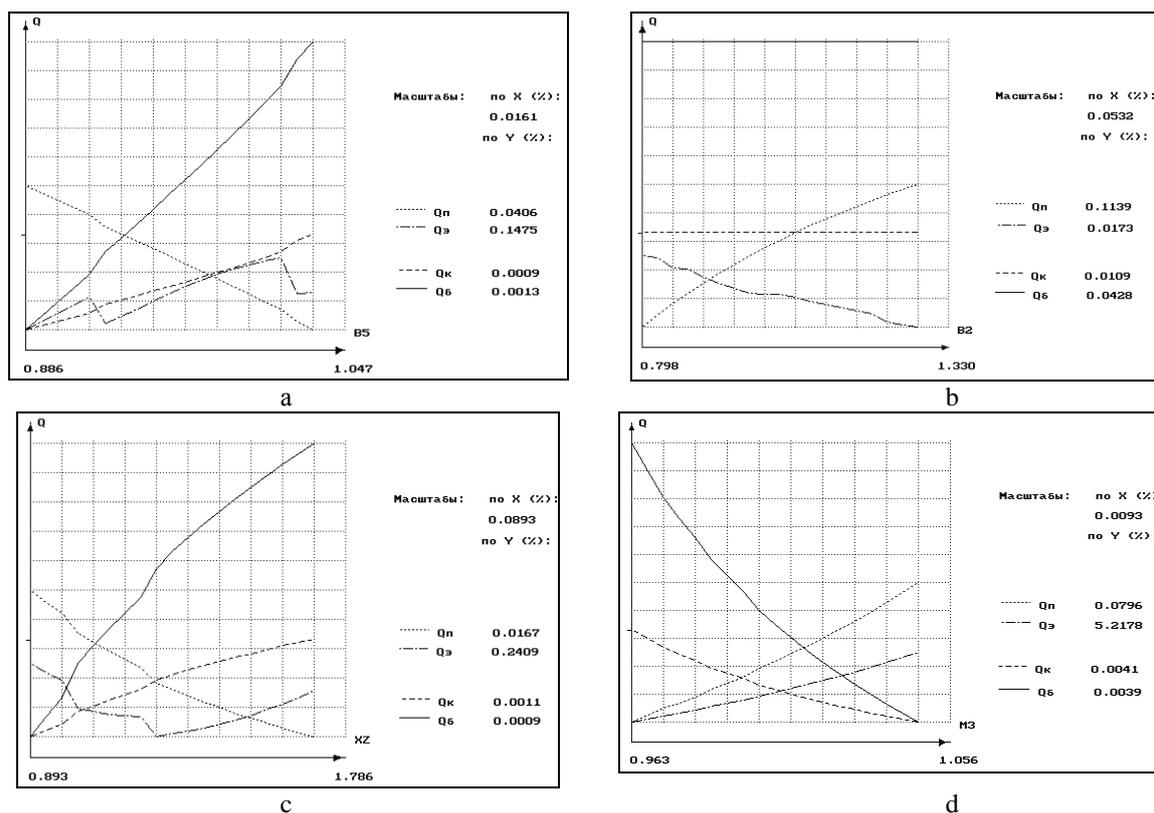
Следовательно, решение данной оптимизационной задачи должно быть выполнено на основе положительно зарекомендовавших себя в настоящее время методов искусственного интеллекта: нечеткой логики и генетического алгоритма. Причем, в качестве результата решения этой задачи должны быть получены значения технологических параметров производства, при которых достигается повышение его энергоэффективности. Очевидно, что критерий должен включать снижение затрат по расходу энергии без увеличения себестоимости выпускаемой продукции.

**Основная часть.** Постановка рассматриваемой задачи была выполнена ранее в источниках [1, 2]. В этих работах была предпринята попытка решения оптимизационной задачи с помощью традиционных методов, и в ходе решения выявлен серьезный недостаток этого подхода: при смене режима работы производства требовалось заново искать зоны устойчивости решения. В качестве основы в этих работах была использована статическая модель всего технологического процесса производства. Модель имела четыре контура управления аналогично реальным [1, 2]. Таким образом, при изменении значений этих параметров можно вести поиск энергоэффективного режима работы всего производства аналогично реальному управлению.

Для решения данной оптимизационной в новой постановке при использовании статической модели были построены зависимости расходных коэффициентов электроэнергии, пара и сырья от управляемых параметров в допустимом технологическом диапазоне значений  $X=\{B2, B5, XZ, M3\}$  ( $B2, B5, XZ, M3$  – управляющие технологические параметры гидрохимического производства глинозема, а именно: концентрация каустика в основном, оборотном растворе, затравочный коэффициент и модуль маточного раствора соответственно) (см. рисунки 1 и 2).

Проведенный анализ полученных зависимостей (рисунки 1 и 2) показал следующее:

- в целом все зависимости несут нелинейный характер, что подтверждает характеристику данного производства как нелинейного;
- в допустимых диапазонах изменения параметров  $B5$  и  $XZ$  существует глобальный минимум, но кривые иллюстрируют и локальные минимумы (см. рисунки 1а и 2а);
- при анализе воздействия на энергопотребление параметра  $B2$  (рисунок 1б) снижение потребления электроэнергии ведет к увеличению потребления пара;
- по параметру  $M3$  (рисунок 2б) снижение потребления электроэнергии и пара ведет к увеличению потребления сырья (бокситов и каустика).



а) параметра B5, б) параметра B2, в) параметра XZ и д) параметра M3

Рисунок 1 – Зависимости расходных коэффициентов электроэнергии (Q<sub>э</sub>), пара (Q<sub>п</sub>), сырья (Q<sub>к</sub>, Q<sub>б</sub>) от управляемых параметров в допустимом технологией диапазоне

Ввиду противоречивости тенденций, существующих в производстве, а также для сведения многокритериальной задачи к единому критерию, решено было включить в него себестоимость выпускаемой продукции. Таким образом, предлагаемый критерий должен приводить к минимуму затраты на производство одной тонны основного выпускаемого продукта при уменьшении расхода электроэнергии и пара без увеличения себестоимости готовой продукции. Очевидно, что при построении оптимизационного критерия на основе себестоимости получаемой продукции необходим учет существующих на момент решения оптимизационной задачи цен.

При формировании единого критерия необходимо учесть:

- 1) электропотребление:

$$W = K_{\Sigma} \cdot \sum_{i=1}^{16} K_{i\varepsilon} \cdot F_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

здесь  $K_{i\varepsilon}$  – расход электроэнергии на преобразование-перемещение одной тонны  $i$ -го материального потока в производстве (кВт.ч/ед.изм. $F$ ),  $K_{\Sigma}$  коэффициент, учитывающий потери электроэнергии;

- 2) потребление пара:

$$Q_n = K_{\text{вып}} F_{12} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $K_{\text{вып}}$  – коэффициент, определяющий потребление пара на  $1\text{ м}^3$  упаренной воды ( $\text{Гкал}/\text{м}^3$ ).

С учетом определения себестоимости готовой продукции многокритериальная оптимизационная задача (формулы 1 и 2) может быть сведена к однокритериальной с помощью выражения:

$$S = C \cdot Q(X) / F_{10} \rightarrow \min, \quad (3)$$

здесь  $C$  – вектор-строка, содержащий цены на электроэнергию, пар и сырье,  $Q(X)$  – вектор-столбец, содержащий удельное потребление электрической энергии, жесткого пара, сырья: боксита и каустика на производство одной тонны выпускаемой продукции.

$$Q(X) = (K1 \cdot W(X), K2 \cdot Q_n(X), K3 \cdot F_1(X), K4 \cdot F_3(X)), \quad (4)$$

( $F_1$  и  $F_{13}$  – потребление сырья) при выбранном технологическом режиме, определяемом значением вектора  $X$ ,  $F_{10}$  – величина производимого объема готового продукта,  $K_1, K_2, K_3$  и  $K_4$  – идентификационные коэффициенты.

Дальнейшее решение задачи требует анализа рынка цен на электроэнергию, пар, боксит и каустическую соду. В таблице 1 приведены возможные диапазоны цен.

Таблица 1 – Цены на энергоресурсы и сырье

Электроэнергия	Пар	Боксит	Каустическая сода
0.04-0.1 \$/ кВт·ч	80-100 \$/Т	100-800 \$/Т	550-1000 \$/Т

Так как цена на энергоресурсы и сырье не представляет собой фиксированных значений, то дальнейшее решение поставленной оптимизационной задачи требует применения нечеткой логики [3-5] для определения значения  $C$  (вектор-строка цен на электроэнергию, пар и сырье) (см. формулы 3 и 4).

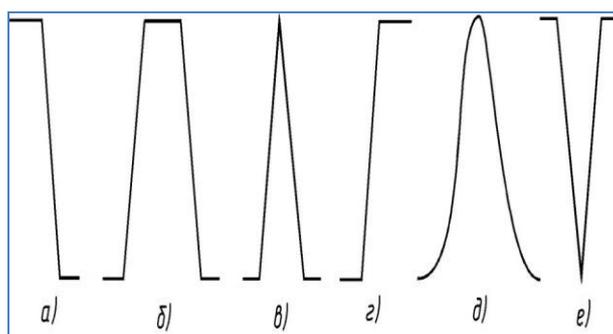
Математическая теория нечетких множеств позволяет описывать нечеткие знания, оперировать ими. Наличие математических средств этой теории позволяет построить модель, которая более правдоподобна реальности. Fuzzy-системы, по сравнению с классическими, предоставляют возможность работы с неполными или нечеткими данными. Например, в нашем случае – изменяющимися значениями стоимостей.

Охарактеризовать нечеткие множества можно следующим образом: во множестве  $E$  элементы обладают некоторым общим свойством  $R$ . При этом для канторовых, обычных множеств, любой элемент этих множеств по определению может или принадлежать или не принадлежать рассматриваемому множеству, а в нечетком множестве элементы его только в некоторой степени принадлежат данному множеству. Иными словами, степень принадлежности любого элемента  $x \in E$  множеству (относительно свойства  $R$ ) можно оценить с помощью функции принадлежности:  $\mu(x): E \rightarrow [0;1]$ , причем, в любой точке выполняется условие:

$$\sum_{i=1}^M \mu_i(x) = 1 \quad (5)$$

Значение функции  $\mu(x)$  принято называть «степенью принадлежности» элемента  $x \in E$  нечеткому множеству  $A$ . В описании понятий нечетких множеств определено понятие «нечеткая» или «лингвистическая» переменная. Значениями этой переменной являются слова естественного языка, которые получили название «терм».

Существует несколько типовых форм кривых, которые могут применяться при определении функций принадлежности нечеткой переменной рассматриваемому множеству. Наиболее часто применяемые функции принадлежности показаны на рисунке 2.



а) функция Z; б) трапецевидная функция; в) треугольная функция; г) функция S;  
д) Гауссова функция; е) функция V

Рисунок 2 – Функции принадлежности

Чаще всего при описании нечетких задач с измеримыми непрерывными величинами используются следующие функции принадлежности: треугольная, трапецевидная и Гауссова. Треугольная функция (рисунок 2в) может быть определена тремя числами:  $a, b, c$ . Конкретное значение этой функции в точке  $x$  вычисляется с помощью:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - (b - x)/(b - a), & a \leq x \leq b \\ 1 - (x - c)/(c - b), & b \leq x \leq c \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (6)$$

Существует и более общая процедура получения вида функций  $\mu(x)$ , которая использует количественное попарное сравнение степеней принадлежности с помощью экспертных оценок. По итогам опроса экспертов строится вспомогательная матрица  $M = \|m_{i,j}\|, i, j = 1, n$ . Здесь  $n$  – число точек, в которых происходит сравнение значений функции. Числа  $m_{i,j}$ , составляющие матрицу, представляют количественную информацию: во сколько раз  $\mu_A(x_i)$  больше  $\mu_A(x_j)$ . При этом диагональные элементы матрицы:  $m_{i,i} = 1$ , а стоящие вне главной диагонали:  $m_{i,j} = 1/m_{j,i}$ . При составлении матрицы эксперт может оперировать понятиями, представленными в таблице 2.

Значения функции принадлежности  $\mu_A$  в точках  $x_1, x_2, \dots, x_n$  рекомендуется определять как [1, 3, 5, 7, 9].

$$\mu_A(x_i) = \frac{m_{i,j}}{\sum_{i=1,n} m_{i,j}}, \quad (7)$$

где  $i, j \in I = \{1, 2, \dots, n\}$ .

Таблица 2 – Определения коэффициентов матрицы  $M$  для построения функций принадлежности с помощью экспертных оценок

Понятия	Значения $m_{i,j}$
$\mu_A(x_i)$ примерно равна $\mu_A(x_j)$	1
$\mu_A(x_i)$ немного больше $\mu_A(x_j)$	3
$\mu_A(x_i)$ больше $\mu_A(x_j)$	5
$\mu_A(x_i)$ заметно больше $\mu_A(x_j)$	7
$\mu_A(x_i)$ намного больше $\mu_A(x_j)$	9

При решении нашей задачи для определения цен на сырье и энергоносители можно воспользоваться приведенным выше методом определения цены на основе таких экспертных оценок. После определения вектора цен можно приступить к решению задачи поиска энергоэффективного режима работы предприятия. Предлагается выполнить поиск этого режима с помощью генетического алгоритма, так как функция критерия не имеет аналитического выражения (расходные коэффициенты в этой функции вычисляются с помощью модели производства), а генетический алгоритм безразличен к виду этой функции.

Как известно, генетический алгоритм работает не непосредственно с параметрами решаемой задачи, а с их закодированными значениями, следовательно, необходимо реализовать этап кодирования всех параметров задачи, то есть выполнить отображение области решений на генетический код. Кодирование параметров в элементы популяции можно выполнить в двоичном коде. Так, четыре управляемых параметра можно отобразить на всю область допустимых технологическими условиями значений с помощью кодировки пятью двоичными разрядами. Например, значения параметра B5 от 0.111 до 0.1265 с шагом изменения, равного 0.0005, можно закодировать в пределах значений от «00000» до «11111».

Затем по числу управляемых технологических параметров выполняется создание четырех начальных популяций «родительских» хромосом. Количество хромосом должно быть достаточным, чтобы не произошло преждевременное «вырождение» популяции. Создание 20-ти особей было выполнено с помощью случайного выбора («дробовик») по всей области допустимых кодов решений рассматриваемой задачи. На рисунке 3 изображен процесс перерождения особей-хромосом от первоначальной популяции, изображенной крайней левой колонкой квадратиков для параметра B5 и треугольников для параметра M3 к особям, приводящим к увеличению фитнес-функции, а следовательно, к решению оптимизационной задачи. Рисунок иллюстрирует рост функции приспособленности с 341.17 до 536.45.

Значению параметра B5 (рисунок 3), равному 0.1115, изображенному нижним квадратиком в левой колонке, соответствует хромосома с кодом «00001», а значению равному 0.126 – верхний квадратик – хромосома с кодом «11110». Значению параметра M3, равному 1.6, соответствует хромосома с кодом «00000» (нижний треугольник в левой колонке), а значению, равному 1.745 (верхний треугольник), – хромосома с кодом «11101».

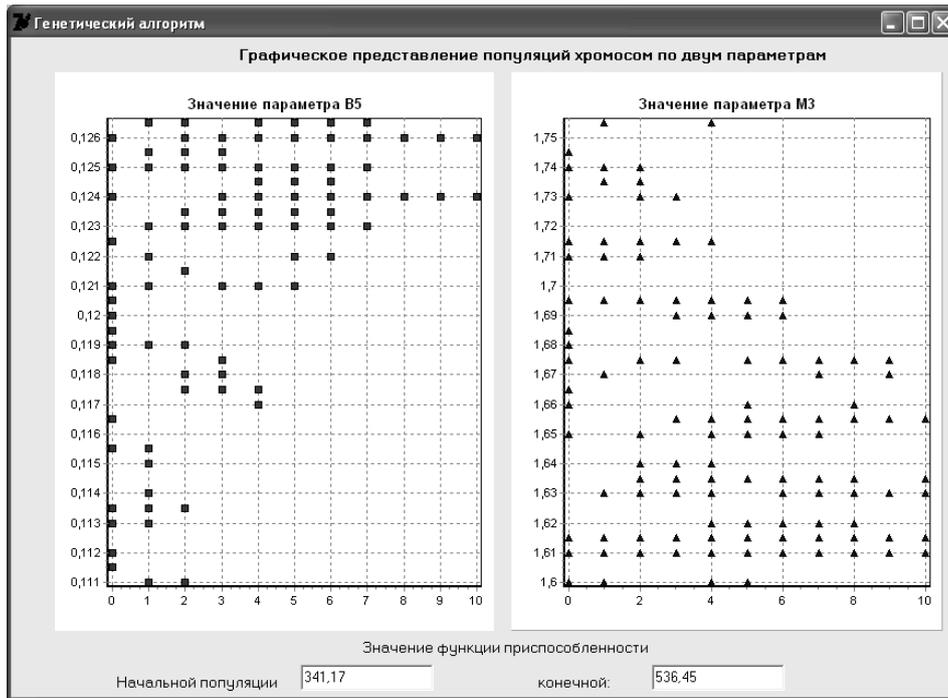


Рисунок 3 – Иллюстрация хода изменения популяций хромосом по параметрам производства B5 и M3 в ходе решения оптимизационной задачи

После создания каждой популяции особей-хромосом должна быть реализована оценка каждой хромосомы посредством функции, характеризующей приспособленность данной хромосомы, и чем выше это значение для особи-хромосомы, тем она более приспособлена, то есть выше её качество. Функция приспособленности должна отражать суть решаемой задачи, поэтому она должна разрабатываться на основе приведенного выше критерия (3). При этом необходимо учесть основные требования [5-9], которым должна удовлетворять данная функция:

- 1) функция должна быть положительной;
- 2) должна стремиться к максимуму;
- 3) должна обеспечивать отбор более приспособленных хромосом в следующую популяцию.

Выражение (3) на всей области определения принимает положительные значения. Для выполнения условия пункта 2 и пункта 3 получим функцию вида:

$$G(\text{ch}) = \text{MAX}(S) - C \cdot Q(\mathbf{X}) / F_{10} \rightarrow \max, \quad (8)$$

где  $\text{ch}$  – обозначение хромосомы, а  $\text{MAX}(S)$  – заранее выбранное максимальное значение себестоимости готовой продукции, вычисляемое с помощью выражения (3).

На следующем шаге генетического алгоритма выполняется «селекция» особей-хромосом для новой популяции. Селекция выполняется на основе естественного отбора: «наибольшие шансы на создание потомков получают особи наивысшей приспособленности». Для определения «выживаемости» каждой особи-хромосоме вычисляется вероятность  $P_s(\text{ch}_i)$  [5]:

$$P_s(\text{ch}_i) = \frac{G(\text{ch}_i)}{\sum_{i=1}^N G(\text{ch}_i)} \quad (9)$$

Затем необходимо реализовать процедуру отбора особей для дальнейшего хода генетического алгоритма, согласно величине  $P_s(\text{ch}_i)$ . Процедуру можно реализовать с помощью пропорционального отбора – «рулетка». Рисунок 4 иллюстрирует пропорциональный отбор из 8-ми хромосом. При отборе такого вида каждой особе-хромосоме сопоставляется сектор круга, величина которого определяется пропорционально значению функции приспособленности данной хромосомы.

Большому значению функции приспособленности конкретной особи-хромосомы соответствует больший по величине сектор круга. Таким образом, вероятность того, что данная особь будет отобрана в родительский пул для получения потомства, то есть для генерации следующей популяции, будет выше. Например (рисунок 4), хромосоме  $\text{ch}_4$  соответствует сектор, равный 19,51 %, а хромосоме  $\text{ch}_7$  – сектор

равный, 2.1 %, следовательно, хромосома  $ch_4$ , вероятнее всего, будет отобрана для следующего поколения хромосом.

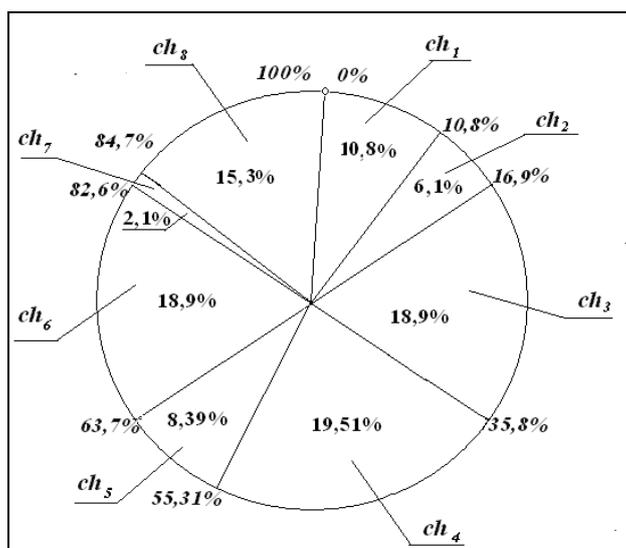


Рисунок 4 – Иллюстрация механизма пропорционального выбора особей в родительский пул («Рулетка») для восьми хромосом

Отбор особей-хромосом необходимо реализовать на основании равномерного закона распределения чисел в диапазоне от 0 до 100. Это число будет определять выбранный сектор. Если, например, было получено число 39, то будет выбрана хромосома  $ch_4$ , так как  $35.8\% < 39 < 55.31\%$  (см. рисунок 4). В результате этого шага генетического алгоритма случайным выбором  $N$  особей-хромосом будет создан так называемый «родительский пул».

За формирование популяции особей-потомков в генетическом алгоритме отвечают два специальных оператора, которые получили название: «скрещивание», или «кроссовер», и «мутация». Основным оператором генетического алгоритма, отвечающим за передачу признаков от выбранных особей-родителей потомкам, является оператор кроссовер. Этот оператор выполняется для всех пар особей-родителей. Оператор «мутация» является второстепенным. Он предназначен для блокировки слишком быстрого «вырождения» особей-хромосом и, как и в природе, выполняется значительно реже, чем кроссовер или вообще может отсутствовать.

Пары родителей-хромосом для скрещивания, как правило, выбираются случайно. Для каждой пары особей-родителей может быть реализован одноточечный или двухточечный кроссовер ввиду незначительной длины кода хромосомы (длина равна 5 двоичных разряда). В результате этой операции образуется пара особей-потомков.

Полученную популяцию потомков можно подвергнуть операции «мутация», например, с вероятностью 0.01. Мутация выполняется следующим образом: случайным образом (на основе равномерного закона распределения) выбирается хромосома, которая подвергается мутации. В этой особи-хромосоме один из опять-таки случайно выбираемых двоичных разрядов изменяет свое значение на противоположное: если разряд имел значение 0, то новое значение будет 1.

В результате этих действий будет сформирована популяция потомков, которая в классическом генетическом алгоритме вытесняет родительские хромосомы и становится новой популяцией. Для новой популяции происходит операция определения функции приспособленности. Следующим шагом должна быть выполнена проверка на условие остановки итераций генетического алгоритма. Условием прекращения итерационного процесса данного алгоритма можно сделать сравнение среднего фитнес-функции по всей родительской популяции и среднего этой же функции по популяции потомков.

В завершении генетического алгоритма необходимо найти решение поставленной (3) оптимизационной задачи, то есть должно быть реализовано раскрытие кода полученной хромосомы, то есть перекодирование этого кода в значение управляющего технологического параметра производства. Затем вычисление энергопотребления при полученных в ходе решения значениях параметров и сравнение со средними производственными показателями.

**Заключение.** Таким образом, предлагаемый подход моделирования может быть применен для решения оптимизационной задачи подобного рода. Более того, введение в модель нечеткости позволяет расширить класс решаемых задач, повысить адекватность модели реальному процессу.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- 1 Zaytseva, N.M. Increase of energy efficiency of alumina production on the basis of process modeling / N.M. Zaytseva // Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, (MEACS). Tomsk, 2015. – P. 1-4.
- 2 Zaytseva, N.M. Solution of the Problem of Searching for an Energy-efficient Functioning Mode of a Continuous Production Using Simulation and Artificial Intelligence Methods / N.M. Zaytseva // Proceedings of 2016 International Conference APEIE. Novosibirsk, 2016. – V. 2. – P. 250-254.
- 3 Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
- 4 Богатырев Л.Л., Манусов В.З., Содномдорж Д. Математическое моделирование режимов электроэнергетических систем в условиях неопределенности. – Улан-Батор: Издательство типографии МГТУ, 1999. – 348с.
- 5 Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 452 с.
- 6 Pavlyuchenko D.A. Electrical network optimization by genetic algorithm / D.A. Pavlyuchenko, V.Z. Manusov // European Transactions on Electrical Power, 2006. – Vol. 16. – № 6. – P. 569-576.
- 7 Pavlyuchenko D.A. Real power optimization by genetic algorithms / D.A. Pavlyuchenko, V.Z. Manusov // Proceedings of the 2 international conference on technical and physical problems in power engineering (ICTPE–2004), Iran, Tabriz, 6-8 Sept. 2004. – Tabriz, 2004. – P. 200-203.
- 8 Pavlyuchenko D.A. The application of the genetic algorithms in the optimization of transmission systems expansion / D.A. Pavlyuchenko, V.Z. Manusov, V.Ya. Lubchenko // The 6 Russian-Korean international symposium on science and technology (KORUS–2002): proc., Novosibirsk, 2002. – Novosibirsk: NSTU, 2002. – Vol. 1. – P. 452-455.
- 9 Манусов В.З. Оптимизация схемы электрической сети на основе генетического алгоритма / В.З. Манусов, Д.А. Павлюченко // First international conference on technical and physical problems in power engineering. – Azerbaidjan, Baku, 2002. – P. 113-116.

**REFERENCES**

- 1 Zaytseva, N.M. Increase of energy efficiency of alumina production on the basis of process modeling / N.M. Zaytseva // Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, (MEACS). Tomsk, 2015. – P. 1-4.
- 2 Zaytseva, N.M. Solution of the Problem of Searching for an Energy-efficient Functioning Mode of a Continuous Production Using Simulation and Artificial Intelligence Methods / N.M. Zaytseva // Proceedings of 2016 International Conference APEIE. Novosibirsk, 2016. – V. 2. – P. 250-254.
- 3 Zade L. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoj i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhennyh reshenij / L. Zade. – M.: Mir, 1976. – 165 s.
- 4 Bogatyrev L.L., Manusov V.Z., Sodnomdorzh D. Matematicheskoe modelirovaniye rezhimov elektroenergeticheskikh sistem v usloviyakh neopredelennosti. – Ulan-Bator: Izdatel'stvo tipografii MGTU, 1999. – 348s.
- 5 Rutkovskaya D., Pili'n'skij M., Rutkovskij L. Nejrornyie seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy / Per. s pol'sk. I.D. Rudinskogo. – M.: Goryachaya liniya-Telekom, 2006. – 452 s.
- 6 Pavlyuchenko D.A. Electrical network optimization by genetic algorithm / D.A. Pavlyuchenko, V.Z. Manusov // European Transactions on Electrical Power, 2006. – Vol. 16. – № 6. – P. 569-576.
- 7 Pavlyuchenko D.A. Real power optimization by genetic algorithms / D.A. Pavlyuchenko, V.Z. Manusov // Proceedings of the 2 international conference on technical and physical problems in power engineering (ICTPE–2004), Iran, Tabriz, 6–8 Sept. 2004. – Tabriz, 2004. – P. 200-203.
- 8 Pavlyuchenko D. A. The application of the genetic algorithms in the optimization of transmission systems expansion / D.A. Pavlyuchenko, V.Z. Manusov, V.Ya. Lubchenko // The 6 Russian-Korean international symposium on science and technology (KORUS–2002): proc., Novosibirsk, 2002. – Novosibirsk: NSTU, 2002. – Vol. 1. – P. 452-455.
- 9 Manusov V.Z. Optimizaciya skhemy elektricheskoy seti na osnove geneticheskogo algoritma / V.Z. Manusov, D.A. Pavlyuchenko // First international conference on technical and physical problems in power engineering. – Azerbaidjan, Baku, 2002. – R. 113-116.

**Н.М. Зайцева**, техника ғылымдарының кандидаты  
 Инновациялық Еуразия университеті (Павлодар қ., Қазақстан Республикасы)  
 E-mail: zaitzevns@mail.ru

***Анық емес генетикалық алгоритм негізінде энергияны көп қажет ететін өндіріс жұмысының энергия тиімді режимін оңтайландыру моделін құру***

*Мақала бейсызық, инерция және оқшаулау қасиеттері мен энергияны көп қажет ететін өндірістердің бір түріндегі энергия тиімділігі режимін іздеуді оңтайландыру мәселесін шешуге арналған. Шешу әдісі ретінде генетикалық алгоритмге негізделген оңтайландыру моделі қарастырылады. Сонымен қатар, хромосомаларды таңдауға арналған икемділік функциясының есебін анық емес логика негізінде есептеу ұсынылады.*

***Түйін сөздер:*** *оңтайландыру тапсырмасы, энергия тиімділігі, жұмыс режимі, ақпараттық технологиялар, модельдеу, генетикалық алгоритм, анық емес логика*

*N.M. Zaytseva, Candidate of Technical Sciences  
Innovative University of Eurasia (Pavlodar, Kazakhstan Republic)  
E-mail: zaitzevns@mail.ru*

***Building an optimization model energy-efficient mode of functioning energy-intensive production based on a fuzzy genetic algorithm***

*The article is devoted to solving the optimization problem of finding an energy-efficient mode operation of one of the types of energy-intensive industries with the properties nonlinearity, inertia, and isolation. An optimization model based on a genetic algorithm is considered as a solution method. Moreover, the calculation of the fitness function for the selection of chromosomes is proposed to be calculated on the basis of fuzzy logic.*

***Key words:*** *optimization task, energy efficiency, mode of operation, information technology, modeling, genetic algorithm, fuzzy logic*