

УДК 004.8:519.86/.87

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОСТЕЙШЕГО ВОСПИТАНИЯ РОБОТОВ, РЕАГИРУЮЩИХ НА ЗВУКОВЫЕ СТИМУЛЫ

Пенский О.Г., Шестаков Е.С.

ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,  
Пермь, e-mail: ogpensky@mail.ru

Выдвинуто предположение о том, что эмоциональное воспитание робота может быть вычислено с помощью звукового сигнала, на него воздействующего и являющегося стимулом для эмоций робота. За основу предлагаемых математических моделей взяты известные соотношения, определяющие эмоциональное воспитание робота. В предлагаемых моделях эмоциональное воспитание робота заменено интегральной суммой эмоций, которые возникают у робота при воздействии на него звуковым сигналом. Значение эмоции в данном случае зависит от величины амплитуды звукового сигнала. Соотношения эмоционального воспитания робота, выраженные таким образом, адаптированы для расчета простейшего эмоционального воспитания робота. Целью работы является разработка математической модели аппроксимации реального воспитания, рассчитанного на основе амплитуды звукового сигнала, воздействующего на робота, с помощью простейшего эмоционального воспитания и определение его параметров: коэффициента памяти, элементарного воспитания и предельного воспитания. Описана компьютерная программа, которая позволяет записать аудиофайл. Из записанного аудиофайла определяется амплитуда звукового сигнала, воздействующего на робота, на основе полученной амплитуды рассчитывается эмоциональное воспитание робота, строится его график. Также программа вычисляет элементарное воспитание, коэффициент памяти и предельное воспитание простейшего воспитания роботов.

**Ключевые слова:** робот, воспитание, коэффициенты памяти, амплитуда звукового сигнала, математическая модель, психология роботов

## A MATHEMATICAL MODEL FOR CALCULATING THE PARAMETERS OF THE SIMPLE EDUCATION OF ROBOTS, CALCULATED WITH THE AMPLITUDE OF THE SOUND SIGNAL

Penskiy O.G., Shestakov E.S.

Perm State University, Perm, e-mail: ogpensky@mail.ru

It has been suggested that the emotional education of a robot can be calculated using an audio signal that acts on it and is a stimulus for the robot's emotions. The proposed mathematical models are based on the well-known relationships that determine the emotional education of the robot. In the proposed models, the emotional education of the robot is replaced by the integral sum of the emotions that arise in the robot when exposed to a sound signal. The meaning of emotion in this case depends on the amplitude of the sound signal. The ratios of the emotional education of the robot, expressed in this way, are adapted to calculate the simplest emotional education of the robot. The goal of the work is to develop a mathematical model for approximating real education, calculated on the basis of the amplitude of the sound signal affecting the robot, using the simplest emotional education and determining its parameters: memory coefficient, elementary education, and ultimate education. A computer program is described that allows you to record an audio file. From the recorded audio file, the amplitude of the sound signal affecting the robot is determined, on the basis of the obtained amplitude, the emotional education of the work is calculated, and its schedule is built. The program also calculates elementary education, memory coefficient and ultimate education of the simplest education of robots.

**Keywords:** robot, education, memory coefficients, amplitude of the sound signal, mathematical model, psychology of robots

Пусть психологическое поведение роботов является ответной реакцией на стимул – звуковой сигнал, поступающий в приемные устройства робота. В таком случае можно разработать математическую модель расчета эмоционального воспитания робота, которая будет зависеть от амплитуды звукового сигнала, который воздействует на робота.

Любая функция, которая удовлетворяет требованиям, описанным в работе [1], является эмоцией робота, то есть функция

$$M(t) = A \sin\left(\frac{\pi}{T_0 - t_0}(t - t_0)\right), \quad (1)$$

где  $M(t)$  – эмоции робота в момент времени  $t$ ,  $T_0$  – верхняя граница интервала, на котором

вычисляется эмоция робота,  $t_0$  – нижняя граница интервала, на котором вычисляется эмоция робота,  $A$  – амплитуда звукового сигнала, воздействующего на робота; также моделирует эмоцию робота. Тогда эмоциональное воспитание робота на  $i$ -м такте может быть представлено в виде формулы

$$R_i = \int_{t_{i-1}}^{t_i} A_i \sin\left(\frac{\pi}{t_i - t_{i-1}}(t - t_{i-1})\right) dt = A_i \frac{2\pi}{t_i - t_{i-1}}, \quad (2)$$

где  $i$  – порядковый номер воспитательного такта [2],  $t_{i-1}$  – начало  $i$  такта,  $t_i$  – конец  $i$  такта

та,  $A_i$  – среднее значение амплитуды звукового сигнала, измеренное в течение такта  $i$ .

Предположим, что длина такта постоянна и обозначим ее  $\beta = t_i - t_{i-1} = \text{const}$ , тогда

$$R_i = A_i \frac{2\pi}{\beta}. \quad (3)$$

Математическая модель непрерывного эмоционального воспитания роботов с неабсолютной памятью, приведенная в работе [1], может быть преобразована следующим образом:

$$A_i \frac{2\pi}{\beta} = r_i + \theta_i A_{i-1} \frac{2\pi}{\beta}, \quad (4)$$

где  $i$  – порядковый номер воспитательно-го такта [2],  $r_i$  – элементарное воспитание робота, полученное им в конце такта  $i$ ,  $A_i \frac{2\pi}{\beta}$  – суммарное воспитание, полученное роботом в конце такта  $i$ ,  $\theta_i$  – коэффициент памяти для такта  $i$ ,  $0 < \theta_i \leq 1 - \delta$ ,  $0 < \delta = \text{const} < 1$ .

Будем полагать, что

$$r_i = q = \text{const}, \quad \theta_i = \theta = \text{const}, \quad (5)$$

тогда равенство (4) можно записать в виде

$$A_i \frac{2\pi}{\beta} = q + \theta A_{i-1} \frac{2\pi}{\beta}. \quad (6)$$

Равенство (6) назовем математической моделью простейшего воспитания робота, выраженного через амплитуду звукового сигнала.

В работе [3] вводится понятие фиктивного такта, которое обозначает временные перерывы между воспитаниями. Для фиктивных тактов справедливо равенство  $r_i = 0$ , тогда формула (4) преобразуется в равенство

$$A_i = \theta_i A_{i-1}, \quad (7)$$

которое при условиях (5) примет вид

$$A_i = \theta A_{i-1}. \quad (8)$$

Так как амплитуда звукового сигнала – это положительное значение, то  $A_i > 0$ , таким образом, фиктивным тактом можно считать такт, для которого справедливо неравенство

$$A_i < A_{i-1}. \quad (9)$$

В работах [4, 5] и других приведены результаты многочисленных исследований психологического поведения роботов на основе моделей простейшего воспитания, которые лежат в основе уравнений (6) и (8).

В силу того, что на практике при создании психологического аналога человека соотношения (5) справедливыми не являются, требуется аппроксимировать реальный воспитательный процесс, описанный уравнениями (4) и (7), используя модели простейшего воспитания (6) и (8).

Целью исследования является разработка математической модели аппроксимации реального воспитания, рассчитанного на основе амплитуды звукового сигнала, воздействующего на робота, с помощью простейшего эмоционального воспитания, а также реализация компьютерной программы для определения его параметров: коэффициента памяти –  $\theta$ , элементарного воспитания –  $q$  и предельного воспитания.

#### Математическая модель

Пусть имеются численные значения эмоционального воспитания, выраженные через амплитуду звукового сигнала  $A_i \frac{2\pi}{\beta}$ , где  $i$  определяет порядковый номер такта воспитания.

Тогда для вычисления коэффициентов памяти  $\theta$  только при фиктивных тактах необходимо решить задачу по определению безусловного экстремума функции  $I(\theta)$ :

$$I(\theta) = \sum_{i=1}^n \left( A_i \frac{2\pi}{\beta} - \theta A_{i-1} \frac{2\pi}{\beta} \right)^2,$$

где  $n$  – количество выполненных измерений.

Решая уравнение  $\frac{dI(\theta)}{d(\theta)} = 0$ , получим следующее соотношение для вычисления коэффициента памяти  $\theta$ :

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^n A_i A_{i-1}}{\sum_{i=1}^n A_{i-1}^2}. \quad (10)$$

Предположим, что во время экспериментальных измерений были как такты, так и фиктивные такты.

Запишем функцию  $J(\theta, q)$  в следующем виде:

$$J(\theta, q) = \sum_{i=1}^n \begin{cases} (A_i - q - \theta A_{i-1})^2, & A_i > A_{i-1} \\ (A_i - \theta A_{i-1})^3, & A_i < A_{i-1} \end{cases}.$$

Очевидно, что для аппроксимации простейшим воспитательным процессом воспитания, являющегося амплитудой звукового сигнала, нужно решить следующую задачу – найти

$$\min_{\theta, q} J(\theta, q). \quad (11)$$

Вычисляя первые производные функции  $J(\theta, q)$  по переменным  $\theta$  и

$$J(\theta, q) = \sum_{i=1}^n \begin{cases} A_{i-1}A_i - qA_{i-1} - \theta A_{i-1}^2, & A_i > A_{i-1} \\ A_{i-1}A_i - \theta A_{i-1}^2, & A_i < A_{i-1} \end{cases} = 0, \quad (12)$$

$$J(\theta, q) = \sum_{i=1}^n \begin{cases} A_i - q - \theta A_{i-1}, & A_i > A_{i-1} \\ 0, & A_i < A_{i-1} \end{cases} = 0. \quad (13)$$

Легко показать, что система уравнений (12)–(13) эквивалентна следующей системе:

$$q \sum_{q \in \Omega} A_{i-1} + \theta \sum_{i=1}^n A_{i-1}^2 = \sum_{i=1}^n A_{i-1}A_i, \quad (14)$$

$$qn_+ + \theta \sum_{q \in \Omega} A_{i-1} = \sum_{q \in \Omega} A_i, \quad (15)$$

где  $\Omega$  – множество тех номеров  $i$ , для которых справедливо неравенство  $A_i > A_{i-1}$ ,  $n_+$  – количество элементов в множестве  $\Omega$ .

Решая систему уравнений (14)–(15), получим соотношения для искомым величин  $\theta$  и  $q$ :

$$\theta = \frac{\sum_{q \in \Omega} A_{i-1} \sum_{q \in \Omega} A_i - n_+ \sum_{i=1}^n A_{i-1}A_i}{\left(\sum_{q \in \Omega} A_{i-1}\right)^2 - n_+ \sum_{i=1}^n A_{i-1}^2}, \quad (16)$$

$$q = \frac{\sum_{q \in \Omega} A_{i-1} \sum_{i=1}^n A_{i-1}A_i - \sum_{i=1}^n A_{i-1}^2 \sum_{q \in \Omega} A_i}{\left(\sum_{q \in \Omega} A_{i-1}\right)^2 - n_+ \sum_{i=1}^n A_{i-1}^2}. \quad (17)$$

Заметим, что система уравнений (16)–(17) позволяет найти решения  $\theta$  и  $q$  только в том случае, когда множество  $\Omega$  не пусто, в противном случае простейшее воспитание описывается только коэффициентом памяти  $\theta$ , который удовлетворяет равенству (10).

#### *Программная реализация модели*

Для определения параметров простейшего воспитания  $\theta$  и  $q$ , а также предельного воспитания, аппроксимирующего реальное воспитание, которое рассчитывается с помощью звукового сигнала, было разработано настольное приложение на языке Java.

Разработанная компьютерная программа позволяет записать аудиофайл в формате wav с помощью обычного микрофона либо подключенного к компьютеру, либо встроенного в компьютер. Также программа на основе амплитуды звукового сигнала, извлеченной из записанного аудиофайла, рассчитывает эмоциональное воспитание работа и выводит на экран график зависимости эмоционального воспитания от времени. Интервал, через который производится расчет эмоционального воспитания, задается пользователем приложения. Когда

весь файл проанализирован и все значения эмоционального воспитания рассчитаны, то вычисляются требуемые параметры простейшего обучения: коэффициент памяти, элементарное воспитание и предельное воспитание.

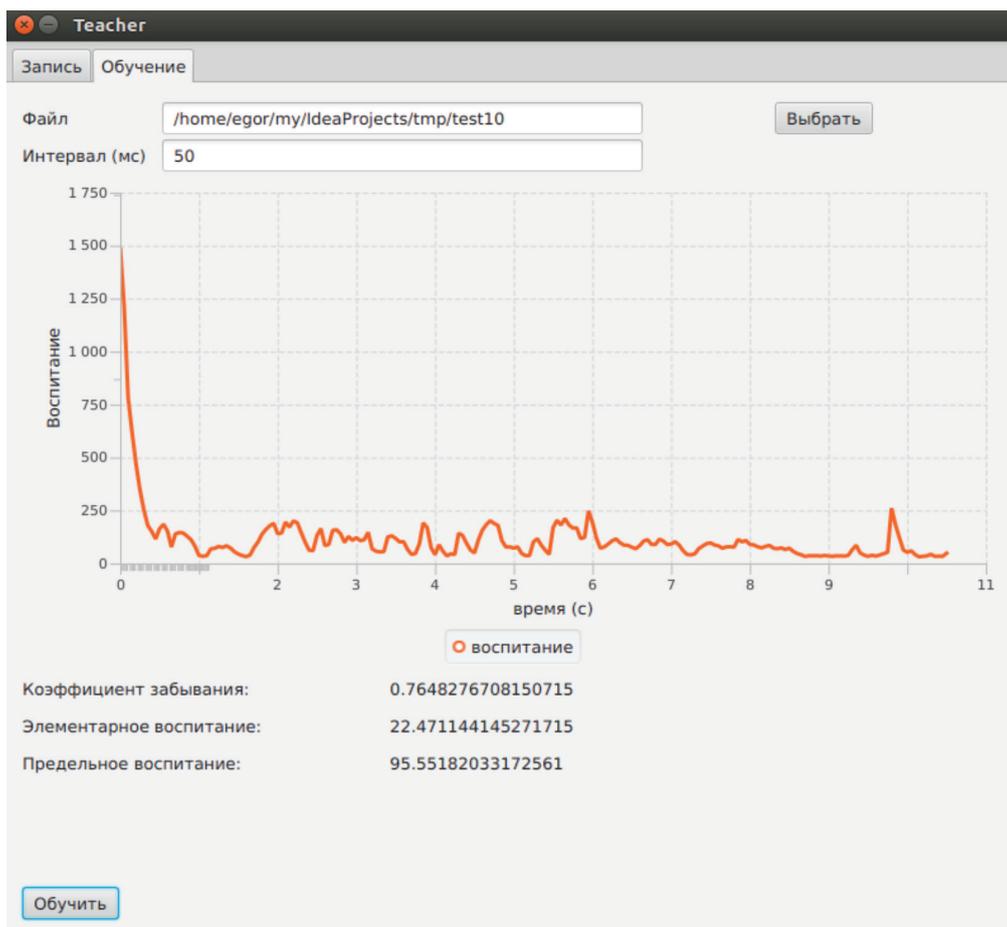
Когда пользователь запускает приложение, он попадает на форму «Запись». На этой форме пользователь может записать аудиофайл, который будет использован для расчета параметров простейшего воспитания. Чтобы начать аудиозапись, пользователь должен выполнить следующую последовательность действий:

1) нажать кнопку «Выбрать», после этого откроется окно, в котором необходимо выбрать каталог, в который будет сохранен аудиофайл;

2) ввести название файла в поле «Файл»;

3) нажать кнопку «Старт», после этого появится надпись «Запись...», указывающая на то, что процесс записи успешно.

Чтобы остановить запись, пользователю необходимо нажать кнопку «Стоп». Аудиофайл будет сохранен по пути, указанному в поле «Директория», с названием из поля «Файл».



*Форма расчета параметров*

После этого пользователь может перейти на форму «Обучение», изображенную на рисунке.

Для расчета параметров простейшего воспитания пользователю необходимо:

- 1) нажать кнопку «Выбрать», после этого откроется окно, в котором необходимо выбрать аудиофайл формата wav;
- 2) ввести интервала дискретизации такта в миллисекундах;
- 3) нажать кнопку «Обучить».

Программа разбивает файл на интервалы указанной длины, определяет среднюю амплитуду звукового сигнала на каждом интервале и, используя ее, рассчитывает элементарное воспитание  $q$  и коэффициент памяти  $\theta$  для простейшего воспитания. На рисунке изображен график зависимости эмоционального воспитания робота, рассчитанного с помощью амплитуды звукового сигнала, от времени. Видно, что на протяжении 10 с было воздействие звуковым сигналом с различной громкостью. Коэффициент памяти эмоционального робота,

реагирующего на данный звуковой сигнал, равен примерно 0.765, то есть эмоциональный робот с каждым тактом будет забывать четверть полученной им информации, при этом его воспитание с каждым тактом воспитания увеличивается на 22.471. Предельное воспитание для смоделированного эмоционального робота составляет 95.552.

*Обоснование выбора языка программирования*

В качестве языка программирования был выбран Java, так как он обладает следующими преимуществами:

- 1) кроссплатформенность. Программа может быть скомпилирована под различные платформы (Linux, Windows);
- 2) наличие API для работы со звуком;
- 3) наличие инструментов для создания интерфейса десктопного приложения;
- 4) наличие полной документации и развитого сообщества разработчиков;
- 5) относительная простота разработки;
- 6) наличие удобной среды разработки.

### Заключение

Таким образом, в настоящей статье приведена математическая модель расчета эмоционального воспитания робота на основе воздействующего на него звукового сигнала. Приведены соотношения для расчета элементарного воспитания, коэффициента памяти и предельного воспитания на основе реального воспитания робота, рассчитанного с помощью амплитуды звукового сигнала. Описана компьютерная программа, которая на основе звукового сигнала рассчитывает эмоциональное воспитание робота, строит его зависимость от времени, выводит эту зависимость на экран в виде графика и рассчитывает параметры простейшего воспитания: элементарное воспитание, коэффициент памяти и предельное воспитание.

### Список литературы

1. Черников К.В. Математические модели роботов с неабсолютной памятью: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Пермь, 2013. 138 с.
2. Шарапов Ю.А. Математическое моделирование процесса накопления роботом опыта на нескольких уровнях с учетом смены знака информационной установки // Фундаментальные и прикладные проблемы механики, математики, информатики: материалы Всероссийской науч.-практ. конференции с междунар. участием (г. Пермь, 26–28 мая 2015 г.) / Гл. ред. А.П. Шкарапута; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Электрон. дан. Пермь, 2015. С. 233–238.
3. Пенский О.Г., Шарапов Ю.А., Ощепкова Н.В. Математические модели роботов с неабсолютной памятью и приложения моделей: монография. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2018. 309 с.
4. Шарапов Ю.А. Математические модели эмоциональных роботов, способных забывать информацию: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Екатеринбург, 2019. 161 с.
5. ЭЛСИС. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.elsys.ru/> (дата обращения: 12.10.2020).
6. Элементарная теория погрешностей. [Электронный ресурс]. URL: <http://nashaucheba.ru> (дата обращения: 12.10.2020).