

Содержание

Прикладная математика	2
Попов И.П. О некоторых расчетах энергии электростатического поля	2
<i>Попов И.П.</i> Синтез и анализ мультиинертного осциллятора	10
Нейронные сети	15
<i>Багаев И.И.</i> Анализ понятий нейронная сеть и сверточная нейронная сеть, обучение сверточной нейросети ПРИ помощи модуля TensorFlow	15
Обработка информации	23
<i>Гарбар Е.А., Николаев А.А.</i> Обработка информации при экспресс оценке наличия дефекта поверхности оцинкованного проката	23
<i>Сагадиев С., Ильина Е.А., Логунова О.С., Кухта Ю.Б., Николаев А.А.</i> Консолидация информации для ассистирующей роботехнической системы: трансформация и визуализация	31
Краткие сообщения	39
<i>Сарина А.Ж.</i> Пенсия казахстанцев в 2021 году	39

Contents

Applied mathematics	2
<i>Popov I.P.</i> About some calculations of electrostatic field energy	8
<i>Popov I.P.</i> Synthesis and analysis of multi-inert oscillator	14
Neural networks	15
<i>Bagaev I.I.</i> Concept analysis neural network and conventional neural network, conventional neural network training using the tensorflow module	21
Data processing	23
<i>Garbar E.A., Nikolaev A.A.</i> Express evaluation of galvanized rolled steels surface defect	29
<i>Sagadiev S., Ilina E.A., Logunova O.S., Kuhta YU.B., Nikolaev A.A.</i> Consolidation of information for assisting robotechnical system: transformation and visualization	37

УДК 537.21

DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-2-9

О НЕКОТОРЫХ РАСЧЕТАХ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Попов И.П.

Аннотация. При стремлении расстояния между электрическими зарядами к нулю потенциальная энергия электростатического поля стремится к бесконечности, что нехорошо. Цель исследования – исключить возможность развития бесконечно большой электростатической энергии. Актуальность работы обусловлена значительным повышением роли электростатической энергии в связи с началом массового производства электромобилей и необходимостью в этой связи развития теоретического обеспечения. Даны определения. Определение 1. Полная запасаемая энергия – это энергия системы или объекта, равная максимальной работе, которую система или объект может совершить, если ей или ему предоставить такую возможность. Определение 2. Условная реализуемая запасаемая энергия – это часть полной запасаемой энергии системы или объекта, равная работе, которую система или объект может совершить, ограниченная условием, исключающим возможность совершения системой или объектом максимальной работы, которую система или объект гипотетически может совершить. Определение 3. Условная нереализуемая запасаемая энергия – это часть полной запасаемой энергии системы или объекта, равная работе, которую система или объект не может совершить, ограниченная условием, исключающим возможность совершения системой или объектом максимальной работы, которую система или объект гипотетически может совершить.

Ключевые слова: полная, условная реализуемая, нереализуемая, запасаемая, электростатическая энергия, одноименные, разноименные заряды.

Введение

Потенциальная электростатическая энергия электрических зарядов равна

$$U = \pm \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r} \quad (1)$$

При $r \rightarrow 0$ энергия стремится к бесконечности, что нехорошо. Возможные попытки спасти положение рассуждениями о невозможности достижения $r = 0$ в связи с конечными размерами заряженных объектов непродуктивны, поскольку считается, что, например, у электронов и позитронов размеров нет [1].

Цель исследования – исключить возможность развития бесконечно большой электростатической энергии.

Актуальность работы обусловлена значительным повышением роли электростатической энергии в связи с началом массового производства электромобилей и необходимостью в этой связи развития теоретического обеспечения.

Понятие о запасаемой энергии

Определение 1. Полная запасаемая энергия E_e – это энергия системы или объекта, равная максимальной работе, которую система или объект может совершить, если ей или ему предоставить такую возможность.

Замечание 1. Система или объект с нулевой полной запасаемой энергией не может совершить никакую работу.

Замечание 2. Система из двух разноименно заряженных шаров имеет нулевую полную запасаемую электростатическую энергию при совмещении их центров.

Последнее возможно, если шары являются взаимно проникающими, например, несплошными, в частности, выполненными в виде слоистых разъемов [2, 3]. Кроме того, заряды не должны перемещаться в телах шаров.

Замечание 3. Система из двух одноименно заряженных шаров имеет нулевую полную запасаемую электростатическую энергию при бесконечно большом расстоянии между шарами.

Потенциальная энергия пружины, энергия конденсатора, энергия соленоида, энергия покоя

$$P = \frac{k(\Delta l)^2}{2}, W = \frac{CU^2}{2}, W = \frac{LI^2}{2}, E_0 = mc^2 \quad (2)$$

и другие виды энергии [4-10] удовлетворяют определению 1.

Кинетическая энергия не включена в приведенный выше список не случайно. Для нее дело обстоит несколько сложнее, поскольку скорость зависит от произвольного выбора системы отсчета, в результате чего формульное значение энергии может сколь угодно (произвольно) возрасти без совершения какой-либо работы.

Полная запасаемая кинетическая энергия системы двух тел равна

$$E_{e1-2} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \frac{v^2}{2}, \text{ при } m_1 \gg m_2 \quad E_{e1-2} \approx \frac{m_2 v^2}{2}. \quad (3)$$

Определение 2. Условная реализуемая запасаемая энергия E_r – это часть полной запасаемой энергии системы или объекта, равная работе, которую система или объект *может* совершить, ограниченная условием, исключающим возможность совершения системой или объектом максимальной работы, которую система или объект гипотетически может совершить.

Определение 3. Условная нереализуемая запасаемая энергия E_n – это часть полной запасаемой энергии системы или объекта, равная работе, которую система или объект *не может* совершить, ограниченная условием, исключающим возможность совершения системой или объектом максимальной работы, которую система или объект гипотетически может совершить.

Из определений 1-3 следует

$$E_r + E_n = E_e \quad (4)$$

Потенциальная гравитационная энергия тела, находящегося на высоте h над поверхностью Земли

$$P = mgh,$$

удовлетворяет определению 2.

Потенциальная электростатическая энергия разноименных зарядов (1) не удовлетворяет обоим определениям, поскольку такую работу сама система совершить не может.

Теорема 1. Запасаемая энергия всегда положительна.

Доказательство. Совершаемая системой работа равна уменьшению энергии системы (не обязательно потенциальной).

$$A = E_1 - E_2. \\ E_1 > E_2 \Rightarrow E_1 - E_2 > E_2 - E_2 \Rightarrow A = E > 0.$$

Теорема доказана.

Пусть далее $r \geq r_1 + r_2$, $r_2 \geq r_1$.

Разноименные заряды

Теорема 2. Условная реализуемая запасаемая электростатическая энергия двух взаимно не проникающих разноименно заряженных шаров равна

$$E_r = \frac{q_{1\pm} q_{2\mp}}{4\pi\epsilon_0} \frac{r - (r_1 + r_2)}{r(r_1 + r_2)},$$

где r – расстояние между центрами шаров, r_1, r_2 – радиусы шаров.

Доказательство. Поскольку шары взаимно не проникающие, наибольшая работа, которую система может совершить, – это сблизить шары до соприкосновения, т.е. до расстояния между центрами равного $r_1 + r_2$.

$$E_r = A_c = P_1 - P_2 = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{1\pm} q_{2\mp}}{r} - \left(-\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{1\pm} q_{2\mp}}{r_1 + r_2} \right) = \\ = \frac{q_{1\pm} q_{2\mp}}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1 + r_2} - \frac{1}{r} \right) = \frac{q_{1\pm} q_{2\mp}}{4\pi\epsilon_0} \frac{r - (r_1 + r_2)}{r(r_1 + r_2)}.$$

Теорема доказана.

Следствие 2.1. При $r = r_1 + r_2$, т.е. при соприкосновении шаров условная реализуемая запасаемая электростатическая энергия равна нулю.

Теорема 3. Полная запасаемая электростатическая энергия двух разноименно заряженных шаров равна

$$E_e = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2} \left(1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{1\pm} q_{2\mp}}{r} \quad (5)$$

Доказательство. Работа, совершаемая электростатическими силами при соединении бесконечно удаленных одноименно заряженных частиц в однородный шар радиуса r_1 (и r_2), по абсолютной величине равна энергии электростатического поля шара

$$E_1 = -A_1 = \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1^2}{r_1} \quad (6)$$

$$E_2 = -A_2 = \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2^2}{r_2} \quad (7)$$

Знак « \rightarrow » указывает на возрастание запасаемой энергии. Другими словами, работу совершают сторонние силы.

Работа, совершаемая электростатическими силами при соединении шаров из бесконечности до расстояния r между ними, равна

$$A_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 + q_2}{r}$$

Система из двух шаров, центры которых совмещены, состоит из двух частей с разными плотностями заряда – ядра радиуса r_1 и оболочки с радиусами r_2 и r_1 .

Работа, совершаемая электростатическими силами при формировании ядра, равна

$$A_{01} = -\frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r_1} \left(q_1 - q_2 \frac{r_1^3}{r_2^3} \right)^2 \quad (8)$$

Дифференциал работы, совершаемой электростатическими силами при формировании оболочки, находится следующим образом

$$dq = \frac{3q_2}{4\pi r_2^3} 4\pi r^2 dr = \frac{3q_2}{r_2^3} r^2 dr,$$

$$q_r = q_1 - q_2 \frac{r^3}{r_2^3},$$

$$dA = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_r dq}{\rho^2} d\rho.$$

Работа, совершаемая электростатическими силами при формировании оболочки, равна

$$\begin{aligned} A_{02} &= -\int_{r_1}^{r_2} dr \int_{\infty}^r \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_r dq}{dr \rho^2} d\rho = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \left(q_1 \frac{3q_2}{r_2^3} r^2 - q_2 \frac{r^3}{r_2^3} \frac{3q_2}{r_2^3} r^2 \right) dr \int_{\infty}^r \frac{d\rho}{\rho^2} = \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \left(\frac{3q_1 q_2}{r_2^3} r^2 - \frac{3q_2^2}{r_2^6} r^5 \right) \frac{1}{r} dr = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \left(\frac{3q_1 q_2}{r_2^3} r - \frac{3q_2^2}{r_2^6} r^4 \right) dr = \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{3q_1 q_2}{2r_2^3} r^2 - \frac{3q_2^2}{5r_2^6} r^5 - \frac{3q_1 q_2}{2r_2^3} r_1^2 + \frac{3q_2^2}{5r_2^6} r_1^5 \right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{3q_1 q_2}{2r_2} - \frac{3q_2^2}{5r_2} - \frac{3q_1 q_2}{2r_2^3} r_1^2 + \frac{3q_2^2}{5r_2^6} r_1^5 \right). \end{aligned}$$

Работа, совершаемая электростатическими силами при формировании системы из двух шаров, равна

$$\begin{aligned} A_0 &= A_{01} + A_{02} = -\frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r_1} \left(q_1 - q_2 \frac{r_1^3}{r_2^3} \right)^2 + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{3q_1 q_2}{2r_2} - \frac{3q_2^2}{5r_2} - \frac{3q_1 q_2}{2r_2^3} r_1^2 + \frac{3q_2^2}{5r_2^6} r_1^5 \right) = \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(-\frac{3q_1^2}{5r_1} + \frac{6q_1 q_2 r_1^2}{5r_2^3} - \frac{3q_2^2 r_1^5}{5r_2^6} + \frac{3q_1 q_2}{2r_2} - \frac{3q_2^2}{5r_2} - \frac{3q_1 q_2}{2r_2^3} r_1^2 + \frac{3q_2^2}{5r_2^6} r_1^5 \right) = \\ &= -\frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q_1^2}{r_1} + \frac{q_2^2}{r_2} - \frac{1}{2} \frac{q_1 q_2}{r_2} \left(5 - \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) \right]. \end{aligned}$$

Замечание 4. Пусть $r_2 = \alpha r_1$, $q_2 = \beta q_1$

$$A_0 = -\frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q_1^2}{r_1} + \frac{\beta^2 q_1^2}{\alpha r_1} + \frac{1}{2} \frac{q_1 \beta q_1}{\alpha r_1} \left(\frac{r_1^2}{\alpha^2 r_1^2} - 5 \right) \right] = -\frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r_1} \left(q_1^2 + \frac{\beta^2 q_1^2}{\alpha} + \frac{\beta q_1^2}{2\alpha^3} - \frac{5\beta q_1^2}{2\alpha} \right),$$

$$q_1^2 + \frac{\beta^2 q_1^2}{\alpha} + \frac{\beta q_1^2}{2\alpha^3} - \frac{5\beta q_1^2}{2\alpha} = 0,$$

$$2\alpha^3 + 2\alpha^2 \beta^2 + \beta - 5\alpha^2 \beta = 0,$$

$$\beta^2 - \frac{1}{2} (5 - \alpha^{-2}) \beta + \alpha = 0,$$

$$\beta_{1,2} = \frac{1}{4} (5 - \alpha^{-2}) \pm \sqrt{\frac{1}{16} (5 - \alpha^{-2})^2 - \alpha}.$$

Это решение показывает, при каких соотношениях α и β работа A_0 положительна, отрицательна или равна нулю.

Замечание 5. $E_0 = -A_0$.

Замечание 6. При $r_1 = r_2$

$$E_0 = -A_0 = \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q_1^2}{r_1} + \frac{q_2^2}{r_1} + \frac{1}{2} \frac{q_1 q_2}{r_1} \left(\frac{r_1^2}{r_1^2} - 5 \right) \right] = \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(q_1 - q_2)^2}{r_1},$$

что согласуется с (6), (7) и (8).

Замечание 7. При $r_1 = r_2$, $q_1 = q_2$

$$E_0 = \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(q_1 - q_1)^2}{r_1} = 0.$$

Замечание 8. При $r_1 = r_2$, $q_1 = q_2$

$$A_{\infty 0} = 2E_1 - E_0 = 2E_1 \quad (9)$$

Очевидно, что искомая полная запасаемая электростатическая энергия определяется как следующая разность

$$\begin{aligned} E_e = A_e = A_0 - A_1 - A_2 - A_r = \\ = -\frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q_1^2}{r_1} + \frac{q_2^2}{r_2} + \frac{1}{2} \frac{q_1 q_2}{r_2} \left(\frac{r_1^2}{r_2^2} - 5 \right) \right] + \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1^2}{r_1} + \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2^2}{r_2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{1\pm} q_{2\mp}}{r} = \\ = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2} \left(1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{1\pm} q_{2\mp}}{r}. \end{aligned}$$

Теорема доказана.

Следствие 3.1. При $r = \infty$

$$E_{e\infty} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_2} \left(1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) \quad (10)$$

Следствие 3.2. При $r = r_1 + r_2$, т.е. при соприкосновении шаров полная запасаемая электростатическая энергия двух разноименно заряженных шаров равна условной нереализуемой запасаемой электростатической энергии

$$E_{e1-2} = E_{n1-2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2} \left(1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{1\pm} q_{2\mp}}{r_1 + r_2} \quad (11)$$

Это вытекает из (4) и следствия 2.1.

Следствие 3.3. $E_e - E_{e1-2} = E_r$.

Действительно,

$$\begin{aligned} \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2} \left(1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{1\pm} q_{2\mp}}{r} - \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2} \left(1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{1\pm} q_{2\mp}}{r_1 + r_2} = \\ = \frac{q_{1\pm} q_{2\mp}}{4\pi\epsilon_0} \frac{r - (r_1 + r_2)}{r(r_1 + r_2)}. \end{aligned}$$

Следствие 3.4. При $r_1 = r_2$, $r = 2r_1$

$$E_{e1-1} = E_{n1-1} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_1} \left(1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_1^2} \right) - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{1\pm} q_{2\mp}}{2r_1} = 0,7 \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_1} \quad (12)$$

Следствие 3.5. При $r_1 = r_2$, $r = \infty$

$$E_{e\infty} = 1,2 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{1\pm} q_{2\mp}}{r_1} \quad (13)$$

Следствие 3.6. При $r_1 = r_2$, $r = \infty$, $q_1 = q_2$

$$E_{e\infty} = 1,2 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_1}{r_1} = 2 \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1^2}{r_1} = 2E_1 \quad (14)$$

Эта энергия равна работе, совершаемой электростатическими силами при сближении двух идентичных разноименно заряженных шаров из бесконечности до нулевого расстояния между их центрами.

При бесконечном расстоянии между зарядами полная запасаемая электростатическая энергия двух разноименно заряженных шаров максимальна, в отличие от потенциальной энергии, которая бездоказательно принимается равной нулю.

Следствие 3.7. При $r = 0$

$$E_{e0} = 0,$$

в отличие от потенциальной энергии, которая принимает бесконечно большое значение, что не имеет никакого смысла и прямо указывает на несправедливость формулы.

Следствие 3.8.

$$A_{\infty 1-1} = E_{e\infty} - E_{n1-1} = 1,2 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{1\pm} q_{2\mp}}{r_1} - 0,7 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{1\pm} q_{2\mp}}{r_1} = 0,5 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{1\pm} q_{2\mp}}{r_1} \quad (15)$$

Следствие 3.9. При $r_1 = r_2$, $q_1 = q_2$

$$A_{\infty 1-1} = \frac{5}{6} E_1 \quad (16)$$

Одноименные заряды

Теорема 4. Полная запасаемая электростатическая энергия двух одноименно заряженных разделенных шаров равна

$$E_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{1\pm}q_{2\pm}}{r} \quad (17)$$

Она совпадает с потенциальной энергией одноименных зарядов вне пространства шаров.

Доказательство тривиально.

Следствие 4.1. При $r = r_1 + r_2$, т.е. при соприкосновении шаров полная запасаемая электростатическая энергия двух одноименно заряженных шаров равна

$$E_{e1-2} = E_{r1-2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{1\pm}q_{2\pm}}{r_1+r_2}.$$

Следствие 4.2. При $r_1 = r_2$

$$E_{e1-1} = E_{r1-1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r_1+r_1} = 0,5 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r_1}.$$

(Совпадает с (15))

Следствие 4.3. При $r_1 = r_2$, $q_1 = q_2$

$$E_{e1-1} = E_{r1-1} = \frac{5}{6} E_1.$$

(Совпадает с (16))

Теорема 5. Полная запасаемая электростатическая энергия двух одноименно заряженных шаров при нулевом расстоянии между их центрами равна

$$E_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r_2} \left(1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) \quad (18)$$

(Совпадает с (10))

Доказательство. Применительно к рассматриваемому случаю аналоги выражений, полученных при доказательстве теоремы 3, принимают вид:

$$A_{01} = -\frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r_1} \left(q_1 + q_2 \frac{r_1^3}{r_2^3} \right)^2,$$

$$q_r = q_1 + q_2 \frac{r^3}{r_2^3},$$

$$dA = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_r dq}{\rho^2} d\rho,$$

$$\begin{aligned} A_{02} &= \int_{r_1}^{r_2} dr \int_{\infty}^r \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_r dq}{dr \rho^2} d\rho = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \left(q_1 \frac{3q_2}{r_2^3} r^2 + q_2 \frac{r^3}{r_2^3} \frac{3q_2}{r_2^3} r^2 \right) dr \int_{\infty}^r \frac{d\rho}{\rho^2} = \\ &= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \left(\frac{3q_1q_2}{r_2^3} r^2 + \frac{3q_2^2}{r_2^6} r^5 \right) \frac{1}{r} dr = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \left(\frac{3q_1q_2}{r_2^3} r + \frac{3q_2^2}{r_2^6} r^4 \right) dr = \\ &= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{3q_1q_2}{2r_2^3} r_2^2 + \frac{3q_2^2}{5r_2^6} r_2^5 - \frac{3q_1q_2}{2r_2^3} r_1^2 - \frac{3q_2^2}{5r_2^6} r_1^5 \right) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{3q_1q_2}{2r_2} + \frac{3q_2^2}{5r_2} - \frac{3q_1q_2}{2r_2^3} r_1^2 - \frac{3q_2^2}{5r_2^6} r_1^5 \right), \\ A_0 &= A_{01} + A_{02} = -\frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r_1} \left(q_1 + q_2 \frac{r_1^3}{r_2^3} \right)^2 - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{3q_1q_2}{2r_2} + \frac{3q_2^2}{5r_2} - \frac{3q_1q_2}{2r_2^3} r_1^2 - \frac{3q_2^2}{5r_2^6} r_1^5 \right) = \\ &= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{3q_1^2}{5r_1} + \frac{6q_1q_2r_1^2}{5r_2^3} + \frac{3q_2^2r_1^5}{5r_2^6} + \frac{3q_1q_2}{2r_2} + \frac{3q_2^2}{5r_2} - \frac{3q_1q_2}{2r_2^3} r_1^2 - \frac{3q_2^2}{5r_2^6} r_1^5 \right) = \\ &= -\frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q_1^2}{r_1} + \frac{q_2^2}{r_2} + \frac{1}{2} \frac{q_1q_2}{r_1} \left(5 - \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) \right]. \end{aligned}$$

Замечание 9. $\beta_{1,2} = \frac{1}{4}(\alpha^{-2} - 5) \pm \sqrt{\frac{1}{16}(\alpha^{-2} - 5)^2 - \alpha}$.

Замечание 10. $E_0 = -A_0$.

Замечание 11. При $r_1 = r_2$

$$E_0 = -A_0 = \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q_1^2}{r_1} + \frac{q_2^2}{r_1} + \frac{1}{2} \frac{q_1q_2}{r_1} \left(5 - \frac{r_1^2}{r_1^2} \right) \right] = \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(q_1+q_2)^2}{r_1},$$

что согласуется с (6), (7) и (8).

Замечание 12. При $r_1 = r_2$, $q_1 = q_2$

$$E_0 = \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(q_1+q_1)^2}{r_1} = 4 \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1^2}{r_1} = 4E_1.$$

Замечание 13. При $r_1 = r_2$, $q_1 = q_2$

$$A_{0\infty} = E_0 - 2E_1 = 2E_1.$$

(Совпадает с (9)).

Очевидно, что искомая полная запасаемая электростатическая энергия двух одноименно заряженных шаров при нулевом расстоянии между их центрами определяется как следующая разность

$$\begin{aligned} E_e &= E_0 - E_1 - E_2 = \\ &= \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q_1^2}{r_1} + \frac{q_2^2}{r_2} + \frac{1}{2} \frac{q_1 q_2}{r_2} \left(5 - \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) \right] - \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1^2}{r_1} - \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2^2}{r_2} = \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_2} \left(1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^2} \right). \end{aligned}$$

Теорема доказана.

Следствие 5.1. При $r_1 = r_2$

$$E_e = 1,2 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_1}.$$

(Совпадает с (13)).

Следствие 5.2. При $r_1 = r_2$, $q_1 = q_2$

$$E_e = 1,2 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_1}{r_1} = 2 \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1^2}{r_1} = 2E_1.$$

(Совпадает с (14))

Эта энергия равна работе, совершаемой электростатическими силами при удалении двух идентичных одноименно заряженных шаров от нулевого расстояния между их центрами до бесконечности.

При нулевом расстоянии между центрами зарядов полная запасаемая электростатическая энергия двух одноименно заряженных шаров максимальна, но конечна, в отличие от потенциальной энергии, которая принимает бесконечно большое значение.

Следствие 5.3. Условная нереализуемая запасаемая энергия двух разноименно заряженных шаров равна

$$E_{n1-2} = E_e - E_{r1-2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_2} \left(1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_1 + r_2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \left(1,5 \frac{1}{r_2} - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^3} - \frac{1}{r_1 + r_2} \right).$$

(Совпадает с (11)). Это вытекает из (4)

Следствие 5.4. При $r_1 = r_2$, $r = 2r_1$

$$E_{n1-1} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_1} \left(1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_1^2} \right) - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 + q_2}{2r_1} = 0,7 \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_1}.$$

(Совпадает с (12)).

Заключение

Энергетика разноименных зарядов имеет различия и сходства с энергетикой одноименных зарядов.

Минимальная энергия поля одноименных идентичных зарядов равна максимальной энергии поля разноименных зарядов

$$E_{min \infty \pm \pm} = E_{max \infty \pm \mp} = 2E_1.$$

Максимальная энергия поля одноименных идентичных зарядов вдвое превышает максимальную энергию поля разноименных зарядов

$$E_{max 0 \pm \pm} = 2E_{max \infty \pm \mp} = 4E_1.$$

В то же время работа электростатического поля по сближению разноименных идентичных зарядов из бесконечности до совмещения их центров равна работе поля по противоположному разнесению одноименных зарядов

$$A_{\infty 0 \pm \mp} = A_{0 \infty \pm \pm} = 2E_1.$$

Для одноименных зарядов вне их внутреннего пространства полная запасаемая электростатическая энергия совпадает с потенциальной энергией.

Однако полная запасаемая электростатическая энергия при совмещении центров одноименно заряженных шаров существенно превышает потенциальную энергию соприкасающихся шаров

$$\frac{E_{0e}}{E_{e1-1}} = \frac{2E_1}{\frac{5}{6}E_1} = 2,4.$$

Строго говоря, под потенциальной энергией понимают величину

$$П = C - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 + q_2}{r},$$

где C – аддитивная постоянная, которая принята равной нулю, что оправдано для одноименных зарядов и совершенно бездоказательно обобщено на разноименные заряды, что не дает представления о запасенной энергии в системе разноименных зарядов.

Если теперь уже не бездоказательно для разноименных зарядов принять

$$C = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2} \left(1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) \quad (19)$$

то потенциальная энергия разноименных зарядов превратится в полную запасаемую электростатическую энергию (5), что поднимет ее смысловой статус до уровня выражений (2), (3), (17) и (18).

Аддитивная постоянная (19) представляет собой полную запасаемую электростатическую энергию двух одноименно заряженных шаров при нулевом расстоянии между их центрами (18).

Полученная формула для полной запасаемой электростатической энергии разноименных зарядов может использоваться в качестве формулы для их потенциальной энергии.

Главным недостатком существующей формулы потенциальной энергии является бесконечно большое возрастание энергии при $r \rightarrow 0$. Этого недостатка лишены полученные формулы для запасаемой электростатической энергии.

Список использованных источников

1. Попов, И.П. Размер электрона с учетом спина // Инженерная физика. – 2016. – № 9. – С. 45-46.
2. Попов, И.П. Комбинированные векторы и магнитный заряд // Прикладная физика и математика. – 2018. – № 6. – С. 12-20. DOI: 10.25791/pfim.06.2018.329
3. Попов, И.П. Математическое моделирование формального аналога электромагнитного поля // Прикладная математика и вопросы управления. – 2016. – № 4. – С. 36-60.
4. Ячиков, И.М. Анализ эффективности использования принудительного охлаждения графитированных электродов для снижения их расхода в электродуговых печах / И.М. Ячиков, И.В. Портнова, М.В. Быстров // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2019. – №1. – С. 24-29. DOI: 10.18503/2306-2053-2019-7-1-24-29.
5. Математическое обеспечение способа оптимального управления энергетическим режимом электродуговых агрегатов / Б.Н. Парсункин [и др.] // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2017. – №1. – С. 8-15.
6. Дубский, Г.А. Физико-математическое моделирование процесса переноса заряда в металле при его нагревании и деформации / Г.А. Дубский, Л.Г. Егорова // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2017. – №1. – С. 16-23.
7. Николаев, А.А. Применение математической модели дуговой печи для анализа мгновенных значений напряжения дуги при наличии реальных сигналов тока дуги и фазного напряжения / А.А. Николаев, П.Г. Тулупов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2016. – №2. – С. 2-10.

Материал поступил в редакцию: 11.02.2020

Материал принят к публикации: 01.12.2020

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ABOUT SOME CALCULATIONS OF ELECTROSTATIC FIELD ENERGY

Popov I.P.

Abstract. When the distance between electric charges tends to zero, the potential energy of the electrostatic field tends to infinity, which is not good. The purpose of the study is to exclude the possibility of developing infinitely large electrostatic energy. The relevance of the work is due to a significant increase in the role of electrostatic energy in connection with the start of mass production of electric vehicles and the need for the development of theoretical support in this regard. Definitions are given. Definition 1. The total stored energy is the energy of a system or an object equal to the maximum work that a system or object can do if it or he is given such an opportunity. Definition 2. The conditional realized stored energy is a part of the total stored energy of a system or object equal to the work that the system or object can do, limited by the condition that excludes the possibility of the system or object performing the maximum work that the system or object can hypothetically perform. Definition 3. Conditional unrealizable stored energy is a part of the total stored energy of a system or object equal to the work that the system or object cannot perform, limited by the condition that excludes the possibility of the system or object performing the maximum work that the system or object can hypothetically perform.

Keywords: full, conditional realized, unrealized, stored, electrostatic energy, homonymous, unlike charges.

References

1. Popov, I.P. (2016) *Engineering Physics*, 9: 45-46.
2. Popov, I.P. (2018) *Applied Physics and Mathematics*, 6: 12-20.

3. Popov, I.P. (2016) *Applied Mathematics and Management Issues*, 4: 36-60.
4. Yachikov, I.M., Portnova, I.V., Bystrov, M.V. (2019) *Software of systems in the industrial and social fields*, 1: 24-29.
5. Parsunkin, B.N., Akhmetov, U. B., Andreev, S. M., Chistyakov, D. V. (2017) *Software of systems in the industrial and social fields*, 1: 8-15.
6. Dubsky, G.A., Egorova, L.G. (2016) *Software of systems in the industrial and social fields*, 1: 16-23.
7. Nikolaev, A.A., Tulupov, P.G. (2016) *Software of systems in the industrial and social fields*, 2: 2-10.

ОБ АВТОРАХ:

Попов Игорь Павлович – старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» Курганского государственного университета. Email: ip.porow@yandex.ru

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Попов, И.П. О некоторых расчетах энергии электростатического поля / И.П. Попов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2020. – Т.8. – № 1. – С. 2-9. DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-2-9.

Popov I.P. (2020) About some calculations of electrostatic field energy. *Software of systems in the industrial and social fields*. 8 (1): 2-9. DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-2-9.

СИНТЕЗ И АНАЛИЗ МУЛЬТИИНЕРТНОГО ОСЦИЛЛЯТОРА

Попов И.П.

Аннотация. Отмечено, что свободные гармонические колебания классического маятника обусловлены взаимным преобразованием кинетической энергии груза в потенциальную энергию пружины. Разработаны осцилляторы с другим характером энергообмена, например, преобразованием кинетической энергии груза в энергию магнитного поля соленоида или энергию электрического поля конденсатора. Все эти колебательные системы и подобные им явились предпосылкой создания биинертного осциллятора, в котором ускорение одного груза происходит за счет торможения другого, т.е. происходит обмен только кинетическими энергиями. Особенностью мультиинертного осциллятора является то, что частота его свободных колебаний не фиксирована и определяется преимущественно начальными условиями. Эта особенность может оказаться весьма полезной для технических приложений, например, для самонейтрализации механической реактивной (инерционной) мощности. n -угольник, образованный инертными телами, осуществляет сложное движение – орбитальное вращение вокруг центра координат и спиновое вращение вокруг своей оси, проходящей через центр n -угольника. При этом каждый груз совершает линейные гармонические колебания вдоль своей направляющей. При расположении направляющих грузов не в виде звезды, а параллельно друг другу углы между соответствующими кривошипами необходимо составят $360/n$ градусов.

Ключевые слова: осциллятор, инертный, гармонический, реактивность, пространственный сдвиг, фазовый сдвиг, кинетическая энергия.

Введение

Свободные гармонические колебания классического маятника обусловлены взаимным преобразованием кинетической энергии груза в потенциальную энергию пружины [1, 2]. Разработаны осцилляторы с другим характером энергообмена, например, преобразованием кинетической энергии груза в энергию магнитного поля соленоида или энергию электрического поля конденсатора. Все эти колебательные системы и подобные им [3–8] явились предпосылкой создания биинертного осциллятора, в котором ускорение одного груза происходит за счет торможения другого, т.е. происходит обмен только кинетическими энергиями.

Целью работы является моделирование мультиинертного осциллятора.

Синтез колебательной системы

Пусть в плоскости Z имеются не две, а n координатных осей $0x_1, 0x_2, \dots, 0x_n$, образующих центрально симметричную звезду с центром в точке O . Угол между осями составляет $\frac{\pi}{n}$. Из начала координат O отложен вектор R . Направление вектора произвольное. $R \subset Z$.

Теорема 1.

1. Отрезки, соединяющие координаты x_1, x_2, \dots, x_n вектора R в системе координат $0x_1, 0x_2, \dots, 0x_n$ образуют правильный n -угольник.
2. Размер n -угольника не зависит от ориентации вектора R .
3. Середина вектора R совмещена с центром n -угольника.

Доказательство. Вектор R имеет координаты:

$$x_1 = R \cos \phi \tag{1}$$

$$x_2 = R \cos \left(\frac{\pi}{n} - \phi \right),$$

$$x_3 = R \cos \left(\frac{2\pi}{n} - \phi \right),$$

.....

$$x_i = R \cos \left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \phi \right],$$

.....

$$x_n = R \cos \left[\frac{(n-1)\pi}{n} - \phi \right] \tag{2}$$

В соответствии с теоремой косинусов

$$\begin{aligned} (x_i x_{i+1}) &= R^2 \left\{ \cos^2 \left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \phi \right] + \cos^2 \left(\frac{i\pi}{n} - \phi \right) - 2 \cos \left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \phi \right] \cos \left(\frac{i\pi}{n} - \phi \right) \cos \frac{\pi}{n} \right\} = \\ &= R^2 \left\{ \cos^2 \left(\frac{i\pi}{n} - \phi - \frac{\pi}{n} \right) + \left(\cos \frac{i\pi}{n} \cos \phi + \sin \frac{i\pi}{n} \sin \phi \right)^2 - \right. \\ &\quad \left. - 2 \left[\cos \frac{\pi}{n} \left(\cos \frac{i\pi}{n} \cos \phi + \sin \frac{i\pi}{n} \sin \phi \right) + \sin \frac{\pi}{n} \left(\sin \frac{i\pi}{n} \cos \phi - \cos \frac{i\pi}{n} \sin \phi \right) \right] \right\} \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \times \left(\cos \frac{i\pi}{n} \cos \phi + \sin \frac{i\pi}{n} \sin \phi \right) \cos \frac{\pi}{n} \Big\} = \\
 = & R^2 \left(\cos^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} \cos^2 \phi + \cos^2 \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} \sin^2 \phi + \sin^2 \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} \cos^2 \phi + \right. \\
 & + \sin^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} \sin^2 \phi + 2 \cos^2 \frac{\pi}{n} \cos \frac{i\pi}{n} \cos \phi \sin \frac{i\pi}{n} \sin \phi + \\
 & + 2 \cos \frac{\pi}{n} \cos \frac{i\pi}{n} \cos^2 \phi \sin \frac{\pi}{n} \sin \frac{i\pi}{n} - 2 \cos \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} \cos \phi \sin \frac{\pi}{n} \sin \phi + \\
 & + 2 \cos \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} \sin \phi \sin \frac{\pi}{n} \cos \phi - 2 \cos \frac{\pi}{n} \sin \frac{i\pi}{n} \sin^2 \phi \sin \frac{\pi}{n} \cos \frac{i\pi}{n} - \\
 & - 2 \sin^2 \frac{\pi}{n} \sin \frac{i\pi}{n} \cos \phi \cos \frac{i\pi}{n} \sin \phi + \cos^2 \frac{i\pi}{n} \cos^2 \phi + \sin^2 \frac{i\pi}{n} \sin^2 \phi + \\
 & + 2 \cos \frac{i\pi}{n} \cos \phi \sin \frac{i\pi}{n} \sin \phi - 2 \cos^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} \cos^2 \phi - \\
 & - 2 \cos^2 \frac{\pi}{n} \sin \frac{i\pi}{n} \sin \phi \cos \frac{i\pi}{n} \cos \phi - 2 \sin \frac{\pi}{n} \sin \frac{i\pi}{n} \cos^2 \phi \cos \frac{i\pi}{n} \cos \frac{\pi}{n} + \\
 & + 2 \sin \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} \sin \phi \cos \phi \cos \frac{\pi}{n} - 2 \cos^2 \frac{\pi}{n} \cos \frac{i\pi}{n} \cos \phi \sin \frac{i\pi}{n} \sin \phi - \\
 & - 2 \cos^2 \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} \sin^2 \phi - 2 \sin \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} \cos \phi \sin \phi \cos \frac{\pi}{n} + 2 \sin \frac{\pi}{n} \cos \frac{i\pi}{n} \sin^2 \phi \sin \frac{i\pi}{n} \cos \frac{\pi}{n} \Big) = \\
 = & R^2 \left[\cos^2 \phi \left(\sin^2 \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} - \cos^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} + \cos^2 \frac{i\pi}{n} \right) + \right. \\
 & \left. + \sin^2 \phi \left(\sin^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} - \cos^2 \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} + \sin^2 \frac{i\pi}{n} \right) \right] = \\
 = & R^2 \left[\cos^2 \phi \left(\sin^2 \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} + \sin^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} \right) + \sin^2 \phi \left(\sin^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \frac{i\pi}{n} + \sin^2 \frac{\pi}{n} \sin^2 \frac{i\pi}{n} \right) \right] = \\
 = & R^2 \left[\cos^2 \phi \sin^2 \frac{\pi}{n} \left(\sin^2 \frac{i\pi}{n} + \cos^2 \frac{i\pi}{n} \right) + \sin^2 \phi \sin^2 \frac{\pi}{n} \left(\cos^2 \frac{i\pi}{n} + \sin^2 \frac{i\pi}{n} \right) \right] = \\
 = & R^2 \left(\cos^2 \phi \sin^2 \frac{\pi}{n} + \sin^2 \phi \sin^2 \frac{\pi}{n} \right) = \\
 = & R^2 \sin^2 \frac{\pi}{n} (\cos^2 \phi + \sin^2 \phi) = R^2 \sin^2 \frac{\pi}{n}.
 \end{aligned}$$

Из этого следует, что все стороны n -угольника одинаковы по длине. При этом их длина не является функцией ϕ , т.е. не зависит от ориентации вектора R .

Далее середина вектора R обозначается r . В соответствии с теоремой косинусов

$$(x_i r)^2 = R^2 \left\{ \cos^2 \left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \phi \right] + \frac{1}{4} - 2 \cos \left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \phi \right] \frac{1}{2} \cos \left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \phi \right] \right\} = \frac{R^2}{4}.$$

Из этого следует, что все отрезки, связывающие точку r с вершинами n -угольника, имеют одинаковую длину. Это означает, что n -угольник является правильным и точка r совпадает с его центром.

Теорема доказана.

Теорема 1 позволяет определить конфигурацию мультиинертного осциллятора, упрощенная схема которого показана на рис.

Для целей теоремы 1 вершины правильного многоугольника рассматривались в одной плоскости Z . Для инженерных целей траектории грузов не должны пересекаться, поэтому грузы и их направляющие расположены в параллельных плоскостях подобно цилиндрам, шатунам и кривошипам в кривошипно-

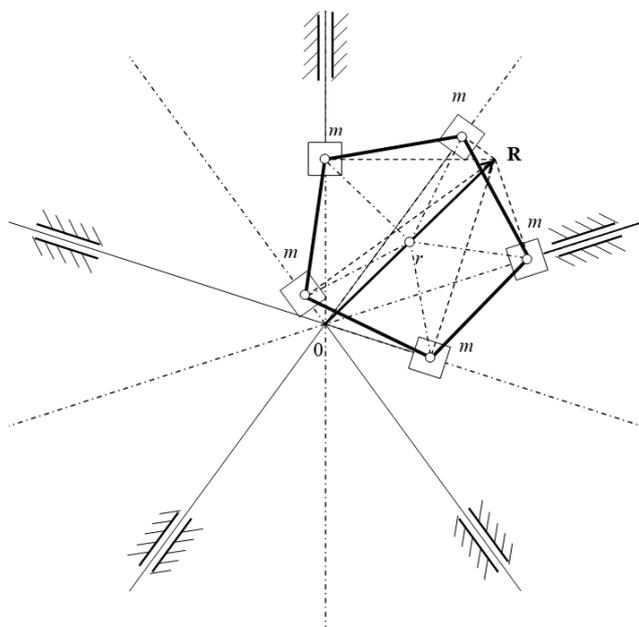


Рис. Мультиинертный осциллятор

шатунном механизме. Для обеспечения этого, например, стержень x_1x_3 закреплен «сверху» (ближе) груза, находящегося в координате x_1 , а стержень x_1x_4 – «снизу» (далее, на рисунке не показано).

Анализ колебательной системы

Внешние силы к системе не приложены. Скорости инертных тел массой m каждое определяются как производные их координат. В соответствии с (1)-(2)

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= -R \sin \phi \frac{d\phi}{dt}, \\ \frac{dx_2}{dt} &= R \sin \left(\frac{\pi}{n} - \phi \right) \frac{d\phi}{dt}, \\ \frac{dx_3}{dt} &= R \sin \left(\frac{2\pi}{n} - \phi \right) \frac{d\phi}{dt}, \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{dx_i}{dt} &= R \sin \left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \phi \right] \frac{d\phi}{dt}, \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{dx_n}{dt} &= R \sin \left[\frac{(n-1)\pi}{n} - \phi \right] \frac{d\phi}{dt}. \end{aligned}$$

Для того, чтобы в системе происходили свободные гармонические колебания, необходимо, чтобы ее полная энергия оставалась постоянной. В данном случае полная энергия системы имеет вид:

$$T = \frac{1}{2} mR^2 \left\{ \sin^2 \phi + \sin^2 \left(\frac{\pi}{n} - \phi \right) + \dots + \sin^2 \left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \phi \right] + \dots + \sin^2 \left[\frac{(n-1)\pi}{n} - \phi \right] \right\} \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2. \quad (3)$$

Теорема 2. При $n \geq 2$ имеет место выражение:

$$\sum_{i=1}^n \sin^2 \left[\frac{(i-1)\pi}{n} \pm \phi \right] = \frac{n}{2} \quad (4)$$

Доказательство

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^n \sin^2 \left[\frac{(i-1)\pi}{n} \pm \phi \right] = \\ &= \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos \left[\frac{(i-1)2\pi}{n} \pm 2\phi \right] \right\} = \\ &= \frac{n}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\phi \sum_{i=1}^n \cos \frac{(i-1)2\pi}{n} \mp \frac{1}{2} \sin 2\phi \sum_{i=1}^n \sin \frac{(i-1)2\pi}{n}. \end{aligned}$$

Если вдоль координатных осей Ox_1, Ox_2, \dots, Ox_n отложить единичные векторы, то их сумма вследствие центральной симметрии будет равна нулю. Следовательно, сумма проекций этих единичных векторов на любую из осей Ox_1, Ox_2, \dots, Ox_n также будет нулевой. По этой причине последние две суммы тождественно равны нулю.

Теорема доказана.

Следствие 1. При $n = 2$ выражение (4) приобретает известный вид:

$$\sin^2 \phi + \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} + \phi \right) = \sin^2 \phi + \cos^2 \phi = \frac{2}{2} = 1.$$

Точно также доказывается

Теорема 3. При $n \geq 2$ имеет место выражение:

$$\sum_{i=1}^n \cos^2 \left[\frac{(i-1)\pi}{n} \pm \phi \right] = \frac{n}{2}$$

С учетом теоремы 2 (выражение (4)) полная (она же кинетическая) энергия (3) равна

$$T = \frac{1}{4} nmR^2 \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 = const.$$

Из последнего выражения следует

$$\begin{aligned} \frac{d\phi}{dt} &= const. \\ \phi &= C_1 t + C_2. \end{aligned}$$

Начальные условия для фазы и угловой скорости:

$$\begin{aligned} \phi(0) &= \phi_0, \\ \frac{d\phi}{dt}(0) &= \omega_0. \end{aligned}$$

Отсюда

$$\begin{aligned} C_2 &= \phi_0, \\ C_1 &= \omega_0. \end{aligned}$$

Формулы для координат грузов (1)–(2) принимают вид:

$$\begin{aligned} x_1 &= R \cos(\omega_0 t + \phi_0), \\ x_2 &= R \cos\left(\frac{\pi}{n} - \omega_0 t - \phi_0\right), \\ x_3 &= R \cos\left(\frac{2\pi}{n} - \omega_0 t - \phi_0\right), \\ &\dots\dots\dots \\ x_i &= R \cos\left[\frac{(i-1)\pi}{n} - \omega_0 t - \phi_0\right], \\ &\dots\dots\dots \\ x_n &= R \cos\left[\frac{(n-1)\pi}{n} - \omega_0 t - \phi_0\right]. \end{aligned}$$

Начальные условия для перемещения и линейной скорости:

$$\begin{aligned} x_1(0) &= x_{10}, \\ \frac{dx_1}{dt}(0) &= v_{10}. \end{aligned}$$

Отсюда

$$\begin{aligned} \cos \phi_0 &= \frac{x_{10}}{R}, \\ \phi_0 &= \arccos \frac{x_{10}}{R} = \arcsin \sqrt{1 - \frac{x_{10}^2}{R^2}}, \\ -R\omega_0 \sin(\omega_0 0 + \phi_0) &= v_{10}, \\ \omega_0 &= -\frac{v_{10}}{\sqrt{R^2 - x_{10}^2}} \end{aligned} \quad (5)$$

Заключение

Инертные тела массой m каждое осуществляют гармонические колебания, обусловленные взаимным обменом кинетической энергией. Потенциальная энергия пружин для этого не требуется.

Колебания тел являются свободными.

Особенностью мультиинертного осциллятора является то, что частота его свободных колебаний (5) не фиксирована и определяется преимущественно начальными условиями. Эта особенность может оказаться весьма полезной для технических приложений, например, для самонейтрализации механической реактивной (инерционной) мощности.

n -угольник x_1, x_2, \dots, x_n осуществляет сложное движение – орбитальное вращение вокруг центра координат O и спиновое вращение вокруг своей оси, проходящей через центр r .

При этом каждый груз совершает *линейные гармонические колебания* вдоль своей направляющей. Его координата изменяется от $+R$ до $-R$.

При расположении направляющих грузов не в виде звезды, а параллельно друг другу углы между соответствующими кривошипами необходимо составят $360/n$ градусов.

Мультиинертный осциллятор имеет перспективу промышленного применения. Некоторые вибромашины, в частности, сортировальные имеют более трех массивных подвижных рабочих органов [9, 10]. Построение их по схеме мультиинертного осциллятора позволит существенно сократить потребление энергии, которая в этом случае *не будет* расходоваться на сообщение массивным рабочим органам колебательных движений (около 90% полной мощности), а будет направлена только на компенсацию трения и на совершение полезной работы.

Список использованных источников

1. Попов, И.П. Две теоремы для механических резонансов // МиПОС. – 2019. – Т.7. – № 2. – С. 2-7. DOI: 10.18503/2306-2053-2019-7-2-2-7.
2. Попов, И.П. Применение символического (комплексного) метода для расчета сложных механических систем при гармонических воздействиях // Прикладная физика и математика. – 2019. – № 4. – С. 14-24. DOI: 10.25791/pfim.04.2019.828.
3. Крайнова, Л.Н. Колебания цилиндра со смещенным центром тяжести на жестком основании / Л.Н. Крайнова, А.И. Муницын, М.А. Муницына // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2018. – № 2. – С. 47-50.
4. Муртазина, С.А. Главные асимптотики вынужденных колебаний однопараметрических динамических систем // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2016. – № 2. – С. 17-20.

5. Юмагулов, М.Г. Алгоритмы приближенного исследования задач о синхронизации периодических колебаний нелинейных динамических систем / М.Г. Юмагулов, Э.С. Суюндукова // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2013. – № 1. – С. 26-32.
6. Юмагулов, М.Г. Задача о субгармонических колебаниях уравнения Дуффинга / М.Г. Юмагулов, Э.С. Суюндукова // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2012. – № 2. – С. 125-129.
7. Ибрагимова, Л.С. Синхронизация субгармонических колебаний уравнения Матье // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2012. – № 2. – С. 129-132.
8. Муртазина, С.А. Расчет устойчивости вынужденных колебаний многопараметрических динамических систем // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2011. – № 1-1. – С. 198-203.
9. Попов, И.П. Автобалансировка вибрационных машин / И.П. Попов, С.Ю. Кубарева // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2018. – Т. 16. – № 3. – С. 140-144. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-3-140-144>
10. Гудушаури, Э.Г. Применение вибрационной технологии в сельском хозяйстве // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2018. – № 3. – С. 145-148.

Материал поступил в редакцию: 15.09.2020

Материал принят к публикации: 01.12.2020

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

SYNTHESIS AND ANALYSIS OF MULTI-INERT OSCILLATOR

Popov I.P.

Abstract. It is noted that the free harmonic vibrations of a classical pendulum are due to the mutual conversion of the kinetic energy of the load into the potential energy of the spring. Oscillators with a different nature of energy exchange have been developed, for example, by converting the kinetic energy of a load into the energy of a magnetic field of a solenoid or the energy of an electric field of a capacitor. All these oscillatory systems and the like were a prerequisite for the creation of a biinert oscillator, in which the acceleration of one load occurs due to the braking of another, i.e. only kinetic energies are exchanged. A feature of a multi-inert oscillator is that the frequency of its free oscillations is not fixed and is determined mainly by the initial conditions. This feature can be very useful for technical applications, for example, for self-neutralization of mechanical reactive (inertial) power. n-gon, formed by inert bodies, carries out complex motion - orbital rotation around the center of coordinates and spin rotation around its axis passing through the center of the n-gon. Moreover, each load performs linear harmonic oscillations along its guide. With the arrangement of the guiding weights not in the form of a star, but in parallel to each other, the angles between the corresponding cranks must be $360/n$ degrees.

Keywords: oscillator, inert, harmonic, reactivity, spatial shift, phase shift, kinetic energy.

References

1. Popov, I.P. (2019) *Software of systems in the industrial and social fields*, 2: 2–7.
2. Popov, I.P. (2019) *Applied Physics and Mathematics*, 2: 14–24.
3. Kraynova, L.N., Munitsyn, A.I., Munitsyna, M.A. (2018) *Problems of mechanical engineering and automation*, 2: 47–50.
4. Murtaзина, S.A. (2016) *Software of systems in the industrial and social fields*, 2: 17–20.
5. Yumagulov, M.G., Suyundukova, E.S. (2013) *Software of systems in the industrial and social fields*, 1: 26–32.
6. Yumagulov, M.G., Suyundukova, E.S. (2012) *Software of systems in the industrial and social fields*, 2: 125–129.
7. Ibragimova, L.S. (2012) *Software of systems in the industrial and social fields*, 2: 129–132.
8. Murtaзина, S.A. (2011) *Software of systems in the industrial and social fields*, 1-1: 198–203.
9. Popov, I.P., Kubareva, S.Yu. (2018) *Bulletin of Magnitogorsk State Technical University. G.I. Nosova*, 3: 140–144.
10. Gudushauri, E.G. (2018) *Problems of mechanical engineering and automation*, 3: 145–148.

ОБ АВТОРАХ:

Попов Игорь Павлович – старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» Курганского государственного университета. Email: ip.popov@yandex.ru

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Попов, И.П. Синтез и анализ мультиинертного осциллятора / И.П. Попов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2020. – Т.8. – № 1. – С. 10-14.
DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-10-14.

Popov I.P. (2020) Synthesis and analysis of multi-inert oscillator. Software of systems in the industrial and social fields. 8 (1): 10-14. DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-10-14.

УДК 004.415.25

DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-15-22

АНАЛИЗ ПОНЯТИЙ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ И СВЕРТОЧНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ, ОБУЧЕНИЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОСЕТИ ПРИ ПОМОЩИ МОДУЛЯ TENSORFLOW*Багаев И.И.*

Аннотация. В статье проведен анализ перехода внимания научного сообщества от основного средства для распознавания образов при помощи методов машинного обучения без применения нейронных сетей к сверточным нейронным сетям как к наилучшему способу для классификации объектов на изображениях. Рассмотрены подробно понятия нейронной сети и сверточной нейронной сети, приведены примеры однослойной, двухслойной нейронных сетей, показан принцип, при помощи которого можно создавать нейронную сеть любой глубины, проведен анализ отличительных особенностей сверточных нейросетей, разобраны типы слоев, которые может иметь сверточная нейросеть. Проанализирован процесс обучения нейронной сети на наборе данных Fashion MNIST при использовании программного пакета TensorFlow от Google, выбрана структура собственной сверточной нейронной сети, нейросеть обучена для распознавания различных видов одежды. Результат работы модели на тестовом наборе данных Fashion MNIST составил 90%. Анализ пакета TensorFlow показал простоту API высокого уровня, предоставляемое модулем, позволяющее строить, конфигурировать и обучать нейросети любой сложности, включая сверточные нейронные сети, что делает TensorFlow удобным для интеграции и использования в собственных разработках.

Ключевые слова: нейронная сеть, сверточная нейронная сеть, GPU, CPU, нейрон, функция активации, TensorFlow, функция потерь, метрика качества.

Введение

Сверточная нейронная сеть (англ. – CNN или ConvNet) является частным случаем искусственных нейронных сетей глубокого обучения (англ. – deep learning) [1]. Архитектура сверточных сетей была предложена Яном Лекуном [2] в 1988 году с целью повышения эффективности распознавания образов, но, как и другие искусственные нейронные сети, требовала вычислительной мощности, которой на момент появления обеспечить не представлялось возможным, вследствие чего интерес научного сообщества к нейронным сетям был снижен вплоть до появления реализаций на графическом процессоре (англ. graphics processing unit или GPU) [3].

Помимо использования особенностей архитектуры GPU, ориентированной на многопоточное исполнение [4], в качестве основы для нейронных сетей требовалось также эффективная реализация, которая показала бы преимущество перед центральными процессорами (англ. central processing unit или CPU), мощности которых долгое время безальтернативно использовались при работе с нейронными сетями: в силу вычислительных и архитектурных ограничений CPU не давал необходимо уровня производительности. Сравнительное противопоставление с графическими ускорителями произошло много позднее. В работе О. К. и Юнга К. [3] была показана имплементация искусственной нейронной сети на графическом ускорителе с итоговым быстродействием, превышающим аналогичную на центральном процессоре в 20 раз, что вновь повысило внимание к нейронным сетям.

Тем не менее в распознавании образов вплоть до победы сверточной нейронной сети AlexNet в конкурсе ImageNet 2012 года [5], преимущественно использовались классические методы машинного обучения без использования нейронных сетей. В последующие годы лидерство как в соревнованиях ImageNet, так и в целом в компьютерном зрении захватили сверточные нейронные сети глубокого обучения.

Таким образом при постановке задач классификация объектов на изображении эффективней всего использовать сверточные нейронные сети. Необходимо учитывать, что перед использованием искусственной нейронной сети, требуется решить проблему конфигурации и настроить её гиперпараметры: количество слоев, количество нейронов в каждом из слоев, а также выбрать функции активации, в которые будет подаваться результат слоя перед передачей на следующий слой.

Рассмотрим, чем является нейронная сеть в общем понимании, а также особенности сверточных нейронных сетей.

Понятие нейронной сети

Нейронная сеть – универсальная модель, способная аппроксимировать любые поверхности. Соответствующую теорему сформулировал в 1957 году Андрей Николаевич Колмогоров [6]: каждая непрерывная функция $a(x)$, заданная на единичном кубе d -мерного пространства, представима в виде:

$$a(x) = \sum_{i=1}^{2d+1} \sigma_i \left(\sum_{j=1}^d f_{ij}(x_j) \right), \tag{1}$$

где $x = [x_1, \dots, x_d]$ – вектор описания объекта, функции $\sigma_i(\cdot)$ и $f_{ij}(\cdot)$ являются непрерывными, f_{ij} не зависят от выбора a .

Согласно тексту теоремы, функция $a(x)$ определена только на единичном кубе, следовательно, все элементы выборки должны лежать в нем: признаки всегда можно отмасштабировать так, чтобы на обучающей выборке каждый из них принимал значения из отрезка $[0; 1]$. Важно отметить, что в теореме не указан вид функций σ_i и f_{ij} . Проблема выбора гиперпараметров нейронной сети все еще остается сложной задачей, и для достижения высокого уровня метрик качества требует ручного подхода к каждой конкретной выборке. С понятиями функции активации и виды функций активации можно ознакомиться в работе [7].

Однослойная нейронная сеть представляет собой нейрон и определяется следующим выражением:

$$a(x, w) = \sigma(w^T x) = \sigma \left(\sum_{j=1}^d w_j^{(1)} x_j + w_0^{(1)} \right), \tag{2}$$

где σ – функция активации, w – вектор параметров (весов), x – вектор описания объекта. Функция активации должна быть непрерывной, монотонной и, желательно, дифференцируемой функцией. Для удобства $x \in R^{d+1}$ дополнен постоянным на всех объектах признаком $x_0 = 1$. Соответствующий вклад в скалярное произведение $w^T x$ равен w_0 .

Нейрон можно изобразить в виде вершины графа (рис. 1): он характеризуется своей функцией активации, имеет множество входов и один выход.

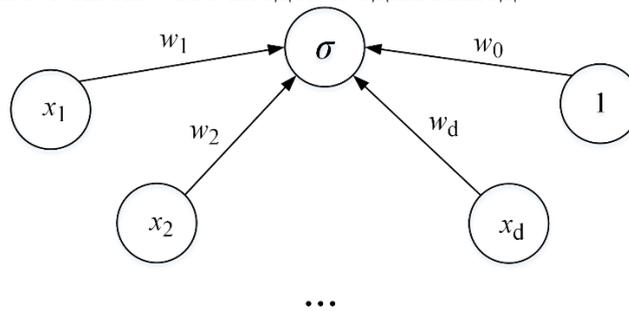


Рис. 1. Однослойная нейронная сеть как единственный нейрон

Пределом применимости однослойных нейронных является линейно разделимые выборки.

Двухслойная нейронная сеть – это линейная комбинация из D -нейронов (однослойных нейронных сетей):

$$a(x, w) = \sigma^{(2)} \left(\sum_{i=1}^D w_i^{(2)} * \sigma^{(1)} \left(\sum_{j=1}^d w_{ji}^{(1)} x_j + w_{0i}^{(1)} \right) + w_0^{(2)} \right) \tag{3}$$

Это выражение можно представить в векторном виде:

$$a(x, w) = \sigma^{(2)} \left(w^{T(2)} \sigma^{(1)} \left(\left[w^{T(1)} x, \dots, w_D^{T(1)} x \right] \right) \right) \quad (4)$$

Вектор w параметров нейронной сети получается соединением всех параметров нейронной сети на всех слоях:

$$w = \{W^{(1)}, w^{(2)}\} \quad (5)$$

где:

$$\begin{aligned} W^{(1)} &= [w_0^{(1)}, w_1^{(1)}, \dots, w_d^{(1)}]^T \in R^{(d+1)*D}, \\ w_i^{(1)} &= [w_{0i}^{(1)}, w_{1i}^{(1)}, \dots, w_{di}^{(1)}]^T \in R^{d+1}, \\ w^{(2)} &= [w_0^{(2)}, w_1^{(2)}, \dots, w_d^{(2)}]^T \in R^{D+1}. \end{aligned}$$

На рис. 2 приведено изображение двухслойной нейронной сети с помощью направленного графа.

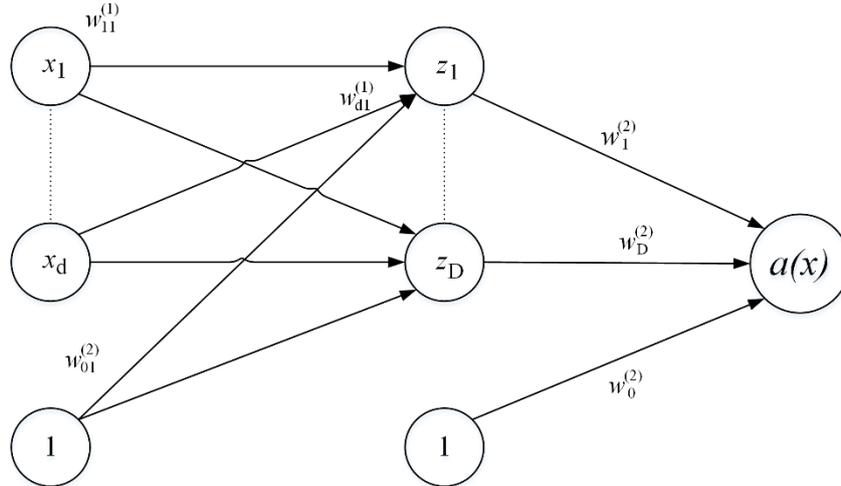


Рис. 2. Граф двухслойной нейронной сети

Таким же образом можно получить нейронные сети, имеющие большее количество слоев.

Сверточные нейронные сети (CNN)

Сверточные нейронные сети созданы для работы с изображениями, в более редких случаях используются для других видов информации [8, 9]. Сверточные нейросети являются частью технологий глубокого обучения. Работа сверточных нейросетей имеет схожие черты с функциональностью коры больших полушарий головного мозга, используемой для обработки визуальных образов [10]: в зрительной коре присутствуют простые клетки, которые реагируют на границы определенной ориентации, т.е. на прямые линии, расположенные под разными углами: горизонтально, вертикально и по диагонали, а также – сложные клетки, которые включаются в работу после активации определенного набора простых клеток. Устройство сверточной нейронной сети имеет схожую структуру: сверточные слои (англ. – convolutional layer) чередуются со слоями подвыборки или, другими словами, избирательными слоями (англ. – pooling layers). В нейронной сети AlexNet, о которой говорилось выше, применялась также операция, известная как dropout [11].

Рассмотрим структуру сверточной нейронной сети и приведенные выше понятия.

В качестве примера возьмем сверточную нейронную сеть с пятью слоями (рис. 3), где два сверточных слоя чередуются с двумя слоями подвыборки, последним слоем является полносвязный слой.

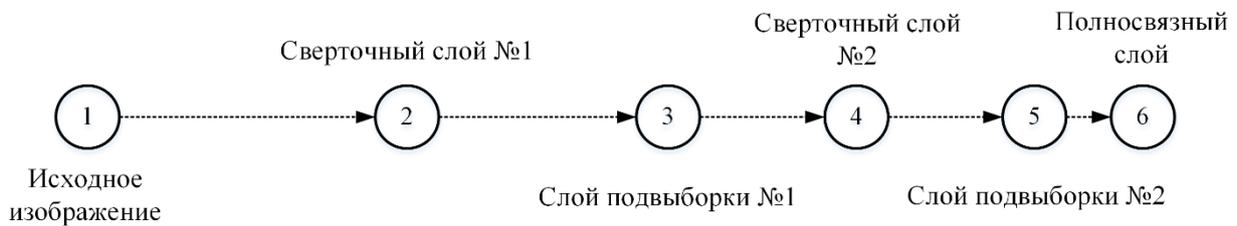
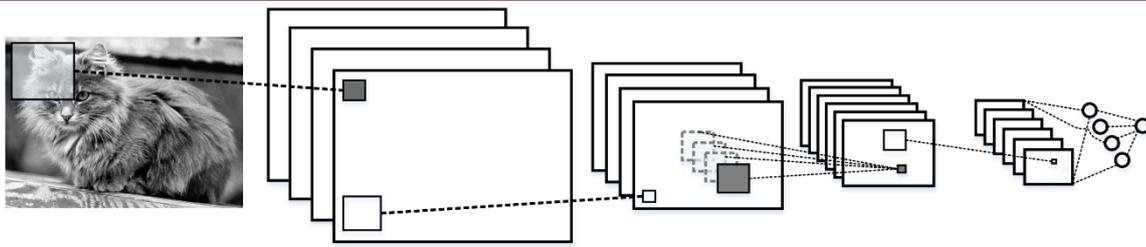


Рис. 3. Структура сверточной нейронной сети

Сверточный слой – это слой, на котором при помощи операции математической свертки заданное количество ядер или окон фильтров (на рис. 3 на первом сверточном слое находятся четыре фильтра) в виде матриц также заданного размера проходят построчно по входящей матрице, формируя новую матрицу. Ядро фильтра – матрица весов, которая путем свертки извлекает признаки из пришедших данных. Весовые коэффициенты ядра свертки устанавливаются в процессе обучения и изначально не определены. Фильтр – это объединение нескольких ядер.

Количество фильтров на сверточном слое задается на основе исходной задачи и требований к её решению: чем фильтров больше, тем выше качество распознавание и ниже быстроедействие.

Обработка границ исходной матрицы может осуществляться следующими способами (рис. 4): результирующая матрица может быть меньше исходной матрицы (рис. 4, 1), результирующая матрица может быть такого же размера (рис. 4, 2), либо результирующая матрица может быть большего размера (рис. 4, 3). Метод обработки выбирается при построении нейронной сети.

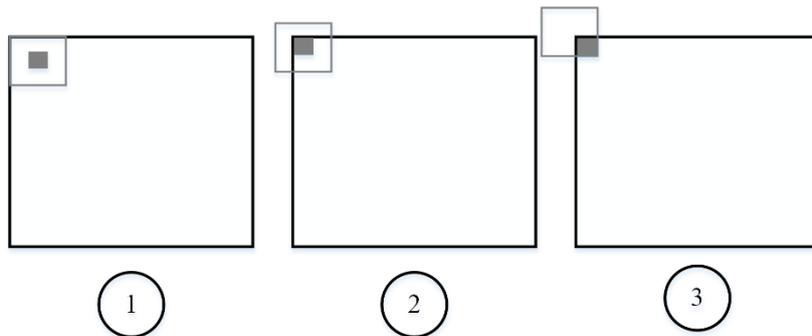


Рис. 4. Виды свертки матрицы

Подвыборочный слой – это слой, который имеет тоже самое количество фильтров, что и предыдущий сверточный слой. Задача слоя – уменьшить размерность фильтров предыдущего слоя. Это делается для того, чтобы не анализировать одну и ту же информацию повторно: ядра фильтров сверточного слоя уже учли некоторую часть информации в своих весовых коэффициентах, поэтому далее следует анализировать более абстрактные признаки следующего уровня.

Ядра фильтров подвыборочного слоя проходят по входящей матрице похожим со сверткой образом за исключением того, что области, по которым движется ядро, не пересекаются между собой и применяется не операция свертки, а, к примеру, функция максимума (англ. – max pooling) [12]: выбирается максимальный элемент в той части исходной матрицы, на которое направлено в данный момент ядро фильтра (рис. 5).

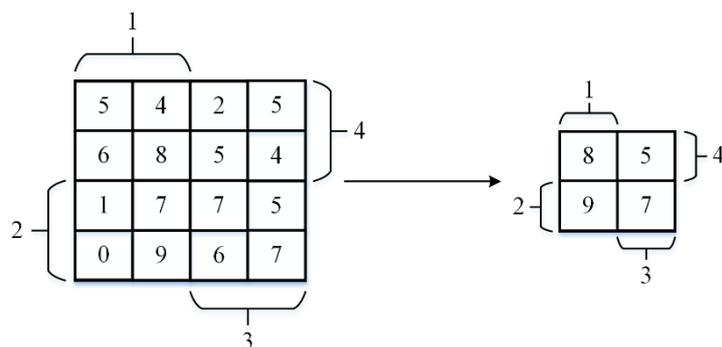


Рис. 5. Операция max pooling

Последний слой – это полносвязная нейронная сеть или персептрон [13], который также может состоять из нескольких слоев. Слой предназначен для классификации: сколько классов изображений закладывается разработчиком нейросети, столько нейронов на последнем слое этого слоя необходимо задать.

После проведенного анализа понятий нейронная сеть и сверточная нейросеть следует перейти к обучению последней.

Обучение сверточной нейронной сети при помощи программного модуля TensorFlow от Google

Для оценки порога вхождения, который необходим разработчику нейронной сети, и сложности API, предоставляемого TensorFlow, требуется провести анализ примеров, которые находятся на официальном сайте проекта, и далее обучить собственную сверточную нейронную сеть.

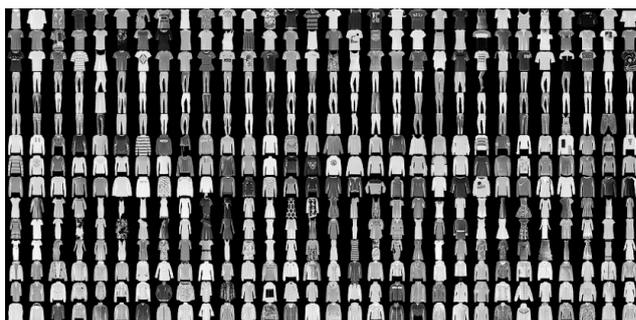


Рис. 7. Часть изображений, входящих в выборку Fashion MNIST

Для того что бы воспользоваться TensorFlow необходимо иметь python, ipython-notebook и, соответственно, установленный модуль TensorFlow.

Для формирования обучающей и тестовой выборки используется набор данных Fashion MNIST (рис. 7), который содержит 70 тысяч изображений размером 28 на 28 пикселей в десяти категориях одежды.

Для формирования обучающей и тестовой выборки используется набор данных Fashion MNIST (рис. 7), который содержит 70 тысяч изображений размером 28 на 28 пикселей в десяти категориях одежды.

Для обучающей выборки подготовлено 60 тысяч изображений, для тестовой выборки, при помощи которой проверяется качество обучения, предоставлено 10 тысяч изображений. Доступ к исходному набору данных Fashion MNIST получается путем вызова метода `datasets.fashion_mnist` в `ipython-notebook`, воспользовавшись подмодулем TensorFlow под названием `keras`.

После загрузки данной выборки имеется четыре массива: обучающие данные и метки классов и, соответственно, тестовые данные и метки классов для тестовых данных. Всего классов в выборке имеется десять классов (рис. 8).

Изображения одежды перед обучением нейросети нужно подготовить: каждое изображение в выборке представлено в оттенках серого цвета (рис. 9) на отрезке яркости [0; 255], поэтому перед тем, как отправлять данные в нейросеть, необходимо изменить масштаб, поделив исходную яркость пикселя на 255, для приведения значения точки в отрезок [0; 1].

Когда данные подготовлены, необходимо настроить слои – сверточная нейросеть со структурой, которая была приведена на рис. 3, взята за основу за исключением того, что изменено кол-во

Label	Class
0	T-shirt/top
1	Trouser
2	Pullover
3	Dress
4	Coat
5	Sandal
6	Shirt
7	Sneaker
8	Bag
9	Ankle boot

Рис. 8. Метки классов набора данных Fashion MNIST

фильтров на сверточных слоях для уменьшения итоговой ошибки классификации. Таким образом будет использовано пять основных слоев и один дополнительный вспомогательный слой. Описание слоев приведено в табл. 1.

Таблица 1

Структура сверточной нейронной сети для распознавания видов одежды

№ слоя	Тип слоя	Кол-во фильтров/нейронов	Размер ядра	Функция активации/преобразования
1	Сверточный	64	5x5	Relu
2	Подвыборки	–	2x2	MaxPooling
3	Сверточный	128	5x5	Relu
4	Подвыборки	–	2x2	MaxPooling
5	Преобразование	–	–	–
6	Полносвязный	10	–	Softmax

После выбора структуры модели в TensorFlow необходимо указать функцию потерь, минимизация которой будет происходить в процессе обучения, выбрать оптимизатор, который будет указывать, каким образом следует обновляться модели на основе исходных данных и функции потерь. Также требуется указать метрику качества, по которой можно будет судить о результате обучения модели.

Перед обучением собственной сверточной нейронной сети в качестве функции потерь и оптимизатора выбрано то, что предложено в официальных примерах, а именно функция потерь `categorical_crossentropy` [14] и оптимизатор `adam` [16]. За метрику качества будет взята метрика `assuagasy` – доля правильных ответов классификации.

После компиляции модели с указанными выше параметрами необходимо запустить обучение модели, для это следует указать данные обучающей выборки и количество эпох или количество итераций, проходя которые нейросеть будет улучшать точность распознавания, опираясь на результат предыдущей итерации. Для обучения выбрано стандартное число эпох, а именно десять.

Спустя десять итераций обучения доля правильных ответов на обучающей выборке составила 0.9602 или 96%. После окончания обучения необходимо проверить работу модели на заранее отделенной тестовой выборке: точность на проверочных данных составила 0.90 или 90%. Более низкая доля правильных ответов на тестовой выборке говорит о том, что модель переобучилась (англ. `overfitting`). Переобучение возникает в случаях, когда модель показывает худший результат на данных, которые не были использованы в обучении. Существуют методы борьбы с переобучением [12], но они не рассматриваются в рамках данной работы.

Заключение

При работе над данной статьей были проанализированы многочисленные статьи и интернет-источники, которые способствовали более глубокому пониманию понятий нейронная сеть и сверточная нейронная сеть. Полученные знания позволили выстроить общую структуру представления, что такое нейронная сеть, как проектировать структуру нейронной сети, каким образом предобрабатывать исходную выборку, чтобы впоследствии обучить нейронную сеть, какие выбирать параметры модели для обучения.

Проанализирован процесс обучения нейронной сети в программном модуле TensorFlow для python: для людей, которые имеют представления о нейронных сетях, о том, как готовить исходную выборку, в каком соотношении разделять исходную выборку на обучающую и тестовую, какими способами можно бороться с переобучением, знающие, что такое функция активации и имеющие другие познания, не составит труда работать с TensorFlow, так как модуль имеет высокоуровневое API, понятное для людей со знанием контекста.

В результате обучения собственной сверточной нейронной сети, за основу которой были взяты предоставляемые TensorFlow обучающие материалы, качество работы сети составило 90%, что является относительно хорошим показателем, но поскольку изначально стояла задача изучить возможности программного пакета, и не ставилась задача оптимизации отдельно скорости или отдельно качества распознавания или баланса этих двух показателей, оценить строго данный показатель нельзя. TensorFlow – это гибкий инструмент, который

позволяет строить нейронную сеть любой сложности без наличия знаний о том, как работают нейросети на более низких уровнях абстракции исходного кода, которые присутствуют в других программных пакетах.

Список использованных источников

1. He, K. Deep Residual Learning for Image Recognition / K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2016. – P. 770-778.
2. LeCun, Y. Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition / Y. LeCun, B. Boser, J.S. Denker, D. Henderson, R.E. Howard, Hubbard W., Jackel L.D. // Neural Computation. – 1989. – №1(4). – P. 541-551.
3. KS, O. GPU Implementation of Neural Networks / O. KS, J. K // Pattern Recognition. – 2004. – №37(6). – P. 1311-1314.
4. Ghorpade, J. GPGPU Processing in Cuda Architecture / J. Ghorpade, J. Parande, M. Kulkarni, A. Bawaskar // Advanced Computing an International Journal. – 2012. – V. 3. – №1. – P. 105-120.
5. Krizhevsky, A. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks / A. Krizhevsky, I. Sutskever, G.E. Hinton // Communications of the ACM. – 2012. – №60(6). – P. 84-90.
6. Колмогоров, А.Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных суперпозициями непрерывных функций меньшего числа переменных / А.Н. Колмогоров // Известия АН СССР. – 1956. – №108. – С. 179-182.
7. Галушкин А.И. Нейронные сети. Основы теории. М.: Горячая Линия - Телеком, 2010. – 496 с.
8. Doerfler, M. Inside the Spectrogram Convolutional Neural Networks in Audio Processing / M. Doerfler, T. Grill // International Conference on Sampling Theory and Applications (SampTA). 2017. – P. 152-155.
9. Wyse L. Audio Spectrogram Representations for Processing with Convolutional Neural Networks / L. Wyse // Proceedings of the First International Workshop on Deep Learning and Music joint with IJCNN. – 2017. – №1(1). – P. 37-41.
10. Masakazu, M. Subject Independent Facial Expression Recognition with Robust Face Detection Using A Convolutional Neural Network / M. Masakazu, K. Mori, Y. Mitari, Y. Kaneda // Neural Networks. – 2003. – V. 16. – №5. P. 555-559.
11. Hinton, G.E. Improving Neural Networks by Preventing Co-Adaptation of Feature Detectors / G.E. Hinton, N. Srivastava, A. Krizhevsky, I. Sutskever, R. R. Salakhutdinov // Computer Vision and Pattern Recognition. – 2012. P. 1-15.
12. Versloot S. What Are Max Pooling, Average Pooling, Global Max Pooling and Global Average Pooling? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.machinecurve.com/index.php/2020/01/30/what-are-max-pooling-average-pooling-global-max-pooling-and-global-average-pooling>. Дата доступа: 18.12.2020.
13. Rosenblatt, F Frank Rosenblatt: Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms. Spartan Books, 1962. – 616 с.
14. Verma S. Understanding Different Loss Functions for Neural Networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/understanding-different-loss-functions-for-neural-networks-dd1ed0274718>. Дата доступа: 18.12.2020.
15. Kingma, D.P. Adam: A Method for Stochastic Optimization / D.P. Kingma, J. Ba // 3rd International Conference for Learning Representations. – 2014. – P. 1-15.

Материал поступил в редакцию: 11.10.2020

Материал принят к публикации: 01.12.2020

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

CONCEPT ANALYSIS NEURAL NETWORK AND CONVENTIONAL NEURAL NETWORK, CONVENTIONAL NEURAL NETWORK TRAINING USING THE TENSORFLOW MODULE

Vagaev I.I.

Abstract. The article consists analyzes the transition of the scientific community's attention from the main tool for pattern recognition using machine learning methods without using neural networks to convolutional neural networks as the best way to classify objects in images. The concepts of a neural network and a convolutional neural network are considered in detail, examples of one-layer, two-layer neural networks are given, a principle is shown that can be used to create a neural network of any depth, the distinctive features of convolutional neural networks has been analyzed, the types of layers that a convolutional neural network can have are analyzed. The process of training a neural network on the Fashion MNIST dataset using the TensorFlow software package from Google has been analyzed, the structure of its own convolutional neural network has been selected, the neural network has been trained to recognize various types of clothing. The result of the model's work on the Fashion MNIST test dataset was 90%. Analysis of the Tensor-Flow package showed the simplicity of the high-level API provided by the module, which allows you to build, configure and train neural networks of any complexity, including convolutional neural networks, which makes TensorFlow easy to integrate and use in your own development.

Keywords: neural network, convolutional neural network, GPU, CPU, neuron, activation function, TensorFlow, loss function, quality metric.

References

1. He, K. *Deep Residual Learning for Image* IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, pp. 770-778.

2. LeCun, Y. *Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition*, *Neural Computation*, 1989, no. 1(4), pp. 541-551.
3. KS, O. *GPU Implementation of Neural Networks*, *Advanced Computing an International Journal*, 2004, no. 37(6), pp. 1311-1314.
4. Ghorpade, J. *GPGPU Processing in Cuda*, *Advanced Computing an International Journal*, 2012, vol. 3, no. 1, pp. 105-120.
5. Krizhevsky, A. *ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural*, *Communications of the ACM*, 2012, no. 60(6), pp. 84-90.
6. Kolmogorov A.N. *O predstavlenii nepreryvnyh funktsiy neskol'kih peremennyh superpozitsiyami nepreryvnyh funktsiy men'shego chisla peremennyh*, 1956, no. 108, pp. 179-182.
7. Galushkin A.I. *Nejronnye seti. Osnovy teorii*, 2010. – 496 с.
8. Doerfler M. *Inside the Spectrogram Convolutional Neural Networks in Audio Processing*, *International Conference on Sampling Theory and Applications (SampTA)*, 2017, pp. 152-155.
9. Wyse L. *Audio Spectrogram Representations for Processing with Convolutional Neural Networks*, *Proceedings of the First International Workshop on Deep Learning and Music joint with IJCNN*, 2017, no. 1(1), pp. 37-41.
10. Masakazu M. *Subject Independent Facial Expression Recognition with Robust Face Detection Using A Convolutional Neural Network*, *Neural Networks*, 2003, vol. 16, no. 5, pp. 555-559.
11. Hinton, G.E. *Improving Neural Networks by Preventing Co-Adaptation of Feature Detectors*, *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2012, pp. 1-15.
12. Versloot S. *What Are Max Pooling, Average Pooling, Global Max Pooling and Global Average Pooling*, 2020
13. Rosenblatt, F Frank Rosenblatt: *Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms*. Spartan Books, 1962.
14. Verma S. *Understanding Different Loss Functions for Neural Networks*, 2020.
15. Kingma, D.P. Adam: *A Method for Stochastic Optimization*, *3rd International Conference for Learning Representations*, 2014, pp. 1-15.

ОБ АВТОРАХ:

Багаев Иван Игоревич – ведущий инженер-программист АО «НПО «Андронидная техника».
E-mail: InPROfess@yandex.ru.

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Багаев, И.И. Анализ понятий нейронная сеть и сверточная нейронная сеть, обучение сверточной нейросети ПРИ помощи модуля TensorFlow / И.И. Багаев // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2020. – Т.8. – № 1. – С. 15-22. DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-15-22.

Bagaev I.I. (2020) Concept analysis neural network and conventional neural network, conventional neural network training using the tensorflow module. Software of systems in the industrial and social fields, 8 (1): 15-22.

DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-15-22.

УДК 681.501:536

DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-23-30

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ПРИ ЭКСПРЕСС ОЦЕНКЕ НАЛИЧИЯ ДЕФЕКТА ПОВЕРХНОСТИ ОЦИНКОВАННОГО ПРОКАТА**Гарбар Е.А., Николаев А.А.*

Аннотация. В работе рассматривается вопрос обработки информации при экспресс оценке наличия дефекта на поверхности оцинкованной полосы. Авторами проведено: описание наиболее распространенных поверхностных дефектов при производстве оцинкованного металлопроката и особое внимание уделено дефектам: гарт и плена. Для определения наличия дефекта выполняется предварительная обработка изображения – удаления шума, с помощью алгоритм размытия Гаусса. Объем экспериментальной выпорки составил более 10 изображений поверхности оцинкованного листа с дефектами различного вида. Изображения получены в условиях крупного металлургического предприятия. После предварительной обработки изображения применяется алгоритм адаптивной пороговой бинаризации с ядром 1D в двух направлениях. В результате сделан вывод о том, что данный метод не чувствителен к шумам на изображении, полученным в результате сбоя в работе канала связи, шума видеодатчика или дефекта камеры. Алгоритм может быть использован как самостоятельно, так и являться частью более сложного алгоритма, предполагающий не только определение наличия дефектов поверхности полосы, но и последующую классификацию. Перспективным направлением исследования является уточнение признаков для идентификации поверхностных дефектов оцинкованного металлического листа.

Ключевые слова: обработка изображения, контроль поверхности оцинкованного проката, распознавание дефектов, определение дефектов, классификация дефектов, автоматизированные системы контроля поверхности, индексирование поверхности, машинное зрение, компьютерное зрение.

Введение

В последнее время в мире происходит перепроизводство плоского проката [1], а значит возрастает конкуренция среди производителей. Качество поверхности оцинкованного проката является важным качественным показателем. Для оценки качества поверхности используются как органолептические методы, так и автоматизированные системы распознавания дефектов.

Органолептические методы оценки поверхности и обнаружения дефектов имеют недостатки, связанные с тем, что технология производства оцинкованного проката непрерывная. Специалисту при органолептическом методе оценки необходимо продолжительное время наблюдать за поверхностью движущейся полосы, при этом он может уставать, терять концентрацию, отвлекаться, что влечет за собой недостаточный уровень контроля качества поверхности полосы. Альтернативным способом контроля является применение автоматизированных систем для контроля качества поверхности [2, 3]. У данного способа отсутствуют недостатки, перечисленные выше. Однако появляются другие, к которым можно отнести:

- ложноотрицательные срабатывания – данный способ может пропустить дефект;
- ложноположительные срабатывания – некоторые части поверхности распознаются как дефекты, при этом сам дефект отсутствует;
- неверная классификация дефекта – система определяет один класс дефекта, однако в лабораторных условиях данный дефект могут отнести к другому классу.

Методы*1 Описание исходных данных*

Концептуально определение наличия дефекта и его классификации можно представить в виде блок-схемы (рис.1). В блок-схеме изображено два этапа распознавания дефекта: детектирование непосредственно дефекта и его последующая классификация.

Такое разбиение на этапы связано с тем, что классификация дефекта требует больших вычислительных мощностей ЭВМ и для классификации дефектов на каждом изображении потребуются избыточные мощности. Для уменьшения необходимых мощностей ЭВМ пред-

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора Логуновой О.С.

варительно каждое изображение анализируется для определения наличия самого дефекта [4], таким образом дальнейшей классификации дефекта подвергаются только те изображения, на которых определено наличие дефекта.

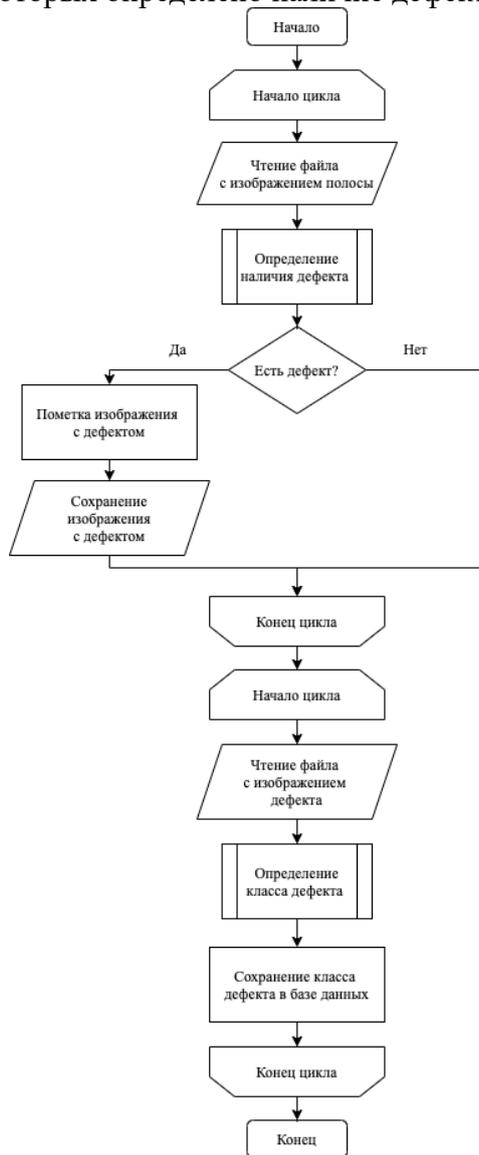


Рис. 1. Блок-схема определения класса дефекта

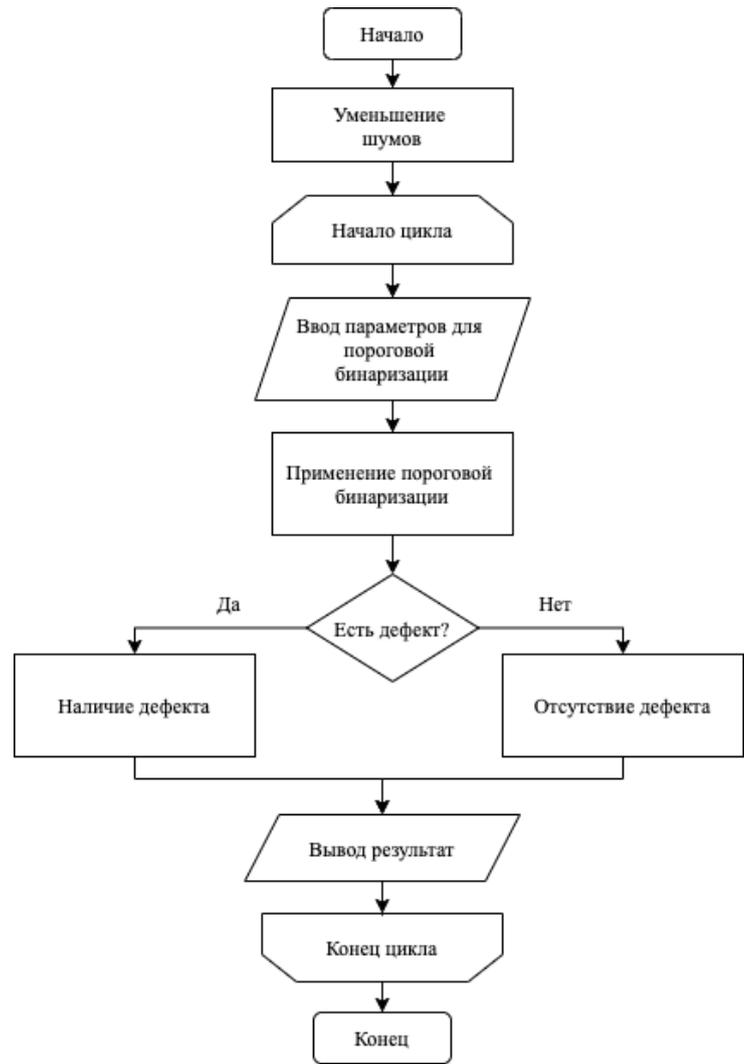


Рис. 2. Блок-схема определения наличия дефекта

Особенностью этапа определения дефекта является то, что его результат может допускать ложное определение наличия дефекта, так как доуточнение произойдет на следующем этапе. Но не может допускать ложное определение отсутствия дефекта, так как в этом случае изображение не попадет на следующий этап и дефект будет пропущен. Также данный этап должен быть быстрым, так как с камеры поступают изображения с большой скоростью, при этом обрабатывается каждое изображение. Таким образом анализ каждого изображения должен использовать минимальные вычислительные мощности ЭВМ.

Для реализации первого этапа предлагается использовать метод адаптивной пороговой бинаризации [5-7] с предварительным удалением шумов с изображения [8].

Рассмотрим изображения основных дефектов, полученных с устройства инспекции полосы. На данное устройство помещаются оцинкованные рулоны после агрегатов АНО/ГЦ или АНГЦ, производится перемотка рулонов, при этом поверхность полосы с обеих снимается камерами.

На рис. 3 изображен один из наиболее частых дефектов – плена [9]. К примеру, при производстве автомобильного листа 67% дефектов от всей отсортировки является плена. ГОСТ 21014 – 88 [10] детерминирует плену как – дефект поверхности в виде отслоения язы-

кообразной формы, частично соединенный с основным металлом, образовавшегося от раската окисленных брызг, заплесков и грубых неровностей поверхности слитка, обусловленных дефектами внутренней поверхности изложницы, в том числе образовавшийся вследствие раскатки рванин, подрезов, следов глубокой зачистки дефектов или сильной выработки валков, а также грубых механических повреждений.

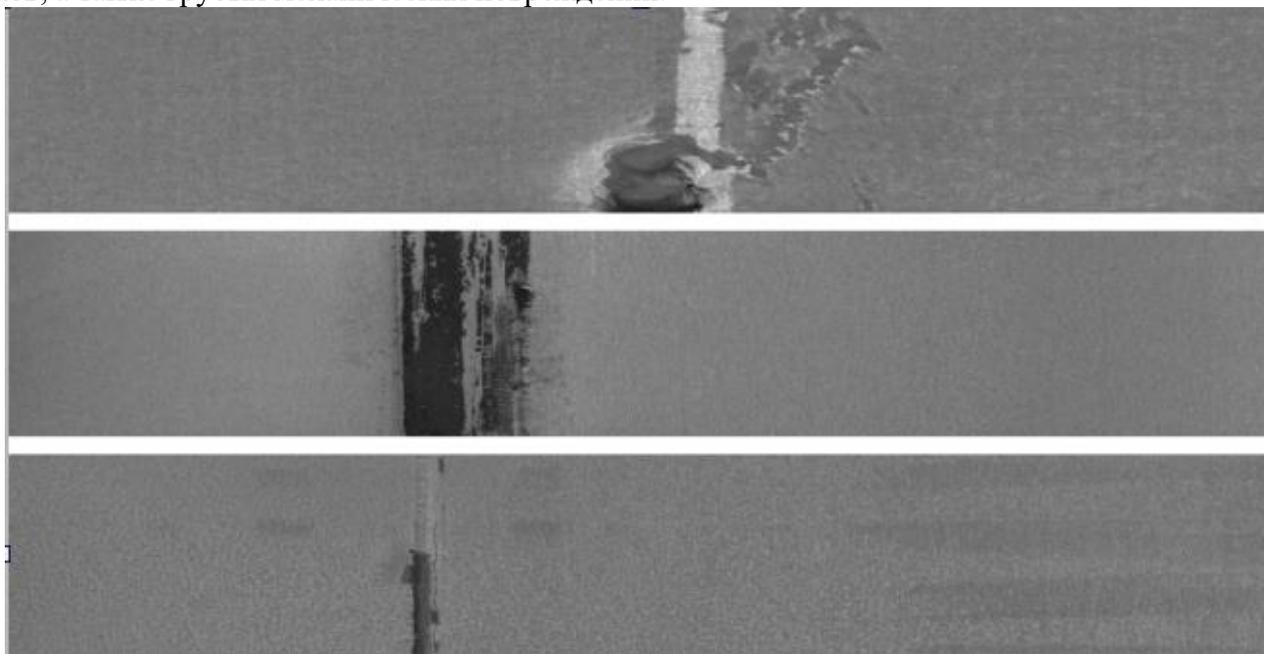


Рис. 3. Вид дефекта плена на поверхности оцинкованного проката

На рис. 4 приведены изображения дефекта кромки. Дефект кромки – дефект проката в виде выступов и углублений различной формы и глубины, выходящие за номинальную ширину более, чем на половину поля допуска по НД [11].

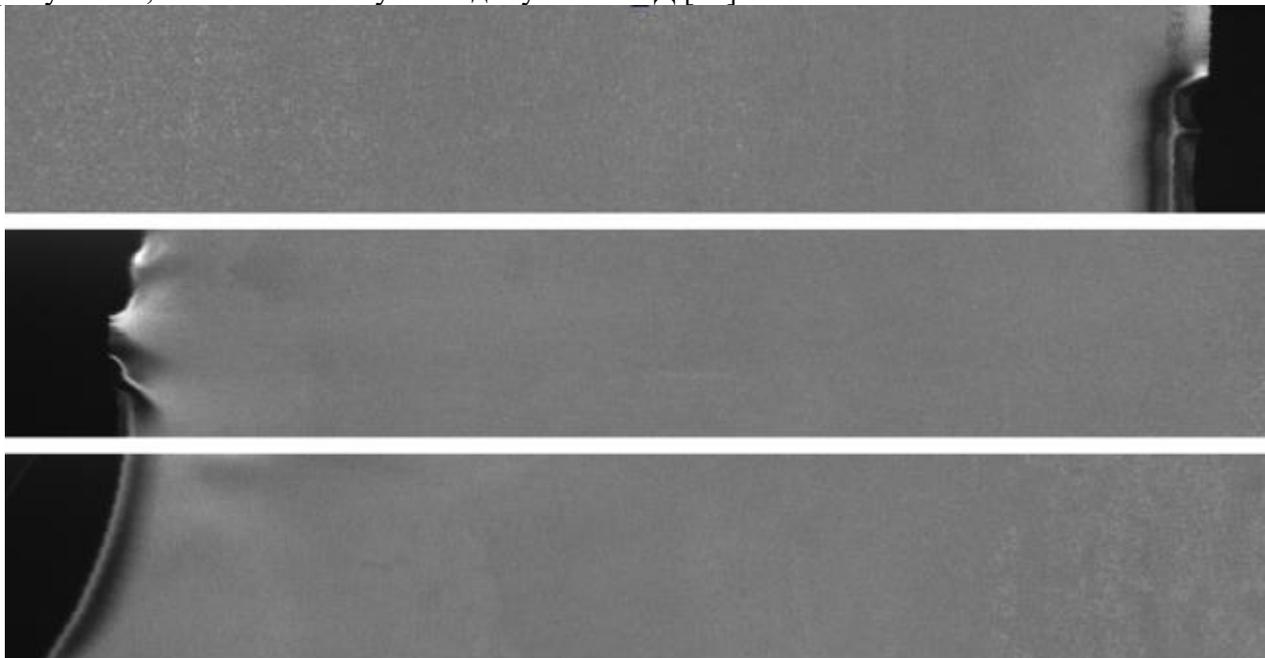


Рис. 4. Вид дефекта кромки на поверхности оцинкованного проката

На рис. 5 приведены изображения окалины. Окалина образуется преимущественно путем вкатывания остатков печной окалины [12], формирующейся при нагреве слябов в нагревательной печи перед горячей прокаткой на непрерывных широкополосных станах горячей прокатки, в поверхностный слой раскатов.

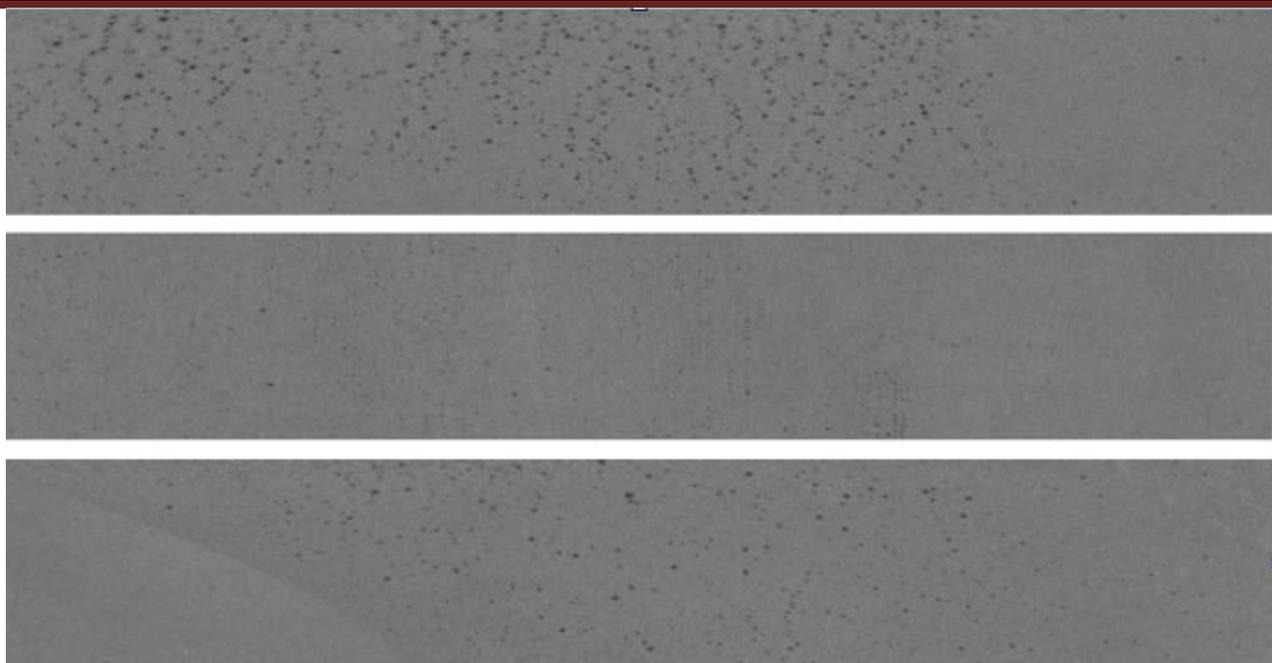


Рис. 5. Вид дефекта окалин на поверхности оцинкованного проката

На рис. 6 приведены изображения гарта. Гарт или шероховатое покрытие по всей поверхности или на отдельных ее участках, в виде мелких густо расположенных бугорков.

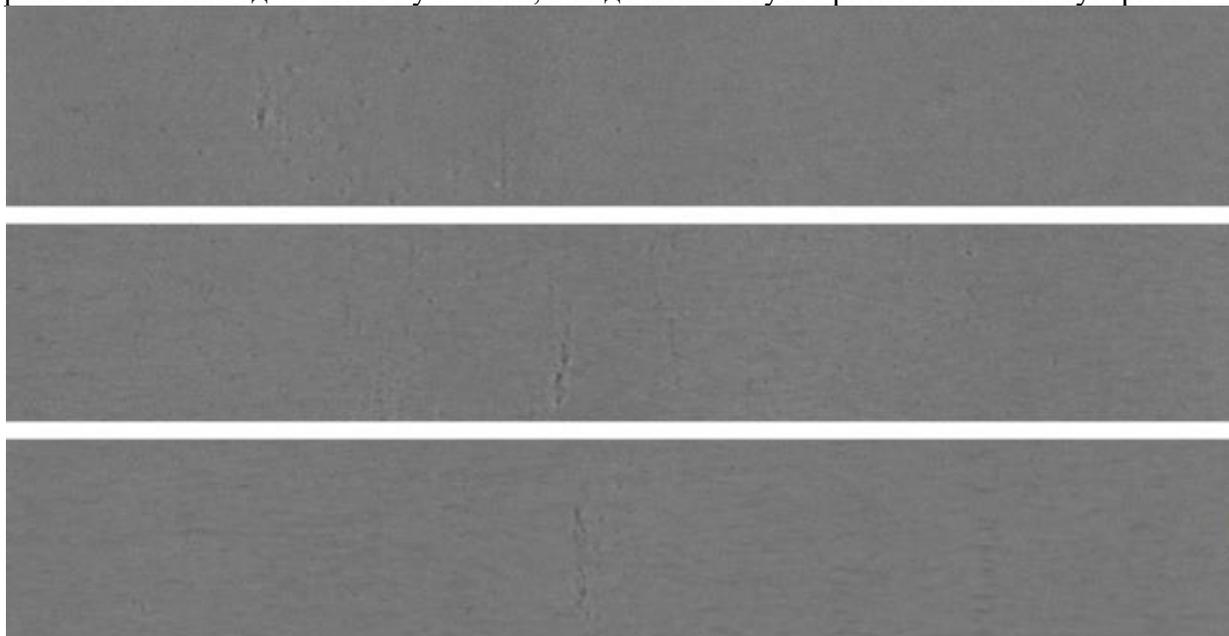


Рис.6. Вид дефект гарт на поверхности оцинкованного проката

Причинами возникновения гарта являются:

- высокая шероховатость поверхности подката и, как следствие, неравномерный рост железоцинкового сплава на микровыступах;
- загрязнение расплава цинка частицами гартцинка;
- наличие на поверхности холоднокатаных полос загрязнений или пятен СОЖ;
- повреждение поверхности основы – наличие в большом количестве мелких рисок на полосе.

На рис. 7 приведены изображения надрывов. Надрыв или продир – дефект поверхности в виде широких продольных углублений, образующихся от резкого трения проката о детали прокатного и подъемно-транспортного оборудования.

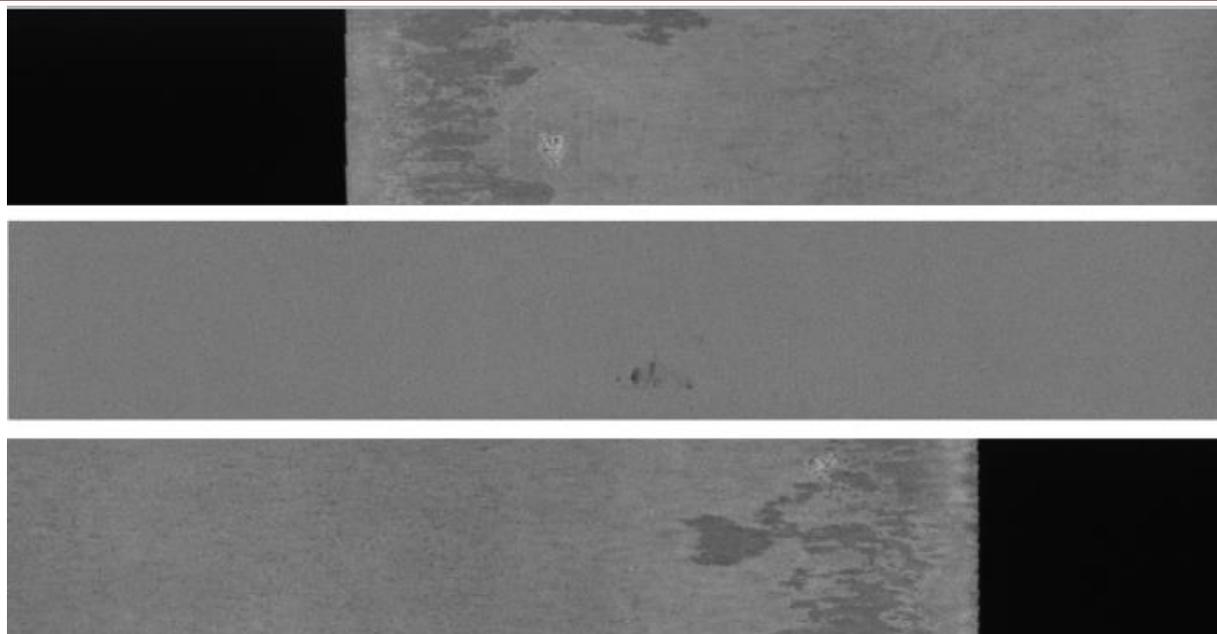


Рис. 7. Вид дефекта надрыв на поверхности оцинкованного проката

На рис. 8 приведены изображения сквозных разрывов или дыр. Причинами возникновения являются: наличие на подкате плен, усадочных раковин, пузырей и неметаллических включений.

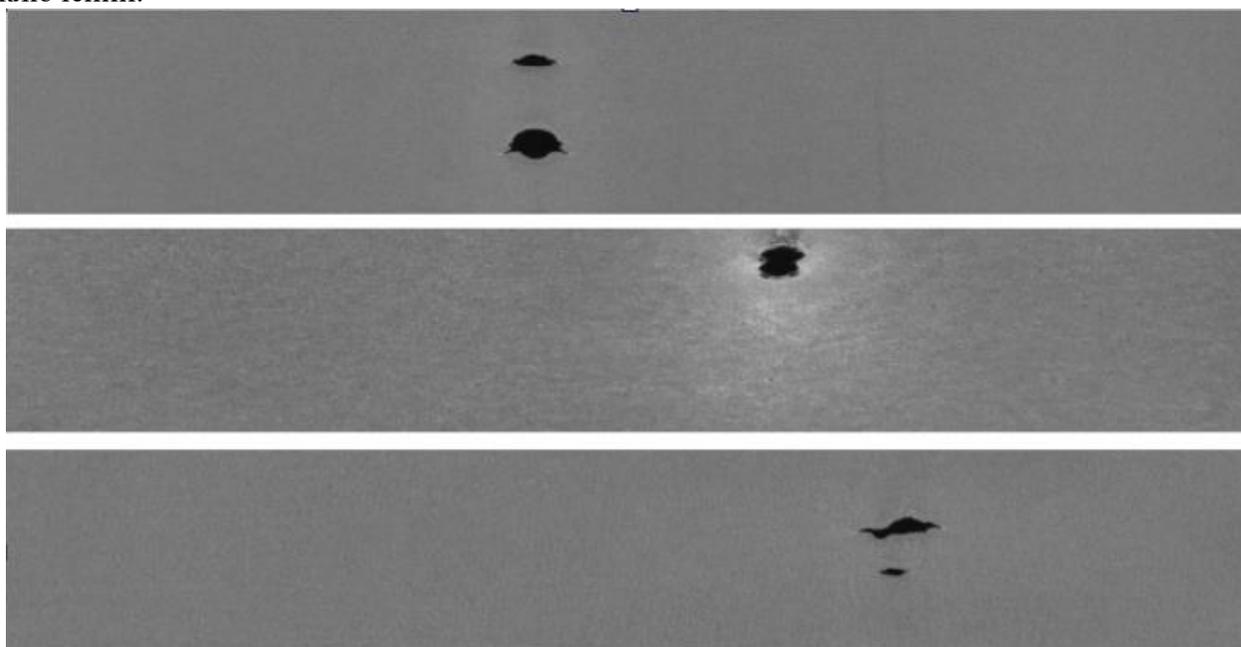


Рис. 8. Вид дефекта сквозные разрывы на поверхности оцинкованного проката

2 Результаты обработки изображений

Все изображения, полученные с устройства инспекции полосы хранятся в виде двумерной матрицы в градациях серого, то есть имеющие значения от 0 до 255, где 0 это черный, а 255 соответствует белому цвету. Размер изображений 780 × 128 пикселей.

На изображениях помимо дефектов присутствует шум, который влияет на точность распознавания наличия дефекта, при этом непосредственно не является источником информации для анализа, так как отсутствует непосредственно на поверхности оцинкованного проката. Причинами возникновения шума на изображении являются сбои в работе канала связи, шум видеодатчика, дефект камеры [13].

Для удаления шума используется сглаживание Гаусса. Используя данный фильтр можно уменьшить с расстоянием влияние пикселей друг на друга. Ядро фильтра 1D выражается формулой:

$$G_i = a \cdot e^{-\frac{\left(\frac{i-n}{2}\right)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где $i = 0..n - 1$; n – размер ядра, σ – среднеквадратичное отклонение.

Выберем $\sigma = 0,3 \cdot ((n - 1) \cdot 0,5 - 1) + 0,8$, при $n = 5$, $\sigma = 1,1$. К изображению применим свертку с полученной матрицей размерностью 5×1 в двух направлениях: по оси x и по оси y . Свертка делается по формуле:

$$g(x, y) = G * f(x, y), \quad (2)$$

где $f(x, y)$ – первоначальное изображение; G – ядро фильтра.

Результаты размытия представлены на рис. 9, видно, что шумы значительно уменьшены, что позволит с большей точностью выполнить следующее преобразование – адаптивную пороговую бинаризацию [14].

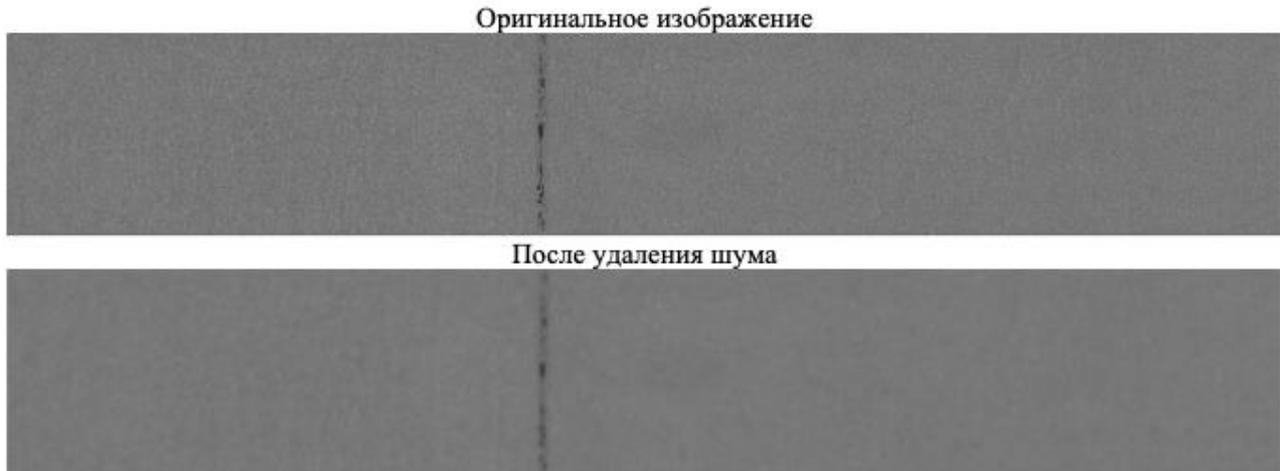


Рис. 9. Результаты удаления шума

Изображения получаются в условиях реального производства, то есть могут иметь разную освещенность на разных частях полосы. Чтобы нивелировать разную освещенность, используется адаптивная пороговая бинаризация. При этом алгоритм вычисляет порог для небольших участков изображения. Таким образом, получаются разные пороги для разных областей одного и того же изображения, и это дает лучшие результаты для изображений с разным освещением. Рассмотрим математическое описание адаптивной пороговой бинаризации [15]:

$$L(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } g(x, y) > T(x, y) - C; \\ 0, & \text{если } g(x, y) \leq T(x, y) - C, \end{cases} \quad (3)$$

где $T(x, y)$ – локальный порог бинаризации, вычисленный как среднее значение точек в окрестности k ; C – коэффициент отклонения.

Эмпирическим путем лучших результатов удалось добиться при значении $k = 99$ и $C = 9$.

Результат применения адаптивной пороговой бинаризации на рис. 10.

В случае если в матрице L присутствует значение отличное от 255, на рис. 10 это черные точки, можно сделать вывод что на изображении присутствует дефект. К этому изображению применяется алгоритм классификации для уточнения класса дефекта.

Результаты

Из полученных результатов работы алгоритма можно сделать вывод, что алгоритм является не чувствительным к наличию шума на исходном изображении, так как предварительно выполняется удаление шума, что существенно снижает количество нежелательных артефактов. Дополнительно стоит отметить, что алгоритм является достаточно простым для применения в системах автоматизации, робототехники и других отраслях, требующих идентификации объектов. Данный алгоритм может быть использован как самостоятельно, так и

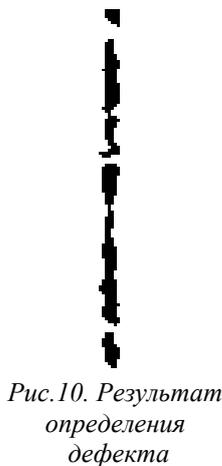


Рис.10. Результат определения дефекта

являться частью более сложного алгоритма, предполагающий не только детектирование наличия дефектов, но и их классификацию.

Список использованных источников

1. Гарбар, Е.А. Цифровизация в оценке качества поверхности листового проката // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2019. – Т. 7. – №. 2. – С. 30-34.
2. Миков, А.Ю. Математическое обеспечение и структура системы интеллектуальной поддержки системы управления оценкой качества поверхности холоднокатаного проката. / А.Ю. Миков, О.С. Логунова, А.В. Маркевич. // Электротехнические системы и комплексы. – 2016. – №. 1. – С. 45-51.
3. Мазур, И.П. Контроль качества поверхности листового проката / И. П. Мазур. // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении : материалы 6-й международной молодежной научно-практической конференции «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении. Уральская научно-педагогическая школа имени профессора А.Ф. Головина», [г. Екатеринбург, 29 октября - 1 ноября 2012 г.]. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та. – 2013. — С. 359-365.
4. Егорова, Л.Г. Системы распознавания изображений в потоке / Л.Г. Егорова, Е.А. Гарбар, А.А. Николаев // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2019. – Т. 7. – №. 1. – С. 42-43.
5. Chow, C.K. Automatic boundary detection of the left-ventricle from cineangiograms / C.K. Chow, T. Kaneko // Comput. Biomed. Res., vol. 5, 1972. – Pp. 388-410.
6. Francis, H.Y. Lam, Hui Zhu Adaptive Thresholding by Variational Method / H.Y. Francis, F.K. Chan // IEEE Transactions on Image Processing, vol. 7, No. 3, March, 1998. – Pp. 468-473.
7. Jain, R. Machine Vision. / R. Jain, R. Kasturi, B.G. Schunk // New York: McGraw-Hill, 1995. – Pp. 50-56.
8. Шапиро, Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. // пер. с англ. [Текст] – М.: Бином. Лаборатория знаний. – 2006.
9. Вдовин, К.Н. Изучение причин образования дефекта «плена» / К.Н. Вдовин, Н.И. Мельник, Е.С. Воротинцева // Новые проекты и технологии в металлургии: сб. науч. тр. К 85 – летию ОАО «Уралгипромез». – Екатеринбург. – 2010. – 636 с.
10. ГОСТ 21014-88. Прокат черных металлов. Термины и определения дефектов поверхности: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 16.11.88 № 3724: дата введения 1990-01-01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-21014-88> (дата обращения: 10.12.2019). – Текст: электронный.
11. Классификатор дефектов для потребителей горячеоцинкованной металлопродукции: сформирован на основе «Классификатора дефектов для потребителей горячеоцинкованной продукции», утвержденного начальником технологического департамента ОАО «ММК». – 15.09.2016, редакция №0.
12. Сычков, А.Б. Идентификация дефекта поверхности листового проката типа "Вкатанная окалина". ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ. / А.Б. Сычков, Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова, А.В. Жлоба, Г.Я. Камалова // Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. – 1(11). – С. 72-76.
13. Апальков, И.В. Удаление шума из изображений на основе нелинейных алгоритмов с использованием ранговой статистики. / И.В. Апальков, В.В. Хрящев. // Ярославский государственный университет. – 2007.
14. Авилова, А.Д. Фильтр Гаусса. / А.Д. Авилова, Р.В. Беляев. // Информатика: проблемы, методология, технологии. – 2018.
15. Пелевин, Е.Е. Использование метода Adaptive Threshold в системе технического зрения. / Е.Е. Пелевин, С.В. Балясный // *Juvenis scientia* 1. – 2017.

Материал поступил в редакцию: 11.11.2020

Материал принят к публикации: 05.12.2020

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

EXPRESS EVALUATION OF GALVANIZED ROLLED STEELS SURFACE DEFECT

Garbar E.A., Nikolaev A.A.

Abstract. This article discusses the issue of express evaluation of the presence of a defect on the surface of a galvanized strip. A review of the most common defects in the production of galvanized metal products, including roughness and seam, has been made. To determine the defect, image pre-processing is used - noise removal using Gaussian blur. After pre-processing of the adaptive thresholding algorithm by the 1D kernel in two directions. As a result, it was concluded that this method is not sensitive to image noise resulting from a communication channel failure, video sensor noise, or camera defect. This algorithm can be used both independently and as part of a more complex algorithm, which involves not only the determination of strip surface defects, but also the subsequent classification.

Keywords: surface inspection of galvanized steel, defect recognition, defect detection, defect classification, automated surface inspection systems, surface inspection, machine vision, computer vision.

References

1. Garbar, E.A. (2019) *Matematicheskoe i pro-grammnoe obespechenie sistem v promyshlennoj i social'noj sferah*. 7. – №. 2. – S. 30-34.

2. Mikov, A.YU. Matematicheskoe obespechenie i struktura sistemy intellektual'noj podderzhki sistemy upravleniya ocenкой kachestva poverhnosti holodnokatanogo prokata. / A.YU. Mikov, O.S. Logunova, A.V. Mar-kevich. // Elektrotekhnicheskie sistemy i kompleksy. – 2016. – №. 1. – S. 45-51.
3. Mazur, I.P. Kontrol' kachestva poverhnosti listovogo prokata / I. P. Mazur. // Innovacionnye tekhnologii v metallurgii i mashinostroenii : materialy 6-j mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoj konfe-rencii «Innovacionnye tekhnologii v metallurgii i mashinostroenii. Ural'skaya nauchno-pedagogicheskaya shkola imeni professora A.F. Golovina», [g. Ekaterinburg, 29 oktyabrya - 1 noyabrya 2012 g.]. — Ekaterinburg : Izd-vo Ural. un-ta. – 2013. — S. 359-365.
4. Egorova, L.G. Sistemy raspoznavaniya izobrazhenij v potoke / L.G. Egorova, E.A. Garbar, A.A. Nikolaev // Matematicheskoe i programmnnoe obespechenie sistem v promyshlennoj i social'noj sferah. – 2019. – T. 7. – №. 1. – S. 42-43.
5. Chow, C.K. Automatic boundary detection of the left-ventricle from cineangiograms / C.K. Chow, T. Kaneko // Comput. Biomed. Res., vol. 5, 1972. – Pp. 388-410.
6. Francis, H.Y. Lam, Hui Zhu Adaptive Thresholding by Variational Method / H.Y. Francis, F.K. Chan // IEEE Transactions on Image Processing, vol. 7, No. 3, March, 1998. – Pp. 468-473.
7. Jain, R. Machine Vision. / R. Jain, R. Kasturi, B.G. Schunk // New York: McGraw-Hill, 1995. – Pp. 50-56.
8. SHapiro, L. Komp'yuternoe zrenie / L. SHapiro, Dzh. Stokman. // per. s angl. [Tekst] – M.: Binom. Laboratoriya znaniy. – 2006.
9. Vdovin, K.N. Izuchenie prichin obrazovaniya defekta «plena» / K.N. Vdovin, N.I. Mel'nik, E.S. Vorotinceva // Novye proekty i tekhnologii v metallurgii: sb. nauch. tr. K 85 – letiyu OAO «Uralgiprommez». – Ekaterinburg. – 2010. – 636 s.
10. GOST 21014-88. Prokat chernyh metallov. Terminy i opredeleniya defektov poverhnosti: utverzhden i vveden v dejstvie Postanovleniem Gosudarstvennogo komiteta SSSR po standartam ot 16.11.88 № 3724: data vvedeniya 1990-01-01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-21014-88> (data obrashcheniya: 10.12.2019). – Tekst: elektronnyj.
11. Klassifikator defektov dlya potrebitelej goryacheocinkovannoj metalloprodukcii: sformirovan na osno-ve «Klassifikatora defektov dlya potrebitelej goryacheocinkovannoj produkcii», utverzhdenogo nachal'ni-kom tekhnologicheskogo departamenta OAO «MMK». – 15.09.2016, redakciya №0.
12. Sychkov, A.B. Identifikaciya defekta poverhnosti listovogo prokata tipa "Vkatannaya okalina". CHERNAYA METALLURGIYA. / A.B. Sychkov, N.V. Kopceva, YU.YU. Efimova, A.V. ZHloba, G.YA. Kamalova // Byulleten' nauch-no-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informacii. – 2018. – 1(11). – S. 72-76.
13. Apal'kov, I.V. Udalenie shuma iz izobrazhenij na osnove nelinejnyh algoritmov s ispol'zovaniem rango-voj statistiki. / I.V. Apal'kov, V.V. Hryashchev. // YAroslavskij gosudarstvennyj universitet. – 2007.
14. Avilova, A.D. Fil'tr Gaussa. / A.D. Avilova, R.V. Belyaev. // Informatika: problemy, metodologiya, tekhnologii. – 2018.
15. Pelevin, E.E. Ispol'zovanie metoda Adaptive Threshold v sisteme tekhnicheskogo zreniya. / E.E. Pelevin, S.V. Balyasnyj // Juvenis scientia 1. – 2017.

ОБ АВТОРАХ:

Гарбар Евгений Александрович – аспирант кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

E-mail: evgenyjam@yandex.ru.

Николаев Антон Андреевич – студент кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

E-mail: aanton2001@gmail.com

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Гарбар, Е.А. Обработка информации при экспресс оценке наличия дефекта поверхности оцинкованного проката / Е.А. Гарбар, А.А. Николаев // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2020. – Т.8. – № 1. – С. 23-30. DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-23-30.

Garbar E.A. and Nikolaev A.A. (2020) Express evaluation of galvanized rolled steels surface defect. Software of systems in the industrial and social fields. 8 (1): 23-30. DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-23-30.

КОНСОЛИДАЦИЯ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ АССИСТИРУЮЩЕЙ РОБОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ: ТРАНСФОРМАЦИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Сагадиев С., Ильина Е.А., Логунова О.С., Кухта Ю.Б., Николаев А.А.

Аннотация: В статье приведены результаты начального исследования по разработки программного обеспечения для обработки информации в ассистирующей робототехнической системе. Целью исследования является синтез комплекса алгоритмов, позволяющих выполнять трансформацию цифрового куба, соответствующих его сжатию и растяжению под любым углом к поверхности с заданным усилием, и визуализацию результатов преобразования в объемной форме и любом плоском сечении. В работе представлено решение задач: формирование 3D изображения в виде цифрового куба с возможностью его расслоения по дискретной сетке; консолидация информации при трансформации и визуализации виртуального объекта, формирование схемы соответствия действий специалиста эксперта и робототехнической системы. Работы проводились в 2019-2020 году. В результате исследования спроектированы и разработаны: общая концепция ассистирующей робототехнической системы, программный модуль трансформации и визуализации квазикуба виртуального объекта. Определены направления развития системы.

Ключевые слова: ассистирующая робототехническая система, 3D изображение, трансформация изображения, цифровой куб для изображения, сжатие цифрового куба, композиция преобразований для послойной визуализации.

Введение

Развитие современных цифровых технологий открывают новые возможности в создании интеллектуальных систем, использующих методы и средства трансформации и визуализации многомерных изображений. Одной из востребованных областей, обеспечивающих условия жизни человека в обществе, является медицина. В этой области бурно развиваются технологии диагностирования, построенные на основе визуализации изображения структурных частей организма человека. Широкое внедрение этих технологий требует проектирования и разработки ассистирующих робототехнических систем (АРС) для обучения персонала и дистанционного проведения обследования.

Одной из составных частей АРС является модули трансформации и визуализации получаемой информации с диагностических аппаратов. В настоящее время широко используются 3D изображения, представленные в виде цифрового куба. Поиск опубликованных материалов на платформе Российского индекса научного цитирования позволил найти более 70 тысяч источников по трансформации 3D изображений и более 100 тысяч по способам и методам визуализации. При этом анализ теоретических и практических разработок показал, что широко освещены исследования в области визуализации и трансформации виртуального объекта аналогичного реальному. При визуализации виртуального объекта наибольшее внимание уделяется:

- визуализации видимой поверхности объекта при отсутствии [1-4] или наличии [5-8] информации о его внутренней структуре;
- получению информации в статическом или динамическом режиме при формировании исходных данных об объекте [9-13];
- визуализации объекта с учетом уровня детализации его структуры [14-16];
- визуализации объекта с учетом его физико-химических свойств [17-19].

Трансформация виртуального объекта использует методы моделирования и включает:

- методы деформации виртуального объекта с учетом видимости или невидимости его структуры [20-24];
- методы масштабирования виртуального объекта с учетом видимости или невидимости его структуры [25-30];
- методы реконструкции виртуального объекта [31-35].

Схема консолидации методов визуализации и трансформации 3D для виртуального объекта приведена на рис. 1.

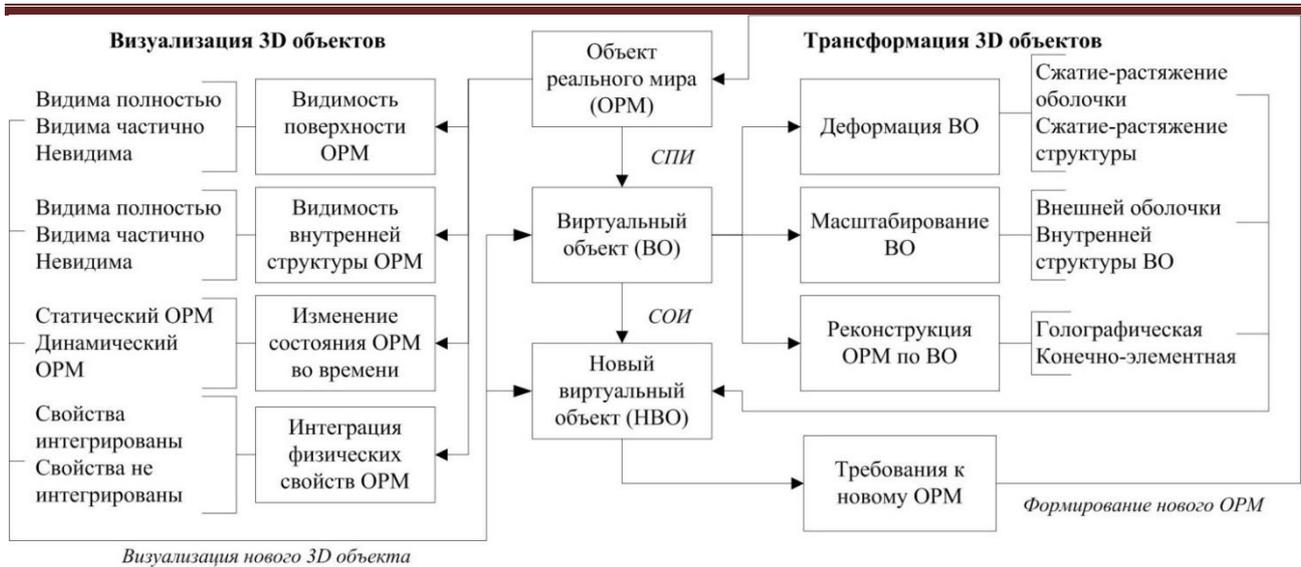


Рис. 1. Схема консолидации методов визуализации и трансформации для виртуального объекта: СПИ – средства получения изображения; СОИ – средства обработки изображения

В результате анализа теоретических и практических разработок выявлено противоречие: при наличии множества пакетов прикладных программ и библиотек программных модулей, реализующих алгоритмы визуализации 3D объекта с возможностью представления информации об изменении его свойств и формы, остаются трудно решаемые задачи визуализации и трансформации изображений 3D объектов для проблемно-ориентированных областей, связанные с восстановлением изображения по потоку фотографий и видеоряда, полученных с диагностических аппаратов ультразвукового исследования человека.

До настоящего время остаются нерешенными задачи, необходимые для построения интерактивного тренажера для обучения ультразвуковой диагностики:

- 1) восстановление формы объектов на основе фоторяда монохромных снимков;
- 2) построение объемного изображения на основе анализа выделенных кадров полученного видео потока информации в формате цифрового куба с возможностью выполнения деформации объекта под воздействием приложенного усилия;
- 3) выбор сечения цифрового куба по заданному направлению и при заданном усилии нажатия на цифровой куб.

Учитывая выявленные противоречия и проблемы, авторами определена цель исследования: синтез комплекса алгоритмов, позволяющих выполнять трансформацию цифрового куба, соответствующих его сжатию и растяжению под любым углом к поверхности с заданным усилием, и визуализацию результатов преобразования в объемной форме и любом плоском сечении.

Способы формирования 3D изображения с возможностью расслоения по дискретной сетке

Построение АРС ультразвуковой диагностики использует практически все методы визуализации и трансформации виртуального объекта, приведенные на рис. 1. Особенностью указанной системы являются: формирование динамических массивов исходных данных как по структуре внутри 3D куба, так и по его положению внутри основного объекта; различие физических свойств структурных элементов куба, которые подвергаются трансформации.

Исходное изображение, которое необходимо для построения АРС представляет собой набор плоских изображений, упорядоченных по времени их получения за один проход датчиков аппарата УЗИ. Получение массива исходных данных для формирования 3D изображения возможно, как минимум двумя способами: получение изображения с действующих аппаратов ультразвуковой диагностики; синтез плоских изображений с последующей сборкой квазикуба.

При использовании первого способа в АРС должна поступить информация с аппарата УЗИ. Эта информация сформирована в виде трех файлов с расширениями:

- dcm (DigitalImagingandCommunicationsinMedicine) – это растровый однокадровый или многокадровый файл для хранения медицинских снимков;
- index – растровый файл предварительно просмотра;
- vol – ультразвуковой файл с цифровой обработанной зашифрованной информацией о всех кадрах, полученных в ходе ультразвукового исследования.

Извлечение графической информации из файла с расширением *dcm* не вызывает сложностей при использовании специальных программных библиотек. Выполнить расшифровку файла с расширением *vol* без согласия производителя аппаратной части является нарушением закона об авторских правах.

Для использования второго способа в АРС достаточно сформировать библиотеку открытой информации и сгенерировать цифровой куб.

Пример консолидации плоских изображений реального объекта с возможностью раскрытия внутренней структуры в квазикуб приведен на рис. 2. Для избегания конфликта интересов использования персональной информации для примера выбран объект – яблоко. Описание технологии получения виртуального объекта планируется в последующих работах.



Рис. 2. Схема генерации квазикуба для использования в АРС

Для построения комплекса алгоритмов плотного программного обеспечения авторы работы использовали второй способ получения квазикуба.

Основа конструирования программного обеспечения АРС

Изучение основных движений специалиста по ультразвуковой диагностике при получении изображения сформирована структура программного обеспечения для АРС. Блочная схема соответствия действий специалиста, программного обеспечения АРС и алгоритмов приведена на рис. 3. Таким образом, комплекс алгоритмов трансформации и визуализации цифрового квазикуба включает три компонента:

- 1) комплекс алгоритмов *получения изображения* реального или виртуального объекта (2.1);
- 2) комплекс алгоритмов *трансформации изображения* виртуального объекта (2.2);
- 3) комплекс алгоритмов *визуализации* нового виртуального объекта (2.3).

Расширения функционала проекта как пилотного, так и введенного в эксплуатацию приведет к уточнению и расширению перечня процедур и алгоритмов в реальном времени. Так как пока не рассматривается функционал позиционирования джойстика на теле пациента и автоматический анализ получаемого изображения в блочной схеме на рис. 3 они не приведены.

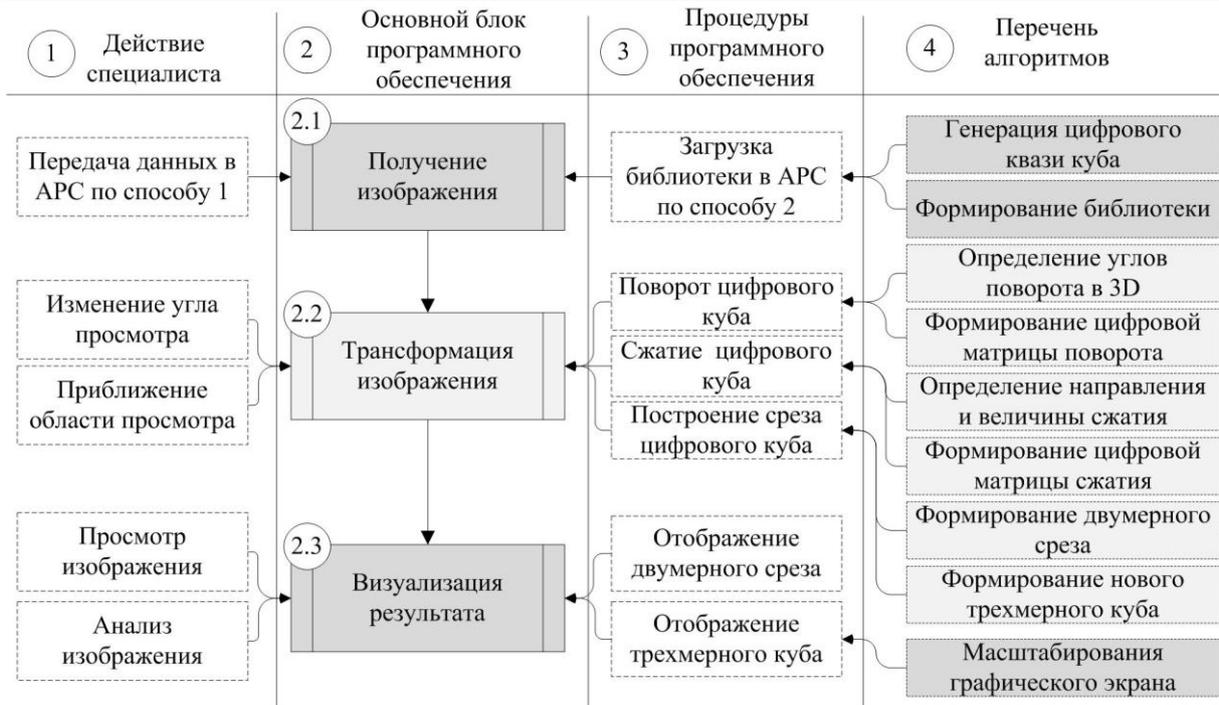


Рис. 3. Блочная схема соответствия действий специалиста, программного обеспечения АРС и алгоритмов

Результаты визуализации

Для реализации задачи трансформации и визуализации информации для виртуального объекта, получаемых с аппаратов ультразвуковой диагностики, выбран формат представления ОРМ в виде цифрового куба. Суть такого подхода заключается в детальной визуализации трехмерного тела в виде многослойной полигональной сетки, узлы которой связаны между собой. В ходе исполнения действий над виртуальным объектом выполняется трансформация структуры полигональной сетки. Примеры трансформации структуры приведены на рис. 9.

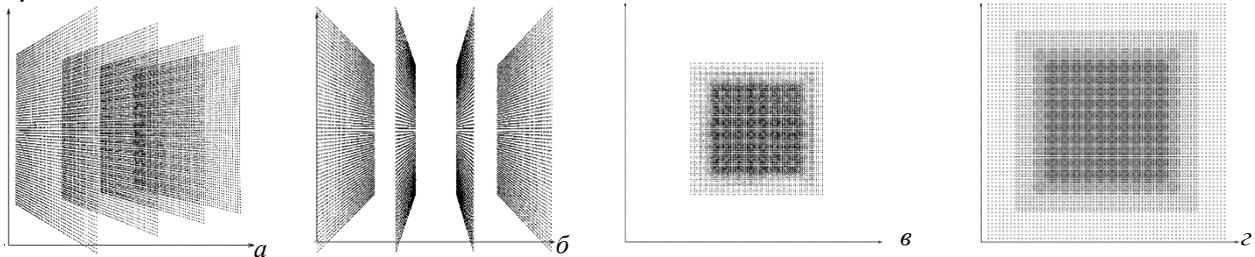


Рис. 4. Основные схемы трансформации 3D куба при использовании АРС ультразвуковой диагностики: а, б – поворот куба; в, г – сжатие/растяжение куба

Реализация программного модуля для трансформации и визуализации 3D куба выполнена с использованием:

- языка программирования C++, используемого для реализации основного функционала модулей;
- функций и процедур библиотеки OpenGL, не зависящий от платформы программный интерфейс для написания приложений, использующих двумерную и трёхмерную компьютерную графику;
- кроссплатформенной библиотеки Qt для создания графических пользовательских интерфейсов (GUI) от фирмы TrollTech. Эта библиотека полностью объектно-ориентированная, что обеспечивает легкое расширение возможностей и создание новых компонентов;
- библиотеки GLM (OpenGLMathematics), позволяющие использовать данные для OpenGL.

На рис. 5 приведен вид нескольких рабочих окон модуля программного продукта, реализованных для решения задачи.

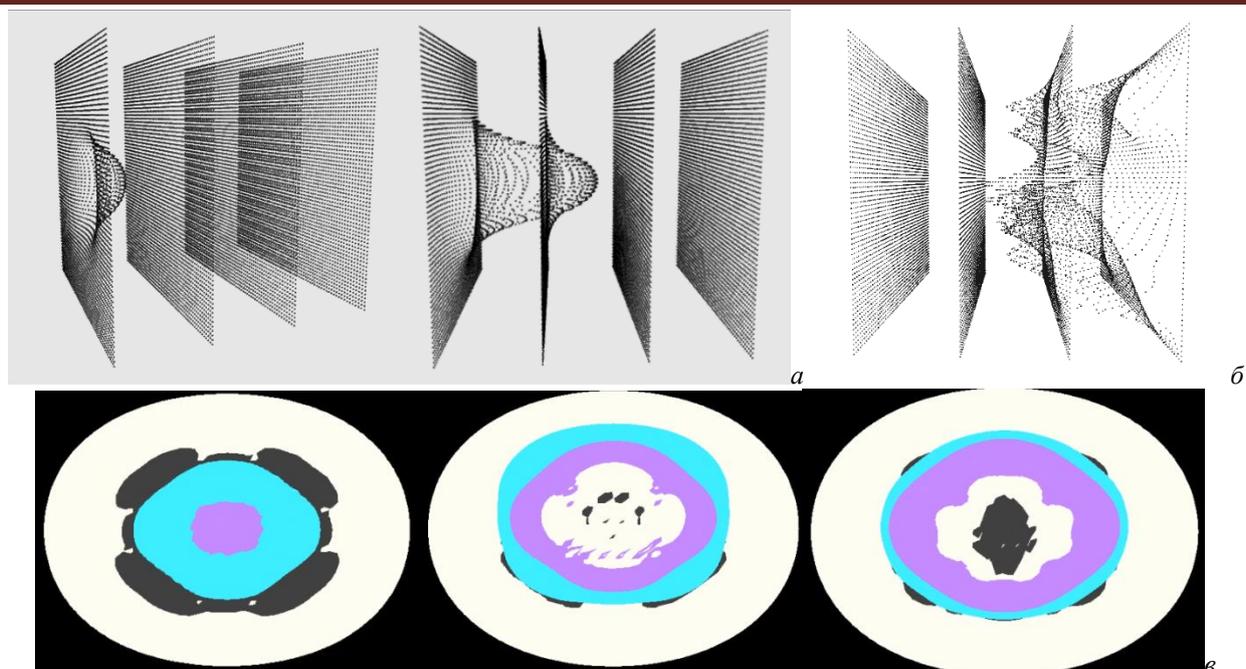


Рис. 5. Результаты трансформации и визуализации: а – визуализация процесса деформации; б – деформация тела по выбранным узлам; в – деформация наполненной полигональной сетки

Перспективы развития

В настоящей статье представлены результаты начального этапа разработки программного обеспечения для модуля трансформации и визуализации информации, которая представлена в виде 3D куба, наполненного структурными элементами объекта реального мира. Перспективными направлениями развития проекта являются:

- позиционирования джойстика на поверхности объекта реального мира;
- автоматический анализ получаемого изображения, в ходе которого выявляются внутренние структурные элементы с определением площади плоских элементов и объема 3D элементов;
- построение дерева классификации объектов;
- построение дерева принятия решений по классификации объектов с точки зрения медицинской диагностики.

Заключение

1. Анализ источников показал отсутствие аналогов и прототипов программного и аппаратного обеспечения АРС, способного в обучающем и удаленном режимах выполнять элементы УЗИ диагностики для объектов как реального, так и виртуального мира.

2. Анализ функций специалиста по УЗИ диагностики позволил выполнить сопоставление действий специалиста и модулей программного обеспечения.

3. Наибольшую сложность при разработке программного обеспечения для АРС составляет формирование библиотеки исходных данных, близких по форме и структуре к изображениям, получаемых реальных аппаратов.

4. Начальный этап исследования показал достижимость результатов при выбранной концепции реализации.

Список использованных источников

1. Хан, М.Д. Основанные на изображениях способ представления и визуализации трехмерного объекта и способ представления и визуализации анимированного объекта. / М.Д. Хан, А.В. Игнатенко Патент на изобретение RU 2216781 С2, 20.11.2003. Заявка № 2001118221/09 от 29.06.2001.
2. Григоров, И.Г. Способ формирования изображения поверхности объекта. Патент на изобретение RU 2707980 С1, 03.12.2019. Заявка № 2019114912 от 16.05.2019.
3. Веселов В.И., Филин Ю.Н.2, Картавцев Н.С. Архитектурное построение формографики инфо-гиперкубов // Инновации: перспективы, проблемы, достижения. 2015. С. 273-280.
4. Супель А.1, Хвостов П.М.1, Игнатъев К.Е. Оценка эффективности проектирования трехмерных полигональных моделей как способа визуализации иллюстративной информации // Современные информационные технологии: сб. тр. по . 5-я Всер. науч.-техн. конф, М.: ООО «Научный консультант», 2019. С. 115-120.

5. Остапов Д.С., Усатииков С.В. Программа для построения базы данных с обучающей выборкой для распознавания плоских изображений объектов природного происхождения, с качественной и количественной оценкой состояния поверхности единичных объектов и их массового количества. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2016618408, 28.07.2016. Заявка № 2016615486 от 30.05.2016.
6. Алексанян Г.К., Щербаков И.Д., Кучер А.И. Программа визуализации внутренних структур исследуемого объекта методом электроимпедансной томографии (Визуализация 3D-EIT1). Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018666295, 13.12.2018. Заявка № 2018662721 от 13.11.2018.
7. Ксенофонтов С. Ю. Способ трехмерной визуализации внутренней структуры исследуемого объекта в реальном времени. Патент на изобретение RU 2681348 С1, 06.03.2019. Заявка № 2018114616 от 19.04.2018
8. Блохинов Ю.Б., Веркеенко М.С. Алгоритмы построения цифровых трехмерных моделей уникальных объектов. Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2011. № 4. С. 118-131.
9. Галкин В.И., Анохин А.О., Галкин Е.В., Преображенский Е.В., Палтиевиц А.Р. Способ получения 3-мерной модели поверхности объекта. Патент на изобретение RU 2427796 С1, 27.08.2011. Заявка № 2009148280/28 от 25.12.2009.
10. Городничев М.Г., Гематудинов Р.А., Кухаренко А.М. О некоторых методах визуализации динамических 3D моделей // Экономика и качество систем связи. 2018. №1(7). С 18-29.
11. Жилияков Е.Г., Лихошерстный А.Ю. Архитектура нейросети в задаче прецедентного распознавания объектов на изображениях с использованием частотных признаков // Вопросы радиоэлектроники. 2013. Т. 4. № 1. С. 35-45.
12. Лиманова Н.И., Труханов А.С. Визуализация объектов компьютерной томографии //Наука без границ. 2018. № 5 (22). С. 52-54.
13. Багутдинов Р.А. Идея многоракурсной системы технического зрения для формирования 3D-моделей поверхности объекта в задачах разработки мобильных роботов //Программные системы и вычислительные методы. 2017. № 4. С. 1-6.
14. Автоматизация научных исследований нарушения сплошности плоской поверхности: конструкционное решение программно-аппаратного комплекса / О.С. Логунова [и др.] // Электротехнические системы и комплексы. 2020. № 1 (46). С. 54-59.
15. Литвинова Ю.С., Максименко-Шейко К.В. // Аналитическая идентификация трехмерных геометрических объектов по информации о форме их сечений. Проблемы машиностроения. 2017. Т. 20. № 1. С. 45-51.
16. Глаз А.Б., Тимухин А.А. Восстановление 3d поверхности лиц на базе исходных 2D изображений // Математические методы распознавания образов. 2005. Т. 12. № 1. С. 69-72.
17. Проективнографическое формообразование инфо-гиперкубов: теоретические и методические аспекты / Ю.Н. Филин [и др.] // Строительство: наука и образование. – 2015. – № 1. – С. 5.
18. Математическое моделирование разрушения элементов строительных конструкций под действием динамической нагрузки / Г.М. Журавлев [и др.] // Чебышевский сборник. – 2019. – Т. 20. – № 4 (72). – С. 372-386.
19. Бубис, Е.Л. Визуализация периода трансформации состояния поляризации в кристалле исландского шпата (аналог опыта умава) // Успехи современного естествознания.– 2008. – № 3. – С. 54.
20. Гниненко И.А. Разработка 3D моделей для лаборатории 3D визуализации и компьютерной графики //Сб. тр. межвуз. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В. Арменского, М.: Изд-во НИУ ВШЭ. 21. Осинцев А.В., Очков К.Ю. Визуализация перемещений и деформаций методом цифровой корреляции изображений // 2016 . Т. 8. № 2. С. 15-23. 22. Бугакова Т.Ю. Трехмерное моделирование деформации инженерного объекта методом сплайн-интерполяции // Вестник СГУГИТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). Новосибирск. 2019. С. 96-105. 23. Кравченко А.М., Семеренко И.П., Икама Д.Л. Моделирование и визуализация напряженно- деформированного состояния механических систем в условиях современной образовательной среды //Научный резерв. 2019. № 4 (8). С. 92-98. 24. Бугакова Т.Ю., Шляхова М.М. 3D-моделирование и визуализация деформации поверхности на примере купола новосибирского планетария // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. Новосибирск. 2015. Т.5. С. 63-67. 25. Орлов С.Г., Шабров Н.Н. Вершинный шейдер для визуализации деформируемой пластины // Научная визуализация. 2016 . Т. 8. № 2. С. 1-14.
26. Гора С.Ю., Довгаль В.М. Метод и инструментальные средства решения задачи сжатия изображений с использованием механизмов хаотической динамики // Ученые записки. Электронный научный журнал курского государственного университета. 2012. № 4-2 (24). С. 25-28.
27. Дерюгина Е.О., Борсук Н.А., Васина Е.В. Подход к реализации 3D-моделей эксклюзивных экспонатов музея по их фотографиям // Электромагнитные волны и электронные системы. М.: «Радиотехника». Т. 24. № 7. С. 48-55. 28. Кознов Д.В., Ларчик Е.В.1, Терехов А.Н. Трансформация динамических представлений в предметно-ориентированном визуальном моделировании // Программирование. 2015 . № 4. С. 3-12. 29. Картавец И.С., Веселов В.И. Архикуб-изоконструктор трансформации формографики // Кономически эффективные и экологически чистые инновационные технологии: сб. тр. междун. науч.-практ. конф., М.: Изд-во Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова. С. 156-160. 30. Бугакова Т.Ю., Борисов Д.А. Разработка методики определения пространственно-временного состояния техногенных объектов //Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2015. № S5. С. 246-250.
31. Клячин А., Клячин В., Григорьева Е. Визуализация расчета формы поверхностей минимальной площади //Научная визуализация. 2014. Т. 6. № 2. С. 34-42.

32. Симонов Е.Н., Прохоров А.В., Акинцева А.В. Математическое моделирование реконструкции объемных изображений в рентгеновской компьютерной томографии с применением голографических методов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2019. Т.12. № 3. С. 102-114.
33. Вяткин С.И., Городилов М.А., Долговесов Б.С. Геометрическое моделирование и визуализация функционально заданных объектов на базе функций ВОЗМУЩЕНИЯ С использованием графических акселераторов // Научная визуализация. 2010. Т. 2. № 3. С. 22-49.
34. Парфентьев К.В., Гаврилов А.И. Построение моделей подстилающей поверхности на основе реконструкции данных мультиспектрального мониторинга // Интернет-журнал Науковедение. 2017. Т. 9. № 6. С. 141.
36. Бастов Г.А. Технологии графической трансформации объектов в условиях использования компьютерной графики // Дизайн и технологии. 2016. № 51 (93). С. 6-12.
36. Черников И.С., Крыловецкий А.А. Реконструкция и распознавание объектов в системах компьютерного зрения. Телематика 2009: сб. тр. XVI Всерос. науч.-метод. конф. Санкт-Петербург. Изд-во: Санкт-Петербургский гос. ун-т информац. технологий, механики и оптики, 2009. С. 314-315.

Материал поступил в редакцию: 02.12.2020

Материал принят к публикации: 05.12.2020

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

CONSOLIDATION OF INFORMATION FOR ASSISTING ROBOTECNICAL SYSTEM: TRANSFORMATION AND VISUALIZATION

Sagadiev S., Ilna E.A., Logunova O.S., Kuhta YU.B., Nikolaev A.A.

Abstract. The article presents the results of an initial research on the development of software for information processing in an assisting robotic system. The aim of the study is to synthesize a set of algorithms that allow transforming a digital cube, corresponding to its compression and stretching at any angle to the surface with a given force, and visualizing the results of the transformation in a volumetric form and in any plane section. The work presents the solution of problems: the formation of a 3D image in the form of a digital cube with the possibility of its stratification along a discrete grid; consolidation of information during transformation and visualization of a virtual object, formation of a scheme of correspondence between the actions of a specialist, an expert and a robotic system. The work was carried out in 2019-2020. As a result of the research, the following were designed and developed: a general concept of an assisting robotic system, a software module for transformation and visualization of a quasi-cube of a virtual object. The directions of the system development are determined.

Keywords: assisting robotic system, 3D image, image transformation, digital cube for an image, compression of a digital cube, composition of transformations for layer-by-layer visualization.

References

1. Han, M.D. Osnovannyye na izobrazheniyah sposob predstavleniya i vizualizatsii trekhmernogo ob"ekta i spo-sob predstavleniya i vizualizatsii animirovannogo ob"ekta. / M.D. Han, A.V. Ignatenko Patent na izobretenie RU 2216781 C2, 20.11.2003. Zayavka № 2001118221/09 ot 29.06.2001.
2. Grigorov, I.G. Sposob formirovaniya izobrazheniya poverhnosti ob"ekta. Patent na izobretenie RU 2707980 C1, 03.12.2019. Zayavka № 2019114912 ot 16.05.2019.
3. Veselov V.I.1, Filin YU.N.2, Kartavcev N.S. Arhitekturnoe postroenie formografiki info-giperkubov // Innovacii: perspektivy, problemy, dostizheniya. 2015. S. 273-280.
4. Supel' A.I., Hvosstov P.M.1, Ignat'ev K.E. Ocenka effektivnosti proektirovaniya trekhmernih poligonal'-nyh modelej kak sposoba vizualizatsii illyustrativnoj informacii // Sovremennyye informacionnyye tekhnologii: sb. tr. po . 5-ya Vser. nauch.-tekhn. konf, M.: OOO «Nauchnyj konsul'tant», 2019. S. 115-120.
5. Ostapov D.S., Usatikov S.V. Programma dlya postroeniya bazy dannyh s obuchayushchej vyborkoj dlya raspoznavaniya ploskih izobrazhenij ob"ektov prirodnoho proiskhozhdeniya, s kachestvennoj i kolichestvennoj ocenкой sostoyaniya poverhnosti edinichnyh ob"ektov i ih massovogo kolichestva. Svidetel'stvo o registracii pro-grammy dlya EVM RU 2016618408, 28.07.2016. Zayavka № 2016615486 ot 30.05.2016.
6. Aleksanyan G.K., SHCHerbakov I.D., Kucher A.I. Programma vizualizatsii vnutrennih struktur issleduemogo ob"ekta metodom elektroimpedansnoj tomografii (Vizualizatsiya 3D-EIT1). Svidetel'stvo o registracii pro-grammy dlya EVM RU 2018666295, 13.12.2018. Zayavka № 2018662721 ot 13.11.2018.
7. Ksenofontov S. YU. Sposob trekhmernoj vizualizatsii vnutrennej struktury issleduemogo ob"ekta v real'-nom vremeni. Patent na izobretenie RU 2681348 C1, 06.03.2019. Zayavka № 2018114616 ot 19.04.2018
8. Blohinov YU.B., Verkeenko M.S. Algoritmy postroeniya cifrovyyh trekhmernih modelej unikal'nyh ob"ek-tov. Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya. 2011. № 4. S. 118-131.
9. Galkin V.I., Anohin A.O., Galkin E.V., Preobrazhenskij E.V., Paltievich A.R. Sposob polucheniya 3-mernoj modeli poverhnosti ob"ekta. Patent na izobretenie RU 2427796 C1, 27.08.2011. Zayav-ka № 2009148280/28 ot 25.12.2009.
10. Gorodnichev M.G., Gematudinov R.A., Kuharenko A.M. O nekotoryh metodah vizualizatsii dinamicheskikh 3D modelej // Ekonomika i kachestvo sistem svyazi. 2018. №1(7). S 18-29.
11. ZHilyakov E.G., Lihosherstnyj A.YU. Arhitektura nejroseti v zadache precedentnogo raspoznavaniya ob"ek-tov na izobrazheniyah s ispol'zovaniem chastotnyh priznakov // Voprosy radioelektroniki. 2013. Т. 4. № 1. S. 35-45.
12. Limanova N.I., Truhanov A.S. Vizualizatsiya ob"ektov komp'yuternoj tomografii // Nauka bez granic. 2018. № 5 (22). S. 52-54.
13. Bagutdinov R.A. Ideya mnogorakursnoj sistemy tekhnicheskogo zreniya dlya formirovaniya 3D-modelej po-verhnosti ob"ekta v zadachah razrabotki mobil'nyh robotov // Programmnyye sistemy i vychislitel'nye meto-dy. 2017. № 4. S. 1-6.

14. Logunova O.S., Andreev S.M., Garbar E.A., Markevich A.V., Nikolaev A.A. Avtomatizatsiya nauchnyh issledovaniy narusheniya sploshnosti ploskoj poverhnosti: konstrukcionnoe reshenie programmno-apparatnogo kompleksa // Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы. 2020. № 1 (46). S. 54-59.
15. Litvinova YU.S., Maksimenko-Shejko K.V. // Analiticheskaya identifikatsiya trekhmernyh geometricheskikh ob'ektov po informatsii o forme ih sechenij. Problemy mashinostroeniya. 2017. T. 20. № 1. S. 45-51.
16. Glaz A.B., Timuhin A.A. Vosstanovlenie 3d poverhnosti lic na baze iskhodnyh 2D izobrazhenij // Matematika-ticheskie metody raspoznavaniya obrazov. 2005. T. 12. № 1. S. 69-72.
17. Filin YU.N., Kofanov A.V. i dr. Proektivograficheskoe formoobrazovanie info-giperkubov: teoreticheskie i metodicheskie aspekty // Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie. 2015. № 1. S. 5.
18. ZHuravlev G.M., Telichko V.G., Kurien N.S. i dr. Matematicheskoe modelirovanie razrusheniya elementov stroitel'nyh konstrukcij pod dejstviem dinamicheskoy nagruzki // CHEbyshevskij sbornik. 2019. T. 20. № 4 (72). S. 372-386.
19. Bubis E.L. Vizualizatsiya perioda transformatsii sostoyaniya polyarizatsii v kristalle islandskogo shpata (analog opyta umova) // Uspekhi sovremennoego estestvoznaniya. 2008. № 3. S. 54.
20. Gninenko I.A. Razrabotka 3D modelej dlya laboratorii 3D vizualizatsii i komp'yuternoj grafiki // Sb. tr. mezhvuz. nauch.-tekh. konf. studentov, aspirantov i molodyh specialistov im. E.V. Armenskogo, M.: Izd-vo NIU VSHE.
21. Osincev A.V., Ochkov K.YU. Vizualizatsiya peremeshchenij i deformatsij metodom cifrovoj korrelyatsii izobrazhenij // 2016. T. 8. № 2. S. 15-23.
22. Bugakova T.YU. Trekhmernoe modelirovanie deformatsii inzhenernogo ob'ekta metodom splajn-interpolyatsii // Vestnik SGUGIT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologij). Novo-sibirsk. 2019. S. 96-105.
23. Kravchenko A.M., Semerenko I.P., Ikama D.L. Modelirovanie i vizualizatsiya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya mekhanicheskikh sistem v usloviyah sovremennoj obrazovatel'noj sredy // Nauchnyj rezerv. 2019. № 4 (8). S. 92-98.
24. Bugakova T.YU., Shlyahova M.M. 3D-modelirovanie i vizualizatsiya deformatsii poverhnosti na primere kupola novosibirskogo planetariya // INTEREKSP0 GEO-SIBIR'. Novosibirsk. 2015. T.5. S. 63-67.
25. Orlov S.G., SHabrov N.N. Vershinnyj shejder dlya vizualizatsii deformiruemoj plastiny // Nauchnaya vizualizatsiya. 2016. T. 8. № 2. S. 1-14.
26. Gora S.YU., Dovgal' V.M. Metod i instrumental'nye sredstva resheniya zadachi szhatiya izobrazhenij s ispol'zovaniem mekhanizmov haoticheskoy dinamiki // Uchenye zapiski. Elektronnyj nauchnyj zhurnal kurskogo gosudarstvennogo universiteta. 2012. № 4-2 (24). S. 25-28.
27. Deryugina E.O., Borsuk N.A., Vasina E.V. Podhod k realizatsii 3D-modelej ekskluzivnyh eksponatov muzeya po ih fotografiyam // Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy. M.: «Radiotekhnika». T. 24. № 7. S. 48-55.
28. Koznov D.V., Larchik E.V.1, Terekhov A.N. Transformatsiya dinamicheskikh predstavlenij v predmetno-orientirovannom vizual'nom modelirovanii // Programirovanie. 2015. № 4. S. 3-12.
29. Kartavcev I.S., Veselov V.I. Arhikub-izokonstruktor transformatsii formografiki // Konomicheski ef-fektivnye i ekologicheski chistye innovacionnye tekhnologii: sb. tr. mezhdun. nauch.-prakt. konf., M.: Izd-vo Rossijskij ekonomicheskij universitet imeni G.V. Plekhanova. S. 156-160.
30. Bugakova T.YU., Borisov D.A. Razrabotka metodiki opredeleniya prostranstvenno-vremennogo sostoyaniya tekhnogennyh ob'ektov // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geodeziya i aerofotos'emka. 2015. № S5. S. 246-250.
31. Klyachin A., Klyachin V., Grigor'eva E. Vizualizatsiya rascheta formy poverhnostej minimal'noj ploshchadi // Nauchnaya vizualizatsiya. 2014. T. 6. № 2. S. 34-42.
32. Simonov E.N., Prohorov A.V., Akinceva A.V. Matematicheskoe modelirovanie rekonstrukcii ob'emnyh izobrazhenij v rentgenovskoj komp'yuternoj tomografii s primeneniem golograficheskikh metodov // Vestnik YUzh-no-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematicheskoe modelirovanie i programirovanie. 2019. T.12. № 3. S. 102-114.
33. Vyatkin S.I., Gorodilov M.A., Dolgovesov B.S. Geometricheskoe modelirovanie i vizualizatsiya funktsional'no zadannyh ob'ektov na baze funktsij VOZMUSHCHENIYA S ispol'zovaniem graficheskikh akseleratorov // Nauchnaya vizualizatsiya. 2010. T. 2. № 3. S. 22-49.
34. Parfent'ev K.V., Gavrilo A.I. Postroenie modelej podstilayushchej poverhnosti na osnove rekonstrukcii dannyh mul'tispektral'nogo monitoringa // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2017. T. 9. № 6. S. 141.
35. Bastov G.A. Tekhnologii graficheskoy transformatsii ob'ektov v usloviyah ispol'zovaniya komp'yuternoj grafiki // Dizajn i tekhnologii. 2016. № 51 (93). S. 6-12.
36. Chernikov I.S., Kryloveckij A.A. Rekonstruktsiya i raspoznavanie ob'ektov v sistemah komp'yuternogo zreniya. Telematika 2009: sb. tr. XVI Vseros. nauch.-metod. konf. Sankt-Peterburg. Izd-vo: Sankt-Peterburgskij gos. un-t informac. tekhnologij, mekhaniki i optiki, 2009. S. 314-315.

ОБ АВТОРАХ:

Сагадиев С., Ильина Е.А., Логунова О.С., Кухта Ю.Б., **Гарбар Евгений Александрович** – аспирант кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: evgenyjam@yandex.ru. **Николаев Антон Андреевич** – студент кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: aanton2001@gmail.com

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Сагадиев С., Ильина Е.А., Логунова О.С., Кухта Ю.Б., Николаев А.А. Консолидация информации для ассистирующей роботехнической системы: трансформация и визуализация // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2020. – Т.8. – № 1. – С. 31-38.

DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-31-38.

Sagadiev S., Ilyina E.A., Logunova O.S., Kuhta YU.B. and Nikolaev A.A. (2020) Consolidation of information for assisting robotechanical system: transformation and visualization. Software of systems in the industrial and social fields. 8 (1): 31-38. DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-31-38

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ**SHORT MESSAGES**

УДК 001.891.32

DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-39-40

ПЕНСИЯ КАЗАХСТАНЦЕВ В 2021 ГОДУ*Сарина А.Ж.*

Министерство финансов РК разработан проект закона «О республиканском бюджете на 2021-2023 годы». В данном проекте говорится, что с первого января 2021 года пенсия казахстанцев увеличится на 7%. Согласно данному проекту, предусматриваются следующие изменения:

- минимальный размер заработной платы – 42 500 тенге;
- минимальный размер государственной базовой пенсионной выплаты – 18 524 тенге;
- минимальный размер пенсии – 43 272 тенге;
- месячный расчетный показатель для исчисления пособий и иных социальных выплат, а также применения штрафных санкций, налогов и других платежей в соответствии с законодательством Республики Казахстан – 2 917 тенге;
- величину прожиточного минимума для исчисления размеров базовых социальных выплат – 34 302 тенге.

В том же документе сказано о повышении пенсии с 1 января 2021 года. «Установить, что средства, направленные на пенсионные выплаты по возрасту и пенсионные выплаты за выслугу лет, предусмотрены с учетом повышения их размеров с 1 января 2021 года на 7 процентов», — говорится в проекте закона «О республиканском бюджете на 2021-2023 годы» [1]. В проекте закона рассматриваются планы на 2021 год целевого трансферта из Национального фонда в республиканский бюджет в сумме один триллион тенге на цели, определенные Президентом Республики Казахстан. В дальнейшем проект поступит в Парламент РК на рассмотрение.

Целью данных исследований является раскрытие возможностей пенсионной системы как информацией для будущего пенсионера, т.к. создатели Концепции модернизации пенсионной системы разделили всех казахстанцев на несколько категорий. Основным критерием такой классификации стала дата выхода на пенсию. Поэтому рассмотрены новшества, которые сулит пенсионная модернизация каждой из групп [2].

В 2020 году Президент Касым-Жомарт Токаев заявил, что в течение пяти лет на ежегодную индексацию пенсии потратят больше трех триллионов тенге. Этого хватит, чтобы индексировать пенсии на два процента выше инфляции. Уже в 2021 году для женщин возраст выхода на пенсию повысился и составил 60 лет. Напомним, в 2020 году возраст выхода на пенсию был определен на уровне 59 с половиной лет. Для мужчин все по-прежнему – 63 года. В общем страна продолжает свой путь, выбранный еще в 2016 году [3-4]. Все правила, законы, положения и указы выполняются. Будущий пенсионер заранее готовится к выходу на пенсию, производит сбор соответствующих документов, постоянно следит за изменениями в стране, в экономике и в политике. Выбранный стратегии отработаны в полной мере, все указы президента выполняются:

- повышена пенсия на 7% - пенсионеры уже получили повышенную пенсию;
- поэтапное повышение пенсионного возраста у женщин Казахстана продолжается;
- единый накопительный пенсионный фонд стал прозрачным – можно каждый месяц наблюдать за пенсионными отчислениями;
- появилась возможность забрать пенсионные отчисления на определенные нужды, а именно покупка жилья, для поправки здоровья и особые условия.

Основные принципы пенсионного обеспечения страны сохранены, т.е. многоуровневая система: солидарный компонент, обязательная накопительная часть и добровольные накопления. Сохранены и основные параметры накопительной пенсионной системы: персонали-

кация счетов, собственность накоплений и их наследование, а также государственная гарантия сохранности пенсионных взносов.

Список используемой источников

1. Проект закона «О республиканском бюджете на 2021-2023 годы».
2. Послание Президента Республики Казахстан Н.А. Назарбаева народу Казахстана «Стратегия Казахстана 2050 новый политический курс состоявшегося государства» / Назарбаев Н.А.: «Стратегия Казахстана 2050 новый политический курс состоявшегося государства», 2015 г.
3. Республика Казахстан. Закон от 20.06.97 №136-1. О пенсионном обеспечении в Республике Казахстан // Информационная система «Параграф». – Алматы «Параграф», 2010.
4. Правительство Республики Казахстан. Об утверждении Правил взимания комиссионного вознаграждения накопительными пенсионными фондами: Постановление от 5 февраля 2003 года № 132 // База данных «Закон», версия 6 – Алматы: Республиканский центр правовой информации, 2010.

ОБ АВТОРАХ:

Сарина Асель Жумабаевна – преподаватель кафедры «Информационных систем» Костанайский региональный университет им Ахмета Байтурсынова, E-mail: sarina.asel@mail.ru.

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Сарина А.Ж. Пенсия казахстанцев в 2021 году / А.Ж. Сарина // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2020. – Т.8. – № 1. – С. 39-40. DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-39-40.
