

Содержание

Прикладная математика	2
<i>Павлов В.Д.</i> Обобщение на n-симплексы некоторых соотношений для треугольников ..	2
<i>Попов И.П.</i> Математическая модель трииндуктивного осциллятора	9
<i>Погодин И.Е.</i> О векторном произведении в n-мерном пространстве	12
Математическое обеспечение	16
<i>Каландаров П.И., Мукимов З.М., Абдуллаев Х.Х., Аvezов Н.Э.</i> Математическая и эмпирическая основа измерения влажности твердых и сыпучих материалов	16
<i>Сиддииков И.Х., Каландаров П.И., Ядгарова Д.Б., Исмагуллаев Х.Н.</i> Алгоритм адаптации параметров нейро-нечеткого регулятора на основе метода разности площадей	22
Моделирование	29
<i>Повитухин С.А., Королева В.В., Логунова О.С., Ячменева В.В.</i> Описание структуры модели логистической сети организации	29
Программное обеспечение	33
<i>Абдулвелеева Р.Р., Иванин Е.М.</i> Программное обеспечение для анализа данных о дефектах металлопродукции	33
Краткие сообщения	37
<i>Великанов В.С.</i> Инструменты прогнозной аналитики в сокращении простоев строительных, дорожных и горных машин	37
<i>Ильина Е.А., Горлова Е.А., Шеметова О.И.</i> Геймификация при изучении python на платформе PythonChic	38
<i>Василенко П.А., Кочержинская Ю.В.</i> Разработка проблемно-ориентированной системы управления электронным документооборотом для регионального отделения государственного земельного надзора	39

Contents

Applied mathematics	2
<i>Popov I.P.</i> About some calculations of electrostatic field energy	8
<i>Popov I.P.</i> Mathematical model of a tri-inductive oscillator	11
<i>Pogodin I.E.</i> On the vector product in n-dimensional space	15
Mathematical support	16
<i>Kalandarov P.I., Mukimov Z.M., Abdullaev H.H., Avezov N.E.</i> Measurement of humidity of solid and bulk materials	20
<i>Siddikov I.H., Kalandsrov P.I., Yadgarova D.B., Ismatullaev X.N.</i> Algorithm of neuro-fuzzy controller parameter adaptation based on the method of area difference	27
Modeling	29
<i>Povitukhin S.A., Koroleva V.V., Logunova O.S., Yachmeneva V.V.</i> Organization's logistic network model structure	31
Short messages	37

УДК 514.1

DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-2-9

**ОБОБЩЕНИЕ НА n -СИМПЛЕКСЫ НЕКОТОРЫХ СООТНОШЕНИЙ
ДЛЯ ТРЕУГОЛЬНИКОВ***Павлов В.Д.*

Аннотация. Многомерные симплексы, частными случаями которых являются тетраэдры и треугольники, широко используются как в науке, так и в технических приложениях. Рассматриваемые теоремы являются обобщением на n -мерные симплексы некоторых положений и теорем для треугольников и тетраэдров, являющихся, соответственно, двумерными и трехмерными симплексами. Дано определение угла n -симплекса, под которым понимается угол между двумя его гранями. Вводится представление об ориентации элементов n -симплексов относительно друг друга. Дано правило определения последовательности рассмотрения вершин при аналитическом описании граней n -симплекса. Доказан ряд теорем для n -симплексов, в т.ч. теорема косинусов, теорема Пифагора, теорема о проекциях и др. Приведенные теоремы справедливы также для n -симплексов, порядок которых ниже порядка пространства, в котором они рассматриваются.

Ключевые слова: n -симплекс, косинус, проекция, тетраэдр, треугольник.

Введение

Многомерные симплексы, частными случаями которых являются тетраэдры и треугольники, широко используются как в науке, так и в технических приложениях [1-5].

Рассматриваемые ниже теоремы являются обобщением на n -мерные симплексы некоторых положений и теорем для треугольников и тетраэдров, являющихся, соответственно, двумерными и трехмерными симплексами.

Определение 1. Угол n -симплекса – это угол между двумя его гранями.

При аналитическом описании граней n -симплекса, как частей линейных пространственных объектов (здесь и далее под линейными пространственными объектами будем понимать прямые, плоскости и гиперплоскости), проходящих через n точек, последние удобно рассматривать в последовательности, обуславливающей одинаковую ориентацию соответствующих линейных пространственных объектов относительно внутреннего пространства n -симплекса.

Например, для треугольника с вершинами $P_1(x_1, y_1)$, $P_2(x_2, y_2)$, $P_3(x_3, y_3)$ точки удобно рассматривать в таких последовательностях: (P_1, P_2) ; (P_2, P_3) ; (P_3, P_1) или (P_1, P_3) ; (P_3, P_2) ; (P_2, P_1) . При этом прямые, проходящие через соответствующие точки, будут ориентированы по часовой стрелке или против часовой стрелки каждая относительно внутреннего пространства треугольника.

Для тетраэдра с вершинами $P_1(x_1, y_1, z_1)$, $P_2(x_2, y_2, z_2)$, $P_3(x_3, y_3, z_3)$, $P_4(x_4, y_4, z_4)$ последовательности могут быть такими: (P_1, P_2, P_4) ; (P_1, P_4, P_3) ; (P_1, P_3, P_2) ; (P_2, P_3, P_4) или (P_1, P_4, P_2) ; (P_1, P_3, P_4) ; (P_1, P_2, P_3) ; (P_2, P_4, P_3) . При этом плоскости, проходящие через соответствующие точки, ориентированы каждая наружу или каждая внутрь относительно внутреннего пространства тетраэдра. И так далее.

Аналитические результаты

Рассмотрим две грани n -симплекса, линейные пространственные объекты которых ориентированы одинаково относительно его внутреннего пространства. Эти грани являются $(n-1)$ -симплексами. Местом их пересечения является $(n-2)$ -грань $((n-2)$ -симплекс). С этим $(n-2)$ -симплексом совпадают 2 линейных пространственных объекта порядка $(n-2)$, каждый из которых относится к своему $(n-1)$ -симплексу.

Предложение 1. Названные линейные пространственные объекты порядка $(n-2)$ ориентированы противоположно друг другу.

Действительно, для тетраэдра $P_1P_2P_3P_4$ линейным пространственным объектом, соответствующим ребру, по которому пересекаются грани $P_1P_2P_4$ и $P_1P_4P_3$, принадлежащим в

месте пересечения грани $P_1P_2P_4$, является прямая P_4P_1 . Соответственно грани $P_1P_4P_3$ – прямая P_1P_4 , проходящая в противоположном направлении.

Для четырехмерного симплекса $P_1P_2P_3P_4P_5$ такими объектами являются, например, плоскости, проходящие соответственно через точки P_1, P_3, P_4 и P_1, P_4, P_3 .

Индуктивно это предложение распространяется на любой n -симплекс.

На основе предложения 1 сформулируем правило определения последовательности рассмотрения вершин при аналитическом описании граней n -симплекса, имеющих общую вершину, как частей линейных пространственных объектов.

Правило 1. Все последовательности начинаются с общей вершины. Каждая следующая последовательность образуется из предыдущей путем вычеркивания вершины, стоящей на втором месте, и добавлением в конец вершины, отсутствующей в предыдущей последовательности. При этом при четном n следующим друг за другом последовательностям необходимо приписывать противоположные знаки, т.е. после того, как будут составлены все n последовательностей (n четное), нужно во всех четных или нечетных последовательностях сделать по нечетному числу перестановок.

Дело в том, что последовательность с вычеркнутой вершиной, стоящей на втором месте, определяет $(n - 2)$ -грань n -симплекса, по которой пересекаются две его грани, и при четном n отличается от предыдущей последовательности этих вершин четным числом перестановок, обуславливая одинаковую ориентацию линейных пространственных объектов, которым принадлежит эта $(n - 2)$ -грань, и соответствующим смежным граням. А в соответствии с предложением 1 ориентация должна быть противоположной.

Для треугольника $P_1P_2P_3$: (P_1, P_2) , $-(P_1, P_3)$ или $(P_1, P_2), (P_3, P_1)$.

Для тетраэдра $P_1P_2P_3P_4$: $(P_1, P_2, P_3), (P_1, P_3, P_4), (P_1, P_4, P_2)$.

Для четырехмерного симплекса $P_1P_2P_3P_4P_5$: $(P_1, P_2, P_3, P_4), -(P_1, P_3, P_4, P_5), (P_1, P_4, P_5, P_2), -(P_1, P_5, P_2, P_3)$ или $(P_1, P_2, P_3, P_4), (P_1, P_4, P_3, P_5), (P_1, P_4, P_5, P_2), (P_1, P_2, P_5, P_3)$.

И так далее.

Предложение 2. Угол между линейными пространственными объектами, соответствующими гранями n -симплекса, ориентированным одинаково относительно внутреннего пространства n -симплекса, равен $\pi - \alpha$, где α – угол между соответствующими гранями.

Действительно, для треугольника $P_1P_2P_3$ угол между P_1P_2 и P_3P_1 равен $\pi - \alpha$.

Для тетраэдра $P_1P_2P_3P_4$ угол между плоскостями, проходящими соответственно через точки P_1, P_2, P_4 и P_1, P_4, P_3 равен $\pi - \alpha$.

Индуктивно это предложение распространяется на любой n -симплекс.

Прежде, чем сформулировать и доказать ряд теорем, сопоставим известные выражения для объема граней и косинуса угла между гранями, а также уравнения линейных пространственных объектов, соответствующих граням, для симплексов различных порядков.

Для треугольника соответственно

$$d_3^2 = A_3^2 + B_3^2,$$

$$\text{где } A_3 = \begin{vmatrix} y_1 & 1 \\ y_2 & 1 \end{vmatrix}; B_3 = \begin{vmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \end{vmatrix};$$

$$\cos \alpha_{12} = \frac{A_1A_2 + B_1B_2}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}\sqrt{A_2^2 + B_2^2}};$$

$$A_1x + B_1y + C_1 = 0.$$

Для тетраэдра $S_4^2 = \frac{1}{4}(A_4^2 + B_4^2 + C_4^2)$,

$$\text{где } A_4 = \begin{vmatrix} y_1 & z_1 & 1 \\ y_2 & z_2 & 1 \\ y_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix}; B_4 = \begin{vmatrix} z_1 & x_1 & 1 \\ z_2 & x_2 & 1 \\ z_3 & x_3 & 1 \end{vmatrix}; C_4 = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix};$$

$$\cos \alpha_{12} = \frac{A_1 A_2 + B_1 B_2 + C_1 C_2}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2 + C_1^2} \sqrt{A_2^2 + B_2^2 + C_2^2}}, A_1 x + B_1 y + C_1 z + D_1 = 0.$$

Для четырехмерного симплекса

$$V_5^2 = \frac{1}{36} (A_5^2 + B_5^2 + C_5^2 + D_5^2),$$

где

$$A_5 = \begin{vmatrix} y_1 & z_1 & t_1 & 1 \\ y_2 & z_2 & t_2 & 1 \\ y_3 & z_3 & t_3 & 1 \\ y_4 & z_4 & t_4 & 1 \end{vmatrix}; B_5 = \begin{vmatrix} z_1 & x_1 & t_1 & 1 \\ z_2 & x_2 & t_2 & 1 \\ z_3 & x_3 & t_3 & 1 \\ z_4 & x_4 & t_4 & 1 \end{vmatrix}; C_5 = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & t_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & t_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & t_3 & 1 \\ x_4 & y_4 & t_4 & 1 \end{vmatrix}, D_5 = \begin{vmatrix} x_1 & z_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & z_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & z_3 & y_3 & 1 \\ x_4 & z_4 & y_4 & 1 \end{vmatrix},$$

$$\cos \alpha_{12} = \frac{A_1 A_2 + B_1 B_2 + C_1 C_2 + D_1 D_2}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2 + C_1^2 + D_1^2} \sqrt{A_2^2 + B_2^2 + C_2^2 + D_2^2}}; A_1 x + B_1 y + C_1 z + D_1 t + E_1 = 0.$$

Для n-симплекса

$$V_i^2 = \frac{1}{[(n-1)!]^2} \sum_{l=1}^n A_{li}^2,$$

где $A_{li} = (-1)^{l+1} \begin{vmatrix} x_{11} & x_{21} & \dots & x_{l1} & \dots & x_{n \neq 1} & 1 \\ x_{12} & x_{22} & \dots & x_{l2} & \dots & x_{n2} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1i} & x_{2i} & \dots & x_{li} & \dots & x_{n \neq i} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1(n+1)} & x_{2(n+1)} & \dots & x_{l(n+1)} & \dots & x_{n(n+1)} & 1 \end{vmatrix};$

$$\cos \alpha_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^n A_{li} A_{lj}}{\sqrt{\sum_{l=1}^n A_{l \neq i}^2} \sqrt{\sum_{l=1}^n A_{l \neq j}^2}}; \sum_{l=1}^n A_{li} x_l + A_{n+1} = 0.$$

Таким образом, в отношении указанных выражений симплексы для различных n изоморфны.

Теорема 1. (Теорема косинусов для n -симплексов). Для n -симплекса

$$V_i^2 = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} \left[V_j^2 - 2 \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i \\ k \rangle j}}^{n+1} V_j V_k \cos(H_j, H_k) \right], \quad (1)$$

где H_j, H_k – грани n -симплекса.

Доказательство. При аналитическом описании граней n -симплекса будем придерживаться правила 1. Перепишем правую часть выражения (1) в виде:

$$\frac{1}{[(n-1)!]^2} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} \left[\sum_{l=1}^n A_{lj}^2 - 2 \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i \\ k \rangle j}}^{n+1} \sqrt{\sum_{l=1}^n A_{lj}^2} \sqrt{\sum_{l=1}^n A_{lk}^2} (-1)^{\dots} \frac{\sum_{l=1}^n A_{lj} A_{lk}}{\sqrt{\sum_{l=1}^n A_{lj}^2} \sqrt{\sum_{l=1}^n A_{lk}^2}} \right] =$$

$$= \frac{1}{[(n-1) \leftrightarrow !]^2} \sum_{l=1}^n \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} A_{lj} \right)^2 = \frac{1}{[(n-1) \leftrightarrow !]^2} \sum_{l=1}^n \left[\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} \pm C_{lj(n+1)} \right]^2,$$

где $C_{lj(n+1)}$ – алгебраическое дополнение определителя $(n+1)$ -порядка (множитель (-1) обусловлен тем, что $\cos(\pi - \alpha) = -\cos \alpha$),

$$D_l = \begin{vmatrix} x_{11} & \dots & x_{l1} & \dots & x_{n1} & 1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1i} & \dots & x_{li} & \dots & x_{ni} & 1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1(n+1)} & \dots & x_{l(n+1)} & \dots & x_{n(n+1)} & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Знак перед $C_{lj(n+1)}$ зависит от выбора ориентации линейных пространственных объектов, к которым принадлежат грани n -симплекса, относительно его внутреннего замкнутого пространства.

Добавим к внутренней сумме и вычтем $C_{li(n+1)}$, тогда

$$\begin{aligned} & \frac{1}{[(n-1) \leftrightarrow !]^2} \sum_{l=1}^n \left[\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} \pm C_{l \leftrightarrow j(n+1)} + C_{li(n+1)} - C_{li(n+1)} \right]^2 = \\ & = \frac{1}{[(n-1) \leftrightarrow !]^2} \sum_{l=1}^n [\pm D_l \mp C_{li(n+1)}]^2 = \frac{1}{[(n-1) \leftrightarrow !]^2} \sum_{l=1}^n A_{li}^2 = V_i^2. \end{aligned}$$

Теорема доказана.

Определение 2. Грани ортогонального n -симплекса, пересекающиеся друг с другом под прямым углом, являются катетами. Грань, не являющаяся катетом, есть гипотенуза.

Предложение 3. В ортогональном n -симплексе содержится n катетов и одна гипотенуза.

Следствие. (Теорема Пифагора для ортогонального n -симплекса). Для ортогонального n -симплекса

$$V_G^2 = \sum_{i=1}^n V_{k \leftrightarrow i}^2.$$

Теорема 2. (Теорема о проекциях для n -симплекса). Для n -симплекса объем грани равен сумме проекций на нее объемов остальных граней, т.е.

$$V_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} [V_j \cos(H_i, H_j)]. \quad (2)$$

Доказательство. Перепишем правую часть выражения (2) в виде:

$$\frac{1}{(n-1)!} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} \sqrt{\sum_{i=1}^n A_{ij}^2} \cdot (-1) \sum_{l=1}^n A_{li} A_{il} \cdot \left(\sqrt{\sum_{l=1}^n A_{li}^2} \cdot \sqrt{\sum_{l=1}^n A_{lj}^2} \right)^{-1}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{-1}{(n-1)!} \left(\sqrt{\sum_{l=1}^n A_{lj}^2} \right)^{-1} \sum_{l=1}^n A_{li} \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} A_{lj} = \\
 &= \frac{-1}{(n-1)!} \left(\sqrt{\sum_{l=1}^n A_{lj}^2} \right)^{-1} \sum_{l=1}^n A_{li} \left[\sum_{j=1}^{n+1} C_{lj(n+1)} + C_{li(n+1)} - C_{li(n+1)} \right] = \\
 &= \frac{\pm 1}{(n-1)!} \left(\sqrt{\sum_{l=1}^n A_{lj}^2} \right)^{-1} \sum_{l=1}^n A_{li} [D_l \mp C_{li(n+1)}] = \pm \sum_{l=1}^n A_{li} A_{li} \cdot \frac{1}{(n-1)!} \left(\sqrt{\sum_{l=1}^n A_{lj}^2} \right)^{-1} = \\
 &= \pm \sum_{l=1}^n A_{li}^2 \cdot \frac{1}{(n-1)!} \cdot \left(\sqrt{\sum_{l=1}^n A_{lj}^2} \right)^{-1} = \frac{\pm 1}{(n-1)!} \sqrt{\sum_{l=1}^n A_{li}^2} = \pm V_i.
 \end{aligned}$$

Теорема доказана.

Теорема 3. Для ортогонального n -симплекса

$$\frac{V_{Ki}}{V_G} = \cos(G, K_i).$$

Доказательство. Из теоремы Пифагора

$$V_{Ki}^2 = V_G^2 - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n V_{Kj}^2.$$

Из теоремы косинусов

$$V_{Ki}^2 = V_G^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n V_{Kj}^2 - 2 \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n V_G V_{Kj} \cos(G, K_j) - 2 \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i \\ l \neq j}}^n V_{Kj} V_{Kl} \cos(K_j, K_l).$$

Последнее слагаемое равно нулю, отсюда

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n V_{Kj}^2 = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n V_G V_{Kj} \cos(G, K_j),$$

или

$$\frac{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n V_{Kj}^2}{V_G} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n V_{Kj} \cos(G, K_j).$$

Из теоремы «О проекциях»

$$V_G = V_{K_i} \cos(G, K_i) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n V_{K_j} \cos(G, K_j)$$

или

$$V_G = V_{K_i} \cos(G, K_i) + \frac{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n V_{K_j}^2}{V_G}, \quad V_G^2 = V_G V_{K_i} \cos(G, K_i) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n V_{K_j}^2.$$

Из теоремы Пифагора

$$V_{K_i}^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n V_{K_j}^2 = V_G V_{K_i} \cos(G, K_i) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n V_{K_j}^2$$

или

$$\frac{V_{K_i}}{V_G} = \cos(G, K_i).$$

Теорема доказана.

Теорема 4. Для ортогонального n -симплекса

$$\sum_i \cos^2 \alpha_i = 1.$$

Действительно, из теоремы Пифагора и из теоремы 3

$$\frac{V_G^2}{V_G^2} = \sum_{i=1}^n \frac{V_{K_i}^2}{V_G^2} = \sum_{i=1}^n \cos^2(G, K_i) = 1.$$

Предложение 4. В ортогональном n -симплексе угол между гипотенузой и любым катетом является острым.

Теорема 5. В ортогональном n -симплексе квадрат синуса любого угла равен сумме квадратов косинусов остальных углов, т.е.

$$\sin^2 \alpha_i = \sum_{j \neq i} \cos^2 \alpha_j.$$

Действительно,

$$\sum_{j \neq i} \cos^2 \alpha_j = 1 - \cos^2 \alpha_i = \sin^2 \alpha_i.$$

Заключение

Приведенные теоремы справедливы также для n -симплексов, порядок которых ниже порядка пространства, в котором они рассматриваются.

Список использованных источников

1. Буров, А.А. Установившиеся движения симметричного равногранного тетраэдра в центральном поле сил / А.А. Буров, Е.А. Никонова // Известия Академии наук СССР. Механика твердого тела. – 2021. – № 5. – С. 152-164.
2. Шодорова, С.Я. Смена знака приращения массы в параллельных симплексах четырехмерного пространства / С.Я. Шодорова, В.П. Воробьева, В.И. Луцык // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. – 2014. – № 4 (63). – С. 19-23.
3. Иванисенко, Н.С. Вариант формулы Стокса для симплекса в четырехмерном пространстве / Н.С. Иванисенко // Спектральные задачи, нелинейный и комплексный анализ : сб. тез. международ. науч. конф. – Уфа: Башкирск. гос. ун., 2015. – С. 60-63.
4. Болучевская, А.В. О сохранении ориентации симплексов при отображениях некоторых классов / А.В. Болучевская // Проблемы региона в исследованиях молодых ученых Волгоградской области : сб. науч. тр. – Волгоград : Волгоградский государственный университет, 2012. – С. 61-64.
5. Горлач, Б.А. Многомерные симплексы в оптимизационных задачах / Б.А. Горлач, А.Ю. Горлач // Прикладные задачи математики : сб. тр. XXIII Международ. научн.-техн. конф. – Севастополь: Федеральное государствен-

Материал поступил в редакцию: 25.12.2020

Материал принят к публикации: 02.02.2021

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ABOUT SOME CALCULATIONS OF ELECTROSTATIC FIELD ENERGY

Popov I.P.

Abstract. Multidimensional simplices, special cases of which are tetrahedrons and triangles, are widely used both in science and in technical applications. The considered theorems are a generalization to n -dimensional simplices of some statements and theorems for triangles and tetrahedra, which are, respectively, two-dimensional and three-dimensional simplices. The definition of the angle of an n -simplex is given, which is understood as the angle between its two faces. An idea of the orientation of the elements of n -simplices relative to each other is introduced. A rule is given for determining the sequence of consideration of vertices in the analytical description of the faces of an n -simplex. A number of theorems have been proved for n -simplices, incl. the cosine theorem, the Pythagorean theorem, the projection theorem, etc. The above theorems are also valid for n -simplices whose order is lower than the order of the space in which they are considered.

Keywords: n -simplex, cosine, projection, tetrahedron, triangle.

References

1. Burov, A.A. (2021) *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Mekhanika tverdogo tela*, 5: 152-164.
2. Shodorova, S.YA., Vorob'eva, V.P, Lucyk, V.I. (2014) *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyah*, 4 (63): 19-23.
3. Ivanisenko, N.S. (2015) Variant formuly Stoksa dlya simpleksa v chetyrekhmernom prostranstve. *Spektral'nye zadachi, nelinejnyj i kompleksnyj analiz*, Ufa, S. 60-63.
4. Boluchevskaya, A.V. (2012) O sohranении orientacii simpleksov pri otobrazheniyah nekotoryh klassov. *Problemy regiona v issledovaniyah molodyh uchenyh Volgogradskoj oblasti*, Volgograd: 61-64.
5. Gorlach, B.A., Gorlach, A.YU. (2015) Mnogomernye simpleksy v optimizacionnyh zadachah. *Prikladnye zadachi matematiki*, Sevastopol: 102-106.

ОБ АВТОРАХ:

Павлов Валентин Дмитриевич – старший преподаватель Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. Email: pavlov.val.75@mail.ru.

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Павлов, В.Д. Обобщение на n -симплексы некоторых соотношений для треугольников / В.Д. Павлов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2021. – Т.9. – № 1. – С. 2-8.
DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-2-8.

Pavlov V.D. (2021) Generalization to n -simplexes of some relations for triangles. Software of systems in the industrial and social fields. 9 (1): 2-8. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-2-8.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРИИНДУКТИВНОГО ОСЦИЛЛЯТОРА

Попов И.П.

Аннотация. Существуют осцилляторы с взаимным преобразованием кинетической энергии груза в энергию магнитного поля или с взаимным преобразованием кинетической энергии груза в энергию электрического поля. А также осцилляторы с взаимным преобразованием потенциальной энергии пружины в энергию электрического поля или с взаимным преобразованием потенциальной энергии пружины в энергию магнитного поля. Целью работы является построение математической модели трииндуктивного осциллятора. В LLL осцилляторе происходят свободные колебания тока (без питания извне). Это значит, что любая фаза является источником реактивной мощности двух других фаз. Это обстоятельство создает предпосылку снижения потока реактивной мощности в сети за счет взаимной компенсации реактивной мощности фаз. Другими словами, фазы симметричной нагрузки, по крайней мере, частично могут обмениваться реактивной мощностью между собой, а не с сетью.

Ключевые слова: осциллятор, энергия, трииндуктивный, колебания, реактивная мощность, фаза.

Введение

Известны два основных вида колебаний. Первое обусловлено взаимным преобразованием кинетической энергии груза в потенциальную энергию пружины. Второе – энергии магнитного поля катушки в энергию электрического поля конденсатора.

Относительно недавно описаны mL осцилляторы с взаимным преобразованием кинетической энергии груза в энергию магнитного поля [1-3] с собственной частой колебаний

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{y}{mL}},$$

где y – параметрический коэффициент.

Или с взаимным преобразованием кинетической энергии груза в энергию электрического поля (mC осцилляторы) [4, 5] с собственной частой колебаний

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{y}{mC}},$$

А также kC осцилляторы с взаимным преобразованием потенциальной энергии пружины в энергию электрического поля [6, 7] с собственной частой колебаний

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{yC}}.$$

Или с взаимным преобразованием потенциальной энергии пружины в энергию магнитного поля (kL осцилляторы) [8–10] с собственной частой колебаний

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{yL}}.$$

Почти сразу возник вопрос, а нельзя ли создать осциллятор с взаимным преобразованием энергии магнитного поля в энергию магнитного же поля другой катушки?

Целью работы является построение математической модели такого осциллятора.

Результаты

На рис. представлена схема LLL осциллятора.

Электрические уравнения LLL осциллятора:

$$B \ln R \frac{d\phi}{dt} \cos \phi = L \frac{di_1}{dt},$$

$$B \ln R \frac{d\phi}{dt} \cos \left(\frac{2}{3} \pi - \phi \right) = L \frac{di_2}{dt},$$

$$B \ln R \frac{d\phi}{dt} \cos \left(-\frac{2}{3} \pi - \phi \right) = L \frac{di_3}{dt}.$$

Отсюда

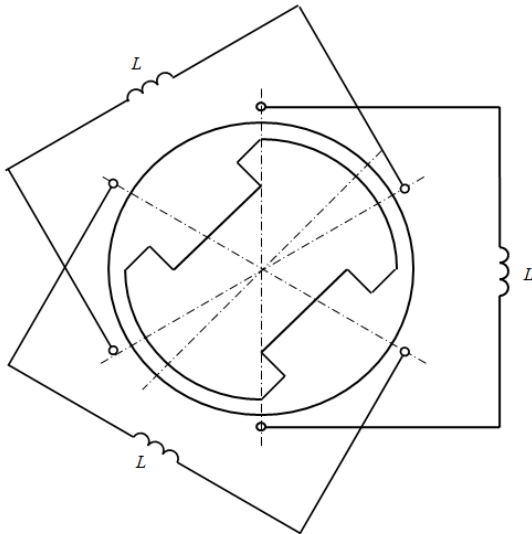
$$i_1 = -\frac{BlnR}{L} \sin \phi,$$

$$i_2 = \frac{BlnR}{L} \sin \left(\frac{2}{3}\pi - \phi \right),$$

$$i_3 = \frac{BlnR}{L} \sin \left(-\frac{2}{3}\pi - \phi \right).$$

Механический момент равен

$$\begin{aligned} & Blni_1R \cos \phi + Blni_2R \cos \left(\frac{2}{3}\pi - \phi \right) + Blni_3R \cos \left(-\frac{2}{3}\pi - \phi \right) = \\ & = -Bln \frac{BlnR}{L} \sin \phi R \cos \phi + Bln \frac{BlnR}{L} \sin \left(\frac{2}{3}\pi - \phi \right) R \cos \left(\frac{2}{3}\pi - \phi \right) + \\ & \quad + Bln \frac{BlnR}{L} \sin \left(-\frac{2}{3}\pi - \phi \right) R \cos \left(-\frac{2}{3}\pi - \phi \right) = \\ & = -\frac{(BlnR)^2}{2L} \sin 2\phi + \frac{(BlnR)^2}{2L} \sin \left(\frac{4}{3}\pi - 2\phi \right) + \frac{(BlnR)^2}{2L} \sin \left(-\frac{4}{3}\pi - 2\phi \right) = \\ & = -\frac{(BlnR)^2}{2L} \sin 2\phi + \frac{(BlnR)^2}{2L} \left(\sin \frac{4}{3}\pi \cos 2\phi - \cos \frac{4}{3}\pi \sin 2\phi \right) + \\ & \quad + \frac{(BlnR)^2}{2L} \left(-\sin \frac{4}{3}\pi \cos 2\phi - \cos \frac{4}{3}\pi \sin 2\phi \right) = 0. \end{aligned}$$



Модель LLL осциллятора

Это означает, что ротор вращается без ускорения и

$$\phi = \omega_0 t.$$

Следовательно,

$$i_1 = -\frac{BlnR}{L} \sin \omega_0 t,$$

$$i_2 = \frac{BlnR}{L} \sin \left(\frac{2}{3}\pi - \omega_0 t \right),$$

$$i_3 = \frac{BlnR}{L} \sin \left(-\frac{2}{3}\pi - \omega_0 t \right).$$

Заключение

Таким образом, в LLL осцилляторе происходят свободные колебания тока (без питания извне). Это значит, что любая фаза является источником

реактивной мощности двух других фаз.

Это обстоятельство создает предпосылку снижения потока реактивной мощности в сети за счет взаимной компенсации реактивной мощности фаз. Другими словами, фазы симметричной нагрузки, по крайней мере, частично могут обмениваться реактивной мощностью между собой, а не с сетью.

Список использованных источников

1. Попов, И.П. Инертно-индуктивный осциллятор / И.П. Попов, Ф.Н. Сарапулов, С.Ф. Сарапулов // Вестник Курганского государственного университета. Технические науки. – 2013. – Вып. 8. – № 2(29). – С. 80-81.
2. Попов, И.П. Электромеханические или искусственные масса и упругость / И.П. Попов // Вестник Псковского государственного университета. Технические науки. – 2016. – Вып. 4. – С. 89-94.
3. Попов, И.П. Накопитель энергии с искусственной инертной ёмкостью / И.П. Попов // Вестник Калужского университета. – 2019. – № 4. – С. 71-73.

4. Попов, И.П. Инертно-емкостная колебательная система / И.П. Попов // Зауральский научный вестник. – 2013. – № 2(4). – С. 65-66.
5. Попов, И.П. Электромеханические колебания в системах автоматики / И.П. Попов, В.И. Чарыков, Д.П. Попов // Вестник НГАУ. – 2014. – № 4(33). – С. 173-177.
6. Попов, И.П. Спонтанные упруго-емкостные колебания в системах автоматики / И.П. Попов // Вестник Морского государственного университета им. адмирала Г.И. Невельского. Серия: Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – 2017. – Вып. 78. – С. 93-97.
7. Попов, И.П. Искусственные масса и упругость / И.П. Попов // Вестник Тверского государственного технического университета. – 2016. – № 1(29). – С. 7-11.
8. Попов, И.П. Спонтанные упруго-индуктивные колебания в технических средствах автоматизации / И.П. Попов // Автоматизированные технологии и производства. – 2019. – № 1 (19). – С. 18-20.
9. Попов, И.П. Упруго-индуктивное устройство / И.П. Попов // Зауральский научный вестник. – 2011. – Вып. №1. – С. 181-183.
10. Упругая емкость в цепи питания пьезоэлектрического преобразователя / И.П. Попов [и др.] // Вестник Курганского государственного университета. Технические науки. – 2016 – Вып. 11. – № 3(42). – С. 87-89.

Материал поступил в редакцию: 28.12.2020

Материал принят к публикации: 19.02.2021

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

MATHEMATICAL MODEL OF A TRI-INDUCTIVE OSCILLATOR

Popov I.P.

Abstract. There are oscillators with the mutual transformation of the kinetic energy of the load into the energy of the magnetic field or with the mutual transformation of the kinetic energy of the load into the energy of the electric field. And also oscillators with the mutual transformation of the potential energy of the spring into the energy of the electric field or with the mutual transformation of the potential energy of the spring into the energy of the magnetic field. The aim of this work is to build a mathematical model of a tri-inductive oscillator. In the LLL oscillator, free current fluctuations occur (without external power supply). This means that any phase is a source of reactive power for the other two phases. This circumstance creates a prerequisite for reducing the flow of reactive power in the network due to the mutual compensation of the reactive power of the phases. In other words, the phases of a balanced load can at least partially exchange reactive power with each other, and not with the network.

Keywords: oscillator, energy, tri-inductive, oscillations, reactive power, phase.

References

1. Popov, I.P. (2013) *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2(29): 80-81.
2. Popov, I.P. (2016) *Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 4: 89-94.
3. Popov, I.P. (2019) *Vestnik Kaluzhskogo universiteta*, 4: 71-73.
4. Popov, I.P. (2013) *Zaural'skij nauchnyj vestnik*, 2(4): 65-66.
5. Popov, I.P. (2014) *Vestnik NGAU*, 4(33): 173-177.
6. Popov, I.P. (2017) *Vestnik Morskogo gosudarstvennogo universiteta im. admirala G.I. Nevel'skogo. Seriya: Avtomaticheskoe upravlenie, matematicheskoe modelirovanie i informacionnye tekhnologii*, 78: 93-97.
7. Popov, I.P. (2016) *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 1(29): 7-11.
8. Popov, I.P. (2019) *Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva*, 1 (19): 18-20.
9. Popov, I.P. (2011) *Zaural'skij nauchnyj vestnik*, 1: 181-183.
10. Popov, I.P. [i dr.] (2016) *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 3(42): 87-89.

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. Математическая модель трииндуктивного осциллятора / И.П. Попов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2021. – Т.9. – № 1. – С. 9-11.
DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-9-11.

Popov I.P. (2021) *Mathematical model of a tri-inductive oscillator. Software of systems in the industrial and social fields*. 9 (1): 9-11.
DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-9-11.

О ВЕКТОРНОМ ПРОИЗВЕДЕНИИ В N -МЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Погодин И.Е.

Аннотация. Рассматривается «избирательность» операции классического векторного произведения к размерности соответствующего векторного пространства. Предлагаются простые пути демонстрации ее неосуществимости при произвольной размерности. Цель работы – найти методически удобные способы, облегчающие изучающим математику на языке базовых понятий убедиться в наличии «избирательности» классического векторного произведения к размерности векторного пространства, а также роль исходных требований модели. В качестве альтернативы обсуждается недавно опубликованный способ получения векторов, ортогональных конкретной паре исходных векторов при любой размерности, и условия его реализации.

Ключевые слова: векторное произведение, размерность векторного пространства, орты, скалярное произведение.

Введение

Известно, что широко используемая в линейной алгебре операция векторного произведения может быть определена лишь в векторных пространствах определенных размерностей, а именно: в трехмерном и семимерном, что имеет целый ряд достаточно сложных доказательств, например, [1] и другие, цитированные в [1] источники. Корни этой проблемы уходят к теореме Гурвица, доказанной им в конце 1890-х годов. В методическом отношении при преподавании линейной алгебры этот факт «избирательности» к размерности – в отличие, например, от инвариантного к размерности скалярного произведения – зачастую вызывает психологическую неудовлетворенность тех, кто впервые сталкивается с этим фактом.

Психологическое «неудобство» от такой «избирательности» операции векторного произведения до сих пор порождает попытки ее преодоления [2].

Достаточно удивительно, особенно для начинающих изучать математику, что – вопреки многократно доказывавшийся невозможности векторного произведения в векторном пространстве произвольной размерности – в [2] показан путь универсального построения векторного произведения

Поэтому здесь предпринимается попытка более наглядными простыми средствами, если не объяснить, то, по крайней мере, продемонстрировать факт невозможности построить операцию векторного произведения в пространстве произвольной размерности, т.е. показать каким конкретным образом природа позволяет или не позволяет построение рассматриваемой операции. Кроме того, рассматриваются причины успеха метода [2].

Результаты аналитического исследования

Попробуем построить алгоритм получения векторного произведения двух векторов n -мерного ($n > 3$) пространства по аналогии с трехмерным пространством.

Для этого зададим следующие правила векторного перемножения всевозможных пар ортонормированных базисных ортов $\{\vec{e}_i\}$, где $i = 1 \dots n$:

- 1) $[\vec{e}_i, \vec{e}_i] = 0$;
- 2) $[\vec{e}_i, \vec{e}_k] = -[\vec{e}_k, \vec{e}_i]$ при любых i, k («кососимметричность»);
- 3) $[\vec{e}_i, \vec{e}_k] = \sum_{s=1}^n \alpha_s \vec{e}_s$ в остальных случаях, причем $\alpha_i = 0$ и $\alpha_k = 0$.

Здесь принципиально важно как проводить обобщение ситуации из 3-мерного пространства. Классический подход предполагает, что и в n -мерном пространстве в результате такого векторного перемножения двух ортов в правой части равенства (3) только один из ненулевых коэффициентов $\{\alpha_k\}$ может равняться ± 1 , остальные равны нулю. В 3-мерном пространстве ничего другого быть не могло.

С целью проверки осуществимости предложенной процедуры векторного перемножения следует потребовать, чтобы векторное произведение пары произвольных векторов \vec{A} и \vec{B} рассматриваемого n -мерного пространства было ортогонально каждому из этих векторов, т.е. образовывало бы с каждым из них нулевое скалярное произведение.

Выразив, кроме того, синус угла между векторами \vec{A} и \vec{B} через скалярное произведение этих векторов рассматриваемые три необходимых условия можно записать так:

$$([\vec{A} * \vec{B}], \vec{A}) = 0$$

$$([\vec{A} * \vec{B}], \vec{B}) = 0$$

$$|\vec{A}|^2 |\vec{B}|^2 - (\vec{A}, \vec{B})^2 = |[\vec{A} * \vec{B}]|^2 .$$

Отметим, что эти три условия можно преобразовать в уравнение эллипсоида размерности $(n-2)$, на поверхности которого должны располагаться концы векторов $[\vec{A} * \vec{B}]$. В 3-мерном случае этот эллипсоид вырождается в симметричный отрезок с концами $\pm |[\vec{A} * \vec{B}]|$.

Будем искать решение совместной неопределенной системы первых двух линейных алгебраических уравнений с $C_n^2(n-2)$ неизвестными, построенных с учетом правил (1-3). На практике поступим иначе: пробным путем переберем все возможные предположения о допустимых значениях коэффициентов-проекций $\{\alpha_s\}$, подставим их в два соответствующих выражения для скалярных произведений на предмет их равенства нулю.

Если при каком-то значении размерности пространства n удастся получить выполняющие эти условия комплекты коэффициентов $\{\alpha_s\}$, то в этом пространстве построить векторное произведение возможно.

Для 3-мерного пространства, если мы «не заметили» правила (2) $[e_1 * e_3] = -e_2$, правило (4): векторного перемножения в рамках предлагаемого выше подхода должно выглядеть так:

$$[e_1 * e_3] = \alpha e_2.$$

Тогда требование ортогональности векторов $[\vec{A} * \vec{B}]$ и \vec{A} , а также векторов $[\vec{A} * \vec{B}]$ и \vec{B} в форме равенства нулю их скалярных произведений (векторы \vec{A} и \vec{B} произвольные) приводит к единственному результату $\alpha = -1$, что совпадает с традиционным определением векторного произведения для 3-мерного пространства.

В 4-мерном пространстве правило (4) векторного перемножения получает 2 случая для четырех коэффициентов, а в 5-мерном 5 случаев для пятнадцати коэффициентов. Для того, чтобы показать здесь невозможность построения операции векторного произведения достаточно показать невозможность выполнения требования ортогональности векторов $[\vec{A} * \vec{B}]$ и \vec{A} , а также векторов $[\vec{A} * \vec{B}]$ и \vec{B} в форме равенства нулю их скалярных произведений для любых конкретных векторов \vec{A} и \vec{B} , например, для векторов с компонентами: $(1, 2, \dots, n)$ и $(n, (n-1), \dots, 1)$. Так получается система двух линейных алгебраических уравнений, которой должен удовлетворять хотя бы один из $(2n)^{0.5n(n-1)-n}$ независимых наборов, содержащих определенные сочетания ± 1 и 0 .

Прямые проверки, проделанные для пространств с размерностями $n = 4$ и $n = 5$, показали, что несмотря на то, что рассматриваемая система двух уравнений является совместной неопределенной, решения указанного вида ей не удовлетворяют. Для больших значений размерностей n такую проверку осуществить не удалось, поскольку количество вариантов превысило 10^9 (для $n = 7$ [1] потребовалось бы рассмотреть 10^{20} таких вариантов решений), что выходит за рамки возможностей обычного компьютера.

Тот же вопрос о возможности/не возможности построения векторного произведения можно рассмотреть несколько иначе, более логическим образом, а именно - анализируя построение таблицы векторных перемножений пар различных ортов. Существенными особенностями таких таблиц является их «кососимметрия»: $w_{ik} = [e_i * e_k] = -[e_k * e_i] = -w_{ki}$, нули на главной диагонали, а также наличие в каждой строке или столбце всех ортов за исключением имеющих номера соответствующей строки и столбца.

Для 3-мерного пространства такая таблица очевидна (табл. 1). Для 4-мерного пространства рассмотрим возможные значения элементов 5-го и 4-го столбцов аналогичной таблицы $\{w_{ik}\}$ для e_4 и e_3 соответственно (без учета знаков \pm). Для w_{34} возможно e_2 или e_1 ; для $w_{24} - e_1$ или e_3 ; для $w_{14} - e_3$ или e_2 ; для $w_{23} - e_4$ или e_1 ; для $w_{13} - e_2$ или e_4 . Тогда мы получим несовместимость w_{34} и w_{13} при первых вариантах значений, либо несовместимость

w_{23} и w_{13} при вторых вариантах значений, что доказывает принципиальную невозможность построения векторного произведения в 4-мерном пространстве.

Для 7-мерного пространства подобную таблицу (табл.1) построить удастся, причем даже в нескольких вариантах, а, значит, в этом пространстве удастся построить и векторное произведение (табл.2).

Таблица 1

Результаты векторного перемножения базисных ортов в 3-мерном пространстве

w_{ik}	e_1	e_2	e_3
e_1	0	e_3	$-e_2$
e_2	$-e_3$	0	e_1
e_3	e_2	$-e_1$	0

Таблица 2

Результаты векторного перемножения базисных ортов в 7-мерном пространстве

w_{ik}	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7
e_1	0	e_4	e_7	$-e_2$	e_6	$-e_5$	e_3
e_2	$-e_4$	0	e_5	e_1	$-e_3$	e_7	e_1
e_3	$-e_7$	$-e_5$	0	e_6	e_2	$-e_4$	$-e_2$
e_4	e_2	$-e_1$	$-e_6$	0	e_7	e_3	$-e_5$
e_5	$-e_6$	e_3	$-e_2$	$-e_7$	0	e_1	e_4
e_6	e_5	$-e_7$	e_4	$-e_3$	$-e_1$	0	e_2
e_7	e_3	e_6	$-e_1$	e_5	$-e_4$	$-e_2$	0

Здесь следует остановиться на обсуждении работы [2], альтернативной к [1] по подходу и выводам, в которой разработана операция векторного произведения в векторных пространствах произвольных размерностей. В [2] за основу принимается векторное произведение $[\vec{A} * \vec{B}]$ для 3-мерного пространства, где первый из перемножаемых векторов \vec{A} имеет только одну первую компоненту, второй \vec{B} – две (первую и вторую) компоненты, а результат $[\vec{A} * \vec{B}]$, имеющий только третье измерение, «расщепляется» на $(n-2)$ новых измерения как большая диагональ $(n-2)$ -мерного куба. Тем самым все коэффициенты в правой части равенства (3) в соответствующем специальном базисе полагаются равными $\alpha_k = 1/\sqrt{n-2}$. Благодаря этому демонстрируется сохраняющаяся ортогональность векторного произведения обоим векторам. В общем случае векторных пространств произвольных размерностей для каждой конкретной пары перемножаемых векторов \vec{A} и \vec{B} специально строится необходимое количество преобразований поворота системы координат, с помощью которых любой пример может быть сведен к рассмотренному случаю с изначально 3-мерным пространством, а полученный результат $[\vec{A} * \vec{B}]$ обратным преобразованием координат переводится в исходный n -мерный базис.

Заключение

Действительно, предложенный в [2] оригинальный и достаточно простой способ обеспечивает такие основные свойства, как линейность и антикоммутативность, а главное ортогональность получаемого вектора $[\vec{A} * \vec{B}]$ каждому из конкретных породивших его векторов \vec{A} и \vec{B} . Однако такая «ручная» процедура для другой пары конкретных перемножаемых векторов \vec{A} и \vec{B} требует строить совсем новые преобразования координат, и построение рассмотренных выше таблиц векторного перемножения ортов не требуется. Таким образом, не решаемая проблема построения векторного произведения при произвольной размерности векторного пространства решена в [2] благодаря иному толкованию обобщения условия (3) о векторном перемножении ортов.

Список использованных источников

1. Silagadze, Z. K. Multi-dimensional vector product / Z. K. Silagadze // Journal of Physics A: Mathematical and General. – 2002. – Vol. 35. – No 23. – P. 4949-4953. DOI 10.1088/0305-4470/35/23/310.
2. Попов, И. П. Векторное произведение двух векторов в четырехмерном евклидовом пространстве с учетом прикладных аспектов / И. П. Попов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2019. – Т. 7. – № 1. – С. 11-17. DOI 10.18503/2306-2053-2019-7-1-11-17.

Материал поступил в редакцию: 12.01.2021

Материал принят к публикации: 01.03.2021

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ON THE VECTOR PRODUCT IN N-DIMENSIONAL SPACE

Pogodin I.E.

Abstract. The “selectivity” of classic vector product operation to the dimension of the corresponding vector space is under consideration. Simple ways are suggested to demonstrate its impracticability for arbitrary dimension. The purpose of the work is to find methodologically convenient ways to make it easier for students of mathematics in the language of basic concepts to make sure that the vector product is “selective” to the dimension of the vector space and to show also the role of model input requirements. As an alternative, a recently published method for obtaining vectors orthogonal to a specific pair of initial vectors for any dimension is discussed, and the conditions for its implementation are considered.

Keywords: vector product, dimension of vector space, unit vectors, scalar product. A recently published method for obtaining vectors orthogonal to a particular pair of original vectors is discussed.

References

1. Silagadze, Z.K. (2002) *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 23: 4949-4953.
2. Попов, И.П. (2019) *Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах*, 1: 11-17.

ОБ АВТОРАХ:

Погодин Игорь Евгеньевич – доктор физико-математических наук, профессор, военно-морской инженерный институт, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: iepogodin@mail.ru.

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Погодин, И.Е. О векторном произведении в n-мерном пространстве / И.Е. Погодин // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2021. – Т.9. – № 1. – С. 12-15.
DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-12-15.

Pogodin I.E. (2021) On the vector product in n-dimensional space. Software of systems in the industrial and social fields, 9 (1): 12-15. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-12-15.

УДК 303.2: 53.082

DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-16-21

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ И ЭМПИРИЧЕСКАЯ ОСНОВА ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ТВЕРДЫХ И СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Каландаров П.И., Мукумов З.М., Абдуллаев Х.Х., Авезов Н.Э.

Аннотация. В статье рассматривается принцип измерения влажности твердых и сыпучих материалов, а также анализ спектра электромагнитных колебаний используемые в пределах средне- и коротковолновой диапазоны (от 0,1 до 50 МГц) высоких частот. Обсуждается действия высокочастотных влагометрических систем, основанные на наличии зависимости между диэлектрической проницаемостью контролируемого материала и его влажностью. Отличительной особенностью исследования является контролируемость материала помещаемого в ёмкостном первичном преобразователь, при этом, параметром измерения является не диэлектрическая проницаемость, а ёмкость преобразователя. Описывается диэлькометрический метод и рекомендуются на их основе проектирование и синтеза диэлькометрического прибора контроля влажности, которые в настоящее время нами ведутся исследование в пищевой промышленности с помощью – концентратов, муки, чая, зерна, солода, в аграрной отрасли – влажность хлопка-сырца, семян хлопчатника, шелухи, шрота, жмыха, зерна и зернопродуктов, пшеницы, кукурузы, ячменя, и многих др. продуктов, полуфабрикатов и исходного сырья. Изучены частотные зависимости диэлектрической проницаемости что определяются частотными зависимостями действительной и мнимой частей электронной и ионной поляризации, а также метрологическая и информационная оптимизация измерительного прибора описан изменение выходного сигнала и их уравнение.

Ключевые слова: влажность, влагосодержание, измерение, метод, частота, прибор, преобразователь, ёмкость, диэлектрическая проницаемость.

Введение

Методы измерения влажности твердых и сыпучих материалов, основаны на преобразовании влажности в другую физическую величину с использованием современной измерительной техники.

Влага является одним из обязательных компонентов всех живых организмов на земле, а также большинства материалов, используемых человеком. От влажности зависят физические, химические, механические и технологические свойства значительной части неметаллических материалов.

Почти во всех отраслях промышленности, в сельском хозяйстве, энергетике и строительстве применяются процессы сушки и увлажнения, предназначенные для изменения влажности материалов. Поэтому количественное определение влажности твердых материалов, жидкостей и газов необходимо почти во всех отраслях экономики, в научных исследованиях, связанных со многими областями знаний [1].

Для характеристики содержания влаги в твердых и сыпучих материалах применяются, как правило, две величины: влагосодержание U и влажность W , выражаемая в относительных единицах или в процентах.

Влагосодержание – отношение массы влаги (воды) M , содержащейся в материале, к массе абсолютно сухого материала M_0

$$U = \frac{M}{M_0}. \quad (1)$$

Влажность – отношение массы влаги M , содержащейся в материале, к массе влажного материала M_w , т.е.

$$W = \frac{M}{M_w} = \frac{M}{M_0} + M. \quad (2)$$

Вода в состав материала может попадать в результате:

- абсорбции на поверхности и в порах;
- гидратации полярных групп макромолекул;
- внедрения в состав решетки кристаллогидратов минеральной части.

Масса материала, которую получает потребитель – это рабочая масса материала. Если её высушивать при комнатной температуре, то после испарения внешней влаги, проба придет к воздушно-сыхому состоянию. Массу такого образца при размельчении до 0,2 мм называют аналитической массой материала. Однако в составе породы еще остается значительное количество влаги, которая удерживается капиллярными и сорбционными силами. Чтобы ее удалить, материал нагревают до 105 °С [2].

Часть воды, которая испарится при нагревании, есть общая влага рабочей массы материала. В результате остается сухая масса материала. Дальнейшее нагревание приводит к разрыву связей в кристаллогидратах и выделению химически связанной воды. Показатель общей влаги W_h рабочей массы материала равен отношению массы влаги, выделившейся при температуре обезвоживания, к массе анализируемого образца m_a и выражается формулой:

$$W_h = \frac{m_a - m_d}{m_a} 100, \quad (3)$$

где m_d – масса сухого материала, полученная при температуре обезвоживания.

Контроль и измерение влажности материала на узлах учета является обязательным, поскольку любое отклонение от согласованных поставщиком и потребителем спецификаций влечет серьезные штрафы. Поэтому приборы контроля влажности на узлах учета должны удовлетворять следующим требованиям [3]:

- быстрый отклик, требующийся для избегания производства некондиционного материала;
- низкая погрешность и воспроизводимость результатов измерений, чтобы гарантировать соблюдение требованиям спецификации товарного материала.

Материалы и методы

В технологическом процессе переработки зернистых материалов одним из основных факторов, влияющим на качественные и количественные показатели, является влажность. Изменение влажности на 0,1% от оптимального значения уменьшает выход порядка от 0,8 до 1,0%, что приводит к потерям дохода [4].

Анализируя проведенные нами исследования диэлькометрического метода и приборов основанные этим методом для различных свойств материалов аналогичной зерновой массы, обладают перед другими рядом существенных преимуществ и недостатков [5].

При исследовании диэлькометрического высокочастотного метода важной является задача построения математической модели высокочастотного прибора, позволяющего получить достаточно точное математическое описание функции преобразования и функций влияния основных влияющих величин.

Рассматриваемые диэлькометрические влагомеры твердых и сыпучих материалов в настоящее время получили широкое распространение практически во всех отраслях науки и техники, где с их помощью измеряется влажность в пище – концентратов, муки, чая, зерна, солода, в аграрной отрасли – влажность хлопка-сырца, семян хлопчатника, шелухи, шрота, жмыха, пшеницы, кукурузы, ячменя, и многих др. продуктов, полуфабрикатов и исходного сырья.

Для проектирование приборов контроля влажности крайне важным является вопрос выбора измерительного преобразователя, его принципов действия, и конструкции. Изучение влажностных и частотно-влажностных характеристик дает возможность определить функции преобразования схемы диэлькометрического прибора контроля влажности, т.е. преобразования «влажность-диэлектрические свойства» материалов в исследуемом диапазоне частот, выбор оптимальной рабочей частоты для проектирования и разработки измерительного преобразования [6].

Результаты

Комплексная диэлектрическая проницаемость неполярного твердого диэлектрика определяется комплексными поляризуемостями α_1 и α_i [7]. Соответственно и частотная зависимость диэлектрической проницаемости будет определяться частотными зависимостями дей-

ствительной и мнимой частей электронной и ионной поляризации. Отсюда следует, что действительная и мнимая части

$$\tilde{\varepsilon}^* = \varepsilon' - \gamma\varepsilon'' \quad (4)$$

являются функциями приложенного поля и определяются с помощью $\tilde{\alpha}_1(\omega)$ и $\tilde{\alpha}_i(\omega)$: тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$; комплексная проводимость $\sigma^* = \sigma' + \gamma\sigma''$.

Зависимости между этими величинами имеют вид:

$$\varepsilon' = \varepsilon; \varepsilon'' = \frac{\sigma}{\omega}; tg\delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon'}; \varepsilon^* = \varepsilon(1 - jtg\delta), \quad (5)$$

где ω – угловая частота, ε – диэлектрическая проницаемость, ε' – вещественная, ε'' – мнимая составляющая диэлектрической проницаемости, ε^* – комплексная диэлектрическая проницаемость, $tg\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь, σ – удельная проводимость.

Зная одну из указанных пар параметров, можно, вычислить любую другую пару. Также используются такие параметры, как добротность контура $Q = 1/tg\delta$ или активная σ' и реактивная σ'' составляющие комплексной проводимости σ^* .

Практическое значение этих результатов зависит от рабочей области частот. В соответствии с $\tilde{\alpha}_1(\omega)$ и $\tilde{\alpha}_i(\omega)$ остаются равными действительным значениям поляризуемости до тех пор, пока частоты, при которых проводятся измерения, лежат в области ниже инфракрасных частот. Поэтому для исследуемых материалов $\tilde{\varepsilon}$ вплоть до микроволновых частот равна ε' и поведение ε^* такое же, как в случае статического поля. Измерение влажности диэлектрическим методом основано на различии значений диэлектрической проницаемости твердой основы, воздуха и воды [8].

Их действие основано на сильной зависимости диэлектрической проницаемости веществ ε от содержания в них влаги; это обусловлено аномально большой ε воды (81 при 20 °C). Измерение ε в диапазоне средних частот тока (0,1-30 МГц) сводится к определению ёмкости C конденсатора, между обкладками (электродами) которого помещено исследуемое вещество ($C = C_0 \cdot \varepsilon$, где C_0 – ёмкость незаполненного конденсатора). В диапазоне сверхвысоких частот (30 МГц и выше) измеряют частоту колебаний объемного резонатора, в котором находится влажное вещество [9].

Поскольку относительная диэлектрическая проницаемость воды является величиной постоянной и близка к 81 ($\varepsilon_b \approx 81$), диэлектрическая проницаемость большинства сухих веществ лежит в пределах от 2 до 10, например, ε_p песка колеблется между 3 и 4. Это означает, что существует большая измеряемая разница между диэлектрической проницаемостью воды (80) и материалов (1-10). Эту разницу можно измерить и сопоставить с определенным значением влажности. Тогда значение влажности будет выдаваться как типовой сигнал (0 – 10 V постоянного тока или 0 – 20 mA), сопоставляемый с определенным весовым содержанием влаги в исследуемом материале. Другими словами, чем больше в материале воды или другой влаги, тем ближе значение ε к 80. Тогда даже незначительное изменение влажности вещества вызывает изменение его диэлектрических характеристик – диэлектрической проницаемости, а также тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$.

Приращение диэлектрической проницаемости в зависимости от влагосодержания материала может быть описано в общем случае зависимостью следующего вида:

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_b f(\xi, n, i, r, k), \quad (6)$$

где ε_b – диэлектрическая проницаемость свободной воды; ξ – фактор, определяемый распределением и формой включения влаги; n – отношение объемов свободной и связанной влаги; r – объемная концентрация воды в материале; i – отношение диэлектрической проницаемо-

сти связанной и свободной воды; k – отношение диэлектрической проницаемости сухого материала и влаги.

В качестве первичных измерительных преобразователей в диэлькометрических влагомерах используются плоские или цилиндрические конденсаторы (электрические ёмкости), в электрическое поле которых вводится измеряемый материал [10].

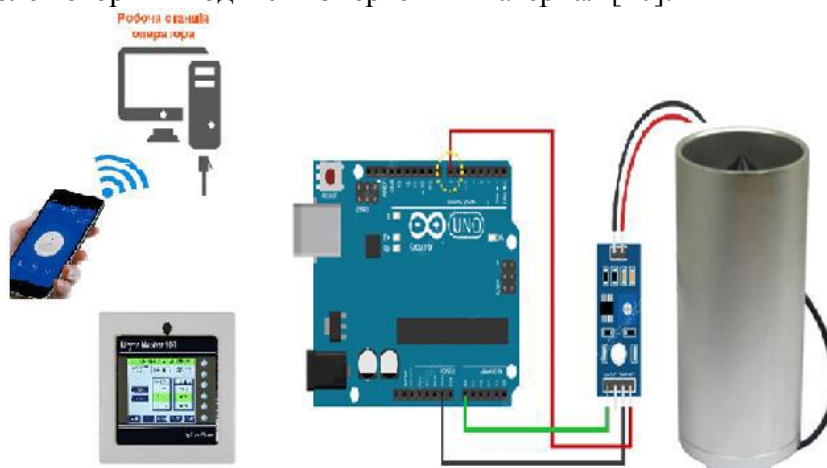


Рис. 1. Устройство для контроля влажности зерна в режиме реального времени с использованием ёмкостного первичного преобразователя

Примером параметрического ёмкостного первичного преобразователя может служить переменная емкость, включенная в контур генератора (рис. 1) [11]. Здесь при изменении угла поворота оси ротора изменяется емкость датчика и меняется частота генератора, являющаяся выходной величиной.

Ёмкость плоского конденсатора можно рассматривать как

$$C = \varepsilon_a \left(\frac{S}{a} \right), \quad (7)$$

цилиндрического – как

$$C = \varepsilon_a \left[\frac{2\pi L}{\ln \left(\frac{R_2}{R_1} \right)} \right], \quad (8)$$

где ε_a – абсолютная диэлектрическая проницаемость межэлектродного пространства, $\Phi/м$; S – площадь электродов, $м^2$; a – расстояние между электродами, $м$; L – длина цилиндрических электродов, $м$; R_2 – радиус внутреннего электрода, $м$; R_1 – радиус внешнего электрода, $м$.

Из формул (7) и (8) видно, что при постоянных геометрических размерах справедлива следующая функциональная зависимость:

$$C = (\varepsilon). \quad (9)$$

Заключение

Данная статья направлена на выявление и раскрытие принципов при проектировании аналогичных экспрессных приборов контроля влажности для рассматриваемых материалов. Ведущим методом к исследованию данной проблемы является выбор метода на основе которого необходимо будет синтезировать прибор позволяющий комплексно измерять влажность материала на всех этапах их контроля по влажности [12, 13]. В статье представленные материалы позволят вести инженерный расчет и выбор рабочей частоты и ёмкости измерительных параметров первичного преобразователя ёмкостного типа и синтезировать экспрессный прибор контроля влажности для рассматриваемых материалов [14]. Материалы статьи представляют практическую ценность для пищевых, хлопкоочистительных, зерноперерабатывающих мукомольных производств, где влажность зерна является одним из важнейших техно-

логических параметров, что требуется вести контроль на всех этапах производства материалов [15].

Список использованных источников

1. Крымский, К.И. Обзор современных методов и технических средств измерения влажности торфа / К.И. Крымский, О.М. Большунова // Записки горного института. – 2012. – Т.196. – С. 248-251.
2. Каландаров, П.И. Термогравиметрический метод измерения влажности: оценка точности и эффективность применения в агропромышленном комплексе / П.И. Каландаров // Метрология. – 2021. – №2. – С. 44-62. <https://doi.org/10.32446/0132-4713.2021-2-44-62>.
3. Машарипов, Ш.М. Анализ современных методов и технических средств измерения влажности хлопковых материалов / Ш.М. Машарипов // Приборы. – 2016. – №4. – С.31-37.
4. Гайский, П.В. Практические аспекты реализации кондуктивного датчика электропроводности жидкости / П.В. Гайский // Системы контроля окружающей среды. – 2020. – Вып. 2(40). – С. 72-81. DOI: 10.33075/2220-5861-2020-2-72-81.
5. Kalandarov, P.I. Physicochemical measurements: measurement of the moisture content of brown coal from the Angrensk deposit and problems of metrological assurance / P.I. Kalandarov, B.P. Iskandarov // Measurement Techniques. – 2012. – Т. 55. – № 7. – С. 845-848.
6. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов / Кричевский Е.С. [и др.] – М.: «Энергия», 1980. – 231 с.
7. Kraszewski, A. Determination of the strength of water suspensions using a microwave bridge technique. G. of microwave Power, 1984. – P. 361-373.
8. Искандаров, Б.П. Анализ воздействия влияющих факторов на результаты измерений влажности материала на высоких частотах / Б.П. Искандаров, П.И. Каландаров // Измерительная техника. – 2013. – № 7. – С. 64-66.
9. Исмагуллаев, П.Р. Сверхвысокочастотные измерения влажности и проблемы метрологического обеспечения / П.Р. Исмагуллаев, П.И. Каландаров // Приборы. – 2011. – № 7 (133). – С. 40-44.
10. Каландаров, П.И. Особенности автоматизированного измерения влажности зерновых культур в полевых условиях / П.И. Каландаров, А.М. Макаров, Г.М. Аралов // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2021. – № 1 (248). – С. 60-63. <https://doi.org/10.35211/1990-5297-2021-1-248-60-63>.
11. Каландаров, П.И. Научные основы влагометрии : монография / П.И. Каландаров, О.С. Логунова, С.М. Андреев. – Ташкент : Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, 2021. – 175 с.
12. Kalandarov, P.I. Anaiysis of hydrothermal features of grain and instrument desulphurization of moisture control / P.I. Kalandarov, Z.M. Mukimov, O.S. Logunova // Technical Science and Innovation. – 2020. – No 1. – P. 117-123.
13. Iskandarov, B.P. An analysis of the effect of interfering factors on the results of measurements of the moisture content of a material at high frequencies / B.P. Iskandarov, P.I. Kalandarov Measurement Techniques. – 2013. – Т. 56. – № 7. – P. 827-830.
14. Искандаров, Б.П. Автоматический контроль влажности твёрдых сыпучих материалов в технологическом потоке / Б.П. Искандаров, П.И. Каландаров // Электротехнические системы и комплексы. – 2012. – № 20. – С. 303-308.
15. Каландаров, П.И. Измерения влажности в технологическом процессе с коррекцией по толщине слоя материала / П.И. Каландаров, Б. Искандаров // Приборы. – 2012. – № 7 (145). – С. 19-22.

Материал поступил в редакцию: 17.09.2021

Материал принят к публикации: 29.10.2021

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

MEASUREMENT OF HUMIDITY OF SOLID AND BULK MATERIALS

Kalandarov P.I., Mukimov Z.M., Abdullaev H.H., Avezov N.E.

Abstract. The article describes the principle of measuring the humidity of solid and bulk materials, as well as the analysis of the spectrum of electromagnetic vibrations used within the medium - and short-wave ranges (from 0.1 to 50 MHz) of high frequencies for measuring humidity. The actions of high-frequency moisture-measuring systems based on the presence of a dependence between the dielectric permittivity of the controlled material and its humidity are discussed. A distinctive feature of the study is that the controlled material is placed in a capacitive primary converter, while the measurement parameter is not the permittivity, but the capacitance of the converter. We describe the dielkometric method and recommend on their basis the design and synthesis of a dielkometric humidity control device, which we are currently conducting research in the food industry with the help of concentrates, flour, tea, grain, malt, in the agricultural industry – the humidity of raw cotton, cotton seeds, husk, meal, cake, grain and grain products, wheat, corn, barley, and many other products, semi-finished products and raw materials. The frequency dependences of the permittivity are studied, which are determined by the frequency dependences of the real and imaginary parts of the electronic and ionic polarization, as well as metrological and information optimization of the measuring device, the change in the output signal and their equation are described.

Keywords: humidity, moisture content, measurement, method, frequency, device, converter, capacitance, permittivity.

References

1. Krymskij, K.I., Bol'shunova, O.M. (2012) *Zapiski gornogo institute*, 196: 248-251.
2. Kalandarov, P.I. (2021) *Metrologiya*, №2: 44-62.
3. Masharipov, S.H.M. (2016) *Pribory*, 4: 31-37.
4. Gajskij, P.V. (2020) *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy*, 2(40): 72-81.
5. Kalandarov, P.I., Iskandarov, B.P. (2012) *Measurement Techniques*, 7: 845-848.
6. Krichevskij E.S. [i dr.] (1980) *Teoriya i praktika ekspressnogo kontrolya vlazhnosti tverdyh i zhidkih materialov*, M.: 231.
7. Kraszewski, A. (1984) Determination of the strength of water suspensions using a microwave bridge technique. *G. of microwave Power*: 361-373.
8. Iskandarov, B.P., Kalandarov, P.I. (2013) *Izmeritel'naya tekhnika*, № 7: 64-66.
9. Ismatullaev, P.R., Kalandarov, P.I. (2011) *Pribory*, 7 (133): 40-44.
10. Kalandarov, P.I., Makarov, A.M., Aralov, G.M. (2021) *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 1 (248): 60-63.
11. Kalandarov, P.I. Logunova, O.S., Andreev, S.M. (2021) *Nauchnye osnovy vlagometrii*, Tashkent : 175.
12. Kalandarov, P.I., Mukimov, Z.M., Logunova, O.S. (2020) *Technical Science and Innovation*, 1: 117-123.
13. Iskandarov, B.P., Kalandarov, P.I. (2013) *Measurement Techniques*, 7: 827-830.
14. Iskandarov, B.P., Kalandarov, P.I. (2012) *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы*, 20: 303-308.
15. Kalandarov, P.I., Iskandarov, B.P. (2021) *Pribory*, 7 (145): 19-22.

ОБ АВТОРАХ:

Каландаров Палван Искандарович – доктор технических наук, профессор. Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, г. Ташкент, Республика Узбекистан. E-mail: eest_uz@mail.ru.

Мукимов Зиевиддин Маъмурович – соискатель, Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, г. Ташкент, Республика Узбекистан. E-mail: mukimov63@inbox.ru.

Абдуллаев Хусниддин Хусеин угли – аспирант. Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, г. Ташкент, Республика Узбекистан.

E-mail: husniddin.abdullayev9395@gmail.com.

Авезов Нодирбек Эгамбердиевич – кандидат технических наук, заместитель декана Ташкентского университета информационных технологий Ургенчского филиала, г. Ургенч, Республика Узбекистан. E-mail: nodir.avezov777@gmail.com.

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Каландаров, П.И. Математическая и эмпирическая основа измерение влажности твердых и сыпучих материалов / П.И. Каландаров, З.М. Мукимов, Х.Х. Абдуллаев, Н.Э. Авезов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2021. – Т.9. – № 1. – С. 12-21. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-16-21.

Kalandarov P. I., Mukimov Z. M., Abdullaev H. H. and Avezov N. E. (2021) Measurement of humidity of solid and bulk materials. *Software of systems in the industrial and social fields*, 9 (1): 16-21. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-16-21.

АЛГОРИТМ АДАПТАЦИИ ПАРАМЕТРОВ НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ МЕТОДА РАЗНОСТИ ПЛОЩАДЕЙ

Сиддиков И.Х., Каландаров П.И., Ядгарова Д.Б., Исмагуллаев Х.Н.

Аннотация. В рамках исследования была реализована схема управления с адаптацией коэффициентов нейро-нечеткого регулятора. В качестве метода обучения сети использовался метод разности площадей. Он был улучшен за счет добавления базы правил, которая позволяет выбирать оптимальную скорость обучения для отдельных нейронов нейронной сети. Нейро-сетевой регулятор был применен в качестве надстройки ПИД-регулятора в схеме управления технологическим процессом. Динамический объект может функционировать в различных режимах. Этот технологический процесс работает в разных режимах по загрузке и установкам температуры. В результате экспериментов были оценены расход электроэнергии и объем времени необходимое для поддержания одного и того же технологического процесса абсорбции, с использованием обычного ПИД-регулятора и нейро-сетевым регулятором. Был сделан вывод о том, что нейро-нечеткий регулятор с надстройкой на 19% уменьшить время переходного процесса.

Ключевые слова: нейронная сеть, ПИД-регулятор, нейросетевой оптимизатор, метод разности площадей, нелинейные системы.

Введение

На сегодняшний день активно ведутся научные исследования по совершенствованию систем управления технологическими процессами. С применением методов интеллектуальных технологий эта проблема очень актуальна, потому что большинство реальных объектов управления имеют нелинейные характеристики, которые изменяются в процессе эксплуатации, в то время как управление ими ведется, в большинстве случаев, с помощью линейных ПИД-регуляторов. Коэффициенты таких регуляторов часто подбираются для конкретного состояния объекта, однако при переходе в другие состояния значения этих коэффициентов уже не обеспечивают требуемых по качеству переходных процессов. Это приводит к снижению качества регулирования и к увеличению энергозатрат на управление технологическими процессами.

Одним из возможных путей данной проблемы является построение адаптивных систем управления технологическими процессами [2], автоматически подбирающих коэффициенты ПИД-регулятора. Методы построения подобных систем можно разделить на две группы. Первая группа состоит из классических методов, таких как метод Циглера-Никольса, частотный метод А.Г. Александрова [1], метод, лежащий в основе работы адаптивных ПИД-регуляторов фирмы Siemens, методы, основанные на построении моделей объекта управления [5-7]. Вторая группа – это методы основанные на методологии искусственного интеллекта [8].

Для решения поставленной задачи использована методология нейронных сетей (НС) и нечеткой логики. Это связано с тем, что НС обладают нелинейными свойствами и способностью к обучению, что придает адаптивные свойства нейросетевым системам управления [9].

При этом наиболее реализуемой с практической точки зрения является применение схемы управления динамическими объектами на основе автонастройки коэффициентов ПИД-регулятора K_P , K_I , K_D с помощью НС (схема ПИД-нейро-регулятора с самонастройкой), позволяющий учитывать нелинейные свойства объекта, не внося значительных изменений в существующих систем управления [10].

Метод решения

В настоящее время для управления переменных состояний объекта управления используется микроконтроллер, построенный на базе SCADA системы, в этом случае динамика объекта управления (ОУ) описывается разностно-дифференциальным уравнением «вход-выход», заданным в неявном виде:

$$\phi(y^{(n)}, y^{(n-1)}, \dots, y; u^{(m)}, u^{(m-1)}, \dots, u) = 0, \quad (1)$$

где $u = u(t)$ и $y = y(t)$ – вход и выход исследуемого объекта соответственно; m и n – максимальные порядки производных $u(i)$, $y(j)$ для входной и выходной переменных $u(t)$ и $y(t)$, ($m \leq n$); $\phi(\cdot)$ – некоторая нелинейная функция.

Для синтеза адаптивно-нечеткого регулятора запишем дискретную передаточную функцию линейризованного объекта, $W_{OY}(z)$ которая с учетом выражения (1) будет иметь вид:

$$W_{OY}(z) = \frac{\Delta Y(z)}{\Delta U(z)} = \frac{a_0 z^{-m} + \dots + a_{m-1} z^{-1} + a_m}{b_0 z^{-n} + \dots + b_{n-1} z^{-1} + b_n}, \quad (2)$$

где $\Delta Y(z)$ и $\Delta U(z)$ – дискретные изображения по Лапласу для отклонений $\Delta y(k)$ и $\Delta u(k)$, а коэффициенты a_ρ , ($\rho=0,1,2,\dots,m$) и b_γ , ($\gamma=0,1,2,\dots,n$) зависят от вида нелинейной функции $\phi(\cdot)$, координат базового режима u_0, y_0 и выбранного периода дискретизации T_0 .

Дискретная передаточная функция линейризованной нейронной сети имеет вид:

$$W_{HC}(z) = \frac{\Delta U(z)}{\Delta V(z)} = \frac{c_0 z^{-p} + \dots + c_{p-1} z^{-1} + c_p}{d_0 z^{-q} + \dots + d_{q-1} z^{-1} + d_q}, \quad (3)$$

где $\Delta V(z)$ – дискретное изображение по Лапласу для отклонения $\Delta v(k)$, а коэффициенты c_s , ($s = 0,1,2,\dots,p$) и d_t , ($t = 0,1,2,\dots,q$) зависят сразу от нескольких факторов: числа нейронов σ в скрытом слое; вида активационной функции нейронов; весов синаптических связей $W_{\alpha\beta}, W_\beta$, ($\alpha = 1,2,\dots,p+q+1; \beta = 1,2,\dots,\sigma$), от значения входа сети v_0 .

Для придания свойства астатизма системы, т.е. повышению точности системы управления дополнительно вводится в систему N интеграторов – по одному в каждом из N каналов системы управления, в этом случае уравнение системы управления имеет вид:

$$V_i(z) = \frac{T_0}{1-z^{-1}} E_i(z), \quad (i = 1,2,\dots,N), \quad (4)$$

где $V_i(z)$ и $E_i(z)$ – дискретные изображения по Лапласа для координат $v_i(k)$ и $e_i(k)$.

Тогда динамика объекта управления в стационарном режиме описывается передаточной матрицей $W_{OY}(z)$ размера $N \times N$, а рассматриваемая структура НС – передаточной матрицей $W_{HC}(z)$ того же размера, что характеристическое уравнение замкнутой линейризованной системы управления будет иметь вид:

$$\det \left[I + \frac{T_0}{1-z^{-1}} W_{OY}(z) W_{HC}(z) \right] = 0. \quad (5)$$

Представим передаточные матрицы $W_{OY}(z)$ и $W_{HC}(z)$:

$$W_{OY}(z) = \left\| \frac{a_{ij}(z)}{b(z)} \right\|_{N \times N}; \quad W_{HC}(z) = \left\| \frac{c_{ij}(z)}{d(z)} \right\|_{N \times N}, \quad (6)$$

где $a_{ij}(z)$ и $b(z)$ – полиномы относительно z^{-1} , имеющие порядки m_{ij} и n соответственно; $c_{ij}(z)$ и $d(z)$ – полиномы относительно z^{-1} , порядки которых равны p_j и $\sum_{i=1}^N q_i$.

Для синтеза системы управления определим количество нелинейных алгебраических уравнений по формуле

$$(KY) = RL = R \max \left\{ N + n + \sum_{i=1}^N q_i; N - 1 + m_{ij} + p_j \right\}. \quad (7)$$

Общее количество неизвестных параметров регулятора (т.е. число настраиваемых весов НС) вычисляется по формуле:

$$(KII) = \left[2N + \sum_{i=1}^N (p_i + q_i) \right] \cdot \sigma. \quad (8)$$

Тогда условия математической замкнутости системы уравнений (КП) \geq (КУ), принимает вид:

$$\left[2N + \sum_{i=1}^N (p_i + q_i) \right] \sigma \geq R \max_{i,j} \left\{ N + n + \sum_{i=1}^N q_i; N - 1 + m_{ij} + p_j \right\}.$$

Отпуская выражение *max* в правой части данного неравенства, приходим к следующей системе неравенств:

$$\begin{aligned} \left[2N + \sum_{i=1}^N (p_i + q_i) \right] \sigma &\geq R \cdot \max_{i,j} \left(N + n + \sum_{i=1}^N q_i \right); \\ \left[2N + \sum_{i=1}^N (p_i + q_i) \right] \sigma - Rp_j &\geq R(N - 1 + m_{ij} + p_j), (i, j = 1, 2, \dots, N), \end{aligned}$$

или в окончательном виде:

$$\left[2N + \sum_{i=1}^N (p_i + q_i) \right] \sigma - Rp_j \geq R(N - 1 + m_{ij}), (i, j = 1, 2, \dots, N). \quad (9)$$

Искомым решением задачи структурного синтеза системы управления на основе критерия минимальной сложности является нейро-сетевой регулятор, описываемый набором целых чисел, минимизирующих значение (7) при выполнении ограничений (8). Настройка параметров многомерного нейро-сетевого регулятора осуществляется по быстродействующему алгоритму нечетко-логическому выводу.

Известно, что размерность исследуемого объекта, а также количество входных воздействий приводит к тому, что увеличение числа заключений нечеткого вывода в геометрической прогрессии и приводит к снижению точности обучения нечетких моделей. Это связано с тем, что в традиционных алгоритмах нечетко-логического вывода применяются жесткие арифметические операции нахождения минимума и максимума. Кроме того, на точность нечетко логических моделей оказывает действие архитектура нечетких правил, вместе с выбранным методом операции дефазсификации.

Для устранения этих недостатков предлагается использовать мягкие арифметические операции в нечетких моделях, чтобы определять минимум и максимум, что позволяет рассчитать управляющие воздействие с учетом любых изменений входных параметров [3] При этом для обучения нейро-нечеткой системы предложено использование метода разности площадей.

При использовании мягких арифметических операций нечетко-логического вывода [4], мягкий минимум и мягкий максимум определяется следующим образом:

Мягкий минимум:

$$\min_{\delta} (x_1, x_2)_I = \frac{x_1 + x_2 + \delta^2 + \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + \delta^2}}{2}.$$

Мягкий максимум:

$$\text{soft} - \max(x_1, x_2) = |\gamma \cdot \max(x_1, x_2) + 0,5(1 - \gamma)(x_1 + x_2)|, \text{ где } \gamma = 0,7.$$

В дефаззификации расчет переменных осуществляется методом разности площадей.

Алгоритм обучения нейро-нечеткой системы состоит из нижеприведенных этапов, при этом в качестве термов функции принадлежности используются треугольные или трапециевидные функции принадлежности, описывается выражением трапециевидной ФП:

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ \frac{x - a}{b - a}, & a \leq x \leq b; \\ 1, & b \leq x \leq c; \\ \frac{d - x}{d - c}, & c \leq x \leq d; \\ 0, & d \leq x. \end{cases}$$

где a, b, c, d – параметры функции принадлежности; x – количественное значение входного параметра, имеющие треугольный вид для нечеткой системы.

Система имеет два входных переменных, имеющих по три термина

$$X_1 = \{x_{11}\} + \{x_{12}\} + \{x_{13}\} \text{ и } X_2 = \{x_{21}\} + \{x_{22}\} + \{x_{23}\}$$

и выходную переменную, имеющую пять термов, $y \in Y\{y_1\} + \{y_2\} + \{y_3\} + \{y_4\} + \{y_5\}$.

Алгоритм обучения нейронной сети

Этап 1. Операция фаззификация входных переменных.

Этап 2. Определение степень принадлежности для каждой входной информации.

Этап 3. Синтезируется нечёткая база знаний, содержащих нечеткие правила (рис. 1.).

НП	Если	То	НП	Если	То	НП	Если	То			
НП ₁	x_{11}	x_{21}	y_5	НП ₄	x_{11}	x_{21}	y_4	НП ₄	x_{11}	x_{21}	y_3
НП ₂	x_{11}	x_{22}	y_4	НП ₅	x_{11}	x_{22}	y_3	НП ₅	x_{11}	x_{22}	y_2
НП ₃	x_{11}	x_{23}	y_3	НП ₆	x_{11}	x_{23}	y_2	НП ₆	x_{11}	x_{23}	y_1

Рис. 1. Нечеткая база знаний

Этап 4. Операция дефаззификация осуществляемая методом разности площадей. При этом площади трапециевидных термов ФП вычисляются по формуле:

$$S = \frac{h}{6}(b_1 + 4b_2 + b_3),$$

где h – высота геометрической фигуры; b_1, b_2, b_3 – длина нижнего, среднего и верхнего основания геометрической фигуры.

Этап 5. Обучение сети. При обучении сети можно использовать стандартный метод распространения обратной ошибки ANFIS. Но в нашем случае корректировка усеченных площадей термов выходной переменной осуществляется до тех пор, пока y_{defuz} будет максимально приближенной к эталонному значению в соответствии с соотношением:

$$y_{вых} = (w)_i + \delta(y_{defuz} - y_{этал}), \tag{10}$$

где δ – шаг обучения нейро-нечеткой системы вывода (по умолчанию $\delta=0,02$).

Весовые параметры нейронной сети w , вычисляется на основе стандартного метода распространения ошибки ANFIS.

Следует отметить, что применение метода мягких арифметических операций в процессе обучения показал преимущество относительно традиционных методов обучения. Также надо отметить, что предложенный метод обучения нечетких систем имеет отклик результирующей переменной во всей области определения входных и выходных параметров.

Адаптация параметров нейронной сети осуществляется по следующей процедуре.

Слой 1. Представляет собой процесс фаззификации входных переменных, каждый из них имеет по паре термы с функцией принадлежности. Входы сети соединены исключительно со своими термами.

Слой 2. Выходами нейронов первого слоя являются значения степени принадлежности для каждой из предпосылки входных переменных.

Слой 3. Каждый узел данного слоя соответствует конкретному нечеткому правилу управления НПУ. Выходами узлов данного слоя являются значения степеней истинности.

Слой 4. В данном слое формируются функции принадлежности выходного параметра.

Слой 2÷4 представляют собой механизм нечетко-логического вывода.

Слой 5. Осуществляется процесс дефаззификации выходного параметра.

В процессе обучения НС происходит формирования новых термов функции принадлежности выходного параметра, до тех пор пока значение, получаемое в нейро-нечеткой сети не будет равно заданному числу $y = y_{зад}$.

Результаты исследования

На базе этих рассуждений построена имитационная модель нечеткой системы регулирования температуры абсорбера в среде Matlab (рис. 2) и проведен ряд вычислительных экспериментов при наличии внешних и параметрических возмущающих воздействий.

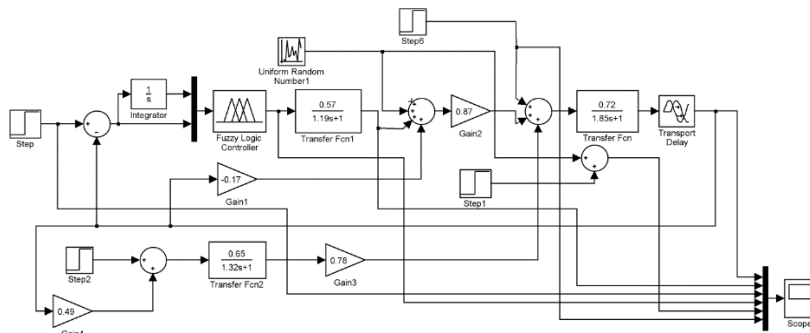


Рис. 2. Имитационная модель адаптивно нечеткой системы управления температурным режимом абсорбционной колонной

В качестве эталонной модели будем использовать передаточную функцию, соответствующему реальному состоянию процесса:

$$W(p) = \left[\begin{array}{c} \frac{5}{(p + 10,96)(p + 0,46)} \\ \frac{0,28(p + 12,50)}{(p + 10)(p + 0,5)} \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \frac{2,5}{(p + 10,96)(p + 0,46)} \\ \frac{10}{(p + 10)(p + 0,5)} \end{array} \right]$$

При вычислительном эксперименте в среде Simulink MatLab рассматривалось скачкообразное изменение температуры внешней среды (нагрузки) (рис. 3).

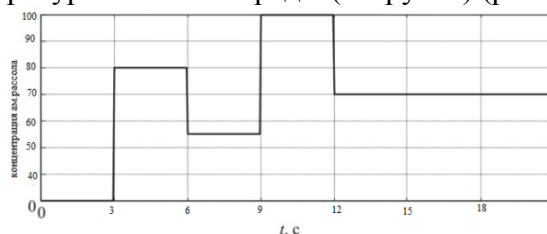


Рис. 3. Изменение температуры относительно номинального режима

Эксперимент показал, что наилучший коэффициент адаптации равен $\mu = 0,65$.

На рис. 4 показано сравнение работы адаптивно-нечеткой системой с эталонной моделью с коэффициентом адаптации (пунктирная линия) и адаптивной системой с эталонной моделью с переменной μ , управляемой обученной ИНС. На рис. 4 показан график изменения μ во время переходного процесса. Из графиков видно, что предлагаемая система дает наилучший результат, чем классический.

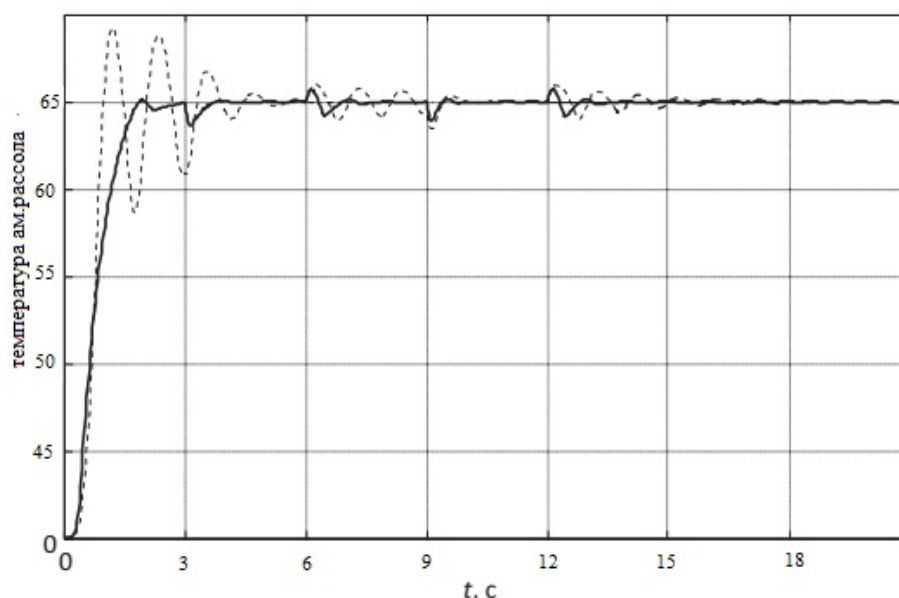


Рис. 4. Графики переходных процессов в адаптивной системе управления с эталонной моделью с постоянным и переменным коэффициентом адаптации

Заключение

В работе предложен алгоритм адаптивной надстройки параметров нейро-нечеткого регулятора с применением метода разности площадей, обеспечивающий быстродействие и точности выработки управляющих воздействий. Показано, что применение мягких арифметических операций для выработки управляющих воздействий позволяет учитывать любые изменения свойства объекта управления и внешних воздействий. Также приведен алгоритм обучения нейронных сетей на базе метода разности площадей, позволяющий снизить время вычисления управлений. Разработанный алгоритм реализован в среде Matlab и проведен имитационный эксперимент с целью определения возможности метода.

Список использованных источников

1. Brown, M.P. The New Physique / M.P. Brown, K. Austin, 2005. – pp. 25-30.
2. Brown, M.P. Appl. Phys. Letters 85. / M.P. Brown, K. Austin, 2004. – pp. 2503-2504.
3. Wang, R.T., In Classic Physiques, 1999. – pp. 212-213.
4. Smith, C.D. Load-cycling in cubic press / C.D. Smith, E.F. Jones : AIP Conference Proceedings 620, 2002. – pp. 651-654.
5. Jackson, B.R. U.S. Patent No. 6,345,224 / B.R. Jackson, T. Pitman, 2004.
6. Davids, D.L. Recovery effects in binary aluminum alloys. Harvard University, 1998.
7. Каландаров, П.И. Научные основы влагометрии : монография / П.И. Каландаров, О.С. Логунова, С.М. Андреев. – Ташкент : Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, 2021. – 175 с.
8. Kalandarov, P.I. Anaiysis of hydrothermal features of grain and instrument desulphurization of moisture control / P.I. Kalandarov, Z.M. Mukimov, O.S. Logunova // Technical Science and Innovation. – 2020. – No 1. – P. 117-123.
9. Каландаров, П.И. Программно-техническая реализация задач повышения достоверности измерительной информации / П.И. Каландаров, Б.М. Темербекова // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серия: Приборостроение. – 2012. – № 43. – С. 126-133.
10. Iskandarov, B.P. An analysis of the effect of interfering factors on the results of measurements of the moisture content of a material at high frequencies / B.P. Iskandarov, P.I. Kalandarov Measurement Techniques. – 2013. – T. 56. – № 7. – P. 827-830.

Материал поступил в редакцию: 08.10.2021

Материал принят к публикации: 29.10.2021

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ALGORITHM OF NEURO-FUZZY CONTROLLER PARAMETER ADAPTATION BASED ON THE METHOD OF AREA DIFFERENCE

Siddikov I.H., Kalandsrov P.I., Yadgarova D.B., Ismatullaev X.N.

Abstract. As part of the study, a control scheme with the adaptation of the coefficients of the neuron-fuzzy regulator implemented. The area difference method used as a training method for the network. It improved by adding a rule base, which allows choosing the optimal learning rate for individual neurons of the neural network. The neural network controller applied as a superstructure of the PID controller in the process control scheme. The dynamic object can function

in different modes. This technological process operates in different modes in terms of loading and temperature set-points. Because of experiments, the power consumption and the amount of time required maintaining the same absorption process, using a conventional PID controller and a neural-network controller evaluated. It concluded that the neuro-fuzzy controller with a superstructure reduced the transient time by 19%.

Keywords: neural network, PID controller, neural network optimizer, area difference method, nonlinear systems.

References

1. Brown, M. P., Austin K. (2005) *The New Physique*: 25-30.
2. Brown, M. P., Austin K. (2004) *Appl. Phys.*: 2503-2504.
3. Wang, R.T. (1999) *In Classic Physiques*: 212-213.
4. Smith, C.D., Jones, E.F. (2002) *Load-cycling in cubic press*: 651-654.
5. Jackson, B.R., Pitman, T. (2004). *Patent No. 6,345,224*.
6. Davids, D.L. (1998) *Recovery effects in binary aluminum alloys*.
7. Kalandarov, P.I. Logunova, O.S., Andreev, S.M. (2021) *Nauchnye osnovy vlagometrii*, Tashkent : 175.
8. Ismatullaev, P.R., Kalandarov, P.I. (2011) *Pribory*, 7 (133): 40-44.
9. Kalandarov, P.I., B.M. Temerbekova (2012) *Vestnik Nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta Ukrainy «Kievskij politekhnicheskij institut»*. *Seriya: Priborostroenie*, № 43: 126-133.
10. Iskandarov, B.P., Kalandarov, P.I. (2013) *Measurement Techniques*, 7: 827-830.

ОБ АВТОРАХ:

Сиддилов Исомиддин Хакимович – доктор технических наук, профессор кафедры «Система обработки информации и управления». Ташкентский государственный университет им. И. Каримова, г. Ташкент, Республика Узбекистан.

E-mail: isamiddin54@gmail.com.

Каландаров Палван Искандарович – доктор технических наук, профессор. Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, г. Ташкент, Республика Узбекистан. E-mail: eest_uz@mail.ru.

Ядгарова Дилноза Бахтиеровна – доктор философии по техническим наукам (PhD), и.о. доцента кафедры Автоматизация и управление технологическим процессом и производством. Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, г. Ташкент, Республика Узбекистан. E-mail: yadgarova2858@gmail.com.

Исматуллаев Худжат Нигматович – кандидат технических наук, доцент кафедры Автоматизация и управление технологическим процессом и производством. Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, г. Ташкент, Республика Узбекистан, E-mail: x.ismatullaev@tiame.uz.

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Сиддилов, И.Х. Алгоритм адаптации параметров нейро-нечеткого регулятора на основе метода разности площадей / И.Х. Сиддилов, П.И. Каландаров, Д.Б. Ядгарова, Х.Н. Исматуллаев // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2021. – Т.9. – № 1. – С. 22-28. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-22-28.

Siddikov I.H., Kalandsrov P.I., Yadgarova D.B. and Ismatullaev X.N. (2021) Algorithm of neuro-fuzzy controller parameter adaptation. Software of systems in the industrial and social fields, 9 (1): 22-28. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-22-28.

ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ МОДЕЛИ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СЕТИ ОРГАНИЗАЦИИ

Повитухин С.А., Королева В.В., Логунова О.С., Ячменева В.В.

Аннотация: В условиях растущей конкуренции моделирование стало очень мощным инструментом для планирования, проектирования и управления сложными системами. Имитационное моделирование (ИМ) является одним из самых важных инструментов анализа, доступным для тех, кто отвечает за проектирование и эксплуатацию процессов или систем. Логистические сети становятся все более сложными и взаимосвязанными и для более продуктивного анализа таких систем и логистических решений необходимо использовать современное программное обеспечение (ПО). Это позволяет моделировать, выполнять и анимировать любую логистическую сеть с любым уровнем детализации. На транспортировку и хранение товара, сырья и материалов приходится значительная часть общего времени выполнения заказа. Сокращение сроков выполнения заказов приводит к повышению конкурентоспособности организации. Целью статьи является описание концептуальной модели логистической сети организации.

Ключевые слова: моделирование, имитационное моделирование, логистика, модель, логистическая сеть.

Введение

Моделирование логистической сети может быть выполнено с использованием любого ПО, доступного на современном рынке. В настоящее время имеется большой выбор такого ПО, предоставляющего инструмент для изучения влияния логистических решений на ключевые показатели эффективности компании. Системы позволяют моделировать сети поставщиков, складов и каналов доставки, т. е. динамики всей цепочки поставок от источника к пользователю. Это позволяет проектировать, анализировать и изучать такие вопросы, как проблемы с пропускной способностью и выявление узких мест процессов поставки, развертывание логистики, ресурсов, а также скорость и надежность поставок. Ниже приводится краткий обзор доступного ПО для моделирования:

1. Arena1: используется для моделирования услуг, производства, преобразования и логистики, цепочки поставок и других систем [1, 2].
2. Modsim2: может использоваться для моделирования транспортных моделей. Например, имитационная модель порта, железнодорожная сеть, модель управления воздушным движением, а также для моделирования производства [3].
3. Promodel3: применяется для планирования или проектирования производственных, складских и логистических систем.
4. Другие системы [4-6].

Основные этапы имитационного исследования

Независимо от типа проблемы и цели исследования процесс, с помощью которого выполняется моделирование, остается постоянным. Кратко опишем основные этапы процесса имитационного моделирования:

1. Определение проблемы. Включает определение целей исследования и определение того, что необходимо решить. Проблема определяется путем наблюдений за процессом, подлежащим изучению.
2. Планирование проекта. Задачи, требующие решения для реализации проекта, разбиты на рабочие пакеты с указанием ответственной стороны для каждого пакета. Задачи указываются для отслеживания прогресса в реализации системы.
3. Определение структуры системы. Включает в себя определение компонентов системы, которые должны быть смоделированы, и меры по обеспечению эффективности, которые необходимо проанализировать.
4. Формулировка модели. Понимание того, как ведет себя реальная система, и определение основных требований к модели необходимы для разработки корректной модели. Дает понимание того, какие переменные (неизвестные) должны быть задействованы и как эти переменные взаимодействуют.

5. Сбор и анализ входных данных. Большинство данных для имитационной модели имеют стохастическую природу и изменяются во времени, следовательно, соответствуют некоторому распределению вероятности, генерируемому во времени информацией, собранной за период. На этапе определяется тип распределения собираемых данных и их соответствие теоретическим распределениям. Это может быть сделано с помощью формальных статистических тестов или с помощью простого графического метода. При этом гистограмма теоретического распределения отображается на гистограмме данных, и выполняется визуальная оценка для определения качества соответствия.

6. Перевод модели. Модель переводится на язык программирования или язык программы для моделирования.

7. Верификация и валидация модели. После того, как выбрано распределение (на основе визуального изучения и/или статистических тестов), нужно оценить качество подгонки. Тест соответствия качества используемых данных пытаются измерить и оценить отклонение распределения данных от выбранного теоретического распределения. Что можно сделать с помощью тестов, например, критерий хи-квадрат (χ^2) и/или тест Колмогорова-Смирнова.

8. Экспериментирование и анализ. Включает разработку альтернативных моделей, выполнение прогонов моделирования и статистическое сравнение эффективности альтернативной модели с характеристиками реальной системы.

9. Документация и реализация. Документация состоит из письменного отчета и/или презентации.

Основные требования к логистической модели

Описание процессов (действий), которые должны быть представлены в имитационной модели, включает:

1. Учет заказов клиентов:

- обработка заказов на складе (ручная): приходные и расходные накладные;
- обработка нехватки или избыточности запасов: выполнение заказа на складе или отправка сообщения на другой склад.

2. Управление отгрузкой заказчику:

- группировка и паллетирование (упаковка, укладка) заказов;
- терминальные операции на заводах-изготовителях и складах поставщика: погрузка и разгрузка заказов;
- распаковка заказов;
- выбор вида транспортировки на завод или склад.

3. Движение комплектующих, необходимых для выполнения заказа.

4. Движение готовой продукции для заказа.

5. Расположение предприятий заказчика.

Требования к данным и результатам моделирования:

1. Входные данные:

- количество и расположение заводов, складов, клиентов и т. д.;
- покупательский спрос на складах;
- информация об изделиях, производящихся на разных заводах;
- описание требуемых материалов и комплектующих;
- время транспортировки.

2. Результаты, в которых заинтересован пользователь модели:

- средние значения загруженности склада и вида транспорта;
- требуемые уровни запасов в производственных цехах и на складах;
- транспортные издержки между заводом и складом, между складом и покупателем;
- заказы клиентов: среднее время ожидания на складе, количество покупателей, ожидающих выполнения заказа на складе.

При поставках продукции необходимо определить следующее:

1. Количество и расположение: потенциальных клиентов, торговых точек, складов

продукции, с указанием их видов: полностью автоматизированных, полуавтоматизированных или с использованием ручной погрузки.

2. Размер и ассортимент товарных запасов в каждом месте: торговой точке, складе и заводе-производителе.

3. Требуемые виды транспорта: автоперевозки, железная дорога, морские или речные суда и т. д.

Описание ресурсов предприятия должно иметь структуру:

1. Описание продукции и комплектующих с указанием:

- производится собственными силами или поставляется;
- полуфабрикат или готовая продукция;
- паллетизирование продукции.

2. Описание заказов:

- заказы клиентов;
- заказы на недостачу на складе.

Все статические и динамические объекты и ресурсы должны быть полностью или частично представлены в имитационной модели в зависимости от уровня детализации, требуемого пользователем логистики. Это позволит получить оценку возможных альтернатив, включающих различные комбинации распределения потребителей, розничных торговых точек, складов продукции и способов транспортировки и обработки заказов.

Заключение

Логистический подход к управлению поощряет единый взгляд на движение товаров, сырья и материалов внутри компании, что приводит к изменению структуры маркетинга организации. Следствием применения логистического подхода является интеграция транспорта, складирования и управления запасами в единую систему. Имитационная модель логистической сети разрабатывается для изучения влияния изменений, связанных с графиками производства, потребительским спросом и задержками при транспортировке. Предполагается, что все это должно быть смоделировано отдельно, а затем интегрировано с базовой логистической сетью.

Список использованных источников

1. Управление транспортными потоками медного месторождения с использованием имитационного моделирования на основе программы ARENA / Т.Н. Варфоломеева [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2019. – № 3. – С. 35-40.
2. Колпакова, О.В. Моделирование участка маршрутной сети методами имитационного моделирования / О.В. Колпакова, Р.Н. Шматков / Логистика – евразийский мост: сб. тр. XIV Международ. науч.-практ. конф. – Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет. – 2019. – С. 136-140.
3. Обоснование инструментальных средств проектирования информационного ресурса для обеспечения комплекса исследований по добыче и переработке редкоземельного и редко металлического сырья / А.А. Петров [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) № S4-16. – 2014. – С. 28-37.
4. Родина, Р.В. Имитационное моделирование бизнес-процессов в системе моделирования RENQUE // Р.В. Родина, И.М. Якимов, А.П. Кирпичников. // Вестник Технологического университета. – 2018. – Т. 21. – № 10. – С. 171-174.
5. Тазюков, Н.И. Использование имитационного моделирования в логистике и моделировании цепей поставок / Н.И. Тазюков, А.О. Семькин, Т.А. Суетина // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сб. научн. ст. по итогам двенадцатой международ. науч. конф. – Казань : «Конверт» – 2020. – С. 15-17.
6. Комплексный подход к моделированию сложных систем в системе BPwin-Arena / И.М. Якимов [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 6. – С. 287-292.

Материал поступил в редакцию: 01.10.2021

Материал принят к публикации: 26.10.2021

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ORGANIZATION'S LOGISTIC NETWORK MODEL STRUCTURE

Povitukhin S.A., Koroleva V.V., Logunova O.S., Yachmeneva V.V.

Abstract. In an increasingly competitive environment, simulation has become a very powerful tool for planning, designing and managing complex systems. Simulation modeling (MI) is one of the most important analysis tools available to those responsible for the design and operation of processes or systems. Logistics networks are becoming more complex

and interconnected, and for more efficient analysis of such systems and logistics solutions, it is necessary to use modern software (software). This allows you to model, execute and animate any logistics network at any level of detail. Transportation and storage of goods, raw materials and supplies accounts for a significant part of the total lead time. Reducing the lead time leads to an increase in the competitiveness of the organization. The purpose of the article is to describe the conceptual model of the organization's logistics network.

Keywords: Modeling, simulation, logistics, model, logistics network.

References

1. Varfolomeeva T.N. [i dr.] (2019) *Fundamental'nye issledovaniya*, 3: 35-40.
2. Kolpakova O.V., SHmatkov R.N. (2019) *Modelirovanie uchastka marshrutnoj seti metodami imitacionnogo modelirovaniya* *Logistika – evrazijskij most*: 136-140.
3. Petrov A.A. [i dr.] (2014) *Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*, 4-16: 28-37.
4. Rodina, R.V., YAkimov I.M., Kirpichnikov A.P. (2018) *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*, № 10: 171-174.
5. Tazyukov N.I., Semykin A.O., Suetina T.A. (2020) *Ispol'zovanie imitacionnogo modelirovaniya v logistike i modelirovanii cepej postavok*. *Prioritetnye napravleniya innovacionnoj deyatel'nosti v pro-myshlennosti: sbornik nauchnyh statej po itogam dvenadcatoy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii* : 15-17.
6. YAkimov I.M. [i dr.] (2014) *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 6: 287-292.

ОБ АВТОРАХ:

Повитухин Сергей Алексеевич – канд. техн. наук, доцент, ГБОУ ДПО РК «Крымский республиканский институт постдипломного педагогического образования», кафедра естественно математического образования, Республика Крым, г. Симферополь, РФ.

Королева Валентина Валерьевна – канд. пед. наук, доцент, доцент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», институт «Механизации и технического сервиса», кафедра физики и математики, г. Казань. Email: taisa_67@mail.ru.

Логунова Оксана Сергеевна – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: logunova66@mail.ru

Ячменева Валерия Владимировна – канд. пед. наук, доцент, доцент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет», институт «Строительства, архитектуры и искусства», кафедра дизайна, г. Магнитогорск. Email: Markandmark2@mail.ru.

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Повитухин, С.А. Описание структуры модели логистической сети организации / С.А. Повитухин, В.В. Королева, О.С. Логунова, В.В. Ячменева // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2021. – Т.9. – № 1. – С. 29-32. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-29-32.

Povitukhin S.A., Koroleva V.V., Logunova O.S. and Yachmeneva V.V. (2021) Organization's logistic network model structure. Software of systems in the industrial and social fields. 9 (1): 29-32. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-29-32

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

SOFTWARE

УДК 681.3.062

DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-33-36

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ
О ДЕФЕКТАХ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

Абдулвелеева Р.Р., Иванин Е.М.

Аннотация: В статье предлагается описание программы, предназначенной для автоматизации обработки больших данных (*BigData*) и их визуализации. В качестве структурированных данных выступают показатели качества металлопродукции, которые получают на основе обработки отчетной документации в информационной системе. Актуальность темы обуславливается появлением технологических возможностей анализировать огромные массивы данных и их визуализации. Проблема автоматизации полученных результатов о качестве выпускаемой металлопродукции завода металлоконструкций является актуальной. Повышение качества металлопродукции зависит от эффективности процедуры проведения анализа и представления данных. Предложен способ представления данных в виде графиков в среде Python. Для реализации были отобраны следующие библиотеки: *Matplotlib*, *Pandas*, *Numpy*, *Streamlit*. Описаны особенности программных библиотек и методы работы с ними. Визуализация данных в виде графиков основано на информации о неисправной продукции, представленных в виде многомерных данных, которые получены из ежедневных отчетов отдела управления качеством. Разработан алгоритм программного модуля, предлагается *UML* диаграмма активности.

Ключевые слова: аналитика, бракованная продукция, визуализация, графики, база данных.

Введение

Считается, что увиденная человеком информация запоминается на 60 % лучше, если в ней присутствуют изображения. А в случае с большими массивами данных выпущенной продукции предприятия, графическая визуализация просто необходима. На данный момент большинство предприятий формируют свою отчетную документацию в ручном или полу автоматизированном режиме. Исходя из этого, специалисту, составляющему данную документацию, порой необходимы нетривиальные знания описываемой области. После формирования составленный отчет проверяется множество раз и, несмотря на это, может содержать ошибки. Разработанный программный продукт предназначен для автоматизации процесса составления отчета и сведения участия человека в нем к минимуму. После поступления в базу данных новой информации, уже сформированный отчет автоматически изменяется и будет доступен в режиме *online* с портала предприятия.

Анализа данных о дефектах металлопродукции

Проблема организации взаимодействия между различными уровнями и звеньями аппарата управления крупной корпорацией решается обычно следующим образом. На корпоративном уровне имеется центральный отдел управления качеством, который планирует и координирует деятельность, связанную с достижением и повышением качества в масштабах корпорации и осуществляет функциональное руководство работой отделов обеспечения качества, подчиняющихся управляющим отделениям. Соответствующие отделы среднего уровня функционально руководят работой ОТК на предприятиях и обеспечивают их деятельность. Она обеспечивает единство целей и методики контроля, позволяет формировать комплексную систему информации о качестве продукции и влияющих на него факторах, не нарушает сложившихся линейных связей в производственных структурах.

Функции управления качеством выпускаемой продукции, контроль за качеством поступающего сырья, материалов и порядком правильного их хранения, анализ претензий потребителей продукции по качеству возложены на отдел управления качеством продукции или отдел технического контроля.

Основной задачей отдела является создание мониторов, дашбордов и отчетов для качественной оценки работы предприятия. В данном исследовании одним из решений для автоматизации этой задачи предлагается разработанное программное обеспечение.

Визуализация данных – это преобладающая часть работы специалистов в области *data science*. На ранних стадиях проекта часто необходимо выполнять предварительный анализ данных, чтобы выявить закономерности, которые обнаруживают данные. Визуализация данных помогает представить большие и сложные наборы данных в простом и наглядном виде. На этапе окончания проекта важно интерпретировать его результаты так, чтобы даже непрофессионалам, не обладающим техническими знаниями, была понятна предметная область.

Так как люди теряются в обилии рассматриваемой информации, и на ее восприятие тратится много времени – визуализация данных является важной составляющей при анализе большого количества данных. Плохо визуализированные данные, непонятные графики и тексты часто остаются без внимания.

Для повышения качества и эффективности процедуры проведения анализа данных необходимо разработать средства их визуализации. Одним из самых популярных языков для промышленного программирования на данный момент является *Python*, который хорошо подходит для реализации поставленной задачи.

В созданных диаграммах размаха с использованием встроенных функций *Python* есть свои недочеты – пользователю самому приходится искать значения по осям, так как созданные диаграммы не являются интерактивными объектами. Такие же недочеты имеют и графики временных рядов (графики функций, гистограммы и т.п.). Использование пакетов для работы с *Python*-библиотеками помогает разнообразить визуализацию рассматриваемых данных и, главное, сделать графические объекты более информативными.

Matplotlib — это популярная библиотека для визуализации данных, написанная на языке *Python*. Использовать её очень просто, библиотека обладает полной настройкой данных, параметров, графиков и отрисовки. *Matplotlib* состоит из множества модулей. Модули наполнены различными классами и функциями, которые иерархически связаны между собой.

В ходе разработки программного обеспечения была использована коллекция функция *matplotlib.pyplot*. Интерфейс *matplotlib.pyplot* является набором команд и функций, которые делают синтаксис графических *matplotlib* команд похожим на команды, используемые в среде *MATLAB*. Изначально *matplotlib* планировался как свободная альтернатива *MATLAB*, где в одной среде имелись бы средства как для рисования, так и для численного анализа. Именно так в *Matplotlib* появился *pylab*, который объединяет модули *pyplot* и *numpy* в одно пространство имён.

В качестве входных данных предлагается ежедневный отчет о неисправной продукции. Данный отчет поступает в базу данных, включая сравнение количества испорченной продукции на сегодняшний день с количеством испорченной продукции в предыдущие дни. Также указываются марки бракованной продукции, цех, время и причина неисправности.

Все эти данные необходимо систематизировать и вести мониторинг с помощью *Python* скрипта. В случае частых неисправностей по одинаковой причине должен высылаться отчет в данный отдел. На рис.1 можно увидеть полный цикл работы программы.

Для построения графика необходимо определить, с какой целью он составляется, и тщательно изучить исходный материал. При этом следует учитывать главное условие — это владение методологией графических изображений. Любой статистический график должен иметь следующие элементы: графический образ; поле графика; пространственные ориентиры, масштабные ориентиры; экспликации графика.

Визуализированные данные хранятся на сервере предприятия металлоконструкций. Обмен данных происходит за счет вызова встроенных функций библиотеки *Streamlit*.

Оперировать таким большим количеством информации сотруднику отдела управления качеством будет непросто, поэтому было принято решение разработать программный продукт для удобного просмотра информации. Было решено использовать *Python* библиотеку под названием *Streamlit*. В данной ситуации это самый быстрый способ создать веб-приложения для работы с данными. *Streamlit* позволяет превращать сценарии данных в веб-приложения для совместного использования за считанные минуты. Библиотека находится в открытом доступе и с открытым исходным кодом. И представляет собой платформу для раз-

вертывания, управления и совместного использования приложения. Есть несколько способов размещения *Streamlit* в приложениях. Но, так как в большинстве предприятий база данных заполнена конфиденциальной информацией, то программа запускается с локального сервера.

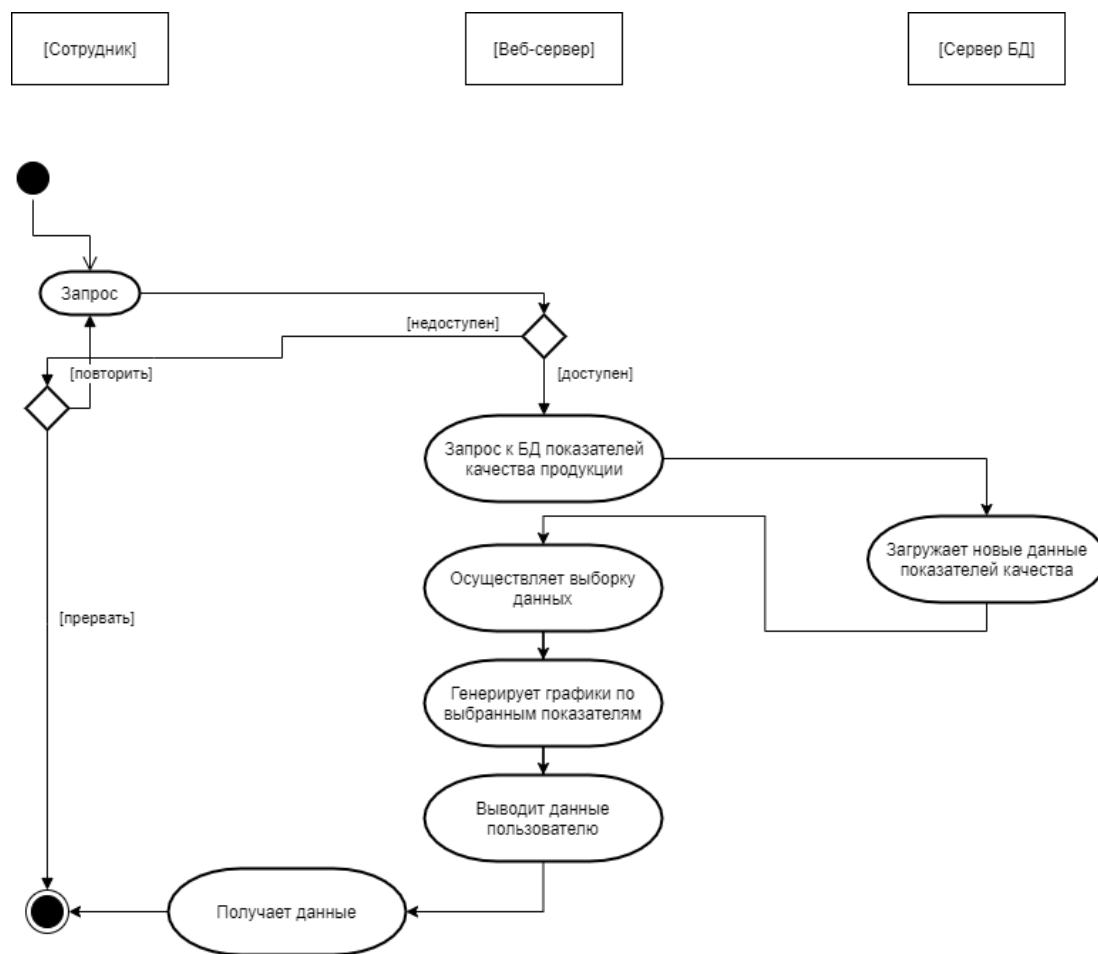


Рис.1. UML диаграмма активности

Заключение

В результате исследования было разработано программное обеспечение, которое позволяет существенно ускорить процессы принятия решений на разных уровнях компетенций. Графическое отображение информации позволяет визуализировать полученные данные, произвести анализ, подкрепить сформулированный вывод, либо подчеркнуть акцент. Это помогает четко выделить тенденции развития предприятия. На сравнительных графиках можно будет увидеть проблемное место на этапе производства, оперативно исправить выявленные недостатки.

Список использованных источников

1. Бакетт, К. Dart в действии / К. Бакетт – Москва: ДМК Пресс, 2018. – 528 с.
2. Желязны, Дж. Говори на языке диаграмм / Дж. Желязны. – СПб. : Манн, Иванов и Фербер, 2010. – 304 с.
3. Заметти, Ф. Flutter на практике / Ф. Заметти – Москва: ДМК Пресс, 2020. – 328 с.
4. Мэтиз, Э. Изучаем Python. Программирование игр, визуализация данных, веб-приложения / Эрик Мэтиз. – СПб. : Питер, 2019. – 496 с.
5. Митчелл, Райан. Скрапинг веб-сайтов с помощью Python / Митчелл Райан. – Москва : ДМК Пресс, 2016. – 280 с.
6. Саммерфилд, М. Python на практике / М. Саммерфилд – Москва: ДМК Пресс, 2016. – 338 с.
7. Абдулвелеева, Р.Р. Разработка кроссплатформенного мобильного приложения с использованием технологии MVC / Р. Р. Абдулвелеева, Е. М. Иванин // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : Тезисы докладов 79-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 19-23 апреля 2021 года. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. – С. 357.
8. Абдулвелеева, Р.Р. Кроссплатформенное мобильное приложение «Электронный журнал» / Р.Р. Абдулвелеева, К.А. Блинов // Программное обеспечение для цифровизации предприятий и организаций : сб. тр. Всероссийской

научно-практической конференции. – Магнитогорск: Изд-во: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. – С. 64-67.

9. Абдулвелеева, Р.Р. Преимущества кроссплатформенных методов разработки мобильных приложений над нативными / Р.Р. Абдулвелеева, В.Г. Казанцев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : Тезисы докладов 79-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 19-23 апреля 2021 года. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. – С. 355.

Материал поступил в редакцию: 20.10.2021

Материал принят к публикации: 01.11.2021

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

SOFTWARE FOR ANALYSIS OF DATA ON METAL PRODUCT DEFECTS

Abdulveleeva R.R., Ivanin E.M.

Abstract. This article describes a program designed to automate the processing of big data (BigData) and their visualization. The structured data are indicators of the quality of metal products, which are obtained based on the processing of accounting documentation in the information system. The relevance of the topic is due to the emergence of technological capabilities to analyze huge amounts of data and visualize them. The problem of studying the quality data of the manufactured products of the metal structures plant is relevant. Improving the quality of metal products depends on the effectiveness of the analysis procedure and data presentation. A method for representing data in the form of graphs in the Python environment is proposed. The following libraries were selected for implementation: Matplotlib, Pandas, Numpy, Streamlit. The features of software libraries and methods of working with them are described. The presentation of data in the form of graphs is based on information obtained from daily reports on faulty products.

Keywords: Analytics, defective products, visualization, graphics, database.

References

1. Bakett, K. (2018) *Dart v dejstvii*.
2. Zhelyazny, Dzh. (2010) *Govori na yazyke diagramm*.
3. Zametti, F. (2020) *Flutter na praktike*.
4. Metz, E. (2019) *Izuchaem Python. Programmirovaniye igr, vizualizatsiya dannyh, veb-prilozheniya*.
5. Mitchell, Rajan. (2016) *Skrapping veb-sajtov s pomoshch'yu Python*.
6. Sammerfeld, M. (2016) *Python na praktike*.
7. Abdulveleeva, R.R., Ivanin, E.M. (2021) *Aktual'nye problemy sovremennoj nauki, tekhniki i obrazovaniya* : 357.
8. Abdulveleeva, R.R. Blinov, K.A. *Programmnoye obespecheniye dlya cifrovizatsii predpriyatij i organizatsij* : 64-67.
9. Abdulveleeva, R.R. Kazancev, V.G. *Aktual'nye problemy sovremennoj nauki, tekhniki i obrazovaniya* : 355.

ОБ АВТОРАХ:

Абдулвелеева Рауза Рашитовна – канд. пед. наук, доцент, доцент кафедры математики и естествознания, НФ НИТУ «МИСиС», г. Новотроицк. Email: rashitovna-2011@mail.ru.

Иванин Евгений Михайлович – студент группы БПИ-18 НФ НИТУ «МИСиС» г. Новотроицк. Email: n1800996@edu.misis.ru.

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Абдулвелеева, Р.Р. Программное обеспечение для анализа данных о дефектах металлопродукции / Р.Р. Абдулвелеева, Е.М. Иванин // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2021. – Т.9. – № 1. – С. 33-36. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-33-36.

Abdulveleeva R.R. and Ivanin E.M. (2021) Software for analysis of data on metal product defects. Software of systems in the industrial and social fields. 9 (1): 33-36. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-33-36

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

SHORT MESSAGES

УДК 622.1

DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-37-38

ИНСТРУМЕНТЫ ПРОГНОЗНОЙ АНАЛИТИКИ В СОКРАЩЕНИИ ПРОСТОЕВ СТРОИТЕЛЬНЫХ, ДОРОЖНЫХ И ГОРНЫХ МАШИН*Великанов В.С.*

Анализ статистических данных работы строительных, дорожных и горных машин на предприятиях Российской Федерации показал, что отсутствуют значительные изменения в сокращении количества простоев технологического оборудования, так например, уровень эффективного использования экскаваторов на горных предприятиях УрФО составляет порядка 70% календарного времени, что в конечном итоге, влияет на технико-экономические показатели предприятия и определяет себестоимость готовой продукции.

Поэтому, в настоящее время, одной из стратегических проблем стоящей перед строительной и горной отраслями является прогнозирование аварий и простоев оборудования.

Прогнозная аналитика (англ. *predictive analytics*) – это инструмент для анализа статистически значимых и объективных данных, который помогает строить точные прогнозы для принятия решений.

На сегодняшний день в научно-технической литературе представлено и описано значительное количество методов прогнозирования, но к наиболее часто используемым относятся следующие: экстраполяция, моделирование, нормативный метод и метод экспертных оценок.

Дерево отказов один из подходов в реализации методов прогнозирования который представляет собой дедуктивное логическое построение, реализованное в виде многоуровневой графологической структуры причинных взаимосвязей, полученных в результате прослеживания опасных ситуаций в обратном порядке для того, чтобы отыскать возможные причины их возникновения.

К основным достоинствам метода можно отнести следующие факторы: в явном виде демонстрируются ненадежные места рассматриваемой системы; осуществляется качественный или количественный анализ надежности системы; определяется возможность для специалистов сосредотачиваться на конкретных отказах системы поочередно; дается подробный анализ поведения системы и взаимодействия ее элементов в процесс эксплуатации.

К ограничениям дерева отказов относятся:

- значительные временные затраты;
- схема дерева отказов строится на основе традиционной (булевой) логики, демонстрирующей только два состояния: рабочее и нерабочее;
- не учитывается частичный отказ элементов;
- от специалистов по надежности требуется глубокое понимание системы и конкретный анализ только одного определенного отказа в каждом конкретном случае;
- дерево отказов описывает систему в установившемся режиме.

Список использованных источников

1. Великанов, В.С. Развитие научно-методологических основ совершенствования карьерных экскаваторов на базе нечетко – множественного подхода / В. С. Великанов, М. Ю. Гуров. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2018. – 217 с. – ISBN 9785996712427.
2. Анализ показателей долговечности рукояти карьерного экскаватора / О.Р.Панфилова [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2018. – Т. 16. – № 4. – С. 13-20. – DOI 10.18503/1995-2732-2018-16-3-13-20.
3. Моделирование и оптимизация режимов работы горных машин с использованием среды MATLAB / И.Г. Усов [и др.] // Горный журнал. – 2017. – № 12. – С. 78-81. – DOI 10.17580/gzh.2017.12.15.
4. Velikanov, V. S. Methods and means for the in-house training of mining machine operators / V. S. Velikanov, N. V. Derina, A. A. Abdrakhmanov // MATEC Web of Conferences, Sevastopol, 11–15 сентября 2017 года. – Sevastopol: EDP Sciences, 2017. – P. 06004. – DOI 10.1051/mateconf/201712906004.

5. Великанов, В.С. Тестовые методики и тренажерные средства в системе повышения профессионального мастерства операторов горных машин / В.С. Великанов // Горный журнал. – 2012. – № 9. – С. 131-133.
6. Комплексная оценка технического уровня механического оборудования карьеров / Ю.Е. Воронов [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2019. – № 4(144). – С. 26-33.
DOI 10.26730/1816-4528-2019-4-26-33.

ОБ АВТОРАХ:

Великанов Владимир Семенович – доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, ФГАОУ ВО «УрФУ им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Российская Федерация. E-mail: rzhik_00@mail.ru.

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Великанов, В.С. Инструменты прогнозной аналитики в сокращении простоев строительных, дорожных и горных машин / В.С. Великанов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2021. – Т.9. – № 1. – С. 37-38. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-37-39.

УДК 371.27:004.9

DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-38-39

ГЕЙМИФИКАЦИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ PYTHON НА ПЛАТФОРМЕ PYTHONCHIC

Ильина Е.А., Горлова Е.А., Шеметова О.И.

С развитием технологий растёт популярность IT-сферы: все больше людей изучают языки программирования, спрос на программистов увеличивается по данным от Ростех, в частности специалистов, работающих на *Python*. *Python* популярен в сообществе профессионалов и применяется во многих сферах: анализе данных, машинном обучении, *DevOps* и веб-разработке, также разработке игр. Для успешной сдачи единого государственного экзамена по информатике выпускник школы уже должен знать такие языки программирования, как Бейсик, Паскаль, C++ и *Python*. И наиболее легким в изучении является *Python*.

Python – это интерпретируемый, высокоуровневый язык программирования общего назначения. Он используется в самых разных приложениях, включая веб и мобильную разработку. *Python* является объектно-ориентированным языком с открытым исходным кодом. Одна из самых привлекательных черт *Python* – интерпретируемость. Интерпретируемый язык программирования – тот, который не требует компиляции программы перед запуском. Не смотря на все перечисленные достоинства, при изучении *Python* обучающийся сталкивается с рядом проблем: отсутствие мотивации, большое количество задач и монотонности в изучении.

Рассмотренные проблемы решаются при помощи метода геймификации – способа повышения мотивации людей за счет игровой механики. В настоящий момент она является стандартным инструментом по взаимодействию с пользователями. Геймифицированный процесс обучения состоит в достижении небольших, понятных целей и получении за это вознаграждения. С помощью наград и соревновательных элементов, обучающийся мотивируется на изучение языка программирования. Решая несложные задачи, ученик получает достижения по итогу их выполнения. При этом вознаграждения увеличивается если пользователь делает предназначенные ему задачи по программированию ежедневно. Геймификация устанавливает дружескую атмосферу, позволяя обойтись без зубрёжки и ответов у доски, игры помогают развить логику.

Разработанная платформа *PythonChic* реализует игровую и обучающую часть для пользователя. Обучающая часть включает в себя теоретический материал, представленный в виде описания работы, схем и видеороликов. Игровая часть содержит контрольный материал, представленный в виде задачи для программирования, выполняемые в виде игры «Питон-Чик». Пользователю дан персонаж питон по имени «Чик», который растёт в зависимости от количества правильно отверченных вопросов. В трудные минуты, Чик помогает ученику пройти уровень, мотивируя его своими преобразованиями.

Список использованных источников

1. Геймифицирование процесса подготовки к основному государственному экзамену по информатике / Е.А. Горлова [и др.] // Программное обеспечение для цифровизации предприятий и организаций : Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции, Магнитогорск, 14-16 июня 2021 года. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. – С. 103-105.

2. Визуализация результатов научной деятельности / О.С. Логунова [и др.]. – М.: Издательский Дом «Инфра-М», 2019. – 156 с.
3. Transformation, Visualization and Analysis Different Kind of Study Information Contained in the Students' Electronic Portfolio / N. Dyakonov [et al.] // Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2021. – Vol. 220. – P. 407-418. DOI 10.1007/978-981-33-6632-9_36.
4. Проектирование системы оценивания уровня владения информационно-коммуникационной компетенцией обучающихся средней школы / К. Ю. Журавлева [и др.] // Перспективы науки. – 2021. – № 2(137). – С. 154-157.
5. Рубанова, С. В. Анализ и сравнение существующих Web-приложений для проведения онлайн-обучения / С.В. Рубанова, Е.А. Ильина // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : Тезисы докладов 79-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 19-23 апреля 2021 года. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. – С. 333.
6. Кочержинская, Ю.В. Системный анализ : Практикум / Ю.В. Кочержинская, Е.А. Ильина. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. – 59 с.

ОБ АВТОРАХ:

Ильина Елена Александровна – канд. пед. наук, доцент кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет», г. Магнитогорск. Email: dar_nas@mail.ru.

Горлова Екатерина Андреевна – студент кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Шеметова Ольга Ильинична – учитель информатики МОУ «СОШ №13 им. Ю.А. Гагарина», г. Магнитогорск. Email: liska-moon@yandex.ru.

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Ильина, Е.А. Геймификация при изучении python на платформе PythonChic / Е.А. Ильина, Е.А. Горлова, О.И. Шеметова // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2021. – Т.9. – № 1. – С. 38-39. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-38-39.

УДК 303.732.4

DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-39-40

**РАЗРАБОТКА ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ ДОКУМЕНТООБОРОТОМ
ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ОТДЕЛЕНИЯ
ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗЕМЕЛЬНОГО НАДЗОРА**

Василенко П.А. Кочержинская Ю.В.

Рациональное использование земельных ресурсов является одной из основных и постоянных функций государства. Рычагом воздействия, побуждающим землепользователей к разумному и целесообразному освоению природного ресурса, является государственный земельный контроль. Государственный земельный надзор в современном понимании – деятельность уполномоченных должностных лиц Росреестра – государственных инспекторов по использованию и охране земель, по предупреждению, выявлению и пресечению нарушений субъектами земельных правоотношений требований земельного законодательства. Деятельность инспектора строится на систематическом наблюдении за состоянием использования земли на установленной территории, анализ факторов риска – способствующих совершению нарушений путем анализа документов о предоставлении земли участникам правоотношений, активных действиях по проведению регламентных процедур вплоть до применения штрафных санкций. Отсутствие полноформатного продукта как приложения к действующему регламенту осуществления административной деятельности представляет трудность для исполнителя этого документа и поле для разработки модели документооборота под требования конкретного сотрудника. Таким образом, целесообразным видится решение о разработке проблемно-ориентированной системы электронного документооборота (СЭД) для регионального отделения Росреестра. После анализа нескольких концепций проектирования и реализации программных продуктов такого рода [1-3], был выработан алгоритм процесса разработки и определен инструментарий реализации.

В рамках мероприятий по проектированию системы разработана схема движения документа в организации (рис. 1). На её основе составлена MVC-модель (Model-View-Controller) разрабатываемой системы, подразумевающая разделение программного продукта на три слабосвязанных компонента, каждый из которых отвечает за свою сферу деятельности [4].



Рис. 1. Движение документа в региональном отделении организации

При реализации модели предусмотрены возможности получения цифровой модели местности и рельефа:

- 1) геоинформационные системы – государственные информационные системы, корпоративные ГИС;
- 2) пространственные данные – цифровые ортофотопланы, пространственные данные в форме топографических и тематических карт;
- 3) космическая съёмка – архивная и актуальная космосъёмка: WorldView;
- 4) программное обеспечение – геоаналитика, GeoMap, Геомонитор.

Взаимодействие с такими смежными системами и инструментами реализуется при визуализации разрабатываемой модели как отдельный набор необходимых инструментов для повседневной деятельности сотрудника.

Реализация модели выполнена как WEB-разработка, при создании которой использовался следующий инструментарий: PHP, HTML, CSS, JavaScript и др. Визуально предлагаемый сервис представляет собой ресурс с набором функций для осуществления служебной деятельности сотрудника, подразумевающий вход пользователей с определенным набором прав при наличии действительного логина и пароля.

Список использованных источников

1. Кочержинская, Ю.В. Системный анализ : Практикум / Ю.В. Кочержинская, Е.А. Ильина. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. – 59 с.
2. Представление и визуализация результатов научных исследований : Учебник. Высшее образование: аспирантура / О.С. Логунова [и др.]. – Москва : Издательский Дом "Инфра-М", 2020. – 156 с.
3. Transformation, Visualization and Analysis Different Kind of Study Information Contained in the Students' Electronic Portfolio / N. Dyakonov [et al.] // Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2021. – Vol. 220. – P. 407-418. DOI 10.1007/978-981-33-6632-9_36.
4. Коваленко, В.В. Проектирование информационных систем : учебное пособие / В.В. Коваленко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : ИНФРА-М, 2021. – 357 с.

ОБ АВТОРАХ:

Кочержинская Юлия Витальевна – канд. техн. наук, доцент кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет», г. Магнитогорск.
Email: y.kocherzhinskaya@mail.ru.

Василенко Павел Александрович – магистр кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Василенко, П.А. Разработка проблемно-ориентированной системы управления электронным документооборотом для регионального отделения государственного земельного надзора / П.А. Василенко, Ю.В.Кочержинская // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2021. – Т.9. – № 1. – С. 39-40.
DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-1-39-40.