

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ, ПРОИЗВОДСТВЕ, СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

УДК 621.31:004

МЕТОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Ланкин А.М.¹, lankinjohn@yandex.ru, Тёнфер Х.²

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,
г. Новочеркасск

Технический университет Ильменау

Задача контроля включает в себя выработку управляющих сигналов на оборудование технологической линии с целью корректировки процесса производства в случае его нарушения. Отклонения технологического процесса обусловлены причинами двух типов. Одна группа причин связана с особенностями данного процесса – износом инструмента, ослаблением креплений, изменением температуры охлаждающей жидкости. Эти неслучайные причины могут быть устранены при настройке оборудования. Другая группа причин – неустраняемые, случайные причины изменчивости (колебания температуры окружающей среды, вариации характеристик материала и т. п.). Технологический процесс следует проводить так, чтобы изменчивость характеристик качества была обусловлена только случайными причинами. Неслучайные причины изменчивости процесса могут быть выявлены с помощью статистических методов. Если в процессе производства пропорциональных электромагнитов возникают редкие (1%-5% брака в партии изделий) отклонения, то причины их возникновения с большой долей вероятности можно отнести к случайным. Если же возникают устойчивые (>5% брака в партии изделий) отклонения технологического процесса производства, то их относят к неслучайным и требуется настройка оборудования путем управляющих сигналов. Таким образом, собирая информацию о частоте появления и виде отклонений технических параметров, принимается решение о необходимости корректировки режимов процесса производства.

Ключевые слова: технологический контроль, электротехнические устройства, метод главных компонент, классификация

METHOD OF TECHNOLOGICAL CONTROL OF ELECTROTECHNICAL DEVICES

Lankin A.M.¹, Toepfer H.²

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk
Technical University Ilmenau

The control task includes the generation of control signals for the equipment of the production line in order to adjust the production process in case of its violation. Deviations of the technological process are caused by two types of causes. One group of reasons is related to the peculiarities of this process - tool wear, loosening of fastenings, and a change in coolant temperature. These non-random causes can be eliminated when setting up the equipment. Another group of causes is fatal, random causes of variability (fluctuations in ambient temperature, variations in material characteristics, etc.). The technological process should be carried out in such a way that the variability of quality characteristics is due only to random reasons. Non-random causes of variability of the process can be identified using statistical methods. If in the process of production of proportional electromagnets rare (1% -5% rejects in a batch of products) deviations occur, then the reasons for their occurrence are likely to be attributed to random ones. If steady (> 5% rejects in a batch of products) deviations of the production process arise, then they are referred to as non-random and the equipment needs to be adjusted by means of control signals. Thus, collecting information on the frequency of occurrence and the type of deviations of technical parameters, the decision is made about the need to adjust the modes of the production process.

Keywords: process control, electrical devices, principal component method, classification.

Предлагается использовать метод технического контроля электротехнических параметров пропорциональных электромагнитов, включающий в себя пять основных этапов. На первом этапе измеряется динамическая характеристика намагничивания электротехнического устройства (ДХН ЭУ). В связи с тем, что она имеет сложный гистерезисный характер, на втором этапе снижается размерность анализируемой информации с помощью метода главных компонент (МГК), а так же исключается явление мультиколлинеарности. На третьем этапе производится классификация измеренных характеристик для выделения изделий, несущих информацию об устойчивых отклонениях ТП производства ЭУ. На четвертом этапе определяются численные значения электротехнических параметров составных частей ЭУ при помощи построения регрессионной модели на основе нейронных сетей. Для этого предлагается использовать метод, суть которого состоит в установлении количественной связи между переменными x (матрицей координат точек ДХН, проецированных в пространство главных компонент для изделий из обучающей выборки, признанных некондиционными) и откликом y (матрицей значений электротехнических параметров составных частей электромагнита, характеризующих режимы технологического процесса их изготовления), в виде зависимости:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots | a_1, a_2, a_3, \dots) + \varepsilon,$$

где $f(x_1, x_2, x_3, \dots | a_1, a_2, a_3, \dots)$ – составляющая, несущая латентную информацию о признаках исследуемого объекта, ε – составляющая несущая информацию о шумах (случайные помехи, случайные составляющие погрешности измерений). На практике это означает оценку неизвестных параметров $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$. Так, определив значения параметров на обучающей выборке, и подставив значения главных компонент исследуемого изделия, можно определить численные значения электротехнических параметров, характеризующих режимы технологического процесса при изготовлении исследуемого пропорционального электромагнита, позволяющие оператору осуществить управляющее воздействие, корректирующее работу технологического оборудования. На завершающем этапе производится анализ изменения значений электротехнических параметров в соответствии с правилами карт Шухарта и определяются признаки их особой изменчивости, позволяющие выявлять устойчивые отклонения ТП.

В связи с тем, что динамическая характеристика намагничивания пропорционального электромагнита содержит латентную информацию о большинстве его параметров, она зависит от большого количества переменных и имеет сложный гистерезисный характер, что затрудняет ее анализ с целью выявления информации, требуемой для выработки управляющих технологическим процессом сигналов. Поэтому на втором шаге необходимо снизить размерность анализируемой информации и уйти от мультиколлинеарности.

Для снижения размерности анализируемой информации в настоящее время находит применение проекционный подход, использующий метод главных компонент (ГК). Сущность метода главных компонент состоит в переходе от исходных переменных к новым величинам – главным компонентам, которые представляют собой линейные комбинации исходных переменных, имеющих максимально возможную дисперсию. При этом первая главная компонента обладает максимальной дисперсией и является нормированной линейной комбинацией всех воз-

можных исходных признаков, вторая – учитывает максимальное значение оставшейся дисперсии и корреляционно не связана с первой компонентой и так далее до n (n – количество ГК).

В качестве иллюстрации рассмотрим применение метода главных компонент в общем виде для двух кривых $y_1=f_1(x)$ и $y_2=f_2(x)$.

Каждую из рассматриваемых зависимостей можно представить в виде выражения

$$y=f(x_1, x_2, x_3, \dots | a_1, a_2, a_3, \dots) + \varepsilon, \quad (1)$$

где $f(x_1, x_2, x_3, \dots | a_1, a_2, a_3, \dots)$ – составляющая, несущая латентную информацию о признаках исследуемого объекта, ε – составляющая, несущая информацию о шумах (случайные помехи, случайные составляющие погрешности измерений).

Задавшись фиксированным рядом значений независимых переменных x_i (i изменяется от 0 до n), представим рассматриваемые кривые в виде матрицы Y :

$$Y = \begin{bmatrix} y_1(x_0) & y_2(x_0) \\ y_1(x_1) & y_2(x_1) \\ \vdots & \vdots \\ y_1(x_n) & y_2(x_n) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Каждая строка матрицы (2.2), в силу наличия случайной составляющей в выражении (2.1), представляет собой координату точки, а вся совокупность этих точек может быть рассмотрена, как распределенные случайным образом значения двумерной величины Y в системе координат (y_1, y_2) (рис. 1)

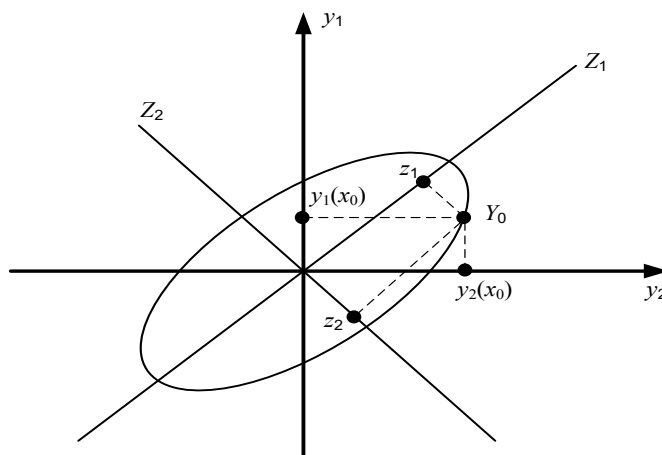


Рис. 1. К пояснению метода главных компонент

В нашем случае для описания исходного распределения переменных y_1 и y_2 , требуется две прямые Z_1 и Z_2 (рис. 1).

$$Z_1 = \beta_{11} \cdot y_1 + \beta_{12} \cdot y_2; Z_2 = \beta_{21} \cdot y_1 + \beta_{22} \cdot y_2. \quad (3)$$

Линейные комбинации (3) исходных переменных y_1, y_2 являются ГК. Общее число ГК равно числу описываемых переменных, но на практике для описания n переменных не всегда требуются n ГК. Необходимость включения той или иной ГК определяется тем, насколько большой объём исходного распределения она описывает, т.е. какой объём информации об исходных переменных она несёт.

Представим исходные зависимости (3) в матричном виде:

$$Z = Y \cdot B, \quad (4)$$

где $\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \end{bmatrix}$ – матрица значений главных компонент; $\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{21} \\ \beta_{12} & \beta_{22} \end{bmatrix}$ – матрица значений коэффициентов.

Первая задача анализа ГК заключается в нахождении матрицы главных компонент с максимальной дисперсией. Поэтому найдём максимальную дисперсию D матрицы $\mathbf{Z}$, используя при этом следующее свойство дисперсии:

$$D(c \cdot y) = c^2 \cdot D(y),$$

где c – некоторая константа.

Тогда

$$D(\mathbf{Z}) = D(\mathbf{Y} \cdot \mathbf{B}); D(\mathbf{Y} \cdot \mathbf{B}) = \mathbf{B}^T \cdot D(\mathbf{Y}) \cdot \mathbf{B}, \quad (5)$$

где $\mathbf{B}^T$ – транспонированная матрица значений коэффициентов β .

Если учесть, что дисперсия двух случайных величин является их ковариацией, то выражение (5), можно записать в следующем виде:

$$D(\mathbf{Z}) = \mathbf{B}^T \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{B}, \quad (6)$$

где $\mathbf{S}$ – ковариационная матрица исходных переменных y_1 и y_2 .

Для того чтобы эта дисперсия определялась однозначно, необходимо ввести ограничение на $\mathbf{B}$. Для этого нормируем оба вектора, входящих в матрицу $\mathbf{B}$. Отметим, что выражение (6) описывает квадратичную поверхность, положение которой определяется ковариационной матрицей исходных переменных, причем, матрица, обратная матрице $\mathbf{S}$, определяет положение в пространстве эллипса, изображённого на рис. 1. Задача нахождения максимума функции, являющегося решением уравнения (6), решается различными способами, сводящимися к решению уравнения:

$$(\mathbf{S} - \lambda \mathbf{R})\mathbf{B} = 0,$$

где λ – постоянный множитель; $\mathbf{R}$ – единичный вектор в плоскости y_1, y_2 .

Решение этого уравнения заключается в нахождении корней характеристического уравнения $|\mathbf{S} - \lambda \mathbf{R}| = 0$, представляющего собой алгебраическое уравнение относительно λ . Полученные значения λ являются характеристическими корнями матрицы $\mathbf{S}$. И каждому значению характеристического корня соответствует определённый вектор $\mathbf{B}$, т.е. характеристический вектор матрицы $\mathbf{S}$.

Если учесть тот факт, что характеристические векторы матрицы $\mathbf{S}$ и $\mathbf{S}^{-1}$ идентичны и ортонормированны, т.е. перпендикулярны друг другу и имеют единичную длину, то смысл выражения (4) может быть интерпретирован как разложение вектора $[y_1(x_i) \ y_2(x_i)]$ в плоскости y_1, y_2 , по базису характеристических векторов $\mathbf{B}$. Действительно, каждая точка Y_0 с координатами $(y_1(x_0), y_2(x_0))$ из распределения y_1 и y_2 представляется в следующем виде,

$$z_1 = Y_0 \cdot \beta_1; z_2 = Y_0 \cdot \beta_2$$

или, что равносильно,

$$z_1 = [y_1(x_0) \ y_2(x_0)] \cdot \begin{bmatrix} \beta_{11} \\ \beta_{12} \end{bmatrix}; z_2 = [y_1(x_0) \ y_2(x_0)] \cdot \begin{bmatrix} \beta_{21} \\ \beta_{22} \end{bmatrix},$$

где β_1 и β_2 – соответственно столбцы матрицы $\mathbf{B}$.

Фактически значения z_1 и z_2 – это координаты точки Y_0 в новом базисе, образованном характеристическими векторами матрицы S , являющейся матрицей ковариаций исходных переменных y_1 и y_2 . Значения этих координат определяются тем, для какого из найденных собственных чисел получен соответствующий собственный вектор. И это значение прямо пропорционально значению λ .

Обобщая, можно сказать, что при разложении точки некоторого распределения по координатам базиса, образованного характеристическими векторами ковариационной матрицы, значения получаемых координат напрямую зависят от соответствующих значений характеристических корней, т.е. вектору, у которого значение λ больше, соответствуют большие значения координат и наоборот.

Значимость той или иной ГК выражается через её участие в общей дисперсии, т.е.

$$\kappa_i = \frac{D(Z_i)}{\sum_{i=1}^n D(Z_i)} = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}, \quad (7)$$

где κ_i – значимость ГК.

Обычно учитываются только $(n-l)$ наибольших ГК, сумма значимостей которых лежит в пределах $0,8 \div 0,99$ (l – количество незначимых ГК).

По результатам этого шага мы получаем новое пространство главных компонент, каждая точка которого представляет собой ДХН конкретного изделия.

На следующем шаге производится классификация изделий на ликвидные и изделия с отклонениями. В нашем случае классификацией называется процедура, в которой определяется принадлежность ДХН, спроецированной в пространство ГК, к группе ЭУ без отклонений. Учитывая то, что для эффективного управления технологическим процессом производства важно иметь возможность задавать уровень ошибок первого и второго рода, наиболее актуальным для решения поставленной задачи является формальное независимое моделирование аналогий классов.

Формальное независимое моделирование аналогий классов или сокращенно SIMCA (Soft Independent Modeling of Class Analogy) – метод классификации, предназначенный для определения принадлежности образца тому или иному классу. Он имеет ряд отличительных особенностей:

- Каждый класс моделируется обособленно, независимо от остальных. Поэтому метод SIMCA является одноклассовым методом.
- Классификация этим методом является многозначной – каждый образец может быть одновременно отнесен к нескольким классам.
- В методе SIMCA есть возможность установить значение ошибки 1-го и 2-го рода и построить соответствующий классификатор.

Рассмотрим метод подробнее.

Пусть построена ГК декомпозиция обучающей матрицы X

$$X = TP^t + E,$$

где T – матрица счетов, P – матрица нагрузок, E – матрица ошибки декомпозиции.

При реализации метода классификации используют параметры: размах h и отклонение v , которые для матрицы X вычисляют по формулам:

$$h = \sum_1^n \left(\frac{t_i}{\sqrt{\lambda_i}} \right)^2, \quad v = \frac{1}{l} \sum_1^n e_i^2,$$

где t_i – элементы матрицы $\mathbf{T}$; λ_i – собственные значения матрицы $\mathbf{T}$, e_i – элементы матрицы $\mathbf{E}$, l – размерность пространства исходных данных.

Используя обучающий набор $\mathbf{X}_c$, находим p значений размахов $h_1, \dots, h_i$ и среднеквадратических отклонений $v_1, \dots, v_i$. По ним можно оценить соответствующие средние значения:

$$h_0 = \frac{1}{p} \sum_1^p h_i, \quad v_0 = \frac{1}{p} \sum_1^p v_i$$

и соответствующие им значения дисперсий:

$$S_h = \frac{1}{p-1} \sum_1^p (h_i - h_0)^2, \quad S_v = \frac{1}{p-1} \sum_1^p (v_i - v_0)^2.$$

Числа степеней свободы N_h и N_v определяются по формулам:

$$N_h = \frac{2h_0^2}{S_h}, \quad N_v = \frac{2v_0^2}{S_v}.$$

Расчетный коэффициент f , по которому проводится классификация, вычисляется по формуле

$$f = N_h \frac{h}{h_0} + N_v \frac{v}{v_0}.$$

Критическое значение коэффициента f определяется выражением:

$$f_{crit} = \chi^{-2}(\alpha, N_h + N_v),$$

где $\chi^{-2}(\alpha, n)$ – это α -квантиль распределения хи-квадрат с $N_h + N_v$ степенями свободы.

Классификационное правило в ФНМАК: образец принимается как принадлежащий к классу, если

$$f < f_{crit}.$$

Этим правилом гарантируется, что $(1-\alpha)100\%$ образцов из обучающего и проверочного наборов будут правильно классифицированы.

На следующем шаге производится поиск значений электротехнических параметров изделий с отклонениями с помощью нейронной сети. Алгоритм данного подхода применительно к поставленной задаче следующий:

1. Формируются два набора данных: обучающий набор $(\mathbf{X}_0, \mathbf{Y}_0)$ и тестовый $(\mathbf{X}_t, \mathbf{Y}_t)$. Модель строится на центрированном обучающем наборе $(\mathbf{X}_0, \mathbf{Y}_0)$, включающем в себя матрицу проекций ДХН в пространство ГК $\mathbf{X}_0$ и соответствующие им значения электротехнических параметров $\mathbf{Y}_0$.

2. Строится нейронная сеть, связывающая матрицы $\mathbf{Y}_0$ и $\mathbf{X}_0$.

3. На вход построенной нейронной сети подаются значения тестовой выборки $\mathbf{X}_t$ и определяют значения вычисленных электротехнических параметров $\mathbf{Y}_B$

$$\mathbf{Y}_B = \mathbf{X}_t \mathbf{A}.$$

Проверяется отклонение вектора $\mathbf{Y}_B$ от вектора обучающего набора $\mathbf{Y}_t$. В случае если вычисления соответствуют требованиям по точности, данная нейронная сеть принята к использованию. В противном случае дополняют обучающий набор $(\mathbf{X}_0, \mathbf{Y}_0)$ или изменяют параметры нейронной сети.

После определения электротехнических параметров необходимо провести анализ значений электротехнических параметров для всех выпущенных образцов, результаты которого передаются на автоматизированное рабочее место оператора для принятия решения оператором о корректировке технологического процесса.

Принятие решения о необходимости корректировки режимов процесса производства, путем выработки управляющих сигналов на технологическое оборудование происходит, исходя из оценки карт Шухарта. Рассмотрим более подробно принципы построения и критерии оценки карт Шухарта. Целью построения контрольных карт Шухарта является выявление точек выхода процесса из стабильного состояния для последующего установления причин появившегося отклонения и их устранения, путем выработки управляющих сигналов на технологическое оборудование.

Задачи построения контрольных карт Шухарта:

- определить границы системной вариативности процесса,
- спрогнозировать поведение процесса в ближайшем будущем на основе прошлых данных о процессе.

Рассмотрим схему расчета и принцип построения карты:

Усреднение, как правило производят по 4-м последовательным значениям каждого из контролируемых эксплуатационных параметров g . На каждом шаге усредняются результаты 4-х последовательных измерений и значение среднего по каждому параметру g наносится на соответствующий график (карту) в виде точки.

$$Y_k = \frac{\sum_{i=1}^4 y_{4k-3} + y_{4k-2} + y_{4k-1} + y_{4k}}{4}.$$

При анализе карт Шухарта интерес представляют крупные отклонения параметров, превышающие обычную его изменчивость и выходящие за предупредительные границы.

В качестве критериев оценки карт Шухарта можно выделить следующие признаки нарушения технологического процесса производства:

- 1) выход двух и более точек из коридора между нижней и верхней предупредительных границ, но не попавших за границы регулирования;
- 2) четыре точки подряд лежат по одну сторону от средней линии;
- 3) шесть точек монотонно возрастают.

Таким образом, определяя значения средних по полученным электротехническим параметрам **D** и анализируя полученные карты Шухарта, можно судить о необходимости корректировки режимов процесса производства, путем выработки управляющих сигналов на определенное (отвечающее за отклонение того или иного электротехнического параметра) технологическое оборудование.

Таким образом, предложен эффективный метод контроля электротехнических параметров, основанный на измерении и анализе динамической характеристики намагничивания электротехнических устройств путем комплексного использования методов снижения размерности измерительной информации, классификации и обучения модели на основе нейронной сети. Разработанный метод позволяет с высоким быстродействием и малыми аппаратными затратами получать достоверную информацию о нарушениях технологического процесса для управления им.

УДК 621.318.51, 621.3.049.7

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО МЭМС ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ СИГНАЛОВ С РАЗДЕЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ ПРИТЯЖЕНИЯ

Ткаченко А.В., msqk@mail.ru, Лысенко И.Е., ielysenko@sfedu.ru

Южный Федеральный Университет, Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения,
г. Таганрог

В данной статье рассматривается разработка и исследование конструкции интегрального микроэлектромеханического переключателя емкостного типа с отдельными электродами притяжения металлической мембраны. В качестве основного структурного материала используется алюминий, не уступающий по ряду ключевых механических, электрических и тепловых свойств золоту, который является наиболее часто используемым структурным материалом. Разработанная конструкция интегрального микроэлектромеханического переключателя обладает повышенными функциональными характеристиками и надежностью, заключающейся в наличии механизма предотвращения отказа работоспособности. Полученные низкие значения управляющих напряжений, высокая скорость переключения и оптимизированные радиочастотные характеристики позволяют использовать данный переключатель в частотном диапазоне 8-12 ГГц, а именно в устройствах наземной и спутниковой радиосвязи, а также благодаря низкому собственному энергопотреблению и малым массогабаритным характеристикам возможна интеграция в радиочастотные схемы управления реконфигурируемых радиоантенн. Технологический маршрут изготовления разработанной конструкции интегрального микроэлектромеханического переключателя с применением алюминия, совместим с технологией изготовления КМОП интегральных схем, что позволяет снизить стоимость готовых устройств.

Ключевые слова: МЭМС, микропереключатель, емкостной принцип коммутации, низкие значения управляющих напряжений, высокое быстродействие, высокая надежность конструкции.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF INTEGRATED MEMS SWITCH SIGNALS WITH PULL-DOWN DC-CONTACT

Tkachenko A.V., Lysenko I.E.

Southern Federal University, Institute of Nanotechnology, Electronics and Electronic Equipment Engineering,
Taganrog

This article discusses the development and study of the design of the integral microelectromechanical switch capacitive type with separate electrodes of attraction of the metal membrane. As the main structural material used aluminum, not inferior in a number of key mechanical, electrical and thermal properties of gold, which is the most commonly used structural material. The developed design of the integrated microelectromechanical switch has increased functional characteristics and reliability, which consists in the presence of a mechanism to prevent failure of performance. The obtained low values of control voltages, high switching speed and optimized radio frequency characteristics allow the use of this switch in the frequency range of 8-12 GHz, namely in ground and satellite radio communication devices, as well as due to its low power consumption and small weight and size characteristics can be integrated into radio frequency control circuitry reconfigurable antennas. The technological route of manufacturing of the developed design of the integrated microelectromechanical switch using aluminum is compatible with the technology of manufacturing CMOS integrated circuits, which reduces the cost of the finished device.

Keywords: MEMS, microswitch, capacitive switching principle, low values of control voltages, high switching speed, high reliability of the design.

Введение. В последние годы радиочастотные (РЧ) микроэлектромеханические системы (МЭМС) характеризуются высокими темпами роста [1, 2] и потенциальной эффективностью в коммерческих и оборонных системах связи в широком диапазоне частот.

В связи с переходом на 5G поколение мобильной связи и присущим ему большим количеством частотных диапазонов, возникает растущий спрос на реконфигурируемые устройства радиосвязи. В связи с чем реконфигурируемым радиоантеннам в настоящее время уделяется значительный интерес в системах наземной и спутниковой радиосвязи, главным образом благодаря возможности изменения с помощью одной реконфигурируемой радиоантенны рабочей частоты и направленности излучения путём изменения её геометрической структуры для различных частот резонанса в зависимости от предъявляемых требований [2, 3].

Недорогие РЧ МЭМС переключатели с низкими значениями управляющих напряжений являются главными кандидатами на замену механических и традиционных полупроводников переключателей на основе FET-транзисторов и GaAs диодов в конструкциях реконфигурируемых радиоантенн, главным образом благодаря их низким вносимым потерям, высокой изоляции в замкнутом состоянии, хорошей линейности и низкой потребляемой мощности [4].

В РЧ МЭМС переключателях используется механическое движение кантилевера для создания замыкания между двумя отстоящими друг от друга частями линии передачи – резистивный принцип коммутации, либо механическое движение подвешенной над диэлектрическим слоем и закреплённой на якорных областях металлической мембраны для замыкания или размыкания цепи линии передачи при различных значениях, образованного переменного конденсатора – емкостной принцип коммутации. Это механическое движение достигается путем электростатического, электромагнитного, пьезоэлектрического, термоэлектрического механизма активации.

Наибольшее распространение получили электростатические РЧ МЭМС переключатели с емкостным принципом коммутации, характеризующиеся малой собственной потребляемой мощностью (несколько мВт), малыми размерами электродов и высокой скоростью переключения, а также на технологическом уровне электростатический механизм не требует осаждения специфических материалов, например, с пьезоэлектрическими или ферромагнитными свойствами, что упрощает технологию изготовления и, следовательно, снижает стоимость и массогабаритные характеристики устройств. Однако основным недостатком такого типа РЧ МЭМС переключателей является необходимость использования высоких управляющих напряжений (40-100 В для напряжения притяжения и 15-30 для напряжения удержания соответственно), а также прилипание подвижных частей конструкции к неподвижным, в следствии электрического заряда диэлектрического слоя.

Емкостные РЧ МЭМС переключатели с копланарной линией передачи, интегрированные в РЧ схему управления для достижения реконфигурации радиоантенны, требуют низких значений управляющих напряжений [3]. Управляющие напряжения можно снизить путём снижения жесткости упругих элементов подвеса металлической мембраны, расстояния между подвижным и неподвижным электродом или путём увеличения площади металлической мембраны, что, как правило, влечёт за собой возрастание собственных потерь в переключателе из-за возросшей ёмкости в выключенном состоянии, а также чем больше размеры имеет металлическая мембрана, тем большие деформации она будет иметь после удаления «жертвенного» слоя из-за наличия остаточных напряжений в слоях.

Таким образом, данная работа посвящена разработке и исследованию конструкции интегрального РЧ МЭМС переключателя с емкостным принципом коммутации,

характеризующейся низкими значениями управляющих напряжений, высоким быстродействием и надежностью конструкции. В добавок технологический маршрут изготовления разработанной конструкции интегрального МЭМС переключателя совместим с технологией изготовления КМОП интегральных схем.

Принцип работы разработанной конструкции интегрального МЭМС переключателя емкостного типа. Схематическое изображение разработанной конструкции интегрального МЭМС переключателя представлено на рис. 1 а)-в).

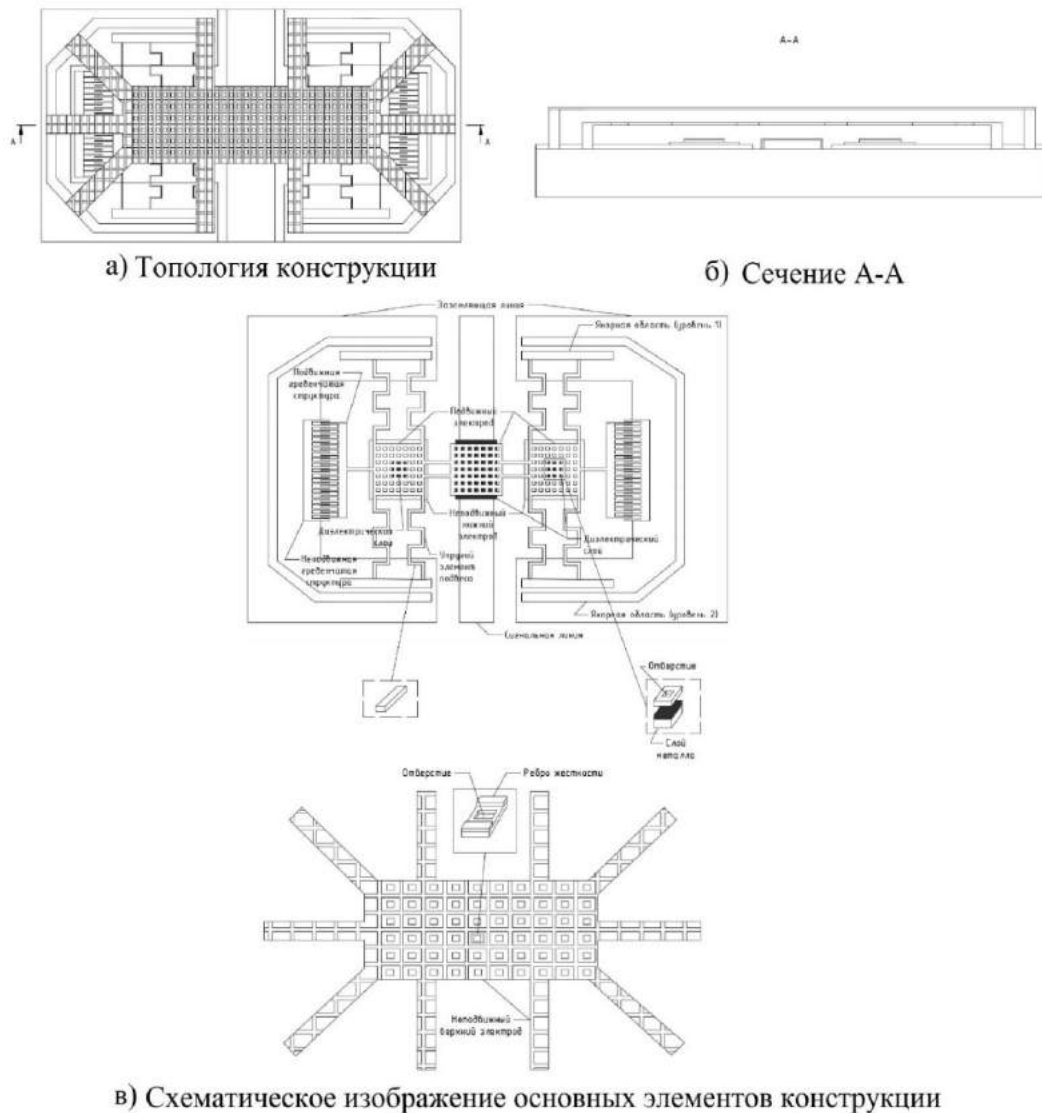


Рис. 1 – Схематическое изображение разработанной конструкции интегрального МЭМС переключателя емкостного типа

Принцип работы интегрального МЭМС переключателя представлен на рис. 2.

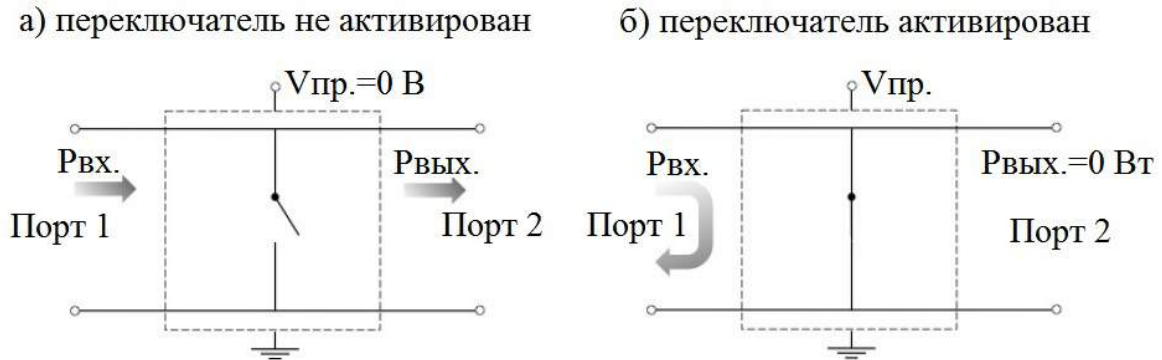


Рис. 2 – Принцип работы интегрального МЭМС переключателя емкостного типа

Переключатель работает как переменный конденсатор с двумя составляющими емкости, зависящими от положения подвижного электрода. В нейтральном положении емкость между подвижным электродом и линией передачи невелика и сигнал беспрепятственно поступает на выход линии передачи (см. рис. 2. а). При подаче разности потенциалов между подвижным и фиксированным нижним электродом происходит перераспределение зарядов, что приводит к появлению между пластинами электростатических сил, не зависящих от полярности приложенного напряжения. Эти силы заставляют подвижный электрод опускаться на неподвижный нижний, и, поскольку пластина изгибается, то в ней возникают силы упругости, стремящиеся вернуть ее в исходное состояние. Когда приложенная разность потенциалов достигает определенного порогового значения, силы упругости перестают уравнивать электростатические силы, и подвижный электрод резко падает на неподвижный нижний. В нижнем положении подвижного электрода емкость между ним и линией передачи резко возрастает, и сигнал, поступающий на ее вход, шунтируется на заземляющие линии (см. рис. 2. б).

Исследование предложенной конструкции интегрального МЭМС переключателя емкостного типа. Движение подвижных частей конструкции предложенной конструкции интегрального МЭМС переключателя емкостного типа может быть представлено с помощью двумерной модели конденсатора с двумя параллельными пластинами, как показано на рис. 3.

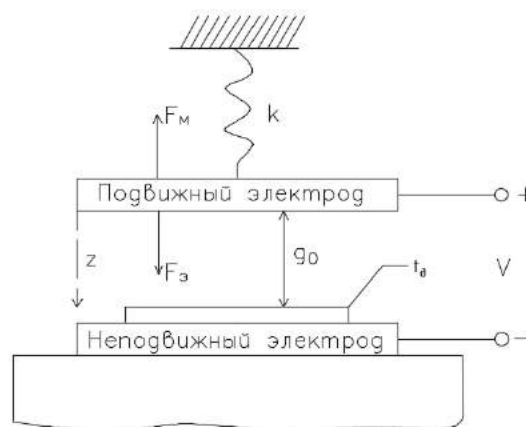


Рис. 3 – Двумерная модель интегрального МЭМС переключателя емкостного типа

При этом упругие элементы подвеса представляются в виде линейной жесткости k , прикрепленной к подвижному электроду, который свободно перемещается в направлении оси z .

Тонкий диэлектрический слой толщиной t_d с диэлектрической постоянной ε_r нанесён на поверхность линии передачи и двух предохранителей. В случае когда $V_{см} = 0$ В, воздушный зазор между пластинами намного больше толщины диэлектрического слоя и емкость определяется уравнением (1):

$$C_0 = \varepsilon_0 \frac{A}{g_0} \quad (1)$$

где g_0 – расстояние между электродами, ε_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума ($8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{м}$).

При подаче напряжения смещения ($V_{см} > 0$) возникает разность потенциалов между параллельными пластинами, что вызывает действие электростатической силы на подвижный электрод, определяемой уравнением (2):

$$F_э = -\frac{1}{2} \varepsilon_0 \frac{A}{g_0} V_{см}^2 \quad (2)$$

где A – площадь электростатического взаимодействия.

Сила упругости, обусловленная линейной жесткостью k упругих элементов подвеса определяется уравнением (3):

$$F_м = k\Delta z \quad (3)$$

где Δz – перемещение подвижного электрода под действием электростатической силы.

По мере увеличения расстояния $g = g_0 - \Delta z$ подвижный электрод находится в стабильном положении, т.е. приложенная электростатическая сила и сила упругости уравновешены $F_э = F_м$. Увеличение Δz вызывает увеличение электростатической силы $F_э$. В связи с чем при достижении определённого значения Δz подвижный электрод становится нестабильным и «падает» на неподвижный. Дифференцируя $F_э = F_м$ относительно g следует, что падение подвижного электрода происходит при $\Delta z = (1/3)g_0$. Напряжение при котором возникает нестабильность называется напряжением срабатывания или напряжением притяжения, которое определяется уравнением (4):

$$V_{прит} = V_{см}(g_0/3) = \sqrt{\frac{8k}{27\varepsilon_0 A}} g_0^3 \quad (4)$$

После срабатывания переключателя емкость в нижнем положении подвижного электрода определяется уравнением (5):

$$C_{вкл} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{t_d} \quad (5)$$

Переключатель остаётся включённым до тех пор, пока $F_э > F_м$. Напряжение удержания подвижного электрода в нижнем положении определяется уравнением (6):

$$V_{y0} = \sqrt{\frac{2k}{\varepsilon_0 \varepsilon_r A} (g_0 - \Delta z) \left(\Delta z + \left(\frac{t_d}{\varepsilon_r} \right) \right)^2} \quad (6)$$

Напряжение, при котором подвижный электрод поднимется за счёт действия силы упругости определяется уравнением (7):

$$V_{6036} = \sqrt{\frac{2t_d^2 k g_0}{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}} \quad (7)$$

Таким образом, перемещение подвижного электрода под действием электростатической силы имеет гистерезисный характер, как показано на рис. 4.

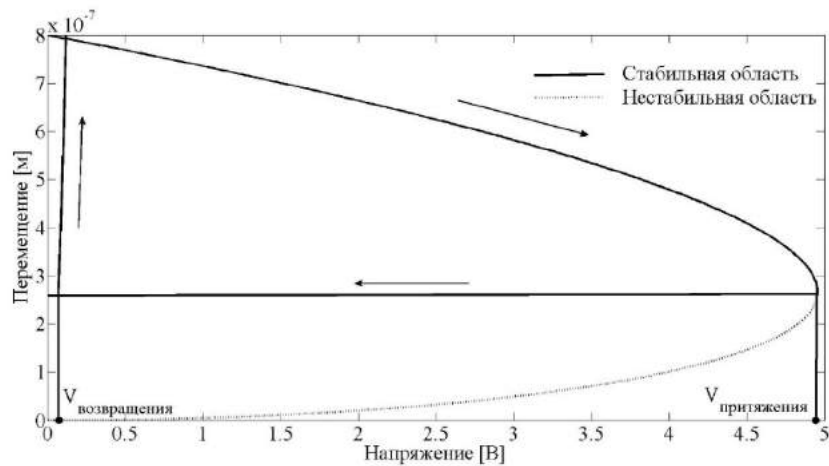


Рис. 4 – Гистерезисный характер перемещения подвижного электрода

Напряжение возврата всегда меньше напряжения притяжения поскольку значение электростатической силы, действующей на подвижный электрод после срабатывания выше, чем до притяжения подвижного электрода. В случае если напряжение притяжения меньше напряжения удержания, переключатель переходит в выключенное состояние, и подвижный электрод возвращается в исходное состояние. Уравнения для нахождения скорости переключения в нижнее положение и обратно могут быть получены с помощью уравнения движения (8):

$$m \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} + b \frac{\partial z}{\partial t} + kz = F_3 \quad (8)$$

где m – эффективная масса, b – коэффициент демпфирования.

При низких давлениях можно пренебречь силой демпфирования, т.е. $b = 0$. Отсюда скорость переключения в нижнее положение определяется уравнением (9), а скорость переключения в исходное состояние уравнением (10):

$$t = \int_0^{g_0} \frac{dz}{\sqrt{\frac{\varepsilon_0 A V^2}{m(g_0 - \Delta z)} - \frac{k}{m} \Delta z^2 - \frac{\varepsilon_0 A V^2}{m g_0}}} \quad (9)$$

$$t_{6036} = \frac{1}{4f_0} \quad (10)$$

где $f_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$.

В таблице 1 представлены расчетные значения коэффициента жесткости упругих элементов подвеса, значений управляющих напряжений (напряжения притяжения, напряжения удержания, напряжения возвращения), времени переключения в нижнее положение и времени переключения в исходное состояние, ёмкость в нижнем и исходном положении с учетом перфорации.

Таблица 1

**Результаты исследования двумерной электростатической модели
разработанной конструкции интегрального МЭМС переключателя
емкостного типа**

k , Н/м	$V_{прит}$, В	$V_{уд}$, В	$V_{возв}$, В	t , μ с	$t_{возв}$, μ с	$C_{вкл}$, Ф	$C_{выкл}$, Ф
64.455	4.95	3.76	0.88	4.83	1.06	$1.5 \cdot 10^{-12}$	$5.6 \cdot 10^{-14}$

Исследование радиочастотных характеристик. Моделирование и расчет РЧ характеристик разработанной конструкции интегрального МЭМС переключателя емкостного типа произведён в программе Advanced Design System. Результаты моделирования прохождения РЧ сигнала при а) поднятой металлической мембране – переключатель выключен, б) при опущенной металлической мембране – переключатель включен, представлены на рис. 5.

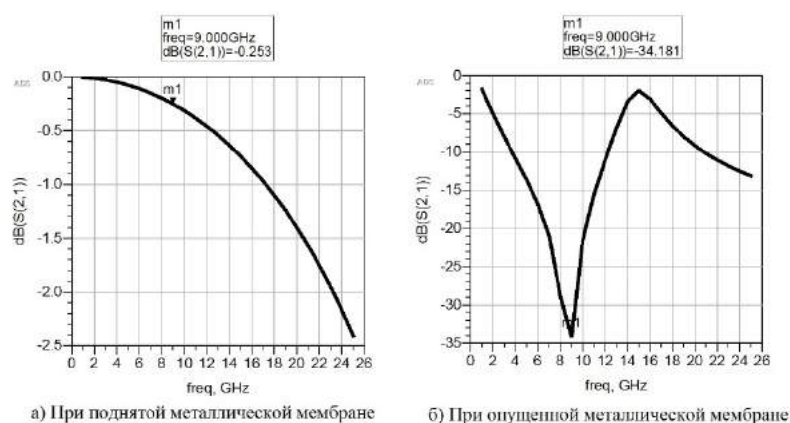


Рис. 5 – Результаты моделирования прохождения РЧ сигнала

Заключение. В данной статье была разработана и исследована конструкция интегрального МЭМС переключателя емкостного типа с отдельными электродами притяжения металлической мембраны, характеризующаяся низкими значениями управляющих напряжений, высокой скоростью переключения. Кроме того, конструкция переключателя учитывает основные причины отказа работоспособности емкостных МЭМС переключателей. По результатам проведенного РЧ моделирования уровень потерь между входом и выходом линии передачи при поднятой металлической мембране составляет -0.253 дБ, а при опущенном положении -34.181 дБ на частоте 9 ГГц, что позволяет использовать данный интегральный МЭМС переключатель в X-диапазоне частот (8-12 ГГц), а именно в устройствах наземной и спутниковой радиосвязи. Использование алюминия в качестве основного структурного материала, совместимость технологического маршрута изготовления с КМОП технологией интегральных схем, низкие массогабаритные характеристики, позволяют интегрировать данный МЭМС переключатель в РЧ схемы реконфигурируемых антенн.

Результаты исследования получены с использованием оборудования Студенческого конструкторского бюро «Элементы и приборы инерциальных навигационных систем робототехники» Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного Федерального Университета (г. Таганрог) при финансовой поддержке «Программы развития Южного Федерального Университета до 2021 года» проект ВнГр-07/2017-10.

Список цитируемой литературы

1. Robin L., MEMS for Mobile MEMS for Cell Phones and Tablets report // Yole Development, Tech. Rep., pp. 7, June 2015.
2. Robin L., MEMS for Mobile MEMS for Cell Phones and Tablets report // Yole Development, Tech. Rep., pp. 2, June 2017.
3. Greg H. Huff, and Jennifer T. Bernhard, Integration of Packaged RF MEMS Switches With Radiation Pattern Reconfigurable Square Spiral Microstrip Antennas, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 54, no. 2, February 2006.
4. Rebeiz G. M., RF MEMS: Theory, Design and Technology / John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 2004.

© А. В. Ткаченко, И. Е. Лысенко, 2019

УДК 62.21474

СРЕДА LABVIEW КАК СРЕДСТВО РАЗРАБОТКИ ВИРТУАЛЬНЫХ СТЕНДОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Е.И. Медведева, *korobkinaekaterinka1995@yandex.ru*

Донской государственный технический университет (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону

В данной статье рассматривается разработка виртуальных стендов электропривода постоянного тока с двухконтурной системой подчиненного регулирования и асинхронного электродвигателя с векторным управлением. Все действия по созданию стендов выполняются в среде Labview. После того, как виртуальные стенды спроектированы, появляется возможность провести расчеты по исследованию характеристик электроприводов данных типов для выявления штатных и аварийных режимов работы. Раскрыта важность проектирования виртуальных стендов для промышленного приборостроения с использованием таких компьютерных технологий, как Labview. Сделаны выводы по исследованию.

Ключевые слова: labview, электроприводы, виртуальные стенды, характеристики электроприводов, расчет электроприводов.

LABVIEW ENVIROMENT AS A TOOL FOR DEVELOPMENT OF VIRTUAL STANDS OF ELECTRIC DRIVES

E.I. Medvedeva

Don State Technical University (DSTU), Rostov on Don

This article discusses the development of virtual stands DC electric drive with dual-circuit system of subordinate control and asynchronous electric motor with vector control. All actions on creation of stands performed in Labview. Once the virtual stands are designed, it is possible to carry out calculations to study the characteristics of these types of drives to identify normal and emergency operation. The importance of designing virtual stands for industrial instrument making using such computer technologies as Labview is revealed. The findings of the study.

Keywords: labview, actuators, virtual displays, characteristics of the actuators, the calculation of the actuators.

Во время проведения определенных исследований инженеры, ученые или студенты прибегают к помощи различных сред программирования математических моделей, технических устройств и многого другого. Именно таким помощником является *LabVIEW*.

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) – это среда графического программирования, которая позволяет быстро создать комплексные приложения при: измерении; тестировании; управлении; автоматизации научного эксперимента и образования.

Принцип работы программы заключается в последовательном соединении блоков на блок-диаграмме [1].

При исследовании электроприводов среда *LabVIEW* оказывает огромную поддержку, так как в ней можно разработать виртуальные стенды электроприводов различного типа, посмотреть возможные режимы работы (штатные и аварийные), выполнить расчет различных характеристик электропривода.

По ГОСТ Р 50369-92 электропривод – это электромеханическая система, состоящая из преобразователей электроэнергии, электромеханических и механических преобразователей, управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения с внешними электрическими, механическими, управляю-

щими и информационными системами и предназначена для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением в целях осуществления технологического процесса [2].

На виртуальном стенде электродвигателя постоянного тока (рис. 1) можно оценить статические и динамические свойства электропривода.

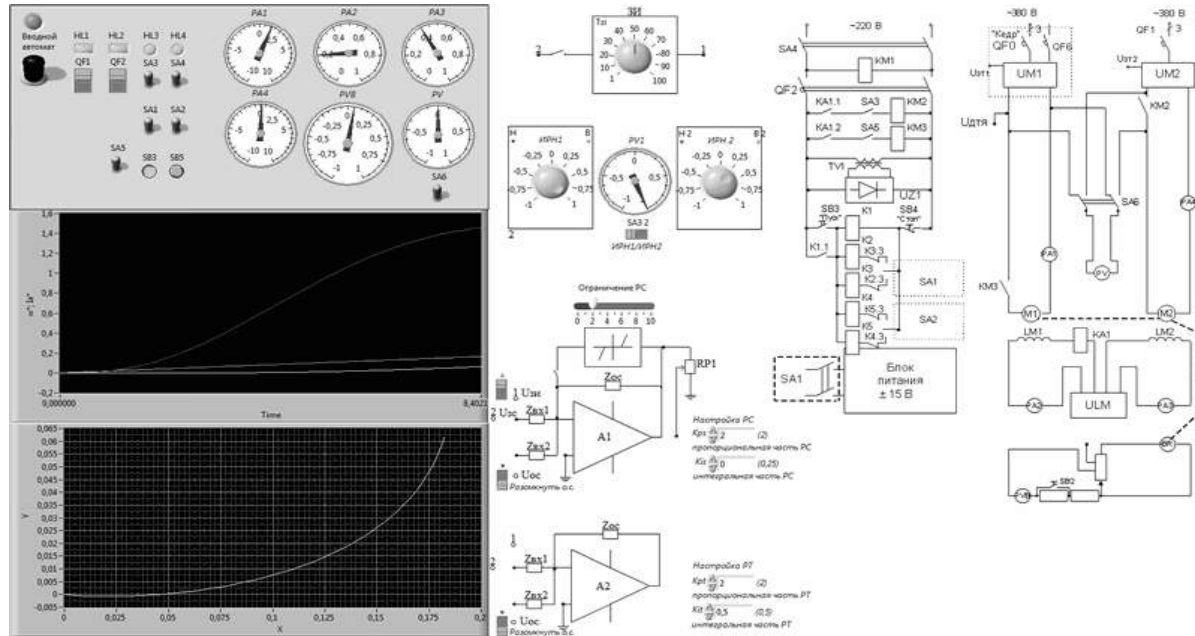


Рис. 1 – Виртуальный стенд электропривода постоянного тока

Векторное управление в электродвигателе позволяет рассчитать и построить естественную механическую $\omega(M_{эм})$ характеристику при номинальном значении напряжения $U_{1фн}$ и частоты вращения $f_{1н}$.

Построив в LabVIEW виртуальный стенд асинхронного электродвигателя с векторным управлением (рис.3), получили на виртуальном осциллографе (рис.4) часть цикла одного из режимов его работы.[3]

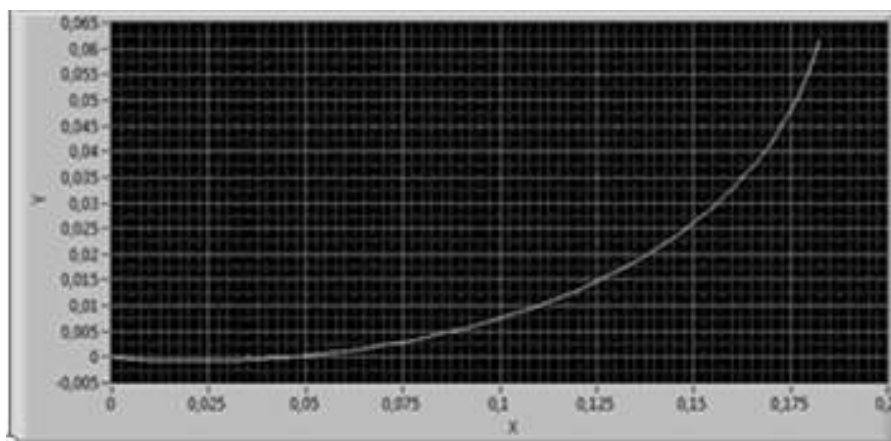


Рис. 2 – Цикл работы электродвигателя постоянного тока

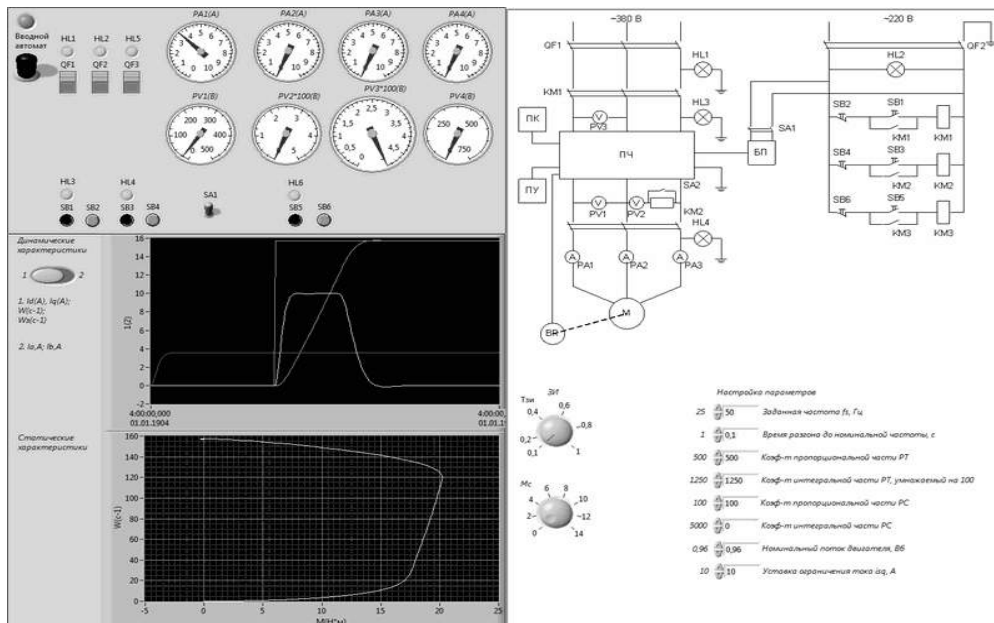


Рис. 3 – Виртуальный стенд электропривода асинхронного типа

Векторное управление в электродвигателе позволяет рассчитать и построить естественную механическую $\omega(M_{\text{эм}})$ характеристику при номинальном значении напряжения $U_{1\text{фн}}$ и частоты вращения $f_{1\text{н}}$.

Зависимость частоты вращения ротора от нагрузки (вращающегося момента на валу) называется естественной механической характеристикой асинхронного двигателя (рис. 4). При номинальной нагрузке частота вращения электродвигателя лежит в пределах 98—92,5 % частоты вращения n_1 . В дальнейшем можно рассчитать ее параметры.[4].

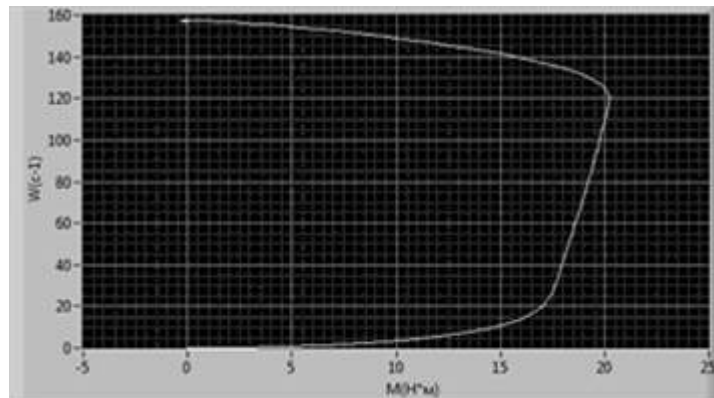


Рис. 4 – Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя

Проведя исследование электроприводов постоянного тока и асинхронного типа, можно сделать следующие выводы:

- использование *LabVIEW* заметно облегчает проведение научного эксперимента как в промышленных целях, так и в образовательных;
- исследуя электроприводы в среде *LabVIEW*, можно просмотреть реальные режимы работы, а также провести расчеты различных характеристик электроприводов;
- это экономически целесообразно, так как не нужно изготавливать реальный стенд.

Список цитируемой литературы

1. Что такое LabVIEW? [Электронный ресурс]: http://www.labview.ru/labview/what_is_labview/
2. ГОСТ Р. 50369-92. Группа Е00. Государственный стандарт российской федерации. Часть 2: Сб. стандартов. - М.: Стандартинформ, 2005. ГОСТ Р. 50369-92 Электроприводы.
3. Голубцова Е. Ю., Чекавский Г.С. Виртуальный стенд по исследованию двухконтурной системы подчинённого регулирования скорости электропривода постоянного тока в среде LabVIEW. Вісник кафедри «Електротехніка» за підсумками наукової діяльності студентів. — Донецьк, ДонНТУ, 2011 — 181 с.
4. Теория автоматизированного электропривода; Учеб. пособие для вузов / Чиликин М. Г., Клгочев В. И., Сандлер А. С. — М.: Энергия, 1979. — 616 с.

© Е.И. Медведева, 2019

УДК 51-7

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБ ОСТЫВАНИИ МНОГОСЛОЙНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ИЗДЕЛИЯ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСТАНОВКАХ АВТП В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Акимов А.И., akimoff11@mail.ru

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»,
г. Москва

В данной статье представлены результаты изучения остывания многослойного цилиндрического изделия из композиционных материалов в установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП). В момент отключения установки АВТП температура изделия постоянна и равна температуре полимеризации (в зависимости от материала связующего) и остывание происходит под влиянием температуры окружающей среды со всех сторон изделия (с боковой поверхности и с торцов изделия). Определено распределение температуры в радиальном направлении в зависимости от времени.

Ключевые слова: Композиционные материалы, установка АВТП, полимеризация, автоматизированная система управления (АСУ).

INVESTIGATION AND STATEMENT OF THE PROBLEM TO REMOVE A MULTILAYER CYLINDRICAL PRODUCT FROM COMPOSITE MATERI- ALS IN AUTOMATIC INSTALLATIONS IN THE OIL INDUSTRY

Akimov A.I.

Gubkin University, Moscow

Discusses The paper presents results of a study of cooling the multi-layer cylindrical articles of composite materials in automated technological process (AWTP). At the time of off AWTP temperature of the product is constant and equal to the temperature of polymerization (depending on the material of the binder) and the cooling takes place under the influence of ambient temperature on all sides (with the side surface and the ends of the product). Defined temperature distribution in the radial direction depending on time.

Key words: Composite materials, installation AWTP, polymerization, automated control system (ACS).

Рассмотрим задачу об остывании изделия цилиндрической формы из композиционных материалов в пресс-формах после отключения системы АВТП.

В этом случае можно рассматривать задачу об отыскании стационарного распределения температуры в теле заданной формы по известному распределению температуры внутри изделия ($160^{\circ}, 165^{\circ}$ — температуры полимеризации).

В этом случае приходим к задаче определения функции $U(r, u, z)$, гармонической в некоторой трехмерной области, удовлетворяющей на ее границе условию $U|_{\delta} = f(M) = U_c$, где U_c — температура окружающей среды, $f(M)$ — заданная функция точки на поверхности δ изделия.

Т.к. изделие по форме имеет форму цилиндра, то рассмотрим задачу об отыскивании стационарного распределения температуры в теле цилиндра радиуса R_0 , где $0 < r < R_0$, R_0 — внешний радиус цилиндра [1].

Известно, когда область представляет собой цилиндр, то краевые задачи могут быть решены при помощи разделения переменных, если предположить, что функция равна нулю на боковой поверхности и на его торцах.

Общий случай произвольных граничных условий первого рода может быть сведена к двум частным случаям путем разложения задачи на две вспомогательные с граничными условиями

$$\text{а) } U|_{r=R_0} = 0, \quad U|_{z=0} = U_c(0, \tau), \quad U|_{z=\ell} = U_c(\ell, \tau) \quad (1)$$

$$\text{б) } U|_{r=R_0} = U_c(z, \tau), \quad U|_{z=0} = U|_{z=\ell}, \quad (2)$$

где ℓ – длина цилиндрического тела.

Решение исходной задачи представляется в виде суммы гармонических функций, одна из которых удовлетворяет граничному условию а), другая условию б).

Задачу рассмотрим в цилиндрической системе координат, где ось z совпадает с осью цилиндра, а начало координат лежит на плоскости одного из торцов.

Учитывая, что остывание цилиндрического изделия происходит в радиальном направлении, то для упрощения задачи можно исключить переменную φ , т.к. температура по направлению φ будет везде одинакова.

В этом случае граничные условия а) и б) не содержат переменную φ . В результате приходим к решению задачи [2]

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0, \quad (3)$$

с граничными условиями а) и б).

Решение задачи ищем в виде $R(r, z) = R(r) \cdot Z(z)$ и получим уравнения

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (r R') + v^2 R = 0, \quad z'' - v^2 z = 0 \quad (4)$$

где v – постоянная.

Решая отдельно каждое уравнение, получим

$$R(r) = A J_0(vr) + B Y_0(vr), \quad Z(z) = C \cdot \operatorname{ch} vz + D \operatorname{sh} vz; \quad (5)$$

где $J_0(vr)$ и $Y_0(vr)$ – функции Бесселя первого и второго рода соответственно.

Рассмотрим случай а) граничного условия. Т.к. $J_0(vr) \rightarrow 1$, $Y_0(vr) \rightarrow \infty$ при $r \rightarrow 0$, то для ограничения решения на оси цилиндра следует принять $B = 0$, при этом из однородного граничного условия следует $A J_0(vR_0) = 0$. Откуда определяем допустимые значения параметра v : $v_n = \frac{x_n}{R_0}$, где x_n – положительные нули функции Бесселя $J_0(x)$.

В результате получим частные решения уравнения Лапласа

$$U_n = J_0 \left(x_n \frac{r}{R_0} \right) \cdot \left[M_n \operatorname{ch} \frac{x_n z}{R_0} + N_n \operatorname{sh} \frac{x_n z}{R_0} \right], \quad n = 1, 2, \dots \quad (6)$$

Применяя граничные условия а) и разложив функции $U_c(0, \tau)$ и $U_c(\ell, \tau)$ в ряд Фурье – Бесселя, общее решение можно написать в виде [3]

$$U(r, z) = \sum_{n=1}^{\infty} [U_c(0, \tau)]_n \cdot \frac{\operatorname{sh} \left(\frac{\ell - z}{R_0} \cdot x_n \right)}{\operatorname{sh} \left(x_n \frac{\ell}{R_0} \right)} + [U_c(\ell, \tau)]_n \cdot \frac{\operatorname{sh} \left(x_n \frac{z}{R_0} \right)}{\operatorname{sh} \left(x_n \frac{\ell}{R_0} \right)} \cdot J_0 \left(x_n \frac{r}{R_0} \right) \quad (7)$$

$$\text{где } (U_c)_n = \frac{2}{R_0^2 J_1^2(x_n)} \cdot \int_0^{R_0} r f(r) J_0 \left(x_n \frac{r}{R_0} \right) dr.$$

Рассмотрим случай б) граничного условия. Для того, чтобы удовлетворить однородным граничным условиям, необходимо принять $C=0$ и выбрать v чисто мнимым числом, равным $v_n = \frac{n\pi i}{\ell}$ ($n = 1, 2, \dots$).

Тогда решения уравнений (4) принимают вид

$$R(r) = A J_0\left(\frac{n\pi}{\ell}r\right) + B K_0\left(\frac{n\pi}{\ell}r\right); \quad Z(z) = D \sin\left(\frac{n\pi}{\ell}z\right),$$

где $J_0(x)$ и $K_0(x)$ – цилиндрические функции мнимого аргумента. Т.к. $K_0\left(\frac{n\pi}{\ell}r\right) \rightarrow \infty$ при $r \rightarrow 0$, то следует принять $B = 0$.

Тогда частные решения уравнения Лапласа имеют вид [4]

$$U_n = M_n J_0\left(\frac{n\pi}{\ell}r\right) \sin\left(\frac{n\pi}{\ell}z\right); \quad n = 1, 2, \dots \quad (8)$$

Тогда искомое решение может быть построено в форме ряда

$$U = \sum_{n=1}^{\infty} K_n \frac{J_0\left(\frac{n\pi}{\ell}z\right)}{J_0\left(\frac{n\pi}{\ell}R_0\right)} \sin\left(\frac{n\pi}{\ell}z\right), \quad (9)$$

где K_n – коэффициенты Фурье в разложении функции $U_c(z, \tau)$ в ряд по $\sin\left(\frac{n\pi}{\ell}z\right)$, т.е. $K_n = \frac{2}{\ell} \int_0^{\ell} U_c(z, \tau) \sin\left(\frac{n\pi}{\ell}z\right) dz$.

В результате искомое решение поставленной задачи может быть представлено в виде [5]:

$$U = \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ [U_c(0, \tau)]_n \cdot \frac{\operatorname{sh}\left(\frac{\ell-z}{R_0} \cdot x_n\right)}{\operatorname{sh}\left(x_n \frac{\ell}{R_0}\right)} + [U_c(\ell, \tau)]_n \cdot \frac{\operatorname{sh}\left(x_n \frac{z}{R_0}\right)}{\operatorname{sh}\left(x_n \frac{\ell}{R_0}\right)} \right\} \cdot J_0\left(\frac{x_n}{R_0}r\right) + \sum_{n=1}^{\infty} K_n \frac{J_0\left(\frac{n\pi}{\ell}z\right)}{J_0\left(\frac{n\pi}{\ell}R_0\right)} \sin\left(\frac{n\pi}{\ell}z\right). \quad (10)$$

Список цитируемой литературы

1. Акимов А.И. Матричный метод решения комплексированных задач теплообмена, массообмена и термонапряжений в многослойных конструкциях с фазовыми переходами // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – №3. – С. 60-63.
2. Козлов В.Н., Трофимов П.А., Акимов А.И. Обратное преобразование Ханкеля для смешанной краевой задачи на конечном интервале // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. - 2013. – №1(116). – С. 71-77.
3. Акимов А.И. Один из подходов к решению задачи об остывании многослойного цилиндрического изделия из композиционных материалов в установках автоматического ведения технологического процесса // Образовательная среда сегодня и завтра. Материалы X Международной научно-практической конференции. Под редакцией Бубнова Г.Г., Плужника Е.В., Солдаткина В.И.: Москва, 2015. - С. 161-163.
4. Акимов А.И. Теплофизические и энергетические явления, происходящие в процессе полимеризации в установках АВТП // Образовательная среда сегодня и завтра. Материалы X Международной научно-практической конференции. Под редакцией Бубнова Г.Г., Плужника Е.В., Солдаткина В.И.: г. Москва, 2015г. - С. 163-166.

5. Акимов И.А., Акимов А.И., Жумагазеев Т.И. Исследование массопереноса на втором этапе производства композиционных материалов методом полимеризации в установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП) // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – №2. – С. 63-67.

© А.И. Акимов, 2019

УДК 004.81: 53.08

ПРОГРАММНО-СИНТАКСИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОНТОЛОГИЙ

Колпаков П.А., sevenup710@gmail.com, Клишина Ю.С., klishina27@yandex.ru,

Мохов В.А., mokhov_v@mail.ru

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

В данной статье рассматриваются основные направления в области онтологического программирования. Проводится исследование основных понятий онтологических моделей технологии семантик Веб и способов взаимодействия с ними. Производится описание идеи разработки программы для программно-синтаксической обработки онтологий-ParsOnt 1.0, включающей в себя: создание исходной онтологической модели, разработку основного алгоритма для обработки онтологии, разработку пользовательского интерфейса программы. Приведен алгоритм обхода листовых узлов дерева онтологии, использующий в качестве инструмента для парсинга онтологий метод wizardBtn_Click.

SOFTWARE-SYNTACTIC PROCESSING OF ONTOLOGIES

Kolpakov P.A., Klishina Y.S., Mokhov V.A.

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

This article discusses the main directions in the field of ontological programming. The study of the basic concepts of ontological models of web semantic technology and ways of interaction with them. The paper describes the idea of developing a program for software-syntactical processing of ontologies-ParsOnt 1.0, which includes: the creation of the original ontological model, the development of the basic algorithm for processing the ontology, the development of the user interface of the program. The algorithm of traversal of leaf nodes of the tree of ontology, using the wizardBtn_Click method as a tool for ontology parsing, is presented.

Сегодня на переднем крае разработок в сфере Internet-стандартов находится Семантическая Сеть (Semantic Web). Автором данной концепции является Т. Бернес-Ли. Ее архитектура предполагает наличие у любой информации, находящейся в сети, связанный с этой информацией точный смысл, который нельзя было бы перепутать даже в случае совпадения фраз или слов, встреченных в разных контекстах. Фактически это означает, что любая информация связана с некоторым неотделимым от нее контекстом.

Существует два альтернативных подхода к формированию и изучению онтологий: формальный и лингвистический. Первый основан на логике. Второй — на изучении естественного языка и построении онтологий на текстовых массивах. В последнее время эти подходы сильно взаимодействуют, но независимо от их различия и использования можно выделить два типа классификации онтологий: семантический и прагматический.

Деление онтологий по предметной области отражает знания о рассматриваемой области, такие как иерархия понятий, классов и семантические отношения в этих классах (рис.1). Онтологии создаются экспертами для каждой предметной области. Они проводят формализацию определений, правил и знаний, а также получения новых знаний.

Поскольку большая часть нагрузки Семантической Сети ложится на специальные поисковые машины, клиенту в большинстве случаев не понадобится иметь у себя какого-то специализированного программного обеспечения для работы с

OWL. Таким образом, развитие Веб в стеке технологии Семантической Сети обеспечивает универсальную, доступную платформу, позволяющую при этом распределенным данным быть обработанными программами так же, как и людьми.



Рис.1 – Классификация онтологий по цели создания

В качестве инструмента для парсинга онтологий, был разработан метод wizardBtn_Click, включающий в себя алгоритм обхода листовых узлов дерева онтологии(рис.2).

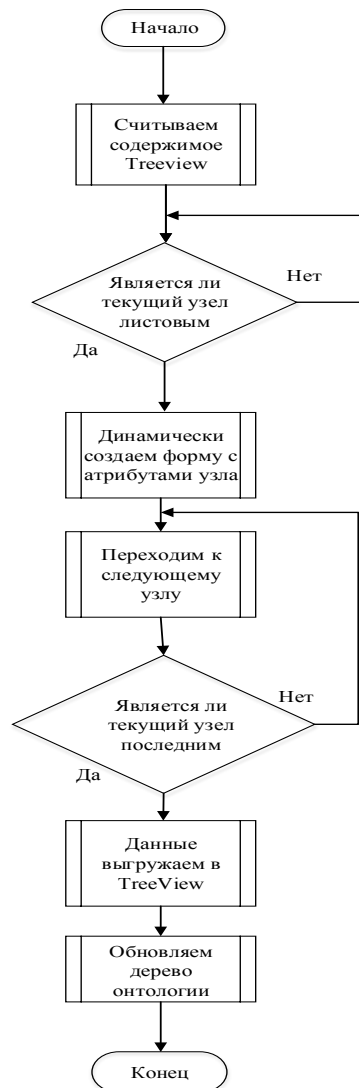


Рис.2 – Блок-схема основного алгоритма

В качестве парсера онтологий была разработана программа OntoParser (Ontology parser), выполненная на Windows Forms на языке C#. А в качестве тестового примера, была создана и использована онтология библиотечного каталога в редакторе Protege (рисунк 3).

Для работы с файлами OWL и для использования различных XML-инструментов, файл с расширением OWL конвертируется в файл с расширением XML (рис.4).

Итак, для загрузки готовой онтологии в программу нужно нажать на кнопку “Открыть”.

Открывается диалоговое окно , где выбирается необходимый файл(рис.6).

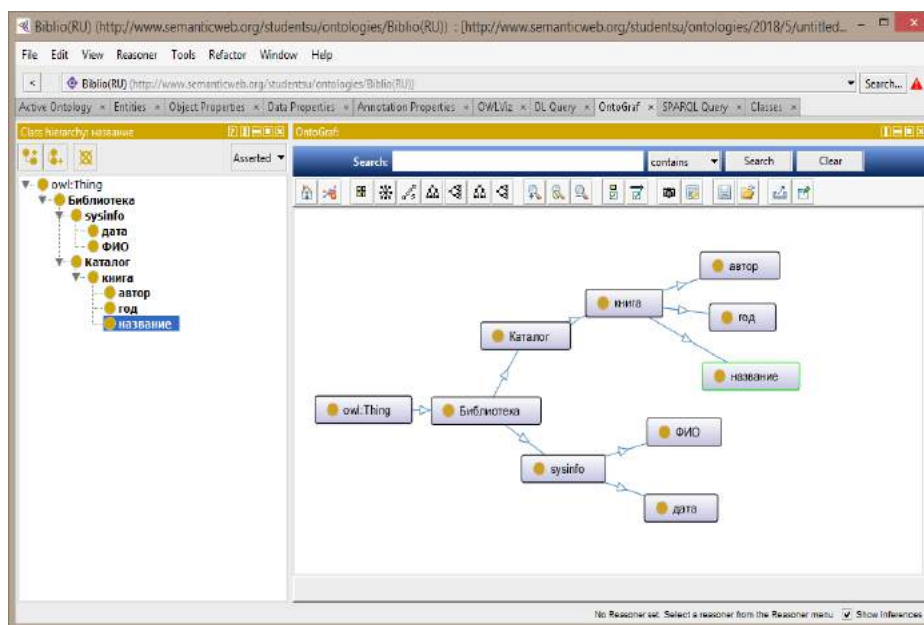


Рис. 3 – Тестовая онтология

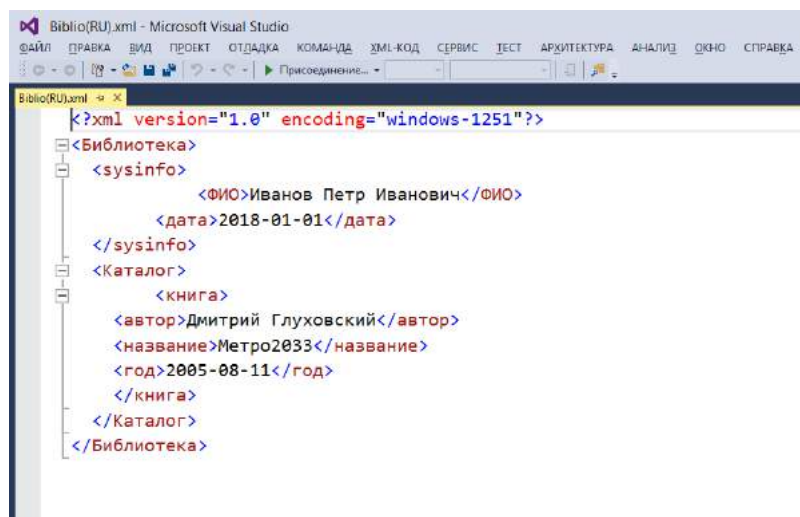


Рис.4–Тестовая онтология XML

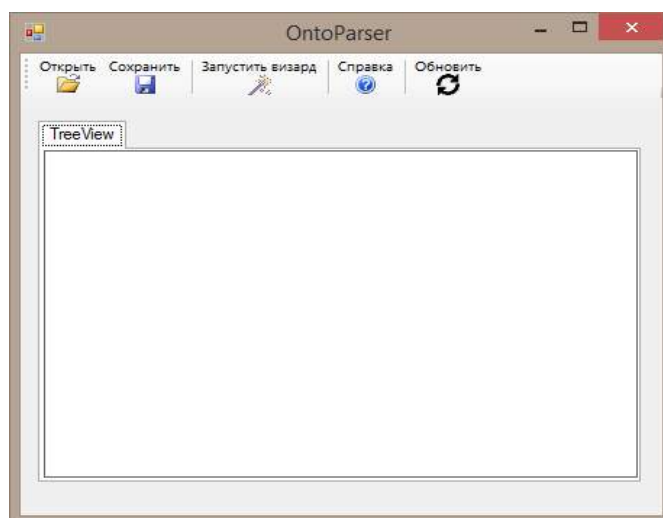


Рис.5–Главное окно программы

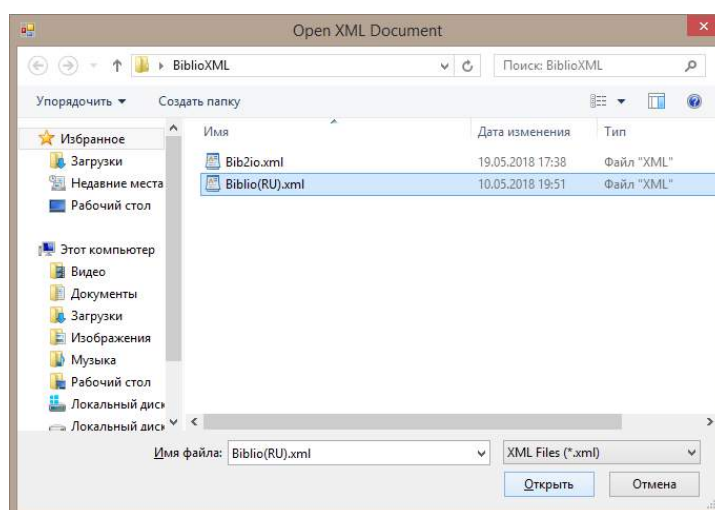


Рис.6–Загрузка готового XML-файла в программу

После нажатия “Открыть”, онтология загрузится в treeview и предстанет в виде дерева (рис.7) .

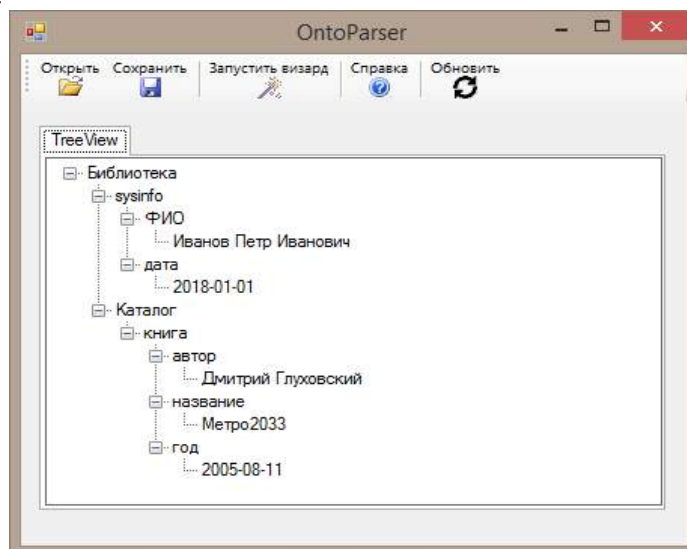


Рис.7–Загрузка онтологии в treeview

Теперь, все готово для запуска основного алгоритма, так называемого визарда, который обрабатывает узлы онтологии и сформирует пользовательский интерфейс.

Для этого нужно нажать кнопку “Запустить визард”, после чего, на экране появляется сообщение о текущем узле, который будет анализируются (рис.8).

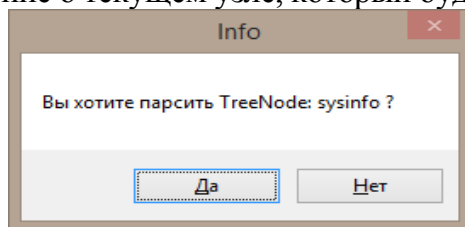


Рис.8–Парсинг узла онтологии

И далее, динамически создается форма в соответствии с атрибутами текущего узла онтологии (рис.9).

После нажатия кнопки “Далее”, алгоритм перескакивает на следующий узел, и так продолжается до тех пор, пока все узлы не будут пройдены. Когда алгоритм пройдет все узлы, на экране появится сообщение “Готово!” (рис.10).

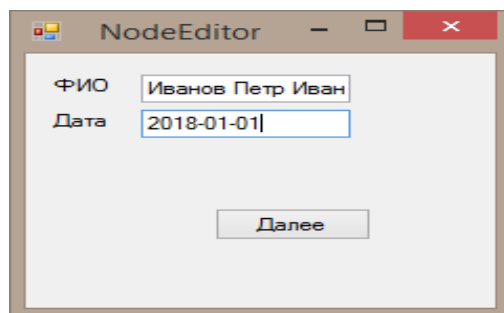


Рис.9 –Форма с атрибутами текущего узла онтологии

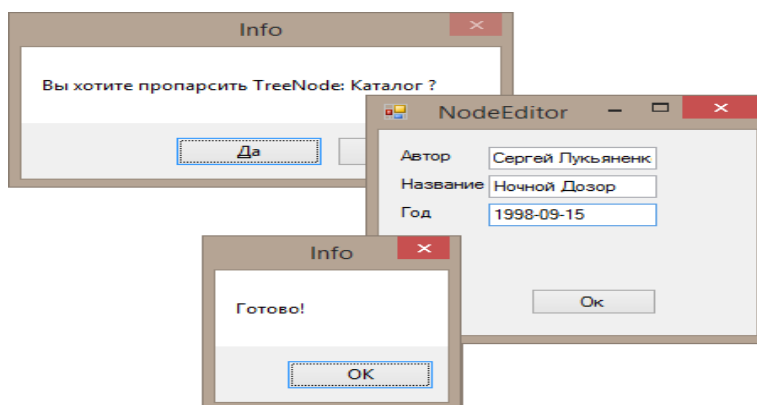


Рис.10–Конец работы основного алгоритма

После нажатия кнопки “ОК” происходит возврат на главное окно программы, где для отображения изменения структуры дерева, необходимо нажать кнопку “Обновить”(рис.11).

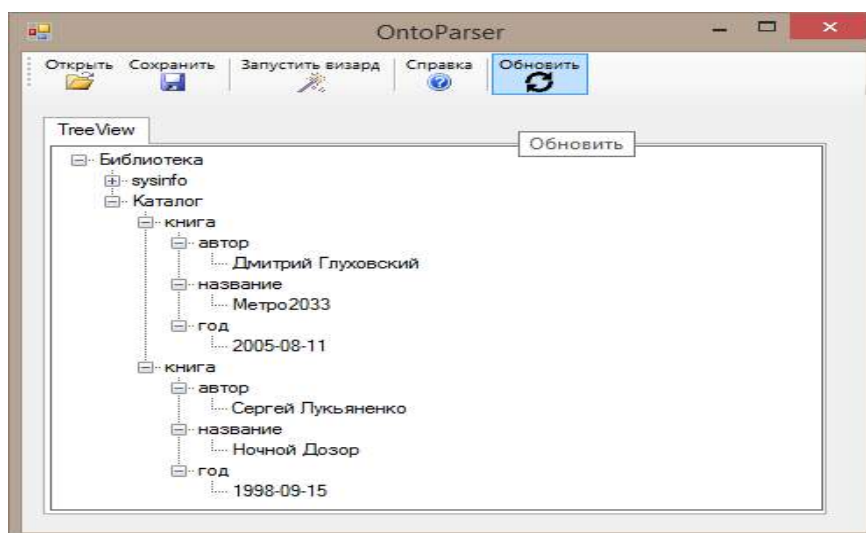


Рис.11 – Обновление дерева онтологии

После чего дерево онтологии обновится и будут отображены введенные данные.

Таким образом были рассмотрены подходы в области онтологического программирования, произведено описание идеи разработки программы для программно-синтаксической обработки онтологий-ParsOnt 1.0, автоматически обработан и заполнен исходный файл biblio.owl.

Список цитируемой литературы

1. Овдей О.М. Обзор инструментов инженерии онтологий / О.М. Овдей, Г.Ю. Проскудина // Журнал ЭБ. – 2004 – №4.
2. Hartmann J. Methods for ontology evaluation // Knowledge Web Deliverable, 2005. – С. 11 - 29.
3. Мохов В.А., Сильнягин Н.Н. Анализ перспектив программной оценки когнитивных свойств онтологий // Моделирование. Теория, методы и средства : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 31 марта 2011 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ) - Новочеркасск : ЮРГТУ, 2011. - С. 158-163.
4. Мохов В.А., Сильнягин Н.Н. Интегрированный алгоритм когнитивной оценки и выбора оптимального варианта онтологической модели, 2011.
5. Berners T. The Semantic Web //Scientific American. – 2001. – V. 120. – №.3. – P. 220–225.
6. Hartmann J. Methods for ontology evaluation // Knowledge Web Deliverable, 2005. – С. 11 - 29.
7. Гаврилова Т.А., Лещева И.А. Понятийные структуры знаний и когнитивный стиль. // Журнал высшей школы экономики, 2016 – С.154-176.
8. Клишина Ю.С, Мохов В.А., Наугольнов О.А. Классификация и назначение метрик для оценки параметров онтологических моделей.

УДК 624.011.78

ВЫБОР МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ НАТЯЖЕНИЯ ПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ГНУТОЙ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ

Воротов А.В., alexv9581@gmail.com, Пушнина И.В., inna.pushnina@gmail.com,
Южный федеральный университет, Таганрог

Целью работы является анализ возможных методов оценки натяжения пластичных материалов для реализации системы управления процессом производства композитных армирующих изделий сложной формы. Представлен технологический процесс производства композитной арматуры Г - образной формы. В основу технологии производства положен принцип придания требуемой формы заготовки до окончания процесса ее отвердевания. Поэтому важной задачей является оценка натяжения композитного материала ввиду его пластичности в процессе производства. Проведен анализ следующих методов оценки натяжения пластичных материалов: с применением датчиков натяжения, на основе косвенной оценки по току двигателей и интеллектуальный метод оценки натяжения с применением анализа видеоизображений. Представлены результаты сравнительного анализа рассмотренных методов на основе экспертных оценок.

Ключевые слова: композитная арматура, натяжение, оценка натяжения, пластичные материалы.

CHOICE OF METHOD OF MEASURING THE PLASTIC MATERIALS TENSION FOR THE PROCESS OF CURVED COMPOSITE REBAR PRODUCTION

Vorotov A.V., Pushnina I.V.
Southern Federal University, Taganrog

The main purpose of this paper is the analysis of methods of plastic materials tension assessment to implement the control system of production the composite reinforcing products with complex shape. The technological process of the Г-shaped composite reinforcement production is presented. The technology of production is based on the principle of shaping the workpiece before the end of the process of curing. Therefore, an important task is to assess the tension of the composite material due to its plasticity in the production process. It's made the analysis of the following methods of the plastic materials tension assessment: with the use of tension sensors, on the basis of indirect assessment of engine's current and the intelligent method of tension assessing with the use of analysis of video images. The results of a comparative analysis of the considered methods on the basis of the expert assessments is presented.

Keywords: composite reinforcement, tension, tension assessment, plastic materials.

Введение. Композитная неметаллическая арматура широко применяется в строительстве как в России, так и за рубежом. Строительные организации широко используют стеклопластиковую арматуру при возведении зданий и сооружений. По сравнению со стальной арматурой, стеклопластиковая более прочная на растяжение, обладает коррозионной стойкостью, имеет малый удельный вес и коэффициент теплопроводности, является диэлектриком, а также имеет улучшенные показатели прочности сцепления с бетоном. При этом стоимость стеклопластиковой арматуры при прочих равных условиях меньше, чем стальной [1].

Однако строительные организации до сих пор не могут отказаться от применения стальной арматуры при армировании колон и углов фундамента в силу отсутствия отработанной технологии производства гнутой композитной арматуры. Известен способ производства композитной арматуры сложной формы, заключающийся в том, что готовый композитный стержень нагревается и в месте нагрева изгибается [2]. При

этом показатели качества таких изделий в одной партии неодинаковы, нарушается геометрия и понижается прочность изделий в месте изгиба.

Авторами разрабатывается новая технология производства композитных армирующих изделий сложной формы, отличающаяся тем, что требуемая форма арматурному стержню придается еще до конца процесса его полной полимеризации. При этом отмечается лучшие показатели качества конечного изделия по сравнению технологией, основанной на нагреве и изгибе.

Внедрение данной технологии предусматривает изготовление надстройки над существующей линией по производству прямой композитной арматуры на предприятии ООО «РостовКомпозит» [3]. Арматура в пластичном состоянии поступает в узел формовки, представляющий собой барабан квадратной формы, приобретает Г-образную форму, затем сушится, охлаждается и режется (см. рис. 1). В результате данного технологического процесса получается готовый продукт, т.е. композитная арматура Г-образной формы.

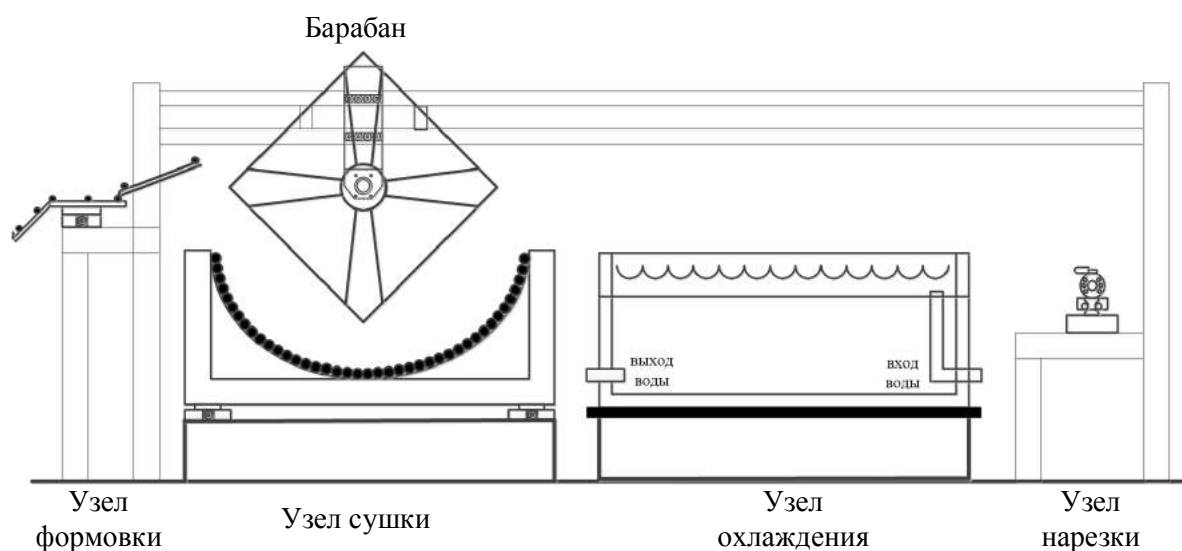


Рис.1. - Технологический процесс производства композитной арматуры сложной формы

При таком производстве гнутой арматуры требуется реализация системы синхронизации скоростей линии и привода барабана, при этом важной задачей является измерение натяжения композитного материала, что затруднительно из-за его пластичности на выходе технологической линии. При этом требуется поддерживать такое натяжение арматуры, чтобы не допускать ее чрезмерного натяжения и провисания при намотке на барабан. В данной работе рассмотрены следующие методы оценки натяжения композитного материала: на основе косвенной оценки по току двигателей, с применением датчиков натяжения и интеллектуальный метод оценки натяжения с применением анализа видеоизображений.

Косвенная оценка по току двигателей (электроприводов). Задачей электропривода барабана для намотки арматуры является поддержание ее натяжения. Самое высокое качество композитной арматуры будет достигнуто в случае, если скорость электропривода барабана будет синхронизирована со скоростью электропривода участка по производству прямой композитной арматуры. Момент на валу наматывающего устройства включает в себя следующие составляющие [3]:

$$M = M_{пол} + M_{ном} + M_{дин}, \quad (1)$$

где $M_{пол}$ – полезный момент, т.е. момент, необходимый для создания заданного натяжения F ; $M_{ном}$ – момент, необходимый для преодоления потерь в системе «двигатель – механизм»; $M_{дин}$ – динамический момент, обусловленный ускорением намоточного устройства при разгоне и торможении и изменением шага намотки на барабан.

В зависимости от условий работы соотношения между этими моментами могут быть различны. Полезный момент определяется значением усилия F , и в ряде случаев значительно превышает значение момента потерь, что позволяет пренебречь влиянием последнего на работу системы.

В процессе намотки арматуры полезный момент определяется выражением

$$M_{пол} = F \cdot \Delta k, \quad (2)$$

т. е. при постоянном усилии натяжения $F = \text{const}$ он прямо пропорционален шагу намотки.

Полезная мощность определяется выражением

$$P_{пол} = F \cdot V, \quad (3)$$

где V – скорость двигателя.

Полезная мощность при постоянном натяжении полотна, независимо от шага намотки, пропорциональна скорости полосы.

Если двигатель через редуктор вращает вал, на который наматывается композитный материал, то его скорость должна изменяться в соответствии с выражением

$$\omega = V \cdot i / \Delta k, \quad (4)$$

где i – передаточное число редуктора.

Отсюда видно, что при данном значении V диапазон регулирования скорости двигателя равен диапазону изменения шага намотки. Системы с косвенным измерением натяжения, т.е. по одной из величин или по их комбинации, меняющейся в функции F , имеют широкое распространение. Выражения (2) и (3) могут служить основанием для оценки возможностей построения системы с косвенным измерением натяжения. Если пренебречь разницей между моментом на валу двигателя и полезным моментом, считая, что влияние двух последних слагаемых в выражении (1) либо ничтожно мало, либо будет скомпенсировано, а также пренебречь потерями вращения электродвигателя на выходе линии по производству прямой композитной арматуры, то можно сказать, что электромагнитный момент двигателя должен изменяться по закону

$$M_{эм} = F \cdot \Delta k / i. \quad (5)$$

С другой стороны,

$$M_{эм} = c_d \cdot \Phi \cdot i_{я}. \quad (6)$$

где $M_{эм}$ – электромагнитный момент двигателя, c_d – постоянный коэффициент, Φ – магнитный поток, $i_{я}$ – передаточное число якоря,

В результате сравнения этих выражений может быть сформулирован наиболее распространенный закон косвенного регулирования натяжения: при заданном постоянном натяжении F надо поддерживать постоянным якорный ток, меняя поток возбуждения двигателя пропорционально радиусу барабана.

Недостатком системы с косвенным измерением является необходимость введения поправки для учета статических потерь ($M_{ном}$). Учет потерь вследствие их неопределенности и сложной зависимости от многих факторов часто оказыва-

ется затруднительным. При работе с большими значениями натяжений потери составляют небольшую часть общей мощности и их изменение не влияет сколько-нибудь заметно на точность поддержания натяжения. При малых значениях натяжения, что характерно для производства композитной арматуры, роль потерь возрастает и погрешность от их неточного учета может оказаться значительной.

Оценка на базе датчиков натяжения. Обычно даже натянутый композитный материал, проходящий между выходом линии по производству прямой арматуры и намоточным устройством, провисает под действием собственного веса. Изменение натяжения приводит к изменению положения арматуры в пространстве. Это позволяет использовать в качестве датчиков натяжения устройства, измеряющие отклонение положения полосы от заданного и преобразующие его в электрический сигнал.

Другим распространенным способом измерения натяжения является измерение натяжения при помощи тензометрических датчиков. Тензорезистивный датчик обычно представляет собой специальную упругую конструкцию с закреплённым на ней тензорезистором и другими вспомогательными деталями. После калибровки, по изменению сопротивления тензорезистора можно вычислить степень деформации, которая будет пропорциональна силе, приложенной к конструкции. Очевидно, что контактные способы измерения натяжения не могут применяться при производстве композитной арматуры из-за ее пластичности в процессе намотки на барабан.

Интеллектуальный метод оценки натяжения композитного материала. Применительно к исследуемому процессу производства можно осуществлять оценку натяжения композитного материала путем интеллектуального распознавания изображения в кадре с применением видеокамеры.

Для распознавания арматуры между линией по производству прямой арматуры и узлом формовки производственного участка по приданию арматуре изогнутой формы устанавливается камера. В реальном времени изображение, получаемое от камеры, поступает в блок оценки натяжения.

При распознавании изображения в видеокадре выделяются (рис. 2):

- область критического натяжения композитного материала: если материал целиком попадает в данную область, то это свидетельствует о его чрезмерном натяжении;

- область допустимого натяжения композитного материала: если материал целиком попадает в данную область, то это свидетельствует о его допустимом натяжении без сильных провисаний.

При распознавании изображение арматуры, получаемое в процессе контроля ее натяжения, преобразовывается в бинарный, черно - белый вид. Затем определяется количество черных пикселей, попадающих в области критического и допустимого натяжения композитного материала. На основании этого делается заключение о степени ее натяжения путем оценки приближения пикселей арматуры к выделенным областям.

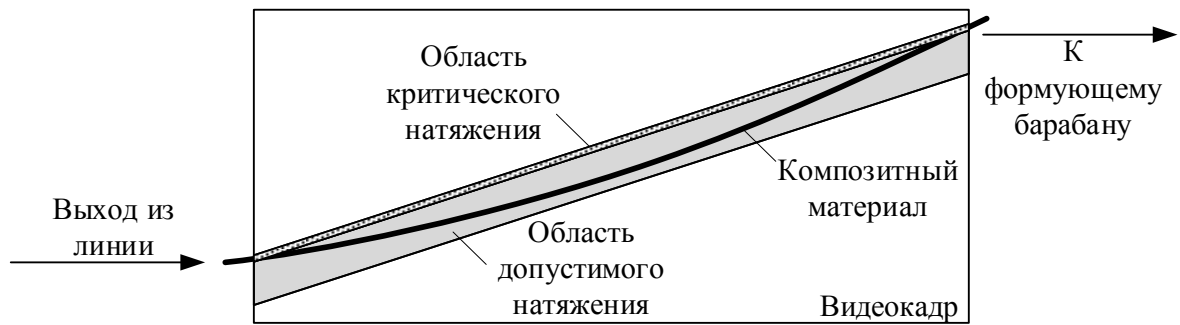


Рис.2. - Детектирование изменения натяжения композитного материала

Сравнительный анализ методов оценки натяжения пластичных материалов. Результаты сравнения вышеизложенных методов оценки натяжения применительно к композитному материалу, который находится в пластичном состоянии в процессе производства композитной арматуры сложной формы, методом экспертных оценок сведены в табл. 1 [4].

Таблица 1

Метод \ Критерий	Точность оценки	Скорость оценки	Капитальные затраты	Не контакт с композитом	Интегральный показатель
Косвенная оценка по току двигателей	0,22	1	1	1	0,805
Оценка на базе датчиков натяжения	1	0,9	0,87	0	0,693
Интеллектуальные методы оценки	0,8	0,78	0,8	1	0,845

При вычислении оценок экспертами выступали представители предприятия ООО «РостовКомпозит».

Из табл. 1 и рис. 3 видно, что интегральный показатель интеллектуального метода оценки натяжения, основанного на анализе видеоизображений превышает интегральный показатель метода косвенной оценки натяжения на 4,7% и метода оценки натяжения на базе датчиков натяжения на 18%.

Низкую скорость интеллектуального метода оценки натяжения материала можно не учитывать как недостаток ввиду инерционности технологического процесса. Также стоит отметить, что недостатком метода оценки на базе датчиков натяжения является невозможность его применения ввиду пластичности композитного материала в процессе формовки.

Недостатком метода косвенной оценки по току двигателей является низкая точность оценки сравнительно с интеллектуальным методом оценки, так как незначительная деформация может не привести к изменению тока в двигателе.

Однако даже незначительная деформация является следствием нарушения матрицы изделия, что приводит к снижению прочностных характеристик арматуры, а также других ее показателей качества.

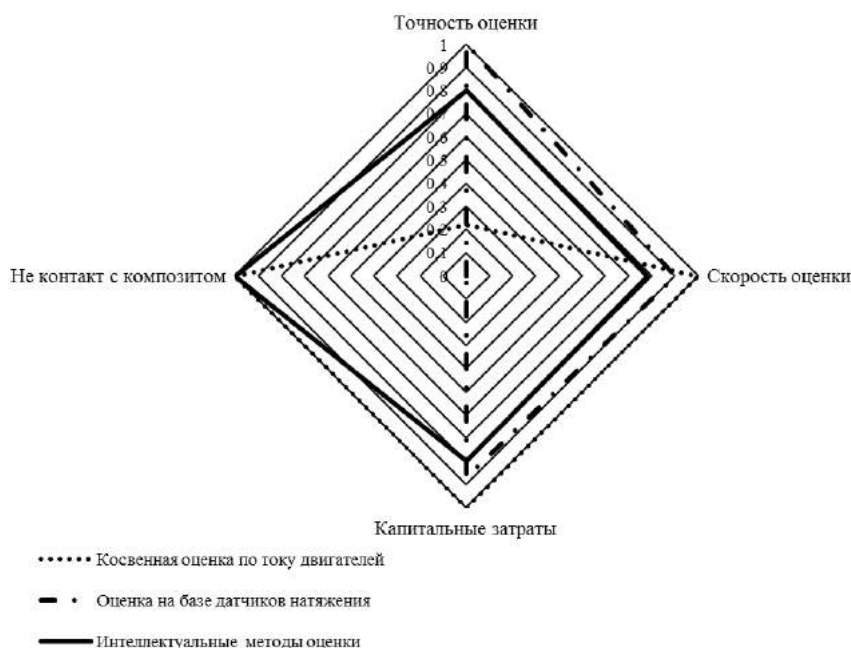


Рис. 3. - Сравнительная диаграмма методов

Выводы. В данной статье был проведен анализ методов оценки натяжения применительно к процессу производства композитной арматуры сложной формы. Экспертное оценивание исследуемых методов позволило выбрать наиболее оптимальный метод оценки натяжения композитного материала. Для наиболее точного оценивания, а, следовательно, для получения наиболее качественных образцов, было принято решение применять интеллектуальный метод оценки на базе распознавания видеоизображения.

Список цитируемой литературы

1. Соловьев В.В., Пушнина А.А. Автоматизация производства композитной арматуры сложной формы. Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2017): сборник трудов XV Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (16–19 ноября 2017 г.) / Южный федеральный университет; редкол.: В.И. Финаев, Е.А. Шестова, А.Е. Титов. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017.
2. Оборудование для производства гнутых композитных стержней [Электронный ресурс] // <http://www.zao-rif.ru/index.php/oborudovanie/kompozitnoe/85-gnutih-elementov> / Дата обращения: 6.02.2018.
3. ООО «Ростов композит» [Электронный ресурс] // <http://rostovcompozit.ru/> / Дата обращения: 6.02.2018.
4. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. - Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. - 382 с.
5. Финаев В.И., Синявская Е.Д., Пушнина И.В. Алесинская Т.В. Анализ экспертной информации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. - 203 с.

© А.В. Воротов, И.В. Пушнина, 2018

ИССЛЕДОВАНИЯ, МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

УДК 004.67

КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕТОДЫ АУДИТА В КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Р.В. Сусов, susovroman@mail.ru, А.Н. Самолдин, samoldin@mgul.ac.ru

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), г. Москва

В данной статье рассмотрены принципы и преимущества применения компьютерных методов аудита в корпоративной информационной системе. Рассмотрены инструменты и алгоритмы описательного и интеллектуального анализа для выявления аномалий в финансовых данных.

Ключевые слова: автоматизированные инструменты и методы аудита, СААТТс, интеллектуальный анализ данных, закон Бенфорда, идентификация повторяющихся транзакций, поиск совпадений, нечеткий поиск совпадений, проверка пропусков в последовательностях.

COMPUTER-ASSISTED AUDIT TECHNIQUES IN CORPORATE INFORMATION SYSTEM

R.V. Susov, A.N. Samoldin

Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi Branch), Moscow

This article discusses the principles and benefits of using computer-based auditing techniques in a corporate information system. There are considered the tools and algorithms of descriptive and intellectual analysis for identifying anomalies in financial data.

Keywords: computer-assisted audit tools and techniques, CAATTs, business intelligence, data mining, Benford's Law, duplicate transaction identification, matching, fuzzy matching, missing sequence identification.

Для оценки достоверности ведения бухгалтерского учета в организациях проводятся регулярные аудиторские проверки. Аудит, ранее выполняемый полностью вручную, все чаще включает применение различных автоматизированных инструментов и методов, известных как СААТТс (computer-assisted audit tools and techniques). К автоматизированным инструментам аудита относятся как классические электронные таблицы и текстовые редакторы, так и специализированные программные приложения, предназначенные анализа данных. Применение таких инструментов позволяет сократить время аудита и повысить его качество.

В наше время практически у каждой организации имеется корпоративная информационная система, в которой отражаются факты хозяйственной деятельности и первичные документы, делаются соответствующие бухгалтерские проводки. Именно эти данные корпоративной информационной системы являются основой для проведения аудиторских проверок. Однако, для того, чтобы эти данные стали доступны автоматизированным инструментам аудита, первое, что необходимо сделать — извлечь их из корпоративной информационной системы и трансформировать в некоторый формат (CSV, DBF, Excel и другие), с которым эти инструменты умеют работать. Если, конечно, эти автоматизированные инструменты аудита не являются частью корпоративной информационной системы,

а обычно это именно так. Здесь стоит отметить одно важное преимущество встраивания автоматизированных инструментов аудита в корпоративную информационную систему. Это преимущество заключается в возможности выполнять ряд автоматизированных проверок, не требующих вмешательства аудитора, сразу при вводе первичных финансовых данных, а не только в ходе аудиторской проверки.

Данные, преобразованные в нужный формат, представляют собой предмет для дальнейшего анализа. Для извлечения полезной аудитору информации исходные данные необходимо обработать и представить в удобном для анализа виде. Для этого СААТТs поддерживают как описательный, так и интеллектуальный анализ данных. Описательный анализ данных улучшает восприятие анализируемых данных аудитором за счет их обработки, группировки, сортировки, фильтрации и визуализации. Типичные инструменты для анализа такого рода это кросс-таблицы и сводные таблицы, повсеместно применяемые при аудите. Интеллектуальный анализ данных позволяет извлечь неизвестные ранее знания из анализируемых данных с помощью специальных алгоритмов, рассмотренных в [1]. Среди них закон Бенфорда (Benford's Law), алгоритмы идентификации повторяющихся транзакций (duplicate transaction identification), включающие обычный поиск совпадений (Matching) и нечеткий поиск совпадений (Fuzzy matching), алгоритмы проверки пропусков в последовательностях (missing sequence identification).

Применение описательного и интеллектуального анализа данных СААТТs позволяет аудитору эффективно выявить аномалии в финансовых данных. Аномалия это некое непредвиденное значение в данных, которые говорит об отклонении в ведении учёта хозяйственной деятельности организации и бухгалтерской отчётности от ожидаемого результата. Типичные примеры аномалий в финансовых данных это подозрительные цифры, дубли, пропуски, несовпадения, несоответствия. Найти такие аномалии без использования СААТТs аудитору либо очень трудоемко, либо в принципе невозможно. Таким образом, СААТТs позволяет многократно сократить время и повысить качество аудита. Учитывая, что ряд проверок СААТТs может выполняться полностью в автоматическом режиме (при условии интеграции СААТТs в корпоративную информационную систему), аномалии будут обнаружены сразу после ввода данных, что в ряде случаев позволит не только выявить нарушение, но и предотвратить его.

Список цитируемой литературы

1. Сусов Р.В., Самолдин А.Н. Интеллектуальные алгоритмы выявления нарушений в финансовых данных. // Применение и развитие нейросетевого моделирования для решения фундаментальных задач в науке и технике: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 3-4 декабря 2018г. / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2018. – с. 92-93.

УДК 519.7

О СИСТЕМЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ НА ОСНОВЕ ДИЗАЙНОВ АДАМАРА

В.М. Деундяк^{1,2}, vl.deundyak@gmail.com, А.А. Таран¹, fraktal-at@yandex.ru

Южный Федеральный Университет (ЮФУ), г. Ростов-на-Дону
ФГНУ «НИИ «Спецвузавтоматика», г. Ростов-на-Дону

В работе изучается возможность применения дизайнов Адамара к задаче распределения ключей в сообществе для обеспечения безопасности переписки каждой пары членов сообщества. Исследуются построенные на дизайнах Адамара системы предварительного распределения ключей, позволяющие участникам вычислить общие секретные ключи для переписки с помощью предварительно распределенной ключевой информации. Однако, в системах такого типа возможно проведение коалиционных атак на общие секретные ключи, при этом гарантируется безопасность ключей при условии, что мощность коалиции злоумышленников не превышает некоторого фиксированного граничного значения. Для построенных систем исследуется устойчивость к коалиционным атакам в случае превышения предусмотренного значения мощности коалиции. Вычисляются вероятности возможности проведения атаки на общий ключ переписки произвольной пары участников.

Ключевые слова: системы распределения ключей, комбинаторные дизайны, коалиционные атаки.

ON THE KEY DISTRIBUTION SYSTEM BASED ON HADAMARD DESIGNS

V.M. Deundyak^{1,2}, A.A. Taran¹

Southern Federal University (SFedU), Rostov-on-Don
FSSO «SRI «Spetsvuzavtomatika», Rostov-on-Don

This article discusses the applicability of Hadamard designs to the task of key distribution within a community for secure communication between each pair of users. Key predistribution systems based on Hadamard designs, that allow users to calculate shared secret keys using previously distributed key information, are studied. Collusive attacks on shared secret keys are possible in such systems, but the security of key is guaranteed in case when cardinality of the coalition does not exceed specified threshold. Resilience of these systems to collusive attacks in the case when cardinality of the coalition exceeds this threshold is studied. Probabilities of successful attacks on shared secret key of arbitrary pair of users are calculated.

Keywords: key distribution systems, combinatorial designs, collusive attacks.

Введение

Для обеспечения безопасной передачи данных в сообществе участникам обмена требуется наличие общего секретного ключа. Алгоритмы, с помощью которых эти общие ключи могут быть получены, можно разделить на три группы [1]. В алгоритмах выработки общего секретного ключа, таких как [2], участники обмениваются открытыми ключами по публичным каналам связи и на основе них вычисляют общие секретные ключи. В системах распределения ключей, таких как [3], участники могут получить общий секретный ключ в результате обмена данными с некоторым доверенным сервером. Однако в некоторых случаях обмен данными с другими участниками сообщества или с доверенным сервером может быть невозможен или непрактичен. В таких случаях могут использоваться системы предварительного распределения ключей [4], в которых каждому участнику системы заранее предоставляется некая ключевая информация, на основе которой он затем может независимо от других участников системы вычислить необходимые общие секретные ключи. Однако системы такого типа могут быть подвержены коалиционным атакам: находящиеся в системе злоумышленники могут объединиться в коалицию и получить возможность вычислить

общие секретные ключи других участников системы с помощью ключевой информации всех членов коалиции.

Примерами систем предварительного распределения ключей являются системы, построенные с помощью шаблонов распределения ключей [5]. В качестве основы для их построения могут использоваться различные комбинаторные структуры [6,7], такие как ортогональные массивы и комбинаторные дизайны [8]. Эти системы гарантируют безопасность ключей при условии, что мощность коалиции злоумышленников не превышает некоторого определяемого конструкцией системы значения. Но т.к. коалиция злоумышленников может сформироваться уже после построения системы, когда максимальное значение допустимой мощности будет зафиксировано, то представляется актуальным исследование безопасности общих секретных ключей пользователей системы в случае превышения этого значения.

В данной работе изучается система распределения ключей, построенная на дизайнах Адамара, и вычисляются вероятности возможности проведения успешной коалиционной атаки в случае, когда мощность коалиции превышает предусмотренное системой значение.

Построение системы

Предположим, что имеется сообщество из $n = 2^a$, $a > 2$ пользователей. Система распределения ключей в этом сообществе будет строиться на основе шаблонов распределения ключей [5,6], которые определяются следующим образом. Доверенный сервер генерирует множество U из n идентификационных номеров пользователей системы и множество блоков $B = \{B_i\}_{i=1}^{|B|}$, где каждый B_i является подмножеством U . Множества U и B являются открытой информацией и известны всем пользователям системы. Для каждого B_i сервер генерирует ключ k_i из ключевого пространства K . Каждый пользователь системы получает ключ k_i , если соответствующий ему идентификационный номер лежит во множестве B_i . Таким образом, каждый пользователь может получить несколько ключей, и каждый ключ k_i может быть одновременно получен несколькими пользователями системы. Множество ключей k_i , полученных пользователем системы, составляет его приватную ключевую информацию.

Пара (U, B) называется (t, w) -KDP (*Key Distribution Pattern*), т.е. шаблоном распределения ключей, обеспечивающим безопасность конференций из t участников при условии наличия в системе коалиции злоумышленников из не более чем w пользователей системы, если выполняются следующие условия: для любой конференции $P \subset U, |P| = t$ множество $B_P = \{B_i \in B : P \subseteq B_i\}$ непусто, т.е. все участники конференции P принадлежат, по крайней мере, одному общему блоку B_i , а значит, имеют, по крайней мере, один общий ключ k_i ; для любой конференции $P \subset U, |P| = t$ и для любой коалиции $F \subset U \setminus P, |F| \leq w$ множество

$$\{B_i \in B : P \subseteq B_i, F \cap B_i \neq \emptyset\} \neq \emptyset, \quad (1)$$

т.е. существует, по крайней мере, один блок B_i , в который входят все участники конференции P , но не входит ни один из злоумышленников из коалиции F , а значит, у всех участников коалиции P есть, по крайней мере, один общий ключ

k_i , который неизвестен коалиции F . Тогда каждый из участников конференции, зная U , B и P , может получить множество B_P и соответствующее ему множество ключей $K_P = \{k_i : B_i \in B_P\}$, общих для всех участников конференции, и вычислить общий секретный ключ $k_P = f(K_P)$ конференции P с помощью заранее оговоренной функции f . Если в качестве f использовать такую функцию, для которой нельзя получить никакой информации о ключе k_P , если не известен хотя бы один ключ из множества K_P , то, согласно (1), никакая коалиция $F \subset U \setminus P, |F| \leq w$ не сможет вычислить общий секретный ключ k_P . Например, в качестве такой функции может использоваться побитовая сумма всех ключей из множества K_P .

В [6] показано, что в качестве шаблона распределения ключей может использоваться комбинаторный дизайн. v - (n, m, λ) -дизайном называется пара (U, B) , где $|U| = n$, $B = \{B_i \subset U\}_{i=1}^{|B|}, |B_i| = m$, для которой выполняется условие, что любые v элемента из U содержатся ровно в λ блоках из B . В [6], с. 223, доказана теорема, что $(t+1)$ - (n, m, λ) -дизайн является (t, w) -KDP при

$$w < \frac{n-t}{k-t}. \quad (2)$$

Мы будем рассматривать описанную систему, построенную на 3- $(n, n/2, n/4 - 1)$ -дизайне Адамара, который может быть получен из матрицы Адамара-Сильвестра размера $n \times n$ [8]. Согласно (2), этот дизайн является $(2, 2)$ -KDP, т.е. позволяет обеспечить безопасность переписки пары пользователей системы при наличии коалиций из не более чем двух злоумышленников.

Вычисление вероятностей проведения атак

Для описанной выше системы распределения ключей на 3-дизайнах Адамара было доказано следующее утверждение.

Теорема 1. Коалиция $F \subset U$ может получить общий секретный ключ k_P переписки $P \subset U$ тогда и только тогда, когда у коалиции F имеются все приватные ключи по крайней мере одного из участников P .

Благодаря этой теореме можно свести задачу определения вероятности того, что коалиция сможет вычислить общий секретный ключ конференции, к задаче определения вероятности того, что коалиция получит все приватные ключи какого-то пользователя системы.

Зафиксируем коалицию злоумышленников F мощности $|F|$. Для описанной системы распределения ключей можно показать, что коалиция всегда будет получать все приватные ключи ровно 2^d пользователей системы (включая самих злоумышленников из F) для некоторого целого d . Поэтому рассмотрим вспомогательную систему гипотез $\{H(|F|, d)\}_{d=0}^a$, состоящих в том, что коалиция из $|F|$ злоумышленников получила все ключи 2^d пользователей системы. Вероятности наступления гипотез могут быть вычислены рекуррентно по формуле

$$p(H(|F|, d)) = \frac{p(H(|F|-1, d-1)) \cdot (n - 2^{d-1}) + p(H(|F|-1, d)) \cdot (2^d - (|F|-1))}{n - (|F|-1)} \quad (3)$$

со следующими начальными значениями:

$$p(H(1,0)) = 1; \quad p(H(r,0)) = 0, r \neq 1; \quad p(H(1,d)) = 0, d \neq 0. \quad (4)$$

Из этих формул, а также из формул гипергеометрического распределения и полной вероятности, вытекает следующее утверждение.

Теорема 2. Рассмотрим (2,2)-систему распределения ключей для $n = 2^a$ пользователей, построенную на 3-дизайнах Адамара, полученных из матриц Адамара-Сильвестра. Вероятность события $A(|F|)$, состоящего в том, что коалиция злоумышленников F мощности $|F|$ может вычислить общий секретный ключ произвольной переписки (с учетом тех переписок, в которых один из участников – это член коалиции F) вычисляется по формулам

$$p(A(|F|)) = \sum_{d=0}^a p(A(|F|) | H(|F|, d)) \cdot p(H(|F|, d)),$$

$$p(A(|F|) | H(|F|, d)) = 1 - \frac{C_{n-2^d}^2}{C_n^2},$$

где $p(H(|F|, d))$ вычисляется по формулам (3), (4).

Заключение. В работе на основе применения теории дизайнов построены системы предварительного распределения ключей, позволяющие участникам сообщества вычислять общие секретные ключи для защищенной переписки каждой пары членов сообщества с помощью предварительно распределенной ключевой информации. В системах подобного типа возможны коалиционные атаки на общие секретные ключи, но, несмотря на это, система гарантирует безопасность ключей при условии, что мощность коалиции злоумышленников не превышает некоторого фиксированного граничного значения. Для построенных в работе систем распределения ключей вычислены вероятности возможности проведения атаки на общий ключ переписки произвольной пары участников, что позволяет оценить риски при внедрении представленной системы на практике.

Список цитируемой литературы

1. Martin K.M. The Combinatorics of Cryptographic Key Establishment. // Surveys in Combinatorics, 2007. – pp.223-273
2. Diffie W., Hellman M. New Directions in Cryptography // IEEE Transactions on Information Theory, vol. 22, 1976. – pp.644-654
3. Needham R.M., Schroeder M.D. Using Encryption for Authentication in Large Networks of Computers // Communications of the ACM, vol. 21, 1978. – pp.993-999
4. Matsumoto T., Imai I. On the Key Predistribution Systems: A Practical Solution to the Key Distribution Problem // Advances in Cryptology: CRYPTO'87 (LNCS 293), 1987. – pp.185-193
5. Mitchell C.J., Piper F.C. Key Storage in Secure Networks // Discrete Applied Mathematics, vol. 21, 1988. – pp.215-228
6. Stinson D.R. On Some Methods for Unconditionally Secure Key Distribution and Broadcast Encryption // Designs, Codes and Cryptography, vol. 12, 1997. – pp.215-243
7. Stinson D.R., Trung T.V. Some New Results on Key Distribution Patterns and Broadcast Encryption // Designs, Codes and Cryptography, vol. 14, 1998. – pp.261-279
8. Таранников Ю.В. Комбинаторные свойства дискретных структур и приложения к криптологии. – М.: МЦНМО, 2011. – 152 с.

© В.М. Деундяк, А.А. Таран, 2019

УДК656.25-52

«УМНЫЙ ЛОКОМОТИВ» КАК ЭЛЕМЕНТ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ «ЦИФРОВАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА»

Юренко К.И.^{1,2}, *ki-yurenko@yandex.ru*, **Харченко П.А.**³, *lrk-9@mail.ru*,

Юренко И.К.⁴, *ikyur@yandex.ru*

¹Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)

имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

²Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону

³ОАО «Российские железные дороги», эксплуатационное локомотивное депо Лихая,
г. Каменск-Шахтинский

⁴независимый исследователь

В статье рассмотрены некоторые аспекты концепции интегрированной системы "Цифровая железная дорога" и требования к перспективному подвижному составу ("умный локомотив", "умный поезд"), как одному из важнейших элементов последней. Отмечается важность развития разработок в области создания средств автоматического вождения подвижного состава ("автоведение" и "автомашинист") и энергооптимального управления движением поезда. Предложены функциональная схема динамической системы "человек-поезд" (включает уровни локомотивной бригады, бортовой информационно-управляющей системы, подсистем и оборудования локомотива, механического движения поезда), а также схема реализации управляющей деятельности машиниста локомотива и её формализация, что является актуальным при решении указанных выше задач.

ANALYSIS, RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL, ALGORITHMIC AND SOFTWARE FOR THE OPTIMIZATION OF THE REGIMES OF OPERATING TRAINS

Yurenko K.I.^{1,2}, **Kharchenko P.A.**³, **Yurenko I.K.**⁴,

¹Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

²Rostov State Transport University, Rostov-on-Don

³JSC "Russian Railways", the operational locomotive depot Likhaya, Kamensk-city

⁴independent researcher

The article deals with some aspects of the concept of the integrated system "Digital railway" and the requirements for promising rolling stock ("smart locomotive", "smart train") as one of the most important elements of the latter. It is noted the importance of developments in the field of creation of means of automatic driving of the rolling stock ("autodriver") and energy-optimal control the movement of the train. The functional scheme of the dynamic system "man-train" (includes the level of the locomotive crew, onboard information and control system, subsystems and equipment of the locomotive, mechanical movement of the train), as well as the scheme of implementation of the control activity of the locomotive driver and its formalization, which is relevant in solving the above tasks.

Развитие цифровой экономики, являющееся в настоящее время стратегическим приоритетом нашей страны, призвано создать необходимый инфраструктурный и технологический базис экономического роста, затрагивает такие ключевые отрасли, как транспорт, телекоммуникации, энергетика, образование и др. Применительно к железнодорожному транспорту это нашло отражение в создании директивных документов «Стратегия научно-технологического развития холдинга «РЖД» до 2020 и на перспективу до 2025 года» («Белая книга») и «Концепция реализации комплексного научно-технического проекта «Цифровая железная дорога»».

В настоящее время ключевыми трендами развития железнодорожной отрасли, наряду с инновационными энерго- и ресурсоэффективными системами для

подвижного состава и инфраструктуры является создание "умной" железной дороги, включая внедрение интеллектуальных и гибких систем управления транспортном с целью оптимизации архитектуры и операционных систем железнодорожной сети на уровне маршрута и отдельного поезда.

Основой для её формирования является полная интеграция интеллектуальных коммуникационных технологий между пользователем, транспортным средством, системой управления движением и инфраструктурой, т.е. формирование сквозных "цифровых технологий" организации перевозочного процесса, включая разработку и внедрение единой интеллектуальной системы управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте; разработку отказоустойчивых и защищенных от кибератак интеллектуальных систем управления движением и грузо/пассажиропотоками, систем железнодорожной автоматики и связи, гармонизированных со стандартами ERTMS; реализацию концепции "умный локомотив" и "умный поезд". Последнее предполагает разработку и внедрение информационно-управляющего бортового комплекса для тягового и моторвагонного подвижного состава нового поколения, в котором одним из приоритетов является совершенствование средств автоматического вождения подвижного состава ("автоведение" и "автомашинист"), что должно способствовать повышению безопасности, надежности, энергоэффективности движения, а также комфортности пассажирами снижения рисков, связанных с человеческим фактором. Система информирования машиниста грузового локомотива должна обеспечивать автоматический прием на борт локомотива по беспроводным каналам связи информации о расписании и параметрах движения поезда и автоматический расчет на борту локомотива энергооптимальной траектории движения.

Это требует дальнейшего развития разработок в области управления движением поездов по энергооптимальным графикам, повышение энергоэффективности подвижного состава, инфраструктуры, устройств тяговой сети и стационарной энергетики, более точных средств учета расхода топливно-энергетических ресурсов на тяговом подвижном составе с передачей информации о расходе ТЭР в автоматизированном режиме в соответствующие информационные системы без участия машиниста.

Важной задачей в связи с этим является моделирование управляющей деятельности машиниста локомотива (УДМ), который является ключевым звеном многофункциональной динамической системы «человек-поезд» (рис.1). Он выполняет должностные обязанности в условиях повышенной напряженности и тяжести труда, заключающиеся в перемещении грузовых и пассажирских поездов на большие расстояния при высоких скоростях в условиях стохастического возникновения факторов, которые влияют на показатели качества перевозочного процесса. При этом машинист и его помощник должны обеспечить соблюдение нормативного графика, безопасность, надежность, комфорт пассажиров, минимизацию расхода топливно-энергетических ресурсов, а также оперативный поиск и устранение неисправностей и принятие решений в нестандартных и аварийных ситуациях.

Как видно из функциональной схемы, указанная динамическая система включает в себя несколько уровней: локомотивной бригады; бортовой информационно-управляющей системы; подсистем и оборудования локомотива; механического движения поезда (локомотив – состав – железнодорожный путь). Обозначена также связь с системой тягового энергоснабжения. Первые два уровня характеризуются информационными процессами: получением сведений о текущем состоянии системы; её обработкой и представлением, а также принятием управляющих решений и выдачей команд.

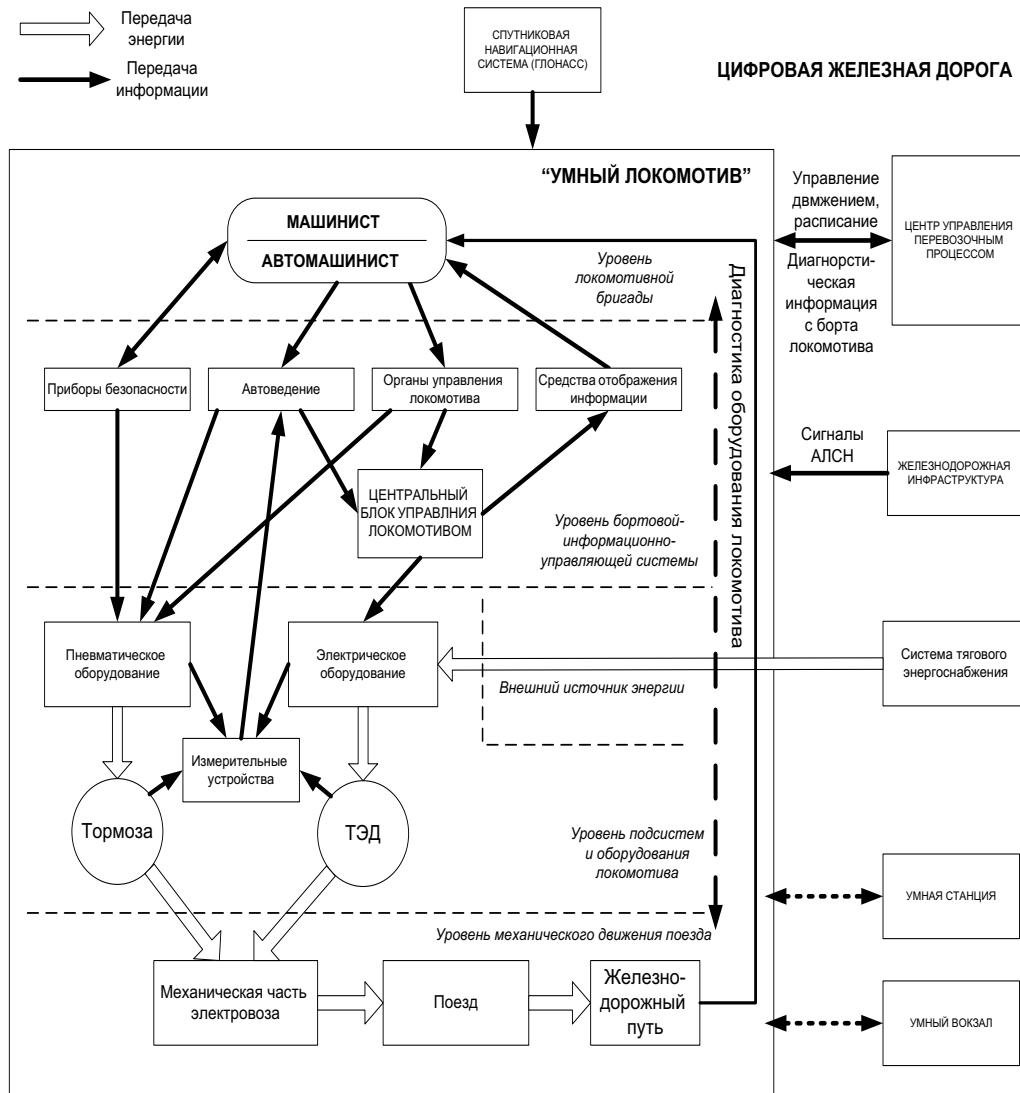


Рис. 1 – Функциональная схема динамической системы «человек-поезд»

Здесь машинист, взаимодействуя с бортовой информационно-управляющей системой, осуществляет операционную деятельность по реализации технологического процесса ведения поезда. В состав последней входят центральный блок управления локомотивом, органы управления, средства отображения информации, приборы безопасности и автоведение, а также другие устройства и приборы в зависимости от серии локомотива. Следует отметить, что основные подсистемы (тяговая, тормозная, безопасности, автоведения и др.) представляют собой мо-

дульные блоки со встроенными устройствами управления и диагностики, взаимодействующими друг с другом с помощью специализированных интерфейсов и коммуникационных каналов связи [1–4].

Третий уровень характеризуется преобразованием на основе информационно-управляющих воздействий, формируемых верхними уровнями, энергии внешнего источника (системы тягового энергоснабжения) в силы тяги и торможения, обеспечивающие механическое движение поезда, осуществляемое на следующем уровне, который включает механическую часть локомотива, поезд и железнодорожный путь. В процессе движения осуществляется непрерывное взаимодействие с центром управления для приема команд и передачи диагностической информации, а также с системами автоматической локомотивной сигнализации и спутниковой навигации.

Общая схема реализации УДМ показана на рисунке 2.

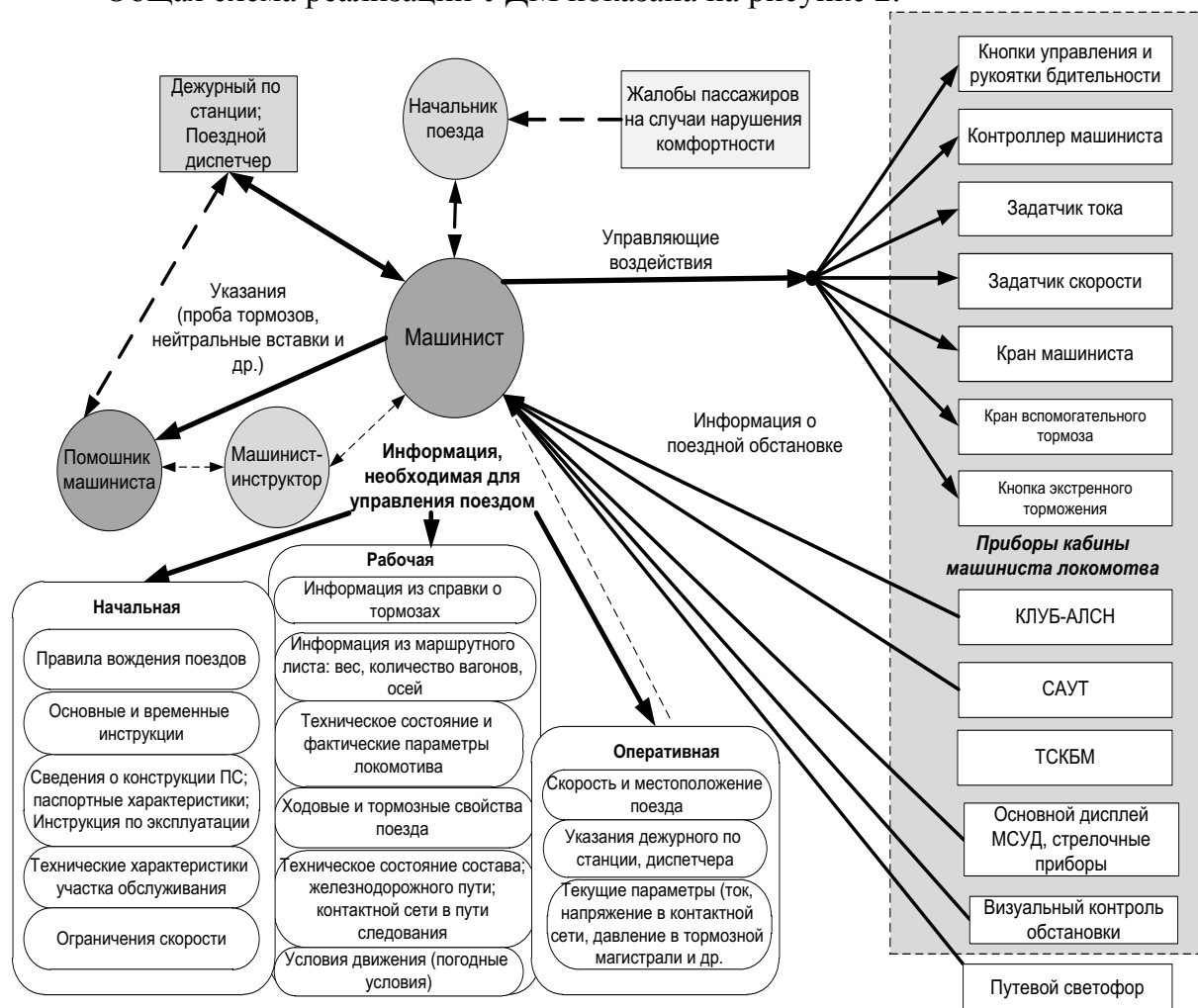


Рис. 2 – Схема реализации управляющей деятельности машиниста

Важность информирования локомотивной бригады о параметрах движения и состоянии оборудования подвижного состава в режиме реального времени в удобной форме на основе эргономичных интерфейсов с возможностью получения приоритетных сообщений о неисправностях и нештатных ситуациях, выдаче рекомендаций и контроля правильности действий, а также автоматического вмеша-

тельства в управление при нарушении безопасности движения (служебное и экстренное торможения и т. д.) обуславливает большое количество электронного оборудования, включая приборы безопасности, устройства в кабине машиниста и в составе бортовой информационно-управляющей системы.

Локомотивная бригада, используя информацию о поездной обстановке, осуществляет управляющие воздействия, необходимые для ведения поезда. При необходимости дежурный по станции, поездной диспетчер или другие представители смежных служб могут давать оперативные указания об изменениях порядка проследования станций, введения временных ограничений скорости и т. д.). Машинист-инструктор при проведении контрольных и целевых поездок, а также начальник поезда на основе жалоб пассажиров о нарушении комфортности движения, информируют машиниста о необходимости изменения технологии ведения поезда и управления автотормозами.

Информация, используемая при ведении поезда, в данной работе подразделяется на начальную, рабочую и оперативную. Первая категория включает сведения, которые известны до начала поездки (правила технической эксплуатации железных дорог; основные и временные инструкции; сведения о конструкции подвижного состава; технические характеристики участка обслуживания, включая скоростные режимы). Вторая группа (рабочая информация) относится к конкретной поездке и определяется непосредственно до её начала (поездные документы) и в процессе движения (техническое состояние и фактические параметры локомотива, состава, железнодорожного пути, контактной сети и т.д.; ходовые и тормозные свойства поезда; условия движения).

Оперативная информация включает: скорость и местоположение поезда; указания диспетчера или дежурного по станции (машиниста-инструктора); текущие параметры, такие как ток, напряжение в контактной сети, давление в тормозной магистрали и т. д.) и используется в текущий момент времени при выборе машинистом режимов ведения поезда.

Формализация УДМ представляет собой известные трудности и не решена окончательно. Один из вариантов её математического описания приведен в [5]. Ниже сделана попытка формализации УДМ, основанная на введении обобщенного функционала качества и выделении из него основных составляющих, характеризующих качество управления. При выводе соотношений использовались и обобщались результаты, полученные в работах [6-12].

Конечная цель УДМ, связанная с ведением поезда по участку, может быть выражена в виде подлежащего минимизации функционала следующего вида:

$$H = k_1 A(u) + k_2 \pi(|T_s - T(u)|) + k_3 \int_{s_0}^{s_k} \mu(v(s, u(s))) ds - v_{\max}(s) ds + \\ + k_4 \int_0^T \max_{j=1 \dots n_{\text{vag}}-1} (S_j(t)) dt + k_5 \int_0^T \gamma(B, u(t), v, s) dt,$$

где A – расход энергии; u – управление; T_s и T – заданное и фактическое время хода; t – время; v – скорость; s – путь; s_0 и s_k – начало и конец участка пути; $v_{\max}$ – максимально допустимая скорость на участке пути; S_j – максимальные продольно-динамические

усилия в j -ой автосцепке; n – число вагонов; B – сила механического торможения; π, μ, γ – некоторые функции; k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 – коэффициенты.

Расход энергии на тягу определяется соотношением:

$$A = \frac{(P+Q)}{\xi} \left[\sum_{i=1}^n \int_{v_i^{nm}}^{v_i^{km}} \frac{vf(v)dv}{\eta_m(f(v)-w_o(v)-i(v))} + \sum_{j=1}^m \int_{s_j^{hc}}^{s_j^{kc}} (w_o(v^{cm})-i(s))ds \right] + \frac{(P+Q)}{\xi} \left[\sum_{k=1}^l \int_{v_k^{np}}^{v_k^{kp}} \frac{v\eta_p r(v)dv}{(r(v)-w_o(v)-i(v))} \right],$$

где P и Q – масса локомотива и вагонов; n, m, l – числа участков на которых, соответственно, реализуется режим тяги, выбега и рекуперативного торможения; f, w_o, i, r – удельные силы тяги, основного сопротивления движению, дополнительного сопротивления движению от уклонов и кривых пути, рекуперативного торможения; η_m, η_p – к.п.д. локомотива в режимах тяги и рекуперации; v^{nm} и v^{km} , v^{nv} и v^{kv} , v^{np} и v^{kp} , v^{nm} и v^{km} , v^{nv} и v^{kv} – соответственно скорости в начале и конце участков тяги, выбега, рекуперации и механического торможения; s^{hc} , s^{kc} и v^{cm} – координаты пути начала и конца участков и величина скорости стабилизации.

Время хода по перегону:

$$T = \sum_{j=1}^n T_j^{mz} + \sum_{j=1}^m T_j^{cm} + \sum_{j=1}^q T_j^{eb} + \sum_{j=1}^p T_j^{pk} + \sum_{j=1}^k T_j^{mm},$$

где T_j^{mz} , T_j^{cm} , T_j^{eb} , T_j^{pk} , T_j^{mm} – времена хода по участкам с реализацией режимов тяги (разгона), стабилизации скорости, выбега, рекуперации и механического торможения;

$$T_j^{mz} = \int_{v^{nm}}^{v^{km}} \frac{dv}{f(v)-w_o(v)-i(v)}; T_j^{cm} = \frac{s^{nv} - s^{hc}}{v^{cm}}; T_j^{eb} = \int_{v^{nv}}^{v^{kv}} \frac{dv}{w_o(v)-i(v)}; T_j^{pk} = \int_{v^{np}}^{v^{kp}} \frac{dv}{r(v)-w_o(v)-i(v)}; T_j^{mm} = \int_{v^{nm}}^{v^{km}} \frac{dv}{b(v)-w_o(v)-i(v)}.$$

Указанный функционал H включает такие критерии, как расход энергии, отклонение от графика движения, нарушения скоростного режима, максимальные продольно-динамические реакции в поезде, качество управления тормозами, представленные соответствующими слагаемыми в выражении H .

В процессе ведения поезда машинист разбивает перегон на контрольные участки (КУ). Условия оптимального их прохождения могут быть записаны в форме:

$$\frac{dA_1}{dT_1} = \frac{dA_2}{dT_2} = \dots = \frac{dA_i}{dT_i} = \dots = \frac{dA_h}{dT_h},$$

где h – число КУ, A_i , T_i – расход энергии и время хода на i -м участке.

Допуская, что случайные факторы, влияющие на характер движения поезда, а также ошибки в управляющей деятельности машиниста независимы и аддитивно влияют на отклонения фактического времени хода ΔT_i и расхода энергии

ΔA_i от оптимальных значений, при малых отклонениях аргументов можно считать справедливыми следующие уравнения:

$$\begin{cases} \Delta T_i = \left[\sum_{j=1}^a \frac{\partial T}{\partial x_j} \Delta x_j \right]_i + \left[\sum_{q=1}^b \frac{\partial T}{\partial y_q} \Delta y_q \right]_i + \left[\sum_{p=1}^c \frac{\partial T}{\partial u_p} \Delta u_p \right]_i; \\ \Delta A_i = \left[\sum_{j=1}^a \frac{\partial A}{\partial x_j} \Delta x_j \right]_i + \left[\sum_{q=1}^b \frac{\partial A}{\partial y_q} \Delta y_q \right]_i + \left[\sum_{p=1}^c \frac{\partial A}{\partial u_p} \Delta u_p \right]_i, \end{cases}$$

здесь: $x = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_a\}$ – множество параметров поезда, $j = 1, 2, \dots, a$;
 $y = \{y_1, y_2, \dots, y_q, \dots, y_b\}$ – множество параметров внешней среды, $q = 1, 2, \dots, b$;
 $u = \{u_1, u_2, \dots, u_p, \dots, u_c\}$ – множество управляющих воздействий, осуществляемых машинистом в процессе ведения поезда, $p = 1, 2, \dots, c$.

Выводы.

1. Перспективный подвижной состав ("умный" локомотив и "умный" поезд), оснащенные средствами энергооптимального автоматического вождения поездов ("автоведение" и "автомашинист") является одним из важнейших элементов интегрированной системы "Цифровая железная дорога".

2. Разработанная функциональная схема сложной динамической системы "человек-поезд" включает четыре уровня: локомотивной бригады, бортовой информационно-управляющей системы, подсистем и оборудования локомотива, механического движения поезда и отражает основные каналы передачи информации и энергии при взаимодействии подвижного состава с внешней средой.

3. Предложенная модель управляющей деятельности машиниста и её формализация обобщают известные результаты и позволяет оценивать качество вождения поездов и влияние различных факторов на характер движения поезда.

Список цитируемой литературы

1. Стратегия научно-технологического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2025 года. «Белая книга». Одобрено на заседании совета главных инженеров ОАО РЖД 23-24 марта 2017 г.
2. Стратегия инновационного развития ОАО РЖД на период до 2015 года. «Белая книга» ОАО РЖД. Документы РЖД. 2010. http://doc.rzd.ru/doc/public/ru%3FSTRUCTURE_ID%3D704%26layer_id%3D5104%26id%3D4038 (дата обращения 12.03.2019).
3. Юренко, К.И. Пути совершенствования бортовых систем автоведения локомотивов // "Академические фундаментальные исследования молодых ученых России и Германии в условиях глобального мира и новой культуры научных публикаций": Сб. матер. междунар. молодёж. конф. - Новочеркасск, 4-5 октября 2012 г. ЮРГТУ (НПИ), ЛИК.- 2012. - С.404 – 406.
4. Юренко К.И., Щербаков В.Г., Сапунков А.Н., Юренко И.К. Анализ тенденций развития и задачи по созданию перспективных бортовых систем управления подвижного состава железных дорог // Известия вузов. Электромеханика. № 5. 2013. – С. 68-74.
5. Никифоров, Б.Д. Автоматизация управления торможением поезда / Б.Д. Никифоров, В.И. Головин, Ю.Г. Кутыев. – М.: Транспорт, 1985. – 263 с.
6. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации [Текст]: утв. Приказом Минтранса России от 21.12.2010 г. № 286: введ в действие с 22.09.2011 г. – М.: Трансинфо ЛТД, 2011. – 256 с.
7. Баранов Л.А. Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / Л.А. Баранов [и др]; под. ред. Л.А. Баранова. – М.: Транспорт. - 1990. – 272 с.

8. Головичер Я.М. Оптимальное управление тяговым подвижным составом в системах автоведения магистральных железных дорог: Дис. ... д-ра.техн. наук: 05.22.07. – М.-1994.-346 с.
9. Розенфельд В.Е., Аналитический метод проведения на ЭЦВМ тягового расчета при заданном времени хода и минимальном расходе электроэнергии / В.Е. Розенфельд, Д.А. Палей. – Вестник ВНИИЖТ. 1974. №1. С. 10-15.
10. Юренко К.И., Харченко П.А., Юренко И.К. Человеко-машинное взаимодействие в технологическом процессе ведения поезда. Вестник ВЭЛНИИ № 1-2 (79) / 2018. – С. 135-146.
11. Юренко К.И., Харченко П.А. Анализ модели управляющей деятельности машиниста локомотива и его профессиональных компетенций на основе математического аппарата нечеткой логики // Инженерный Вестник Дона. – № 2. – 2018. – 18 с. –<http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4910>
12. Юренко К.И., Харченко П.А., Фандеев Е.И., Юренко И.К. Системный подход в задаче оптимизации управления движением поезда. Системный анализ, управление и обработка информации: Труды VIII Междунар. конф. (п. Дивноморское, 8– 13 октября 2017 г.); Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2017. – Т.1, – С. 30-37.

© К.И. Юренко, П.А. Харченко, И.К. Юренко, 2019

УДК 004.657

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАЩЕНИЯ К БАЗЕ ДАННЫХ ИЗ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ

Л.И. Саимова, saetova_stud@mail.ru

Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

В данной статье рассматривается разработка механизма обращения к имеющейся базе данных FoxPro из web-приложения. В статье проводится анализ возможных способов решения проблемы. В результате исследования разработан механизм обращения к БД и проведена его апробация с использованием локального сервера OpenServer.

Ключевые слова: база данных, веб-приложение, dbf-файл, dbf-таблица.

RESEARCH THE METHODS OF ACCESSING TO THE DATABASE FROM WEB-APPLICATION

L.I. Saetova

Nizhnekamsk Institute of Chemical Technology (branch of) Federal State Budget Institution of Higher Education «Kazan National Research University of Technology»

The article under review reveals the development of mechanism for accessing the existing FoxPro database from a web-application. The article contains the technical task for the development of a web-application and also the analysis of possible ways of solving the problem is carried out. As a result of the research, a mechanism for accessing the database was developed and its validation was carried out using the local server OpenServer.

Key words: data base, web-application, dbf-file, dbf-table.

Введение

Бухгалтерский учет Нижнекамского химико-технологического института ведется в системе автоматизации «Парус-Бюджет 7», представляющей собой программный продукт, построенный на базе архитектуры файл-сервер с использованием СУБД FoxPro. Под учет оплаты за обучение студентами адаптирован один из модулей системы «Склад». В нем ведется список обучающихся студентов, их лицевых счетов, выставляемых им исходящих счетов на оплату и журнал учета оплаты за обучение на основе реестров, предоставляемых банком. Такой способ автоматизации работы отдела по работе со студентами, обучающимися на внебюджетной основе, имеет как свои достоинства, так и недостатки. Несомненным плюсом является то, что большая часть функций отдела автоматизирована, есть наработанная более чем за 10 лет база данных со списком всех когда-либо обучавшихся за этот период студентов, их платежей и выставляемых им счетов на оплату. Недостаток такого способа автоматизации заключается в том, что модуль все же не специализирован под конкретные задачи отдела, а лишь адаптирован под выполнение некоторых из его функций.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

С точки зрения хранения информации и доступа к ней в веб-приложении важным элементом является наличие сервера базы данных. Обычно данные хранятся в специальном SQL-сервере. Он обслуживает базу данных и отвечает за целостность и сохранность данных, а также обеспечивает операции ввода-вывода при доступе клиента к информации. Специфика сервера базы данных заключается в том, что данные, как правило, обрабатываются транзакционно, т.е. система за-

прашивает небольшой объем данных, проводит над ними операцию и затем сохраняет. Таким образом, веб-приложение может работать по двухзвенной архитектуре клиент-сервер (рис. 1). Т.е. распределение трех базовых компонентов (компонент представления данных, прикладной компонент и компонент управления ресурсом) происходит между двумя узлами (клиентом и сервером). Здесь сервер напрямую отвечает на клиентские запросы, используя только собственные ресурсы. Т.е. сервер не вызывает сторонние сетевые приложения и не обращается к сторонним ресурсам для выполнения какой-либо части запроса [1].

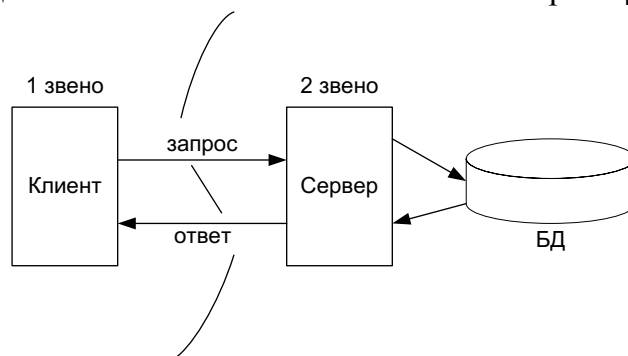


Рис. 1 – Двухзвенная архитектура клиент-сервер

Настольные же приложения используют файловую систему хранения данных. Они работают по файл-серверной технологии. Файловый сервер предоставляет доступ к файловым ресурсам, в том числе и к удаленной базе данных. В этом случае выделенный узел сети является файловым сервером, на котором размещены файлы базы данных. На клиентах выполняются приложения, в которых совмещены компонент представления и прикладной компонент (СУБД и прикладная программа), использующие подключенную удаленную базу как локальный файл. Протоколы обмена при этом представляют набор низкоуровневых вызовов операций файловой системы.

Такая модель неэффективна ввиду того, что при активной работе с таблицами базы данных происходит большая нагрузка на сеть. Частичным решением является поддержка тиражирования (репликации) таблиц и запросов. В этом случае, например, при изменении данных, обновляется не вся таблица, а только модифицированная ее часть.

В случае ведения учета денежных поступлений на оплату обучения в институте реализована файл-серверная технология, где один узел сети выделен под размещение файлов базы данных, а на клиенте выполняется настольное приложение, в котором ведется учет (с использованием СУБД FoxPro) (рис. 2).



Рис. 2 – Архитектура файл-сервер

Как уже говорилось ранее, такое решение имеет свои недостатки. Поэтому в дополнение к существующему настольному приложению было решено разработать веб-приложение, позволяющее просматривать актуальные данные по учету внебюджетных средств, представленные в виде различных отчетов. Однако реализация веб-приложения подразумевает его интеграцию с существующей базой данных, представленной набором таблиц формата dbf.

Таким образом, целью данного исследования является определение метода обращения к данным существующей базы данных из разрабатываемого веб-приложения.

ОПИСАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ДОСТУПА К БД

База данных системы Парус 7 Бюджет, используемая для ведения учета, представляет собой множество dbf-файлов, в которых хранится вся информация.

Все файлы формата dbf относятся к формату хранения данных, который используется в роли одного из нескольких стандартных методов хранения и передачи информации посредством систем управления базами данных, электронных таблиц и так далее.

Однако dbf-файл не имеет официально утвержденной стандартизации, поэтому весьма сложно утверждать возможность какой-либо произвольной утилиты открыть файл, формат хранения которого содержит расширение dbf. В содержимое файла dbf входит заголовок, в котором хранится информация о структуре базы данных и количестве допустимых записей, а также область данных, состоящая из последовательно организованной таблицы с записями фиксированной длины.

Таким образом, необходимо определить способ предоставления доступа веб-приложения к информации, хранящейся в dbf-таблицах. Рассмотрим некоторые из них.

1. Преобразование dbf-таблиц в CSV-файлы и последующий их импорт в MS SQL Server. CSV (Comma-Separated Values) – это простой текстовый формат, предназначенный для представления табличных данных. Каждая строка в файле CSV соответствует строке в таблице. На одной линии поля разделяются символом запятой, каждое поле принадлежит одному столбцу таблицы. Разделителем может быть и другой символ, например, точка с запятой и т.д. Значения, содержащие зарезервированные символы (двойная кавычка, запятая, точка с запятой, новая строка) обрамляются двойными кавычками («»), иногда двойными кавычками обрамляют и текстовые значения. Т.к. разделители столбцов и строк могут быть разными, так же может быть разной кодировка текстового файла и обрамление двойными кавычками, то все это усложняет перенос данных из одних программ в другие, несмотря на всю простоту реализации поддержки CSV.

Таким образом, возникает ряд проблем при таком подходе:

1. Например, в CSV-файлах отсутствует значение для ID, которое во многих таблицах является первичным автоматически обновляемым ключом. В связи с этим могут возникнуть ошибки при импорте данных.
2. Необходимо привести данные к формату SQL Server (например, очередность полей в CSV-файле и в таблице SQL Server должна быть одинакова) и осуществить ручную обработку некорректных записей, что при размере таблиц в несколько сотен или тысяч записей является трудоемкой задачей.
3. Нужно устранить все возникающие исключения такие, как дублирование ключей, недопустимость NULL значений, невозможность приведения типов и т. д.

Лишь только после устранения всех исключений можно приступить к импорту файлов в MS SQL Server, что также является не простой задачей, поскольку CSV-файлы с разделителями-запятыми не поддерживаются в операциях массового импорта SQL Server. Однако в некоторых случаях CSV-файл можно использовать в качестве файла данных для массового импорта данных в SQL Server. При этом CSV-файл, который можно использовать в качестве файла данных для массового импорта, должен соответствовать следующим условиям:

- поля данных не должны содержать признак конца поля;
- или никакие, или все значения в полях данных должны заключаться в кавычки ("").

После преобразования CSV-файла к виду, удовлетворяющего всем перечисленным ограничениям, можно переходить к непосредственному импорту данных, который можно реализовать следующими способами:

1. Можно использовать `bcp`-программы. Это программа командной строки (`Bcp.exe`), массово экспортирующая и импортирующая данные и создающая файлы форматирования. Файл форматирования служит для хранения сведений о форматировании для каждого поля в файле данных. Он также может содержать сведения о соответствующей таблице SQL Server. Файл форматирования может быть использован с целью предоставления всех сведений о форматировании, необходимых для массового экспорта данных из экземпляра SQL Server и массового импорта данных в него.
2. `BULK INSERT` инструкция. Инструкция `Transact-SQL`, импортирующая данные непосредственно из файла данных в таблицу базы данных или несекционированное представление.
3. Инструкция `INSERT ... SELECT * FROM OPENROWSET(BULK...)`. Это инструкция `Transact-SQL`, использующая поставщик больших наборов строк `OPENROWSET` для массового импорта данных в таблицу SQL Server с помощью функции `OPENROWSET(BULK...)`, применяющейся для выборки данных в предложение `INSERT` [2].

2. Импорт `dbf`-таблиц в базу данных MySQL с использованием базовых функции PHP.

Веб-приложение или сайт, разработанные на связке PHP+MySQL, имеют ряд значительных преимуществ. Для начала проведем сравнительный анализ достоинств и недостатков при использовании связки PHP+MySQL.

Практический характер применения PHP обусловлен следующими важными преимуществами:

1. Традиционностью. Язык PHP схож с языками C и Perl. Многие его конструкции заимствованы из этих языков. PHP сочетает в себе все достоинства C и Perl, и он специально нацелен на работу в Интернете. Все это снижает начальные усилия по его изучению.
2. Простотой. PHP — язык, который может быть встроен непосредственно в `html`-код веб-страниц, которые, в свою очередь, корректно обрабатываются PHP-интерпретатором. PHP можно использовать для:
 - написания CGI-сценариев (CGI-скриптов), тем самым избавившись от множества неудобных операторов вывода текста.
 - формирования HTML-документов, избавившись от множества вызовов внешних сценариев.

3. Эффективностью. «Движок» PHP по своей сути не является ни компилятором, ни интерпретатором. Он представляет собой транслирующий интерпретатор. Такое устройство «движка» PHP позволяет обрабатывать сценарии с достаточно высокой скоростью. Но чтобы ни делали разработчики PHP, откомпилированные исполняемые файлы работают значительно быстрее – в десятки и в сотни раз. Однако производительности PHP вполне достаточно для создания серьезных web-приложений.

4. Безопасностью. PHP предоставляет в распоряжение разработчиков и администраторов гибкие и эффективные средства безопасности, которые условно делятся на две категории: средства системного уровня и средства уровня приложения.

5. Гибкостью. PHP является встраиваемым (embedded) языком, поэтому он отличается высокой гибкостью по отношению к потребностям разработчика. В большинстве случаев PHP обычно рекомендуется использовать в сочетании с HTML, однако он хорошо интегрируется и в JavaScript, WML, XML и другие языки. Также не стоит проблемы с зависимостью от браузеров, поскольку перед отправкой клиенту сценарии PHP полностью компилируются на стороне сервера.

6. Бесплатным распространением. PHP распространяется бесплатно по стратегии OpenSource (с открытыми исходными кодами). Это является важным фактором в развитии проекта PHP.

MySQL – это одна из самых популярных и самых распространенных СУБД (система управления базами данных) в Интернете. Она не предназначена для работы с большими объемами информации, но ее применение идеально для интернет-сайтов, как небольших, так и достаточно крупных. MySQL отличаются хорошей скоростью работы, надежностью, гибкостью. Работа с ней, как правило, не вызывает больших трудностей. Поддержка сервера MySQL автоматически включается в поставку PHP. Немаловажным фактором является ее бесплатность. MySQL распространяется на условиях общей лицензии GNU (GPL, GNU PublicLicense).

Приложение на PHP, использующее для хранения информации базу данных (в частности MySQL) всегда работает быстрее приложения, построенного на файлах. Дело в том, что базы данных написаны на языке C++, и написать на PHP программу, которая работала бы с жестким диском эффективнее базы данных – задача неразрешимая по определению, поскольку программы на PHP в принципе работают медленнее, чем программы на C++, так как PHP – интерпретатор, а C++ – компилятор [3,4].

Таким образом, основное достоинство базы данных заключается в том, что она берёт на себя всю работу с жестким диском и делает это очень эффективно.

АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ДОСТУПА К БД

Для реализации задачи исследования воспользуемся методом импорта dbf-таблиц в базу данных MySQL. Для этого будем использовать OpenServer в качестве локального сервера. OpenServer – это наилучший на сегодняшний день инструмент для веб-разработки под ОС Windows. Он представляет собой портативный локальный WAMP/WNMP сервер, имеющий многофункциональную управляющую программу и большой выбор подключаемых компонентов. Кроме того, OpenServer – это портативный сервер, не требующий установки, т.е. его можно запускать с любого съемного запоминающего устройства [5].

Процесс импорта dbf-таблиц в базу данных MySQL и на html-страницу происходит следующим образом:

1. Скрипт index.php создает html-страницу для загрузки файла dbf (рис. 3);



Рис. 3 – Страница загрузки dbf-файла

2. При выборе файла на этой странице вызывается скрипт upload.php или read_dbf.php (они могут работать и параллельно):

- upload.php предназначен для считывания dbf-файла, выбранного на странице загрузки, в базу данных MySQL;
- read_dbf считывает информацию из dbf файла в табличном виде на страницу html (рис. 4).

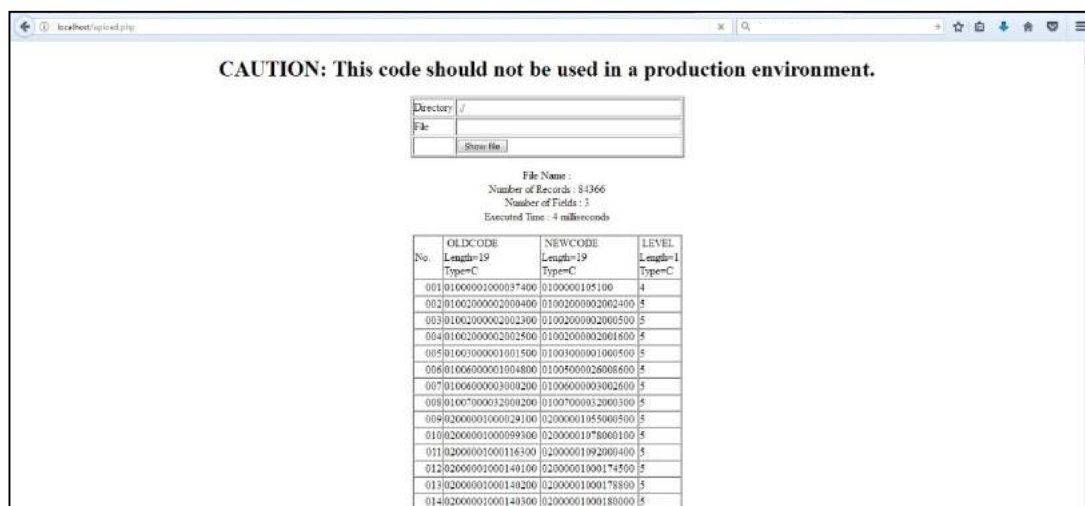


Рис. 4 – Html-страница с результатом загрузки dbf-файла

Оба скрипта upload.php и read_dbf.php для считывания информации из dbf-файла базы данных используют класс dbf_class, реализованный на основе базовых функций PHP. Он позволяет считывать данные (имена полей и соответствующие значения в строках) из файла базы данных и сохранять их в переменные массива класса. Этот класс не требует никаких дополнительных расширений PHP для обработки dbf-файлов базы данных. Его можно использовать для перевода файла dbf в любой формат.

Список цитируемой литературы

1. Клиент-сервер – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/970166>(дата обращения: 22.05.2017г.)
2. Массовый импорт и экспорт данных (SQLServer)–[Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://technet.microsoft.com/ru-ru/library/ms175937\(v=sql.110\).aspx](https://technet.microsoft.com/ru-ru/library/ms175937(v=sql.110).aspx)(дата обращения: 25.05.2017г.)
3. Колисниченко, Д. Н. PHP 5/6 и MySQL 6. Разработка Web-приложений / Д. Н. Колисниченко. – Санкт-Петербург, БХВ-Петербург, 2010. – 546 с.
4. Харрис Э. PHP/MySQL для начинающих / Энди Харрис. – Москва, КУДИЦ-Образ, 2005. – 384с.
5. OpenServer – [Электронный ресурс]. Режим доступа: - <http://ospanel.io/>(дата обращения: 29.05.2017г.)

УДК 004.94

**МОДЕЛИРУЮЩИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ
ГРУППЫ БПЛА*****В.С. Лазарев, vlazarev@sfedu.ru***

Южный Федеральный Университет (ЮФУ), г. Ростов-на-Дону

В данной статье рассматривается разработка моделирующего комплекса, представляющего собой программное средство для исследования группового управления подвижными объектами. В качестве объекта управления предполагается использовать БПЛА квадрокоптерного типа. Программное средство включает в себя компонент для планирования движения на базе Matlab, а также визуальную часть на базе V_REP. Визуальная часть позволяет учитывать особенности встроенных в V_REP конкретных моделей квадрокоптеров, в ней же может быть учтен рельеф местности или план здания, в котором проводится моделирование. Планирование движения осуществляется с помощью математики, реализованной в скриптах Matlab.

Ключевые слова: моделирование, БПЛА, подвижный объект, групповое управление, V_REP.

SIMULATOR COMPLEX FOR UAV GROUP MOVEMENT RESEARCHING***V.S. Lazarev***

Southern Federal University (SFEDU), Rostov-on-Don

This article discusses the development of a simulation complex, which is a software tool for vehicle group control researching. As a control object, it is intended to use a quadrotor-type UAV. The software includes path planning component based on Matlab and visual component based on V_REP. The visual component allows to take into account the built-in V_REP quadrotor model qualities, it can also take into account the terrain or layout of the building in which the simulation is performed. Path planning is carried out using mathematics, implemented in Matlab scripts.

Keywords: simulation, UAV, vehicle, group control, V_REP.

Введение. История применения БПЛА насчитывает более полувека. Но при том, что в нашей стране и мире разрабатывается и исследуется большое число различных видов БПЛА, обычно объектом исследования зарубежных и отечественных ученых выступает квадрокоптер [1]. Этому есть несколько причин. Одна из них – дешевизна в производстве по сравнению с другими типами БПЛА (расчетная стоимость при массовом производстве может достигать 10 долларов за единицу [2]). В том числе и снижение стоимости малоразмерных БЛА при их массовом производстве сделает экономически целесообразным их групповое применение. В работе [2] предложено выделять несколько этапов создания и применения БПЛА, первым из которых является разработка отдельных БПЛА. Для этого этапа характерны разработка моделей БПЛА и их исследование в моделирующих комплексах.

На сегодняшний день актуально использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для решения широкого круга задач: как военных, так и гражданских [3]. Например, в задачах, связанных с групповым управлением подвижных объектов [4, 5]. Данные задачи имеют комплексный и междисциплинарный характер, что находит отражение в большом количестве публикаций, например, в работах [4-8].

В рамках собственных исследований по данной тематике были рассмотрены вопросы планирования траектории [6], распределения целей [7] и группового управления в условиях противодействия [8]. Однако в вышеперечисленных публикациях не описывалась разработка моделирующего комплекса на базе Matlab и V_REP.

Постановка задачи. Имеется группа из n БПЛА квадрокоптерного типа, а также планировщик траектории каждого БПЛА в Matlab. Необходимо обеспечить реалистичность экспериментов, дополнив скрипты Matlab средой визуализации.

Решение задачи. В качестве среды визуализации был выбран V-гер [9], который обладает на удивление широким функционалом, поддерживается несколькими операционными системами, включая Windows, а самое главное – бесплатен для домашнего использования. А ещё в нем имеются библиотеки для программирования роботов с помощью C/C++, Python, Java, Matlab и некоторых других языков. V-REP поставляется с набором готовых моделей – стационарных и мобильных роботов, управлять которыми можно редактируя скрипты. Все роботы уже имеют базовую программу и подчиняются реальным законам физического мира, той же гравитации [10].

Собственно, начнем с готовых моделей. На рис.1. продемонстрирован одиночный объект исследования – квадрокоптер. Наличие многочисленных свойств у модели позволяет сконфигурировать необходимую модель реального БПЛА.

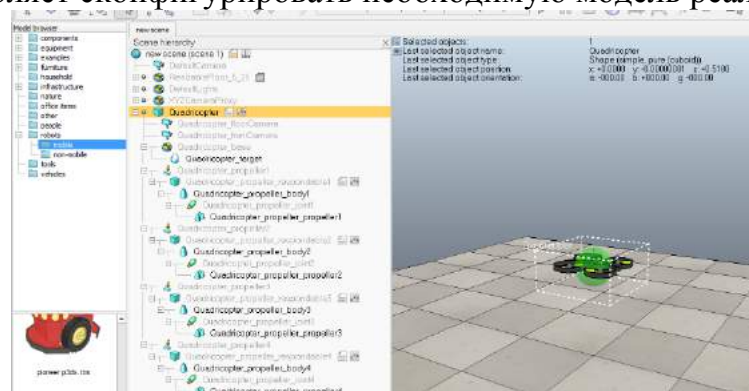


Рис. 1 – Модель квадрокоптера в V_REP

Далее создаем группу квадрокоптеров, для реалистичности добавляем элементы ландшафта (рис.2). Для интеграции с планировщиками Matlab используем Matlab client [11]. Результат продемонстрирован на рис.3, также на нем можно увидеть окно среды Matlab «Figure 1», а также препятствия в виде разноцветных сфер. В окне среды Matlab «Figure 1» показано расположение каждого БПЛА в группе.

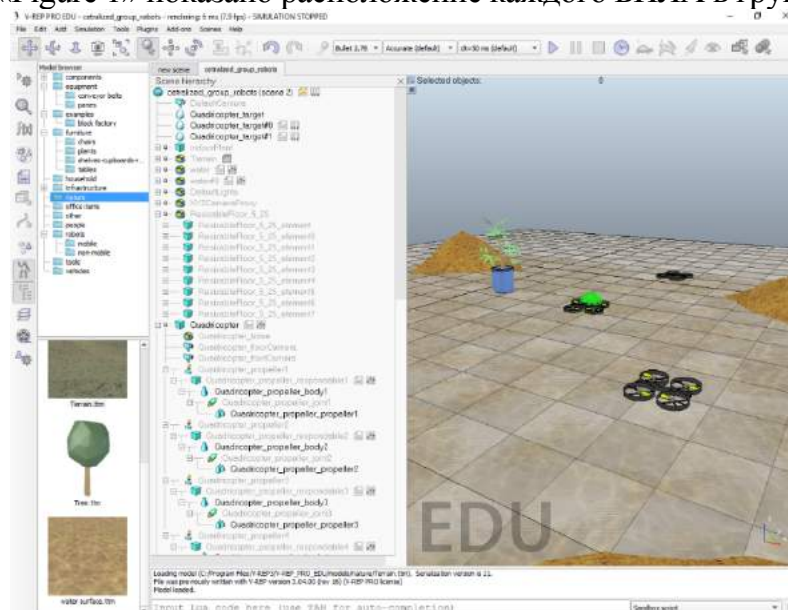


Рис. 2 – Группа квадрокоптеров в V_REP

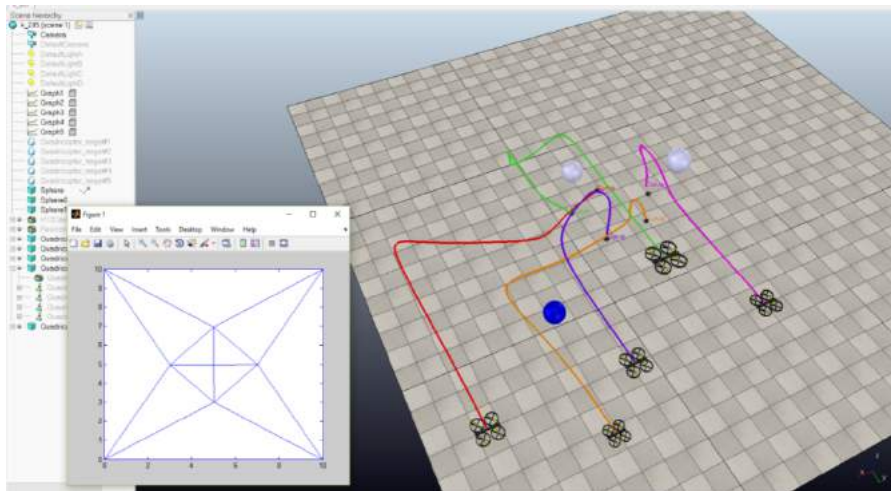


Рис. 3 – Интеграция Matlab и V_REP

Вывод. Был разработан моделирующий комплекс, представляющий собой программное средство для исследования группового управления подвижными объектами. В качестве объекта управления использовался БПЛА квадрокоптерного типа. Программное средство включает в себя компоненту для планирования движения на базе Matlab, а также визуальную часть на базе V_REP. Визуальная часть позволяет учитывать особенности встроенных в V_REP конкретных моделей квадрокоптеров, в ней же может быть учтен рельеф местности, в которой проводится моделирование. Планирование движение осуществляется с помощью математики, реализованной в скриптах Matlab.

Список цитируемой литературы

1. Кульченко А.Е., Лазарев В.С., Медведев М.Ю. Метод управления движением гексакоптера в трехмерной среде с препятствиями на базе динамических отталкивающих сил // ИВД. 2016. №4 (43). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-upravleniya-dvizheniem-geksakoptera-v-trehmernoy-srede-s-prepyatatstviyami-na-baze-dinamicheskikh-ottalkivayuschih-sil> (дата обращения: 30.01.2019).
2. Соколов В.Б., Теряев Е.Д. Беспилотные летательные аппараты: некоторые вопросы развития и применения (обзор по материалам публикаций в Интернете) // Мехатроника. Автоматизация. Управление. 2008. № 2. – С. 12–23.
3. Лазарев В.С., Лашев А.А. Разработка математической модели БПЛА на базе квадрокоптера с рамой DJI F-450 // Инженерный Вестник Дона, №2, 2018 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/5001. (дата обращения: 30.01.2019).
4. Белоглазов Д.А., Гайдук А.Р., Косенко Е.Ю., Медведев М.Ю., Пшихопов В.Х., Соловьев В.В., Титов А.Е., Финаев В.И., Шаповалов И.О. Групповое управление подвижными объектами в неопределенных средах // под ред. В.Х. Пшихопова. – М.: Физматлит, 2015. – 300 с.
5. Абросимов В.К. Групповое движение интеллектуальных летательных аппаратов в антагонистической среде – М.: Наука, 2013. — 168 с.
6. Лазарев В.С., Агаджанов Д.Э. Использование графоаналитических методов для формирования траектории группы подвижных объектов в двумерной среде // Труды СПИИРАН, Вып. 45. 2016. – С. 45-57.
7. Медведев М.Ю., Лазарев В.С. Метод планирования движения группы подвижных объектов с использованием динамических репеллеров и целераспределения // Научный вестник НГТУ, Новосибирск, вып1(66). 2017. – С. 41-52.
8. Лазарев В.С., Черногоров И.В., Крухмалев В.А. Групповое управление роботами в условиях противодействия с учетом ограничения по запасу хода // Проблемы современной системотехники – сборник научных статей. Выпуск XI. Таганрог: Изд-ль ИП Ступин С.А. 2017 – с. 103-108.
9. C. Robotics. (2019) V-rep - virtual robot experimentation platform. [Online]. Available: <http://www.v-rep.eu/> (дата обращения: 30.01.2019).
10. Дмитрий Демченко V-REP — бесплатный симулятор для программирования роботов //

22.03.2015. URL: <https://www.white-windows.ru/v-rep-besplatnyj-simulyator-dlya-programmirovaniya-robotov/> (дата обращения: 30.01.2019).

11.Enabling the Remote API - client side URL: <http://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/en/remoteApiClientSide.htm#matlab> (дата обращения: 30.01.2019).

© В.С. Лазарев, 2019

УДК 005

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ DATA MINING ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЫХАНИЯ

А.Л. Юмашева, anechkabv@mail.ru

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (НИ ТПУ), г. Томск

Данная статья посвящена изучению технологии Data Mining с целью подтверждения возможности применения новой классификации, предложенной учеными СибГМУ. Для классификации объектов применяется дискриминантный анализ. Дискриминантный анализ позволяет изучать различия между двумя и более группами объектов по нескольким переменным одновременно, помогает выявлять различия между группами и дает возможность классифицировать объекты по принципу максимального сходства. Дана информация по 83 пациентам, которые были выбраны и отнесены к одной из четырех групп

Ключевые слова: DATA MINING, классификация, бронхиальная астма, дискриминантный анализ.

THE APPLICATION OF DATA MINING TO THE CLASSIFICATION OF BRONCHIAL ASTHMA

A.L. Yumasheva

National Research Tomsk Polytechnic University (TPU), Tomsk

This article discusses data mining techniques and its applications in medicine. In particular, the data mining applications in classification of bronchial asthma. Classification is a data mining technique based on machine learning. The goal of classification to identify whether an object belongs to a particular group. Discriminant analysis is one of the classical classification techniques. It allows you to study differences between two or more groups of objects. It helps to identify differences between groups and gives the opportunity to classify objects according to the principle of maximum similarity. There is information about 83 patients with bronchial asthma. All patients are divided into 4 groups by experts. In this article consider two cases of classification: for traditional lung indicators ventilation and for respiratory mechanics.

Keywords: DATA MINING, classification, bronchial asthma, discriminant analysis.

Введение

Бронхиальная астма – это хроническое заболевание органов дыхания, которое нуждается в постоянном контроле. Кашель, одышка, а зачастую и приступы удушья – это основные признаки данного заболевания. Успешного контроля данного заболевания не достигнуто, несмотря на эффективную терапию, которая проводится в настоящее время. Данное заболевание представляет огромную проблему, над которой работают ученые из различных стран мира [1].

По статистике Всемирной Организации Здравоохранения, количество пациентов составляет от 4 до 10 % населения на Земле. На территории России этот процент составляет до 7 % среди взрослого населения и 10 % детей. Распространенность бронхиальной астмы имеет тенденцию к увеличению [1].

В течение последних десятков лет активно развиваются научные направления, которые изучают сложные механизмы бронхиальной астмы. На сегодняшний день становится все более очевидным тот факт, что необходимо изучение различных факторов риска, кроме традиционных, к которым относятся аллергены. Необходимо также учитывать и изучать внутренние психофизиологические характеристики организма в условиях изменений информационной, социальной, а также эмоциональной окружающей среды [2].

За последние годы написано и опубликовано множество различных не только медицинских, но и психологических работ. В основном они базируются на изучении роли психосоциальных и эмоциональных факторов, влияющих на ход болезни и состояние пациента. Хотя на данный момент психосоматические расстройства еще недостаточно изучены, но можно небезосновательно предположить, что психологический фактор участвует как в патогенезе заболевания, так и изменяет всю социальную ситуацию в целом.

Существует огромное разнообразие классификации данного заболевания: в зависимости от происхождения, тяжести заболевания и т.д. В настоящее время выявлено множество причин возникновения бронхиальной астмы, но вопрос о рациональной и общепринятой классификации все еще остается открытым [1, 3].

Профессор, доктор медицинских наук К.Г. Языков и кандидат медицинских наук Е.В. Немеров в процессе исследования жизненных событий, анамнеза жизни выявили группу пациентов с высокой чувствительностью к психотравмирующим жизненным ситуациям. В 2009 году они выдвинули гипотезу о том, что среди людей страдающих бронхиальной астмой можно обнаружить пациентов с особой психобиологической реакционной способностью. Психосоциальное стрессовое воздействие провоцирует у этих пациентов развитие болезни, а в дальнейшем обострение её симптомов [3].

Учёные отметили, что среди пациентов можно выделить особую группу, которую формируют больные, в патогенезе которых большую роль играют различные эмоциональные факторы. Основываясь на своих наблюдениях, К.Г. Языков и Е.В. Немеров предлагают новую классификацию бронхиальной астмы [3].

Первая группа (основная) – (BAP1) БАПИ, исходно условно названная как бронхиальная астма психогенно индуцированная. В состав этой группы вошли пациенты, у которых первый приступ удушья развился после перенесенного эмоционального потрясения, стресса или психотравмирующего жизненного события. Последующее резкое ухудшение течения астмы было связано с какими-либо психологическими проблемами, имеющими негативный характер.

Вторая – (BANP) БАНП – это группа больных с бронхиальной астмой, исходно условно названной непсихогенной. В эту группу вошли лица с бронхиальной астмой, главным образом, атопической формой заболевания, у которых в начале болезни наблюдались различные проявления аллергии (риниты и конъюнктивиты). К обострению болезни, в свою очередь, приводили различные вирусные инфекции, а также физические факторы (холод, перепады температуры). Влияния психологических факторов не наблюдалось.

Третья (дополнительная) – (BASP) БАСП, исходно условно обозначенная как бронхиальная астма соматопсихогенная. У пациентов данной группы «обычное» течение «обычной» болезни было нарушено жизненным стрессом, после которого психо-эмоциональные провоцирующие факторы вызывали тяжелые приступы удушья, а также обострение симптомов болезни.

Четвертая группа – (PD) ПО, исходно условно обозначенная как психогенная одышка. В данную группу сформировали пациенты, которые были направлены к пульмонологу для многочисленных обследований и исключения астмы. Характерной особенностью данной группы является то, что у них исключена брон-

химальная обструкция, несмотря на жалобы, относительно удушья и одышки, связанные с психотравмирующими жизненными событиями.

Классификация является одним из фундаментальных процессов в науке. Внедрение новой классификации бронхиальной астмы может привести к более полному, точному, глубокому и своевременному пониманию проблем, связанных с лечением больных.

Целью данной работы является задача подтверждения или опровержения возможности применения новой классификации.

Возраст испытуемых от 15 до 56 лет. В исследовании принимали участие 83 пациента: БАПИ (24 человека), БАСП (18 человек), БАНП (29 человек), ПО (12 человек). Каждый объект описывается в виде вектора порядка n . Каждый элемент такого объекта – некоторая числовая характеристика.

Исходные данные: данные традиционных показателей вентиляции легких и параметры механики дыхания.

В базе данных представлены такие показатели вентиляции легких как минутный объем дыхания, форсированная жизненная емкость легких, жизненная емкость легких, объем форсированного выдоха за 1 секунду, пиковая объемная скорость выдоха, максимальная вентиляция легких и максимальная объемная скорость выдоха на уровне 25 %, 50 % и 75 % форсированной жизненной емкости легких.

Кроме того, измерены следующие параметры механики дыхания: общая работа дыхания, неэластическая и эластическая фракции, удельная работа дыхания, работа дыхания в условиях одинакового минутного объема дыхания, общая и удельная работа дыхания при максимальной вентиляции легких, динамическая и статическая растяжимость легких, бронхиальное сопротивление на вдохе и выдохе.

Дискриминантный анализ

Дискриминантный анализ является одной из важнейших задач интеллектуального анализа данных. Классификация связана с получением одной или нескольких дискриминантных функций, обеспечивающих возможность идентифицировать данный объект к одной из групп [4-6].

При интерпретации межгрупповых различий необходимо ответить на следующие вопросы: возможно ли, используя данный набор переменных, отличить один класс от другого, насколько сильны и информативны данные признаки. Дискриминантная функция имеет вид:

$$d_{ik} = a_{0k} + a_{1k}x_{i1k} + \dots + a_{jk}x_{ijk} + \dots + a_{mk}x_{imk},$$

где i – объект из группы k ; $i = 1, 2, \dots, n_k$; k – группа, состоящая из совокупности n_k измерений; $n_k = 1, 2, \dots, p$; a_{jk} – неизвестные коэффициенты или веса; x_{ijk} – значение независимой j -й дискриминантной переменной; $j = 1, 2, \dots, m$ – столбцы матрицы наблюдений.

Дискриминантные переменные – это характеристики, которые используются для того, чтобы отличать один класс от другого. Дискриминантные переменные должны измеряться по интервальной шкале или по шкале отношений, в противном случае данные необходимо стандартизировать. Число дискриминантных переменных не ограничено, однако в сумме число объектов должно всегда превышать число переменных, по крайней мере, на два. В дискриминантном анализе можно выделить две группы процедур. В первом случае можно интерпретировать различия среди уже имеющимися группами при помощи сравнения средних. Во

втором случае имеется возможность осуществлять классификацию новых объектов в тех случаях, когда заранее неизвестно, к какому из классов они принадлежат.

Для классификации существует множество различных моделей: деревья решений, нейронные сети, метод k-ближайших соседей, алгоритмы покрытия и др. Формально классификация производится на основе разбиения пространства признаков на области, в пределах каждой из которых многомерные векторы рассматриваются как идентичные. Т. е. если объект попал в область пространства, ассоциированную с определенным классом, он к нему и относится [5].

Исходные данные представлены матрицей «объект-свойство», строки которой представляют объекты, а столбцы – характеризующие эти объекты признаки. Для каждого пациента определена переменная «код-группы», которая отвечает за тип бронхиальной астмы. Зададим группируемые и независимые переменные.

Ключевой проблемой дискриминантного анализа является определение дискриминантных переменных. Возможны два варианта подхода [6].

Первый вариант заключается в одновременном введении всех переменных, тогда учитывается каждая независимая переменная, а ее дискриминирующая сила во внимание не принимается.

Второй вариант – это пошаговый дискриминантный анализ. В этом случае переменные вводятся последовательно, исходя из их способности различать группы. Он основан на использовании уровня значимости F-статистики.

Второй вариант дискриминантного анализа также имеет вариации: пошаговый «с включением» и «с исключением».

В первом случае на каждом шаге просматриваются все переменные, затем находится та, которая вносит наибольший вклад в различие между совокупностями. Именно эту переменную следует включить в модель на данном шаге, далее происходит переход к следующему шагу.

Во втором случае необходимо двигаться в обратном направлении. Тогда согласно алгоритму все переменные сначала будут включены в модель, а затем на каждом шаге будут удаляться переменные, вносящие малый вклад в различие. Тогда в качестве результата можно сохранить те переменные, которые делают вклад в дискриминацию больше остальных [6].

Выберем в качестве метода решения поставленной задачи пошаговый дискриминантный анализ с включением. На каждом шаге в модель выбирается переменная с наибольшим F-значением. Процедура заканчивается, когда все переменные, имеющие F-значение больше значения, указанного в поле F to enter (F-включить), вошли в модель.

В ходе вычислений системой получены результаты, которые представлены на рисунке 1 и рисунке 2.

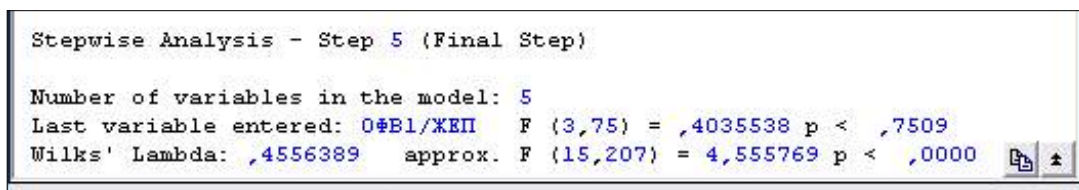


Рис. 1 – Результаты анализа (традиционные показатели вентиляции легких)

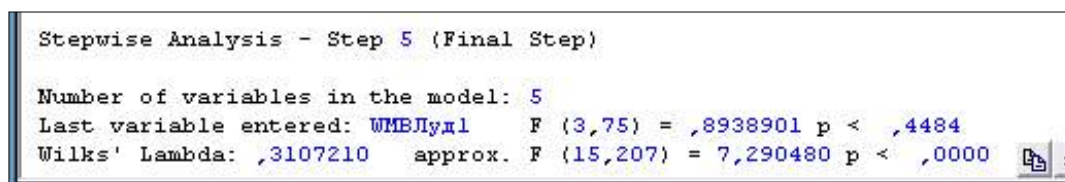


Рис. 2 – Результаты анализа (параметры механики дыхания)

Информационная часть данных окон сообщает, что:

1. Пошаговый анализ состоит из 5 шагов. Шаг 5 – это заключительный шаг;
2. Число переменных, входящих в модель – 5;
3. Последняя включенная переменная: ОФВ1/ЖЕЛ и WMBЛуд1, соответствующие значения статистик F-критерия $F(3,75) = 0,4035538$ и $F(3,75) = 0,8938901$, уровень значимости $p < 0,7509$ и $p < 0,4484$ соответственно;
4. Значение лямбды Уилкса – 0,4556389. Приближенное значение F-статистики, связанной с лямбдой Уилкса – $F(15, 207) = 4,555769$, p-уровень значимости F-критерия 0,0000. Для параметров механики дыхания значение лямбды Уилкса – 0,3107210, $F(15, 207) = 7,290480$, а p-уровень значимости 0,0000.

Убедимся в статистической значимости дискриминантной функции, а затем интерпретируем ее. Проверим нулевую гипотезу о равенстве центроидов во всех группах с бронхиальной астмой и в группе с психогенной одышкой. Если нулевая гипотеза отвергается, то дискриминантная функция является статистически значимой. Данная гипотеза проверяется при помощи коэффициента лямбда Уилкса [7]. Значения лямбда Уилкса находятся в интервале $[0, 1]$. Значения, лежащие около 0, говорят о хорошей дискриминации; а значения, лежащие около 1, о плохой. Дискриминация хорошая в обоих случаях.

О возможности классификации можно судить по значению F-критерия. Значение статистики F-критериев: $(15, 207) = 4,555769$ и $(15, 207) = 7,290480$ больше табличного значения соответствующих F-распределений: $F(15, 207) = 2,12$, т.е. нулевая гипотеза о том, что наблюдения принадлежат к одному классу, отвергается. Поэтому, дискриминантный анализ возможен. С помощью классификационной матрицы оценим качество классификации. Эта матрица содержит ряд правильно и ошибочно классифицированных случаев. Доля общего количества правильно классифицированных случаев называется коэффициентом результативности. Коэффициент результативности варьируется в пределах от 50 % до 100 %. На практике удовлетворительной считается классификация с коэффициентом результативности не меньше 70 % [6, 7].

Результаты оценки качества классификации для традиционных показателей вентиляции легких и параметров механики дыхания представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Матрица классификации (показатели вентиляции легких)

Classification Matrix					
	Percent - Correct	BAP1 - p=,25000	BASP - p=,25000	BANP - p=,25000	PD - p=,25000
BAP1	45,8	11	3	9	1
BASP	50,0	4	9	4	1
BANP	37,9	7	8	11	3
PD	100,0	0	0	0	12
Total	51,8	22	20	24	17

Таблица 2

Матрица классификации (параметры механики дыхания)

Classification Matrix					
	Percent - Correct	BAP1 - p=,25000	BASP - p=,25000	BANP - p=,25000	PD - p=,25000
BAP1	58,3	14	5	5	0
BASP	38,9	4	7	6	1
BANP	48,3	9	5	14	1
PD	100,0	0	0	0	12
Total	56,6	27	17	25	14

Заключение

Из классификационных матриц можно сделать вывод, что пациенты были правильно отнесены экспертным способом к группе с психогенной одышкой, в остальных случаях высокая вероятность ошибки. Причем вероятность ошибки классификации рассматривается для трех групп с бронхиальной астмой (в обоих случаях), т. к. коэффициент результативности меньше 70 %.

В процессе дискриминантного анализа установлено, что группу в ПО попали все 100 % пациентов из исходной группы ПО. Остальные пациенты попали в другие группы. Полученные результаты предполагают дальнейшее исследование с помощью других многомерных методов, используемых для классификации.

Список цитируемой литературы

1. Овчаренко С.И. Бронхиальная астма: диагностика и лечение // РМЖ. – 2002. Т. 10. – №17. – С.766 – 767.
2. Анализ особенностей у больных с различными формами бронхиальной астмы на основе структурных методов анализа (статья). Материалы V Международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум». Режим доступа: <http://www.scienceforum.ru/2013/28/4308>
3. Немеров Е.В., Языков К.Г. К вопросу изучения личностных свойств в психофизиологической реактивности больных бронхиальной астмой на аудиовизуальную стимуляцию // Вестник ТГПУ. – 2011. – Вып. 6 (108). – С. 134 – 137.
4. Дюк В.А., Самойленко А.П. Data Mining: учебный курс. – СПб.: Питер, 2001.
5. Берестнева, О.Г. Компьютерный анализ данных: учеб. пособие / О.Г. Берестнева, Е.А. Муратова, А.М. Уразаев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 204 с.
6. Барковский С.С., Захаров В.М., Лукашов А.М., Нурутдинова А.Р., Шалагин С.В. Многомерный анализ данных методами прикладной статистики: Учебное пособие – Казань: Изд. КГТУ, 2010. – 126 с.
7. Буреева Н.Н. Многомерный статистический анализ с использованием ППП «STATISTICA». Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Применение программных средств в научных исследованиях и преподавании математики и механики». Нижний Новгород, 2007, 112 с.

© А.Л. Юмашева, 2019

ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

УДК 519.6

ДИАГНОСТИКА ДИСКРЕТНО-НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ЧУА ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ФОРМИРУЕМЫХ 3-D СИГНАЛОВ

Ишмуков Д.А. ishmukov@gmail.ru, В.В. Афанасьев,

Казанский Национальный Исследовательский Технический Университет
(КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ), г. Казань

В докладе рассматривается моделирование и диагностика дискретно-нелинейной системы Чуа по статистическим характеристикам формируемых 3-D сигналов. В качестве платформы для проведения моделирования, выбрана интерактивная среда MathLAB. Цель диагностики - оценка статистических характеристик 3-D сигналов генератора на базе дискретно-нелинейной системы Чуа при вариации параметров системы. Смоделирована система Чуа, оценены статистические характеристики сигналов генератора псевдослучайных сигналов на базе дискретно-нелинейной системы Чуа при изменении параметров системы. По результатам диагностики сделаны выводы о работе генератора 3-D сигналов. Получены инженерные рекомендации по подбору допустимого диапазона изменения параметров системы Чуа для обеспечения стабильной работы генератора 3-D сигналов.

DIAGNOSTICS OF DISCRETE-NONLINEAR CHUA SYSTEM BY STATISTICAL CHARACTERISTICS OF FORMED 3-D SIGNALS

Ishmukov D.A., V.V. Afanasiev,

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev (KNRTU-KAI), Kazan

The report discusses the modeling and diagnostics of the Chua discrete-nonlinear system according to the statistical characteristics of the generated 3-D signals. As a platform for the simulation, the selected interactive environment MathLAB. The purpose of the diagnosis is to evaluate the statistical characteristics of the 3-D generator signals based on the discrete non-linear Chua system with variation of the system parameters. The Chua system is the statistical characteristics of the signals of a pseudo-random signal generator based on the Chua discrete-nonlinear system when the system parameters are changed are estimated. According to the results of the diagnosis, conclusions were drawn about the operation of the 3-D signal generator. Engineering recommendations on the selection of the acceptable range of changes in the parameters of the Chua system to ensure stable operation of the 3-D signal generator were obtained.

Диагностика и настройка дискретно-нелинейной системы Чуа - является первостепенной задачей при разработке устройств формирования псевдослучайных 3-D сигналов для систем конфиденциальной связи с носителями информации на основе эффектов динамического хаоса [1]. Цель работы - диагностика дискретно-нелинейной системы Чуа по статистическим характеристикам 3-D сигналов генератора на базе дискретно-нелинейной системы Чуа.

Проведено моделирование дискретно - нелинейной системы Чуа. На основе модулей программы matlab была смоделирована дискретно-нелинейная система Чуа. Произведено измерение базовых параметров системы, исследованы статистические характеристики формируемых 3-D сигналов.

Полученные характерная реализация фазового портрета дискретно - нелинейной системы Чуа приведена на рис.1.

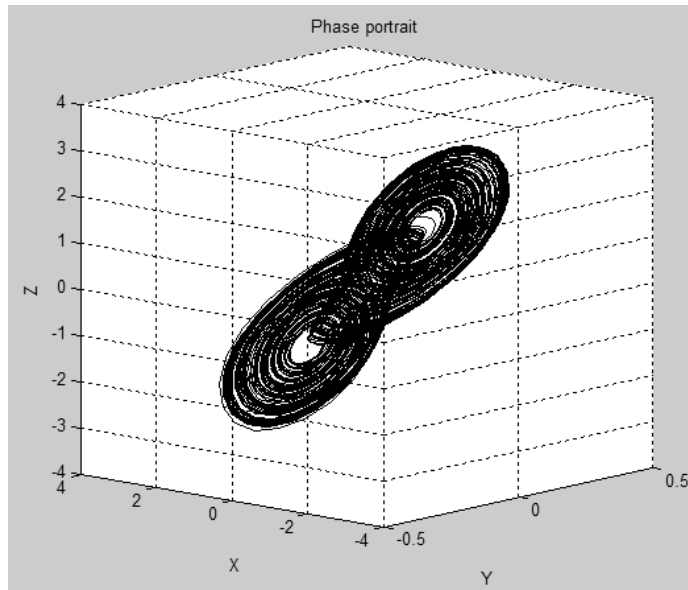


Рис. 1 – Фазовый портрет сигналов x, y, z дискретно – нелинейной системы Чуа

Полученные, на основе разработанных средств моделирования дискретно – нелинейной системы Чуа, характерные реализации сигналов приведены на рис.2.

Своевременная диагностика дискретно-нелинейной системы Чуа по статистическим характеристикам формируемых 3-D сигналов позволяет гибко настроить устройство формирователя, а также предотвратить дальнейшие сбои в ходе эксплуатации. Выполнено исследование поведения системы при варьировании базовых параметров системы Чуа. Полученные в результате моделирования дискретно-нелинейной системы Чуа дисперсии (d), математические ожидания (m) и среднеквадратические отклонения (sko) формируемых 3-D сигналов представлены в таблице 1.

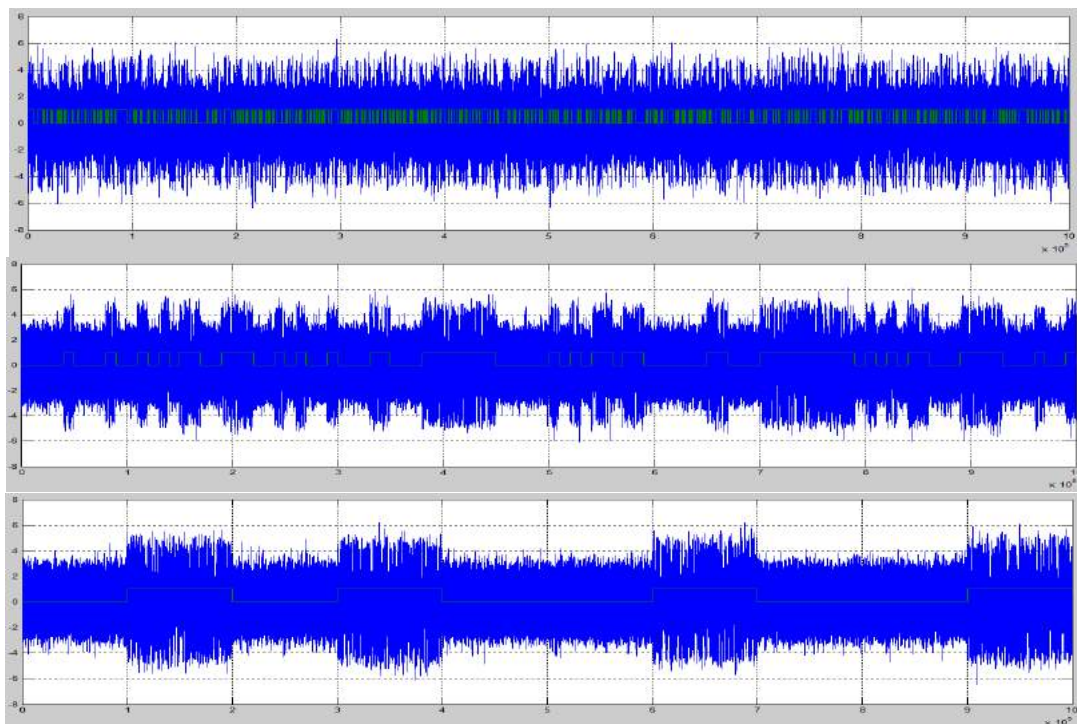


Рис. 2 – Реализация сигналов x, y, z дискретно – нелинейной системы Чуа

**Статистических характеристики формируемых 3-D сигналов
дискретно – нелинейной системы Чуа**

Таблица 1

Сигнал	Параметры системы Чуа					
	$\alpha=9.8;$ $\beta=15.7$	$\alpha=9.7;$ $\beta=110/7$	$\alpha=8.5;$ $\beta=14$	$\alpha=10.262;$ $\beta=14$	$\alpha=10;$ $\beta=14$	$\alpha=8.66;$ $\beta=14$
M(X)	0.0354	0.0147	1.2408	0.0340	0.0450	0.2441
СКО(X)	1.4143	1.3966	0.6477	1.4663	1.4363	1.3518
M(Y)	2.824e-4	2.637 ⁽⁻⁴⁾	-3.86e-04	3.29e-04	3.28e-04	-1.6525e-4
СКО(Y)	0.1776	0.1779	0.2129	0.2114	0.2417	0.1843

Таким образом, из таблицы 1 видно, что при варьировании базовых параметров наблюдается изменение статистических характеристик генерируемых сигналов дискретно-нелинейной системы Чуа.

Полученные статистические характеристики позволяют оптимизировать работу дискретно-нелинейной системы Чуа, а также в ходе проведенных исследований характеристик формируемых 3-D сигналов, вырабатываются инженерные рекомендации по выбору параметров радиоэлектронной системы Чуа с хаотической динамикой. Полученные результаты и средства моделирования могут быть применены для обеспечения стабильной работы генератора псевдослучайных сигналов на базе радиоэлектронной дискретно-нелинейной системы Чуа с хаотической динамикой.

Список цитируемой литературы

1. Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос. Новые носители информации для систем связи. Издательство Физико-математической литературы, 2002 - 252с.
2. Ишмуков Д.А., научн. рук. Афанасьев В.В. Моделирование генератора 3-D сигналов системы Чуа с динамическим хаосом. / Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук: Сборник научных статей IV научно-практической международной конференции (школы-семинара) молодых ученых: 23-25 апреля 2018г. В двух частях. Часть 1: Материалы пленарных докладов, секций I, II. – Тольятти: Издательский центр «Гарт», 2018. – С. 331-335.
3. Афанасьев В.В., Логинов С.С., Польский Ю.Е. Формирователи двоичных псевдослучайных сигналов на основе управляемых систем Лоренца и Чуа. // Телекоммуникации. 2012. N12. С. 26 – 30.

© Д.А. Ишмуков 2019

УДК 681.511.4

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ПО КРИТЕРИЮ ДОПУСТИМОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ В УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ

Е.С. Волохоненко, *vol578@yandex.ru*, **Г.С. Галикян**, *aitgs@mail.ru*

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова,
г. Новочеркасск

В нелинейной САУ с элементами релейного типа определению подлежит параметр K_I , входящий в математическое описание системы управления. Критерием оптимальности K_I является минимум динамической ошибки САУ в установившемся режиме работы, который характеризуется амплитудой A и частотой ω несинусоидальных колебаний выходного параметра. Показано, что меньшим значениям динамической ошибки соответствуют большие значения кинематического фактора $A^2\omega^2$, соответствующие большему значению мощности силовых устройств САУ.

Известно, что установившийся режим нелинейной САУ в ряде случаев характеризуется амплитудой и частотой несинусоидальных колебаний, подлежащих определению при варьировании значимого параметра, например, K_I [1]. Для определения K_I рассмотрим, например, структурную схему (рис. 1) системы с нелинейным звеном (НЭ), статическая характеристика которого представлена рис.2.

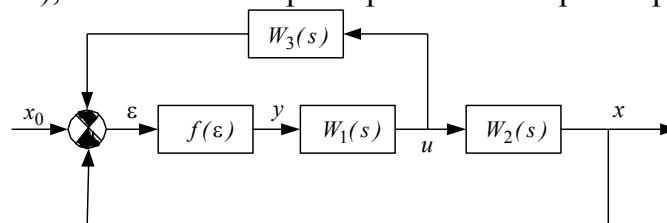


Рис. 1 – Структурная схема системы

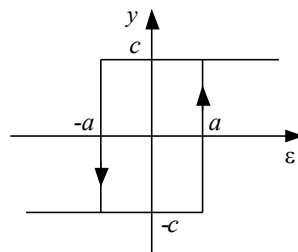


Рис. 2 – Статическая характеристика нелинейного звена

Передаточные функции линейных звеньев и комплексный коэффициент передачи гармонически линеаризованного НЭ имеют следующий вид:

$$W_1(s) = \frac{K_1}{s^v(T_1s + 1)}; W_2(s) = \frac{K_2}{T_{21}^2s^2 + T_{22}s + 1}; W_3(s) = \frac{K_3}{T_3s + 1};$$

$$W_{HЭ}(A) = \frac{4C}{\pi A} \cos \beta - j \frac{4ac}{\pi A^2}; \beta = \arcsin \frac{a}{A}, A \geq a; v = \begin{cases} 0 & \text{при } a \neq 0; \\ 1 & \text{при } a = 0, \end{cases}$$

Численные значения параметров звеньев системы приведены в таблице 1.

Таблица 1

Численные значения параметров звеньев системы

Параметры и их размерность								
a, B	c, B	K_I	T_1, c	K_2	T_{21}, c	T_{22}, c	K_3	T_3, c
1	20	3	0,3	8	0,6	0,8	4	0,2

Варьируемым параметром системы является коэффициент передачи первого звена её линейной части K_I , который может принимать ряд значений:

$$K_I = \{2; 3; 4; 6; 8; 9\}.$$

Искомыми параметрами являются амплитуда A и угловая частота ω автоколебаний на выходе САУ в установившемся режиме. Для удобства анализа сигнал задания X_0 принят равным нулю.

При граничном значении коэффициента усиления $K_{I, \text{гп}}$ амплитудно-фазовые характеристики линейной части (ЛЧ) и НЭ системы автоматического управления имеют одну общую точку соприкосновения или касания.

Расчет граничного значения коэффициента передачи K_I линейной части системы проведен с помощью программы *MathCAD*. Результаты расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчета граничного значения $K_{I, \text{гп}}$

$K_{I, \text{гп}}$	$A, \text{В}$	$\omega, \text{с}^{-1}$
$5,454 \cdot 10^{-3}$	1	1.667

Из приведенных данных следует, что при $K_{I, \text{гп}}$ нелинейная САУ практически вырождается из-за малого значения $K_{I, \text{гп}}$. Поэтому далее рассматриваем нелинейные САУ, для которых режим автоколебаний выходного параметра является приемлемым, например, автопилот.

По результатам расчета и совместного построения АФХ линейной части системы и НЭ были определены параметры амплитуды и частоты автоколебаний, используемые для построения зависимостей $A(K_I)$ и $\omega(K_I)$ от варьiruемого параметра K_I . Указанные зависимости аппроксимированы полиномами четвертого порядка. Для рассматриваемой САУ эти зависимости имеют вид

$$A = 11.07 + 13.82K_I - 3.585K_I^2 + 0.56K_I^3 - 0.04K_I^4, \quad (1)$$

$$\omega = 3.2 - 0.1K_I + 0.424K_I^2 + 0.11K_I^3 + 0.012K_I^4. \quad (2)$$

Для желаемой динамической ошибки γ справедливо соотношение

$$A(K_I)/X_0 = \gamma, \quad (3)$$

где X_0 – сигнал задания на входе САУ, принимаемый равным 5В в связи с тем, что выходное управляющее напряжение может меняться, как правило, в диапазоне 0 – 10В.

Для частоты автоколебаний ω , находящейся в зоне равномерного пропускания частот, справедливо ограничение

$$\omega(K_I) \leq 1/T_{\text{макс}}, \quad (4)$$

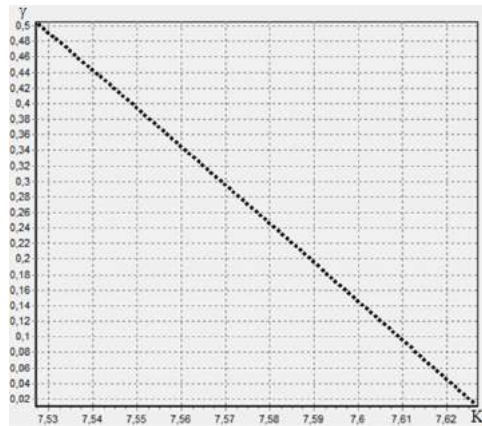
где $T_{\text{макс}}$ – максимальная постоянная времени линеаризованной САУ.

Решения (3) для желаемых γ , изменяемых в диапазоне 0.01 – 0.5, при ограничении (4) позволяет определить соответствующие значения K_I (рис.3).

После нахождения K_I , соответствующего требуемой γ , и однозначно определяемых из аппроксимирующих выражений (1) и (2) значений A и ω , целесообразно оценить мощность P , которая потребуется от силовых исполнительных устройств САУ

$$P = M\omega = J \frac{d\omega}{dt} \omega,$$

где M и J – соответственно момент сил сопротивления движению исполнительных органов и момент инерции объекта управления.

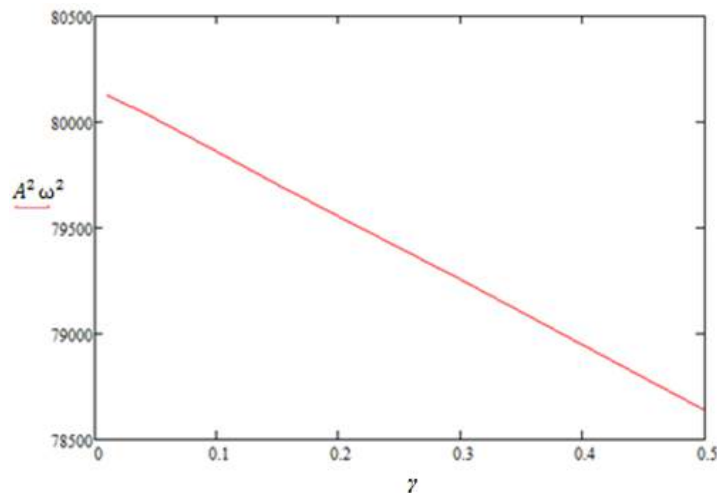
Рис. 3 – Зависимость $\gamma(K_I)$

Так как осциллограммы автоколебаний близки к синусоидальным, то можно принять $\omega(t) = A \sin \omega(t)$. Тогда максимальное значение мощности для исполнительных органов может быть определено из соотношения

$$P(t) = J A^2 \omega^2 \cos 2\omega t / 2.$$

Так как объекты имеют разные значения J , то целесообразно для конкретной структуры САУ построить зависимости кинематического фактора $A^2 \omega^2$ от желаемого значения γ .

Характеристика такой зависимости для анализируемой САУ представлена на рис.4

Рис. 4 – Зависимость фактора $A^2 \omega^2$ от γ

Из приведенного графика следует, что меньшим значениям динамической ошибки γ в установившемся режиме работы нелинейной САУ соответствуют большие значения кинематического фактора $A^2 \omega^2$ и, следовательно, большие значения мощности силовых устройств САУ.

Список цитируемой литературы

1. Савин М.М., Елсуков В.С., Пятина О.Н. Методические указания к курсовой работе по дисциплине “Теория автоматического управления” /Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2007– 25 с

УДК 621.317

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ С РАЗНЕСЕННЫХ В ПРОСТРАНСТВЕ ОБЪЕКТОВ

*Л.Р. Григорьян, leonmezon@mail.ru, М.С. Коваленко m.s.kovalenko@ya.ru,
А.Л. Григорьян, ms.bucky@mail.ru*

Кубанский государственный университет, г. Краснодар

В статье рассматривается задача сравнения параметров сигналов с разнесенных в пространстве объектов, в частности, размещенных в труднодоступных для человека местах. Анализируются способы решения двух основных проблем: привязки измерительных процедур к единой шкале времени и минимизации времени проведения измерительной процедуры. Для решения первой проблемы в работе предложено использовать спутниковую систему позиционирования, что позволяет создать на больших территориях единую шкалу времени. Для решения второй проблемы целесообразно использовать фазовые алгоритмы определения параметров сигнала в течение одного периода.

Ключевые слова: измерение, параметры сигналов, шкала времени, фазовые алгоритмы.

MEASUREMENT METHODS OF SIGNAL PARAMETERS WITH DIFFERENT SPACE OBJECTS

L.R. Grigoryan, M.S. Kovalenko, A.L. Grigoryan

Kuban State University (KubSU), Krasnodar

The article deals with the problem of comparing the parameters of signals from spaced objects, in particular, too difficult placed to reaching for humans. This work is analyzed ways to solve two main problems: the binding measurement procedures to a single time scale and minimize the time of the measurement procedure. The first problem is solved in the work by proposing to use a satellite positioning system, which allows creating a single time scale in large territories. The second problem is advisable to use phase algorithms for determining the signal parameters during one period.

Keywords: measurement, signal parameters, time scale, phase algorithms.

В практике проведения физических исследований возникает задача анализа (сравнения) параметров сигналов с разнесённых в пространстве объектов. Например, при антикоррозийном обследовании подземных трубопроводов, при анализе сигналов с датчиков, размещенных в труднодоступных для человека местах и реагирующих на чрезвычайные природные ситуации, в частности сейсмические и т.п.

При решении поставленной задачи необходимо решить две основных проблемы:

- разработка единой шкалы времени и способов привязки, к ней разнесенных в пространстве объектов;
- разработка измерительных процедур сравнения параметров сигналов с разнесенных в пространстве объектов.

Рассмотрим последовательно способы решения этих задач.

1 Создание единой шкалы времени.

Для решения этой задачи необходимо, чтобы разнесенные в пространстве автономные источники сигналов были синхронизированы от одного (единого) прецизионного источников сигналов.

В простейшем случае в качестве такого источника применяют прецизионный задающий генератор, используя который периодически производят синхронизацию разнесенных в пространстве приборов. Такое решение накладывает определенные ограничения как экономического, так и чисто технического плана: высокая трудоемкость при повторных синхронизациях, а также необходимость высокой долговременной стабильности задающего генератора.

Второй вариант связан с использованием системы точного времени, синхросигналы которой распространяются по радиосвязи. Этот метод имеет как свои преимущества, так и недостатки. Наиболее существенным недостатком является отсутствие радиосвязи из-за рельефа местности.

Наиболее совершенным вариантом в настоящее время является использование в качестве прецизионного источника сигналов приемники Глонасс/GPS. Глобальная система позиционирования образует орбитальную группу из 24 космических спутников, расположенных в трех плоскостях и развернутых по долготе относительно друг друга на 120 градусов. В каждой плоскости находится 8 космических аппаратов, равномерно размещенных на орбите. Принятое орбитальное построение позволяет создать на поверхности земли непрерывное радионавигационное поле, в каждой точке которого обеспечивается одновременная видимость нескольких спутников, что и позволяет приемнику с высокой точностью определять координаты местоположения и точное время. Использование совместно двух систем позиционирования, позволяет гарантировать точное время в любой точке земного шара. В качестве практической реализации в контексте рассматриваемой в работе проблемы можно привести управляемый переключатель тока УПТ-03М, устанавливаемый в станциях катодной защиты подземных трубопроводов при антикоррозийном их обследовании [1].

Предложенное решение было также апробировано при создании регистратора сейсмических сигналов РСС-01, предназначенного для автоматической регистрации сейсмических сигналов от естественных и искусственных источников сейсмических колебаний, включая проведение региональных сейсморазведочных работ и микросейсмораионирования.

Регистратор РСС-01 построен по классической схеме (рис.1).

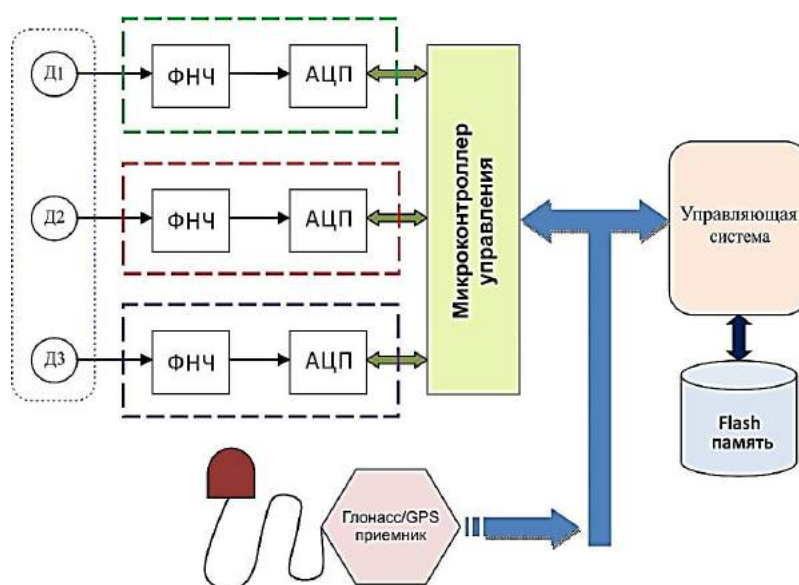


Рис. 1 Функциональная схема 3-х канального Регистратора сейсмических сигналов РСС-01

В плане измерения прибор РСС-01 представляет собой однопредельный (в диапазоне $\pm 10\text{В}$) трехканальный аналого-цифровой измеритель сигналов, поступающих с трехкомпонентного сейсмодатчика. Для обеспечения работы прибора в режиме реального времени используется принцип синхронизации временного

такта сигналами спутниковой системы GPS. При этом оцифровка данных в каждом канале регистратора осуществляется синхроимпульсами, территориальная погрешность которых составляет ~ 25 нс, что достигается использованием в каждом регистраторе как приемников Глонасс/GPS с обязательным низкоуровневым выходом (TSIP) и наличием сигнала 1 PPS, так и использование в составе прибора операционной среды реального времени, в которой выполняется специализированная подпрограмма.

Подпрограмма синхронизации внутреннего времени от Глонасс/GPS приемника предназначена для синхронизации внутренних тактовых генераторов с Мировым временем, получаемым от Глонасс/GPS приемника в конце последней секунды каждой минуты Глонасс/GPS-часов, которые соответствуют мировому времени. Для связи Глонасс/GPS приемника с Микро ЭВМ используется последовательный интерфейс RS 232, по которому передаются данные "Rx, Tx" и сигнал "1 PPS". Корректировка времени происходит по окончании каждой минуты в течение всего рабочего времени программы. В течение 1 минуты абсолютная накапливающая погрешность составляет менее 1 мкс. В случае отключения питания восстановление синхронизации приборов осуществляется автоматически в течение 5 минут после подачи питания.

Следует отметить, что использование Глонасс/GPS приемников позволяет свести к минимуму необходимость обслуживания приборов и их синхронизацию друг с другом, с одновременным решением поставленной задачи.

2 Привязка измерительных процедур к единой шкале времени

Способы решения этой задачи определяются характером исследуемых объектов. Наиболее в общем виде их можно разделить на две группы:

- автономные, разнесенные в пространстве датчики, активирующие измерительный сигнал при изменении параметров исследуемой физической среды;
- автономные активные источники и приемники сигналов, подключенные соответственно к началу и концу протяженного исследуемого объекта, например подземного трубопровода или кабеля.

При исследовании сигналов с датчиков синхронизация осуществляется в процессе аналого-цифрового преобразования активируемых ими измерительных сигналов. Например, в регистраторе РСС-01 для этого используется три 24 разрядных $\Sigma\Delta$ – преобразователя AD7732 имеющий тактируемый вход *SYNC* [2], предназначенный для точной синхронизации всех используемых АЦП и соответствующей установкой бита разрешения использования синхронизации (*enables the SYNC pin function*).

Вторую группу объектов целесообразно рассмотреть на конкретном примере измерительной системы [3], реализующей амплитудно-фазовый алгоритм диагностики подземных коммуникаций.

На рис. 2 представлена схема подключения измерительного комплекса к объекту исследования, а также структурная схема комплекса. Принцип действия измерительного комплекса следующий.

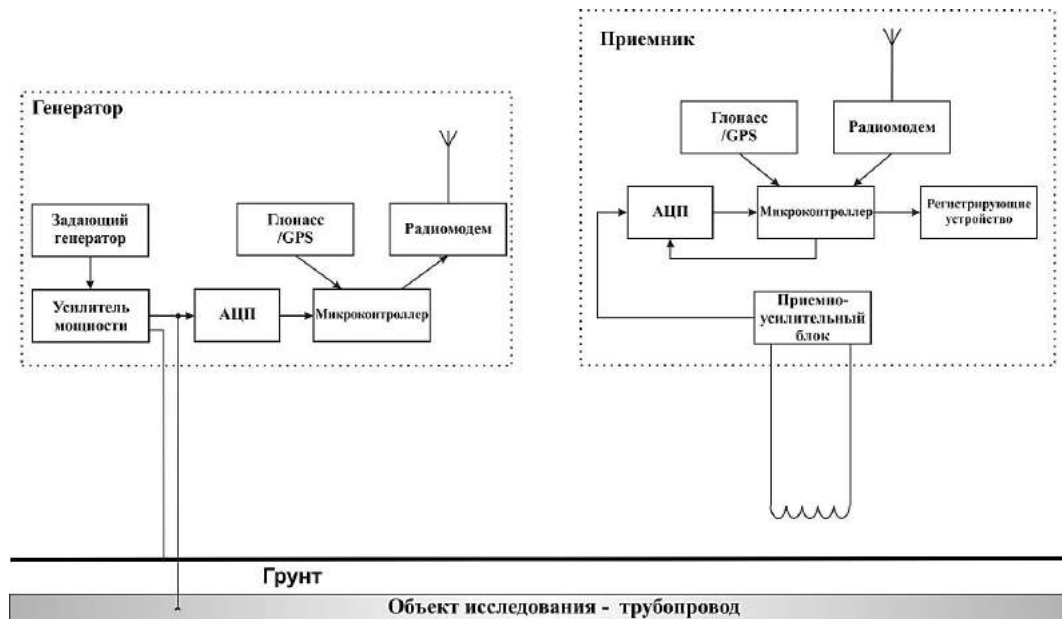


Рис. 2 Структурная схема измерительного комплекса диагностики подземных коммуникаций

Генератор осуществляет запитку исследуемого объекта, а введенные дополнительные узлы осуществляют измерение мгновенного значения фазы и амплитуды выходного сигнала усилителя мощности относительно тактовых импульсов, поступающих с Глонасс/GPS приемника с частотой 1 Гц.

Измерение фазы и амплитуды происходит путем взятия трех выборок за каждый период сигнала усилителя мощности [4]

$$\begin{aligned} U_{Г1}(\varphi, \Theta) &= U_{Гм} \sin(\varphi) \\ U_{Г2}(\varphi, \Theta) &= U_{Гм} \sin(\varphi + \Theta) \\ U_{Г3}(\varphi, \Theta) &= U_{Гм} \sin(\varphi + 2\Theta) \end{aligned} \quad (1)$$

где: φ - искомый фазовый сдвиг; Θ - фазовый сдвиг между выборками.

После несложных тригонометрических преобразований микропроцессор определяет значение фазы сигнала и его амплитуды в каждом периоде сигнала:

$$\Phi_{Г} = \arctg \left(\frac{\sin(\Theta)[2U_{Г1}(\varphi, \Theta) - U_{Г2}(\varphi, \Theta) - U_{Г3}(\varphi, \Theta)]}{(1 - \cos(\Theta))[U_{Г3}(\varphi, \Theta) - U_{Г2}(\varphi, \Theta)]} \right) \quad (2)$$

$$U_{Г} = \sqrt{\left(\frac{2U_{Г1}(\varphi, \Theta) - U_{Г2}(\varphi, \Theta) - U_{Г3}(\varphi, \Theta)}{2(1 - \cos(\Theta))} \right)^2 + \left(\frac{U_{Г3}(\varphi, \Theta) - U_{Г2}(\varphi, \Theta)}{2\sin(\Theta)} \right)^2} \quad (3)$$

Измеренные значения $\Phi_{Г}$ и $U_{Г}$ поступают в радиомодем и по радиоканалу передаются в трассопоисковый приемник.

Важно подчеркнуть, что каждый цикл измерений $T_{ц} = 1$ сек начинается по поступлению в микропроцессор синхронизирующих тактовых импульсов с Глонасс/GPS приемника. Поэтому собственная нестабильность частоты задающего генератора, а также не кратность периода сигнала к циклу измерения не оказывает никакого влияния на точность процесса измерения фазы.

В трассопоисковом приемнике процедура аналого-цифрового преобразования, также как в трассопоисковом генераторе осуществляется путем взятия трех выборок за период исследуемых сигналов. Циклы измерения $T_{ц} = 1$ сек также как в трассопоисковом генераторе задаются синхронизирующими тактовыми импульсами Глонасс/GPS приемника.

В результате в микропроцессоре формируются массивы данных соответствующие амплитудным и фазовым значениям сигналов, поступающих с приемно-усилительного блока трассопоискового приемника.

$$U_{\Pi} = \sqrt{\left(\frac{2U_{\Pi n1}(\varphi, \Theta) - U_{\Pi n2}(\varphi, \Theta) - U_{\Pi n3}(\varphi, \Theta)}{2(1 - \cos(\Theta))}\right)^2 + \left(\frac{U_{\Pi n3}(\varphi, \Theta) - U_{\Pi n2}(\varphi, \Theta)}{2\sin(\Theta)}\right)^2} \quad (4)$$

$$\Phi_{\Pi} = \arctg\left(\frac{\sin(\Theta)[2U_{\Pi n1}(\varphi, \Theta) - U_{\Pi n2}(\varphi, \Theta) - U_{\Pi n3}(\varphi, \Theta)]}{(1 - \cos(\Theta))[U_{\Pi n3}(\varphi, \Theta) - U_{\Pi n2}(\varphi, \Theta)]}\right) \quad (5)$$

Сравнивая фазу Φ_{Γ} поступающую в микропроцессор с радиомодема с фазой Φ_{Π} определяем разность фаз и амплитуд.

$$\begin{aligned} \Delta\Phi &= \Phi_{\Gamma} - \Phi_{\Pi} \\ \Delta U &= U_{\Gamma} - U_{\Pi} \end{aligned} \quad (6)$$

Очевидно, что значение $\Delta\Phi$ определяется временем распространения сигнала в исследуемом объекте. В местах нарушения изоляции линейный характер изменения фазы прерывается и происходит ее скачок, который можно использовать для идентификации мест повреждения изоляции исследуемого объекта.

Важно подчеркнуть, что поскольку измерение как амплитудных, так и фазовых параметров сигналов происходит синхронно, то в моменты скачка фазы происходит также скачок амплитуды, что увеличивает достоверность обнаружения мест повреждения изоляции исследуемого объекта.

Методическая погрешность определяется только временем рассогласования тактовых секунд импульсов поступающих с Глонасс/GPS приемников в микропроцессоры приемника и генератора. С учетом того, что расстояние между приемником и генератором не превышает несколько километров, то нестабильность тактовых импульсов определяется только инструментальной погрешностью Глонасс/GPS приемников, которая не превышает ± 50 нс. На частотах до 1 кГц фазовая погрешность составляет $\pm 0,02\%$.

3 Результаты работы

1) В работе показано, что основной проблемой при анализе параметров с разнесенных в пространстве объектов является разработка единой шкалы времени и соответствующих процедур.

2) Проведенный анализ способов разработки территориально единой шкалы времени показал, что наиболее перспективными для ее создания являются прецизионные источники сигналов на основе приемника Глонасс/GPS.

3) Разработанный на их основе приборы: управляемый прерыватель тока УПТ-03М и регистратор сейсмических сигналов РСС-01 с учетом опыта их промышленной эксплуатации подтвердил правильность предложенной концепции.

4) В работе предложены амплитудно-фазовые алгоритмы сравнения параметров сигналов с протяженных объектов, применение которых наиболее перспективно при электрометрическом обследовании трубопроводов.

Список цитируемой литературы

1. Переключатели тока для электрометрического обследования трубопроводов. / Тымчук А.И., Тымчук И.А., Григорьян Л.Р., Федорченко С.В. Газовая промышленность. 2003. № 5. С. 59-60.
2. AD7732 Datasheet and Product Info Analog Devices. // URL: <https://www.analog.com/en/products/ad7732.html> (дата обращения: 15.01.2019).

3. Измерительный комплекс для поиска и диагностики подземных коммуникаций. Патент на изобретение № 2414719. Зарегистрировано: 20.03.2011 г.
4. Уголников В.Н., Мешков В.П. Методы измерения амплитуды гармонического сигнала за время менее периода. Метрология. 1984. №8. – С. 8-11.

© Л.Р. Григорьян, М.С. Коваленко, А.Л. Григорьян, 2019

УДК 64-52

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДОЗИРОВАНИЯ ХЛОРА НА СТАНЦИЯХ ВОДОПОДГОТОВКИ

А.И. Юхно, a.bachmackaja@gmail.com, Н.К. Плуготаренко, plugotarenkonk@sfedu.ru

Южный Федеральный университет, г. Ростов на Дону

Хлорирование является наиболее проверенным и дешевым методом обеззараживания воды. Следует заметить, что содержание веществ, являющихся реагентами в реакциях образования вредных, канцерогенных веществ, как правило, не превышает ПДК в водопроводной воде, а вот содержание продуктов этих реакций, напротив, зачастую превосходит их ПДК. Это обосновывает важность контроля образования хлорпроизводных токсичных соединений. В данной статье рассматривается разработка алгоритма автоматизированного дозирования хлора в системах коммунального водоснабжения, в котором будут учтены выявленные в ходе проекта закономерности в динамике параметров обеззараживания, а также пороговые значения концентраций с позиции оценки канцерогенного риска. Разработанный алгоритм управления позволит реализовать необходимую точность дозирования, минимизировать запаздывание регулирования параметров хлорирования, а также снизить образование хлорпроизводных органических загрязнителей и связанного с ними риска для здоровья населения.

Ключевые слова: хлорирование, алгоритм дозирования, риск, хлорорганические соединения

THE DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM CONTROL SYSTEM FOR AUTOMATED DISPENSING OF CHLORINE FOR WATER TREATMENT PLANTS

A. I., Yuhno, N. K. Plugotarenko

Southern Federal University (SFEDU), Rostov-on-don

Chlorination is the most proven and cheapest method of water disinfection. It should be noted that the content of substances that are reagents in the reactions of the formation of harmful, carcinogenic substances, as a rule, does not exceed the MPC in tap water, but the content of the products of these reactions, on the contrary, often exceeds their MPC. This proves the importance of controlling the formation of chlorinated toxic compounds. This article discusses the development of an algorithm for automated dosing of chlorine in public water supply systems, which will take into account the identified during the project patterns in the dynamics of disinfection parameters, as well as threshold values of concentrations from the perspective of carcinogenic risk assessment. The developed control algorithm will allow to realize the necessary accuracy of dosing, minimize the delay in the regulation of chlorination parameters, as well as reduce the formation of chlorinated organic pollutants and the associated risk to public health.

Keywords: chlorination, dosing algorithm, risk, organochlorine compounds

При нынешнем уровне антропогенного воздействия всё больший интерес привлекают исследования отрицательного воздействия на здоровье населения факторов окружающей среды, а в частности хлорорганических соединений (ХОС) [1-4]. Образование ХОС происходит в процессе обеззараживания питьевой воды путем трансформации органических соединений при реакции с высокоактивным хлором. В связи с этим, содержание в воде опасных для населения соединений обуславливает необходимость разработки более эффективных и безопасных, с точки зрения водопотребления, технологических решений водоподготовке и современных методов оценки химической безвредности питьевой воды.

Определение концентрации хлорорганических соединений в воде, как правило, проводится хроматографическими методами [5]. Применение данного ме-

тогда определения хлорорганики в питьевых водах нельзя назвать экспресс-анализом, поэтому для сокращения времени запаздывания и уменьшения вредного воздействия галогенорганических веществ актуально применять методы моделирования, позволяющие делать прогноз в режиме реального времени по параметрам, характеризующим качество воды.

В ходе работы разработан алгоритм для автоматизированного дозатора хлора на основе интеллектуальных методов обработки данных и реализующий систему нечеткого вывода. На рисунке 1 приведена схема описывающая процесс работы алгоритма.

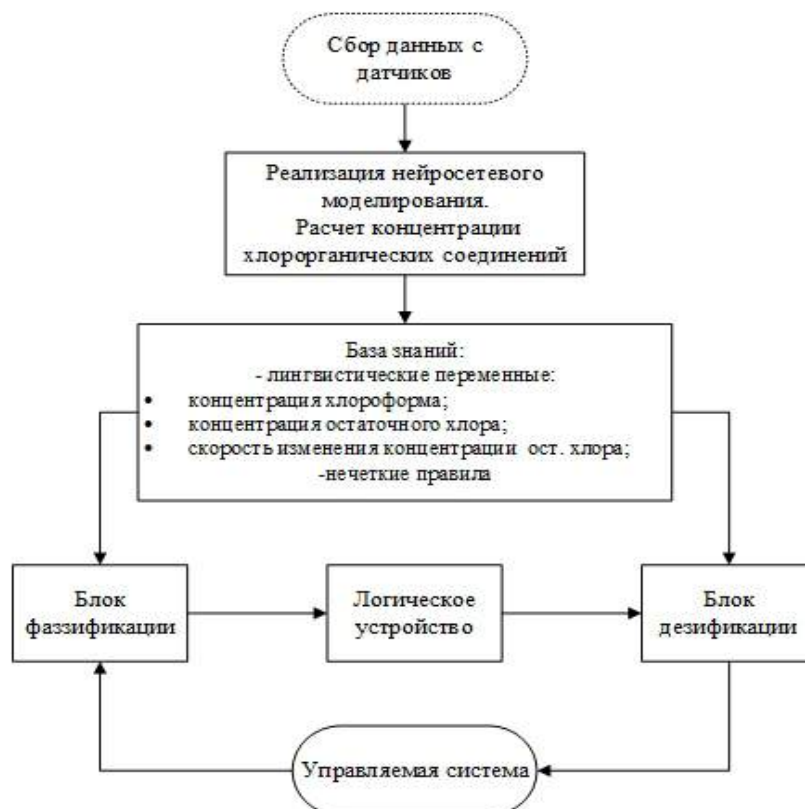


Рис. 1. Схема описывающая процесс работы алгоритма

Создание алгоритма осуществлялось с использованием программной среды *MatLab*, а конкретно пакета для работы с нейронными сетями *Neural Networks Toolbox* и пакетом нечеткого моделирования *Fuzzy Logic Toolbox*.

Основой данного алгоритма послужила разработанная в ходе исследования нейросетевая модель, прогнозирующая концентрации хлороформа, образующегося в ходе обеззараживания питьевой воды, в зависимости от температуры, водородного показателя, перманганатной окисляемости, хлорпоглощаемости и остаточного хлора. Данные показатели качества воды служат входными параметрами сети и считываются с датчиков, показанных на схеме процесса водоподготовки с автоматизированным дозированием хлора (рис.2.).

Среднеквадратичная ошибка модели составляет 0,77. Построенная нейросетевая модель даёт возможность для создания системы контроля за хлорорганическими соединениями, тем самым обеспечивая условия более безопасного водопотребления.

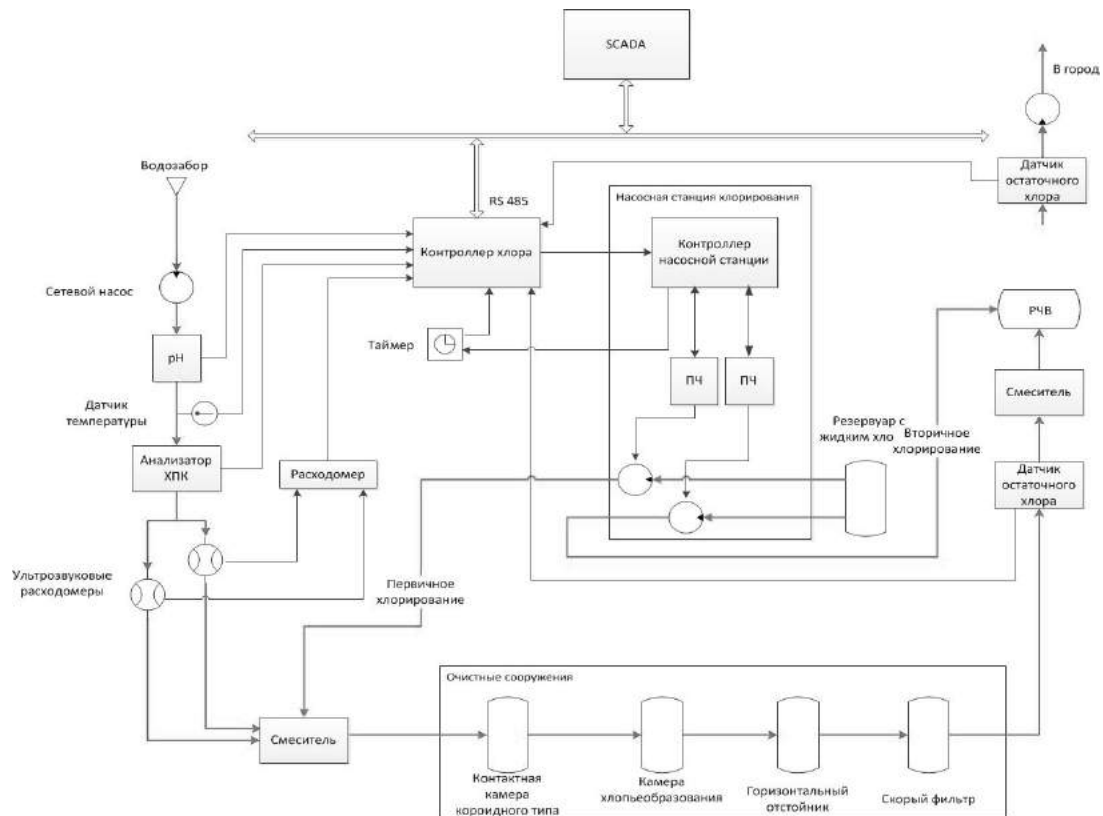


Рис. 2. Схема процесса водоподготовки с автоматизированным дозированием хлора

Алгоритм реализовывает методику решения задач, состоящую в представлении знаний об объекте управления в виде правил и в обработке этой информации при помощи методов теории нечетких множеств. Для реализации нечеткого вывода в алгоритме используется алгоритм Мамдани, который позволит получать значения дозы хлора при разных входных параметрах системы. Алгоритм, включающий систему нечеткой логики работает по следующему принципу: сигналы от датчиков и результаты нейросетевого моделирования будут фазифицированы, обработаны, дефазифицированы и полученные данные в виде сигналов поступят управляющий блок дозатора хлора, который будет менять дозировку хлорагента в соответствии со значением функции принадлежности.

Анализ статистических закономерностей показал, что для оперативного отклика системы на изменение свойств воды необходимо учитывать в качестве лингвистических переменных такие параметры как концентрация остаточного хлора, концентрация хлороформа и скорость изменения концентрации остаточного хлора, позволяющая учесть динамику данного показателя и степень отклонения от оптимального значения.

В ходе исследования реализована оценка канцерогенного риска образования в воде хлорпроизводных соединений по прогнозируемым концентрациям. Кроме того, выполнен расчет и установлены концентрации хлороформа для пороговых значений риска, которые учитываются в процессе моделирования, позволяя оценить входной параметр концентрацию хлороформа с позиции риска для здоровья населения.

В ходе работы над алгоритмом проведены вычисления статистических характеристик скользящих рядов наблюдений и построение статистических моделей прогноза их изменений на доступный для объективной оценки интервал времени в будущем.

Преимуществом предлагаемого устройства хлорирования является простота и относительно небольшая цена его внедрения в существующие автоматизированные системы управления, действующие на многих станциях водоочистки. Кроме того, уникальность и инновация данного устройства заключается в алгоритме, построенном на системе нечеткой логики. Алгоритм позволяет обрабатывать несколько входных параметров контроля качества воды и регулировать дозировку хлора с позиции оценки канцерогенного риска образования хлорорганических соединений, являющихся продуктами взаимодействия хлорагента с природной водой. Тем самым предлагаемый подход позволит усовершенствовать существующую систему хлорирования, сократить время запаздывания, избежать перехлорирования и создать более безопасную систему водоподготовки.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00489.

Список цитируемой литературы

1. Красовский Г.Н., Рахманин Ю.А., Егорова Н.А. [и др.] Гигиенические основы формирования перечней показателей для оценки и контроля безопасности питьевой воды // Гигиена и санитария. - 2010. - № 4. - С. 8-13.
2. Марченко Б.И., Журавлев П.В., Плуготаренко Н.К., Юхно А.И. Оценка канцерогенного риска от воздействия хлорорганических соединений питьевой воды // Материалы международного форума научного совета РФ по экологии человека и гигиене окружающей среды «Современные проблемы оценки, прогнозы и управление экологическими рисками здорового населения и окружающей среды, пути их рационального решения». - 2018., - С. 238-242.
3. Бахмацкая А. И., Плуготаренко Н. К. Анализ экологической безопасности процессов хлорирования воды//Экология промышленного производства. 2016. № 2 (94). С. 52-56.
4. Саурина О.С., Нечаев В.С. Канцерогенные риски территориального питьевого водоснабжения // Бюллетень национального научно-исследовательского института общественного здоровья имени Н.А. Семашко.- 2014. - № S1. - С. 178-180.
5. Кириченко В. Е., Первова М. Г., Пашкевич К. И. Галогенорганические соединения в питьевой воде и методы их определения // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2002, т. XLVI, № 4, - С. 18-27

© А. И, Юхно, Н.К. Плуготаренко, 2019

УДК 621.318.122.001.41

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ИМПЕДАНСА

Леонов А.Г., hlfblood@gmail.com, Наракидзе Н.Д., ndaz@mail.ru, Стеценко И.А., i.a.stetsenko@gmail.com, Шпакова Ю.С. schpakova23@yandex.ru

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)

имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

В данной статье рассматривается разработка устройства для измерения магнитного импеданса. Эффект магнитного импеданса заключается в сильном изменении полного сопротивления проводника переменному току во внешнем магнитном поле. В некоторых материалах было обнаружено изменение магнитного импеданса во внешнем магнитном поле в два и более раза. Такое значительное изменение импеданса называют эффектом гигантского магнитоимпеданса, или ГМИ-эффектом. Высокая чувствительность ГМИ-эффекта к внешним воздействиям открывает возможности для создания датчиков на его основе. В частности, ГМИ-датчики могут использоваться для магнитной дефектоскопии газо- и нефтепроводов, в медицине, в градиентометрах и др. Кроме того, магнитоимпедансные материалы используются в электронных устройствах, таких как замедляющие устройства, фильтры, фазовращатели, модуляторы. Миниатюрные ГМИ-элементы могут быть использованы для портативных устройств радиосвязи. В сравнении с другими материалами ГМИ-структуры имеют преимущества в чувствительности, скорости обработки и стоимости изготовления. Таким образом, исследование магнитного импеданса представляется весьма актуальным, так как дополняет знания об особенностях этого эффекта и может расширить область его практического применения. Для исследования влияния внешних факторов на импеданс ферромагнитных материалов разработана функциональная схема устройства для измерения магнитного импеданса и измерительная ячейка.

Ключевые слова: магнитный импеданс, магнитоимпедансные материалы, датчик на основе ГМИ-эффекта.

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR MEASURING A MAGNETIC IMPEDANCE

A.G. Leonov, N.D. Narakidze, I.A. Stetsenko, Y.S. Shpakova.

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

This article discusses the development of a device for measuring magnetic impedance. The effect of magnetic impedance is a strong change in the impedance of the conductor to alternating current in an external magnetic field. In some materials, a change in the magnetic impedance in an external magnetic field of two or more times was detected. Such a significant change in impedance is called the effect of a giant magnetic impedance, or GMI effect. The high sensitivity of the GMI effect to external influences opens up possibilities for creating sensors based on it. In particular, GM-sensors can be used for magnetic inspection of gas and oil pipelines, in medicine, in gradiometers, etc. In addition, magneto-impedance materials are used in electronic devices, such as decelerating devices, filters, phase shifters, modulators. Miniature GMI elements can be used for portable radio communication devices. In comparison with other materials, GMI structures have advantages in sensitivity, processing speed and manufacturing cost. Thus, the study of magnetic impedance seems to be very relevant, since it complements knowledge about the features of this effect and can expand the range of its practical application. To study the influence of external factors on the impedance of ferromagnetic materials, a functional diagram of a device for measuring magnetic impedance and a measuring cell has been developed.

Keywords: magnetic impedance, magnetoimpedance materials, GMI-based sensor.

Одной из основных задач исследований физики магнитных явлений, прикладной электродинамики и радиоэлектроники на протяжении последних более чем 10 лет является изучение эффекта магнитоимпеданса. Эффект магнитного импеданса заключается в сильном изменении полного сопротивления проводника

переменному току во внешнем магнитном поле. Пристальное внимание исследователей на эффект магнитоимпеданса было обращено сравнительно недавно. Интерес к нему объясняется тем, что в некоторых материалах было обнаружено изменение импеданса во внешнем магнитном поле в два и более раз. Такое значительное изменение импеданса в литературе обычно называют эффектом гигантского магнитоимпеданса, или кратко, ГМИ-эффектом. Доступная технология и простая техника измерений стимулировали поиск новых материалов, обладающих свойствами ГМИ-эффекта, а также детальное исследование ГМИ на высоких и низких частотах. Высокая чувствительность ГМИ-эффекта к внешним воздействиям открывает возможности для создания датчиков на его основе. В частности, ГМИ-датчики могут использоваться для магнитной дефектоскопии газо- и нефтепроводов, в медицине, в градиентометрах и т.д. Кроме того, магнитоимпедансные материалы используются в электронных устройствах, таких как замедляющие устройства, фильтры, фазовращатели, модуляторы. Миниатюрные ГМИ-элементы могут быть использованы для портативных устройств радиосвязи. В сравнении с другими материалами ГМИ-структуры имеют преимущества в чувствительности, скорости обрабатывания и стоимости изготовления [1-4].

Таким образом, исследование магнитного импеданса представляется весьма актуальным, так как пополняет знания об особенностях этого эффекта и может расширить область его практического применения.

Для исследования влияния внешних факторов на импеданс ферромагнитных материалов разработана структурная схема, представленная на рис. 1.



Рис. 1 – Структурная схема разрабатываемого устройства для измерения магнитного импеданса

На рис.1 использованы следующие условные обозначения: 1 – измерительная ячейка; 2 – кольца Гельмгольца; 3 – воздуховод; 4 – электронагревательный элемент; 5 – электронагреватель; 6 – три пары компенсационных колец Гельмгольца; 7 – термопары.

Основной частью данного устройства является прецизионный анализатор импеданса Agilent 4294A, краткие технические характеристики которого следующие:

1. Частотный диапазон 40 Гц – 110 МГц с разрешением 1мГц;

2. Интервал измеряемых значений импеданса 3 МОм – 50 МОм;
3. Возможность измерения активной и реактивной компонент импеданса;
4. Пробный сигнал: сила тока 200 мкА с разрешением 20 мкА; напряжение – 1 В с разрешением 1 мВ;
5. Стабилизация по току и по напряжению;
6. Напряжение смещения ± 40 В, ток смещения ± 100 мА;
7. Основная погрешность не выше 0,1 %.

Анализатор импеданса позволяет производить компенсацию собственного импеданса измерительной ячейки. Данная операция необходима при измерении импеданса на частотах порядка десятков мегагерц, так как на этих частотах импеданс самой измерительной ячейки становится соизмерим с импедансом образца.

Исследуемые образцы изготавливаются по следующей технологии. От исследуемой проволоки (ленты) отрезается необходимой длины заготовка, которая затем тщательно обрабатывается. Для хорошего контакта заготовки с зажимами держателя, края тщательно зачищаются с помощью мелкой наждачной бумаги. Для того, чтобы не повредить исследуемый образец наждачной бумагой, его обработка проводится вращением вокруг собственной оси. С каждой стороны образца обрабатывается расстояние примерно равное 1 мм. Схема разработанной ячейки представлена на рис. 2.

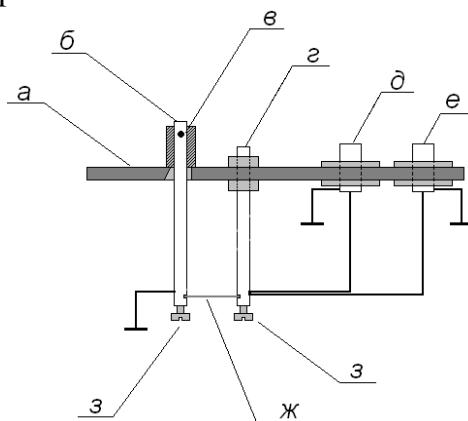


Рис. 2 - Схема измерительной ячейки (крепление подвижного стержня дано в разрезе): а – пластина; б – подвижный стержень; в – ось подвижного стержня; г – неподвижный стержень; д – разъем для подключения вольтметра; е – разъем для подключения генератора переменного тока; ж – образец; з – болты для зажима образца

Несущей частью ячейки является пластина, изготовленная из миканита – прессованной молотой слюды. На выбор данного материала повлияли его термостойкость и требуемая механическая прочность. Кроме того, миканит является хорошим диэлектриком. На пластине крепятся стержни, один из которых подвижный. Стержни изготовлены из латуни, так как данный материал является парамагнетиком и слабо окисляется при нагреве. В латунных стержнях находятся две группы контактов: 1) для подключения образца; 2) для подключения генератора переменного тока и вольтметра. Контакты для подключения образцов выполнены в виде механических зажимов, что обеспечивает необходимую надежность при воздействии упругих растягивающих напряжений. Зажимные болты изготовлены из посеребренной латуни, что исключает опасность нарушения контакта в результате окисления. Для предотвращения кручения образца во время зажима, он располагается между двумя шайбами. Шайбы также изготовлены из посеребренной

латуни. Контакты второй группы соединены проводниками с коаксиальными разъемами для подключения генератора и вольтметра.

Список цитируемой литературы

1. Бозорт Р. Ферромагнетизм./Пер. с англ./Под ред. Е.И. Кондорского, Б.Г. Лившица. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1956.
2. Боровик Е.С., Еременко В.В., Мильнер А.С. Лекции по магнетизму. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Физматлит, 2005.
3. Курляндская Г.В. Гигантский магнитный импеданс и его связь с магнитной анизотропией и процессами намагничивания ферромагнитных структур: докт. дис. – Екатеринбург, 2007.
4. Сокол-Кутыловский О.Л. Исследование магнитоупругих свойств аморфных ферромагнетиков с целью их применения в магнитных и механических датчиках: докт. дис. – Екатеринбург, 1997.

© А.Г. Леонов, Н.Д. Наракидзе, И.А. Стеценко, Ю.С. Шпакова, 2019

УДК 621.311

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА**П.В. Дикарев**, *dikarev.pavel@mail.ru*, **А.А. Шилин**, *eltech@vstu.ru*,

Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), г. Волгоград

В настоящее время, при внедрении интеллектуальных электрических сетей (smart grid), одной из основных проблем является повышение достоверности срабатывания устройств релейной защиты при аварийных режимах. Это обусловлено тем, что на ток короткого замыкания, а, следовательно, и на уставку влияет большое число внешних факторов, таких как влажность земли и атмосферы, температура внешней среды, состояние почвы, рельеф местности и т.д. Поэтому устройства релейной защиты должны учитывать влияние этих факторов и вводить автоматическую коррекцию на ток уставки, т.е. устройство должно быть интеллектуальным. Для решения этой задачи было разработано интеллектуальное устройство, содержащее микропроцессор и набор датчиков физических величин внешних факторов.

Ключевые слова: релейная защита, контроль, автоматика, автоматическое включение, электроснабжение, реле, интеллектуальные системы, энергосистема

INTELLIGENT RELAY PROTECTION**P.V. Dikarev, A.A. Shilin**

Volgograd State Technical University (VSTU), Volgograd

Currently, with the introduction of smart electrical grids, one of the basic problems is to increase the reliability of operation of relay protection devices during emergency modes. This is due to the fact that short-circuit current, and, consequently, the current of setpoint are influenced by a large number of external factors, such as humidity of the earth and atmosphere, ambient temperature, soil condition, terrain, etc. Therefore, the relay protection devices must take into account the influence of these factors and to enter an automatic correction to the current of setpoint, i.e. the device must be intelligent. To solve this problem, an intelligent device was developed, containing a microprocessor and a set of sensors of physical quantities of external factors.

Keywords: relay protection, control, smart grids, automatic turning on, power supply, intelligent systems, power system

Введение

В электрической части энергосистем могут возникать повреждения и ненормальные режимы работы электрооборудования электростанций и подстанций линий электропередачи и электроустановок потребителей электроэнергии [1]. При повреждениях токи могут многократно увеличиваться, а напряжение генерируемое электростанциями и далее на подстанциях уменьшаться до неприемлемой величины.

При этом возникает зона высоких температур и даже разрушения вблизи места повреждения. В зоне высоких температур оказываются провода линий электропередачи и оборудование, для которых увеличение температуры может быть опасным. А понижение напряжения связанное с такими процессами может привести к нарушению устойчивости параллельной работы электростанций и нарушить нормальную работу подключенных к ним потребителей[2].

Выявление и отключение повреждений следует производить очень быстро - в большинстве случаев в течение сотых и десятых долей секунды, что может быть обеспечено только средствами автоматики. В связи с этим возникла необходимость в создании и применении автоматических устройств, защищающих энергосистемы и ее элементы от опасных последствий повреждений и ненормальных режимов. Первоначально в качестве подобной автоматики (защиты) применялись

плавкие предохранители. Впоследствии были созданы защитные устройства, выполняемые при помощи электрических автоматов-реле. Такой способ защиты получил название релейной защиты[1].

Целью данной работы является повышение достоверности срабатывания устройств релейной защиты при аварийных режимах.

Задачи данной работы - разработать систему интеллектуальной токовой защиты электрических сетей от коротких замыканий.

Обзор токовых защит электрических систем от короткого замыкания

Для выявления и отключения аварийных участков используются устройства релейной защиты. Непрерывный мониторинг всех элементов энергетической системы с реакцией на появление повреждений и аварийные режимы есть главные функции релейной защиты.

Основные характеристики микропроцессорных защит значительно выше, чем у микроэлектронных, а тем более электромеханических. Так, мощность, потребляемая от измерительных трансформаторов тока и напряжения, находится на уровне 0,1—0,5 ВА, аппаратная погрешность — в пределах 2—5%, коэффициент возврата измерительных органов составляет 0,96—0,97.

В электрических цепях энергосистемы устанавливаются специальные выключатели. Они выполняют отключение токов, которые появляются в результате повреждений и аварий. Защита должна определить участок с повреждением и воздействием на ближайший выключатель, который способен отключить участок от энергосистемы выполнить отключение[2].

Однако отключения это не единственное назначение релейной защиты. Защитные устройства должны различать свойства нарушения и по возможности либо автоматически выполнять действия для того чтобы нормальный режим в энергосистеме был восстановлен, либо сигнализировать соответствующим службам, которые смогут принять необходимые меры по этому нарушению. Типовая схема релейной защиты показана на рисунке 1.

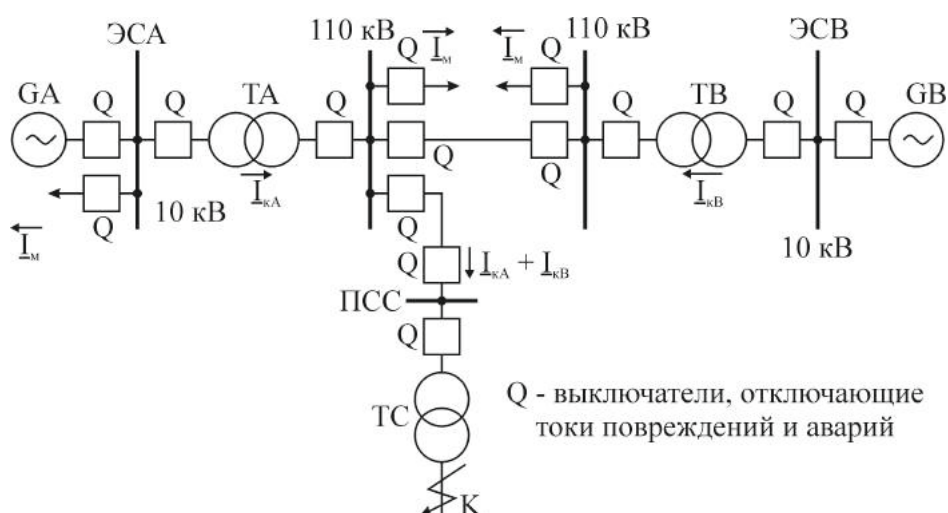


Рис. 1 – типовая схема релейной защиты

Существует множество различных видов токовых релейных защит электрических систем, наиболее популярные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Виды релейных защит

Название релейной защиты	Описание
Максимальная токовая защита.	Срабатывает при условии, что ток достигает заданного производителями значения.
Направленная максимальная токовая защита.	Помимо уставки также осуществляется контроль направления мощности.
Дифференциальная защита.	Применяется для защиты трансформаторов, автотрансформаторов, генераторов, двигателей, и др. Срабатывает за счет сравнения токово обмоток.
Дистанционная защита.	Срабатывает при обнаружении уменьшения сопротивления в цепи.
Дистанционная защита с высокочастотной блокировкой.	Применяется для воздушных линий.
Дистанционная защита с блокировкой по оптическому каналу.	Более надежный и дорогой вариант предыдущего вида защиты.
Логическая защита шин	Выявляет КЗ на шинах и фидерах (питающие линии, отходящие от шин подстанции).
Дуговая защита	Защита комплексных распределительных устройств и комплексных трансформаторных подстанций от возгорания. Срабатывает при повышении освещенности, и/или при повышении давления.
Дифференциально-фазная	Контролирует фазы на двух концах питающей линии. Срабатывает, если ток превышает уставку.

При однофазных КЗ сопротивление на входе измерительного органа сопротивления больше чем при многофазных к.з. в той же точке, поэтому измерительный орган сопротивления не может сработать излишне [3]. Но встает вопрос, сработает ли защита при данном виде повреждения корректно, если её уставка напрямую зависит от сопротивления, т.е. при определенных условиях является, пропорциональна расстоянию от места установки защиты до места к.з. при условии, что изменчивыми внешними параметрами окружающей среды пренебрегают? Неточность срабатывания таких защит обусловлена тем, что на ток КЗ замыкания, а, следовательно, и на уставку влияет большое число внешних факторов, таких как влажность земли и атмосферы, температура внешней среды, состояние почвы, рельеф местности и т.д. Основываясь на этом, современные устройства релейной защиты и автоматики должны учитывать влияние этих факторов и вводить автоматическую коррекцию на ток уставки, т.е. устройство должно быть интеллектуальным.

Лидеры по производству устройств релейной защиты давно взяли курса перехода на цифровые микропроцессорные терминалы. Применение цифровых сигналов и цифровой обработки информации расширило функции устройств, позволило увеличить точность отстройки (аппаратная погрешность от 2% до 5%), сократило время ликвидации аварийных режимов, позволило анализировать параметра сети в предшествующем и переходном режимах/

Внедрение стандарта МЭК 61850 привели к тому, что устройствам релейной защиты и автоматики (РЗА) становится доступным всё больший объём информации, причём не только от измерительных устройств и датчиков, расположенных в том же месте, но и от других устройств РЗА. Устройства на микропроцессорной элементной базе, обладающие памятью и интеллектом, подготовлены для реализации новых более сложных, но и более эффективных алгоритмов ре-

лейной защиты и локализации повреждений. Таким образом, всю большую актуальность приобретает задача разработки алгоритмов релейной защиты, способных работать с расширяющейся информационной базой.

Для решения этой проблемы была разработана интеллектуальная система токовой релейной защиты от коротких замыканий, схема которой изображена на рисунке 2.

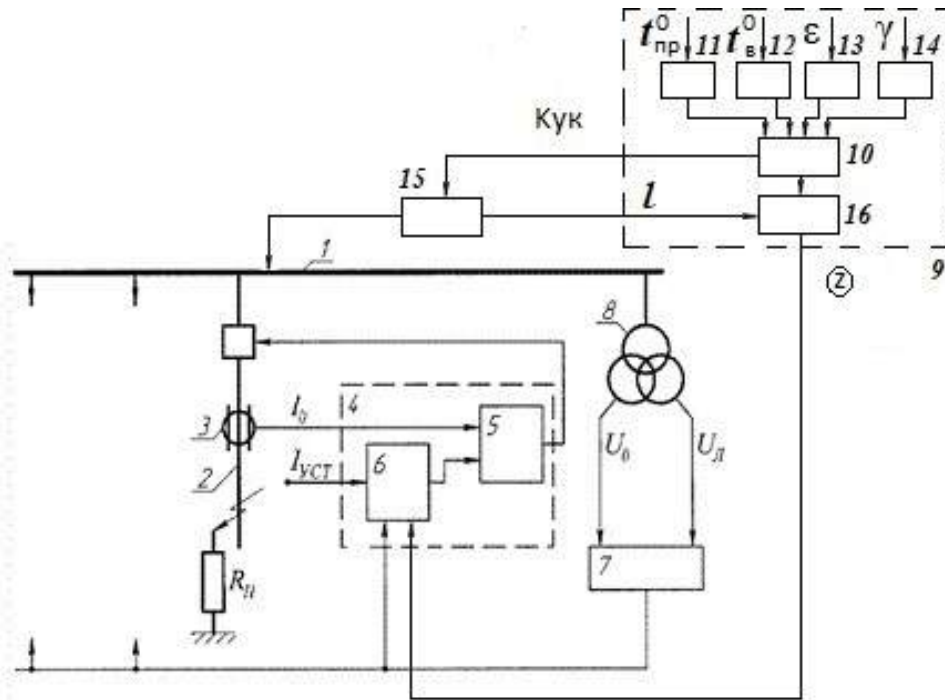


Рис. 2 - Схема интеллектуальной токовой релейной защиты электрических сетей:

1 – секция шин; 2 – линия секции; 3 – датчик тока; 4 – блок защиты; 5 – релейный орган; 6 – модуль автоматической адаптивной коррекции величины тока уставки; 7 – модуль вычисления показателя неполноты замыкания на землю; 8 – измерительный трансформатор напряжения; 9 – устройство автоматической коррекции тока уставки; 10, 16 – микроконтроллер; 11, 12, 13, 14 – датчики (температуры провода и воздуха, диэлектрической проницаемости воздуха, удельной проводимости); 15 – рефлектометр.

Предлагаемая токовая защита содержит микропроцессор и набор датчиков физических величин внешних факторов, что позволяет учитывать параметры внешней среды воздушных линий электропередач. Результаты измерения датчиков передаются в микроконтроллер, где с помощью функциональных зависимостей вычисляются первичные параметры линии R_0 , L_0 , C_0 , G_0 , фазовая скорость V_ϕ и коэффициент укорочения $K_{ук}$. Более точный расчет параметров релейной защиты позволит увеличить чувствительность и избежать отказов срабатывания, либо ложного срабатывания защиты.

Фазовая скорость определяется соответственно с помощью выражения

$$V_\phi = \omega / \beta,$$

где ω - частота, β коэффициент фазы длинной линии, который определяется по формуле:

$$\beta(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\omega^2 L_0 C_0 - r_0 g_0 + \sqrt{(r_0^2 + \omega^2 L_0^2)(g_0^2 + \omega^2 C_0^2)}},$$

где C_0 – поперечная емкость между прямыми и обратными проводами; L_0 – индуктивность петли, образованной прямыми обратным проводами; R_0 – продольное активное сопротивление прямого и обратного проводов; G_0 – поперечная активная проводимость утечки изоляции между прямым и обратным проводами.

Отклонения параметров линии R_0 , L_0 , C_0 , G_0 , обусловленные влиянием климатических факторов, вызывают отклонение коэффициента фазы и соответственно фазовой скорости

Зависимость активного сопротивления от температуры провода определяется [4]:

$$R_{0t} = R_{020}(1 + \alpha(t_{np} - 20^\circ)),$$

где R_{020} – табличное значение удельного сопротивления при температуре провода 20°C ; α – температурный коэффициент электрического сопротивления, Ом/град; t_{np} – температура провода, $^\circ\text{C}$.

Полное сопротивление провода определяется выражениями [4]:

$$\begin{aligned} Z_{np} &= R_{np} + jX_L; \\ R_{np} &= (R_{020}(1 + \alpha(t - 20^\circ)) + \pi^2 f \cdot 10^{-4}; \\ X_L &= 29f \lg \frac{0,178}{r_{np}\sqrt{f\gamma \cdot 10^{-9}}} \cdot 10^{-4}, \end{aligned}$$

где R_{np} – активное сопротивление линии; X_L – реактивное сопротивление линии; f – частота сети; r_{np} – радиус провода; γ – удельная проводимость земли.

Величина относительной диэлектрической проницаемости газов ε зависит от температуры при постоянном давлении. Для сухого воздуха ε в интервале температур от -60 до $+60^\circ\text{C}$ можно считать постоянным и приблизительно равным $-2 \cdot 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$. Однако дождь и снег оказывают значительное влияние удельную емкость линии. Кроме того, влажность и температура воздуха оказывают влияние на токи утечки, т.е. поперечную удельную проводимость линии.

Полученные результаты могут быть использованы для увеличения степени надежности срабатывания устройств релейных защит и автоматики, а также уменьшения количества излишних срабатываний защит.

Заключение

Предложенное устройство позволит повысить достоверность срабатывания релейной защиты, за счет коррекции влияния внешних факторов на ток короткого замыкания. Представленная разработка способна адаптировать свою уставку к измерениям параметров сети либо к изменениям параметром ВЛЭП, в следствие чего она может найти широкое применение в разрабатываемых интеллектуальных сетях.

Список цитируемой литературы

1. Черноборов, Н.В. Релейная защита энергетических систем / Н.В. Черноборов, В.А. Семенов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 799 с.
2. Дикарев, П.В. Релейная защита: состояние, проблемы, перспективы развития / П.В. Дикарев, О.О. Ахмедова // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. - 2018. - № 4 (25) Декабрь. - 10-13.
3. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем: Учебное пособие/Под ред. А.Ф. Дьякова – М.: Издательство МЭИ, 2002.- 296 с.
4. Марголин Н.Ф. Сопротивление воздушных линий передачи / Н.Ф. Марголин – М.: Мособл-полиграф, 1937. – 61с.

©П.В. Дикарев, А.А. Шилин, 2019